

TENDENCIAS DE LA PRECIPITACIÓN INVERNAL EN LA FACHADA ORIENTAL DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

Joan-Albert LÓPEZ-BUSTINS*; Arturo SÁNCHEZ-LORENZO*; César AZORÍN-MOLINA*,**; Antonio ORDÓÑEZ-LÓPEZ***

* *Grup de Climatologia. Universitat de Barcelona*

** *Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM)*

*** *Ingeniería Técnica Forestal. Universidad de Extremadura*

RESUMEN

Mediante un análisis en componentes principales (ACP) de 51 series de precipitación invernal (enero y febrero) para el periodo 1959-2000 se definen 3 regiones pluviométricas para la Península Ibérica (PI): (1) el centro y suroeste peninsular, (2) la franja cantábrica, y (3) la fachada mediterránea. Los análisis sinópticos muestran una intensificación significativa de las altas presiones sobre Europa Central, y en consecuencia, una mayor fase positiva de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), con un probable aumento de la frecuencia de las advecciones del NE con entrada de aire polar continental (Pc) sobre la PI. Como respuesta a estos cambios en la circulación atmosférica se detecta un descenso significativo de la precipitación en los meses de enero y febrero en la región 1. En cambio, se observa un leve aumento no significativo de las precipitaciones en la fachada oriental de la PI, preferentemente en el Pirineo Oriental y en las montañas prebéticas del norte de Alicante. Estos cambios detectados podrían estar provocando un aumento en la ocurrencia de episodios de nieve en esta región.

Palabras clave: Análisis en componentes principales, fachada mediterránea de la Península Ibérica, patrones de circulación atmosférica, tendencias de precipitación.

ABSTRACT

We applied a principal components analysis (PCA) to 51 series of winter rainfall (January and February) for the 1959-2000 period to establish 3 pluviometric regions for the Iberian Peninsula (IP): (1) Plateau and SW, (2) Cantabrian fringe, and (3) Mediterranean façade. The synoptic analyses show a significant strengthening of high pressures over Central Europe. Consequently, a more positive phase of the North Atlantic Oscillation (NAO) takes place, with a likely increase in the frequency of NE air flows (associated with a polar continental mass) over the IP. In response to these atmospheric circulation changes a rainfall significant decrease is detected in January and February in the first region. On the other hand, we detected a slight and non-significant rainfall increase along the Mediterranean façade, above all, in the Eastern Pyrenees and in the Prebetic mountain ranges in Alicante. These observed changes could be leading to an increase in the occurrence of snow episodes over this region.

Keywords: *Principal components analysis, Mediterranean façade of the Iberian Peninsula, atmospheric circulation patterns, precipitation trends.*

1. INTRODUCCIÓN

Mientras la evolución temporal de las temperaturas muestra un calentamiento a nivel planetario en las últimas décadas, las precipitaciones presentan una dinámica espacio-temporal muy variada según el último informe IPCC (2007). En concreto, los escenarios proyectados por los Modelos de Circulación General de la atmósfera (GCM) y/o Modelos Regionales de Circulación atmosférica (RCM) para el conjunto de la Península Ibérica (PI) son muy dispares en cuanto a la evolución de la precipitación, aunque en su mayoría pronostican una reducción de la precipitación anual, principalmente estival. Sin embargo, las tendencias de la precipitación invernal no resultan ser tan evidentes.

De momento, son varios los trabajos que han detectado descensos recientes en la precipitación invernal en el conjunto de la PI (GOODESS y JONES, 2002; NORRANT y DOUGUÉDROIT, 2006). Con el propósito de hallar las causas, el objetivo principal de este trabajo es evaluar las tendencias recientes (1959-2000) de la precipitación en los meses centrales del invierno, enero y febrero, con especial hincapié en la fachada oriental de la PI. Además, este estudio intenta relacionar las tendencias pluviométricas con los cambios en la circulación atmosférica sobre Europa Occidental durante la segunda mitad del siglo XX.

2. EVOLUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA PLUVIOMETRÍA EN LA PI

Existen varias clasificaciones regionales de la PI según la dinámica espacial de la precipitación. Tradicionalmente, se ha diferenciado la España atlántica de la mediterránea según la divisoria de aguas de la Cordillera Cantábrica (MARTÍN-VIDE y OLCINA CANTOS, 2001). Y dentro de la región mediterránea, se ha distinguido, con cierta controversia en la delimitación de Andalucía, la propiamente mediterránea de aquella otra dominada por la influencia simultánea del océano Atlántico y el mar Mediterráneo (MARTÍN-VIDE, 1982; ROMERO *et al.*, 1999; GONZÁLEZ-HIDALGO *et al.*, 2006).

En este estudio se ha aplicado un análisis en componentes principales (ACP) a 51 series homogeneizadas (VICENTE-SERRANO y BEGUERÍA-PORTUGUÉS, 2004) con el objetivo de detectar regiones pluviométricas con similares características temporales. Así, partiendo de una matriz en *S-mode*, donde las 51 series son las variables a resumir y los valores de precipitación normalizados (considerando el 1961-1990 como periodo de referencia) son los casos, se han retenido y rotado por el método Varimax tres componentes (o *Empirical Orthogonal Functions*, EOF) que explican más del 75% de la varianza total. La representación espacial de las cargas factoriales (*loadings*) obtenidas de cada serie en cada uno de los EOF definen las siguientes regiones pluviométricas (Fig. 1a): (1) el centro y suroeste peninsular (clima mediterráneo continental con influencia del Atlántico; EOF1), (2) la franja cantábrica (clima Atlántico; EOF2), y (3) la fachada oriental (clima mediterráneo; EOF3).

Las tendencias de la precipitación media de cada región se han evaluado a partir de las series de puntuaciones (*scores*) obtenidas en cada componente (ESTEBAN-PARRA *et al.*, 1998; RODRÍGUEZ-PUEBLA *et al.*, 1998), empleando el test no paramétrico de Mann-Kendall para evaluar la significación ($\alpha \leq 0.05$) de las mismas (test y umbral que se ha aplicado en el resto de tendencias mostradas en el presente trabajo). La región del centro y suroeste de la PI muestra una disminución significativa de la precipitación, mientras las dos regiones restantes

no reflejan tendencia alguna, aunque se observa un leve aumento no significativo en el caso de la fachada mediterránea (Fig. 1b).

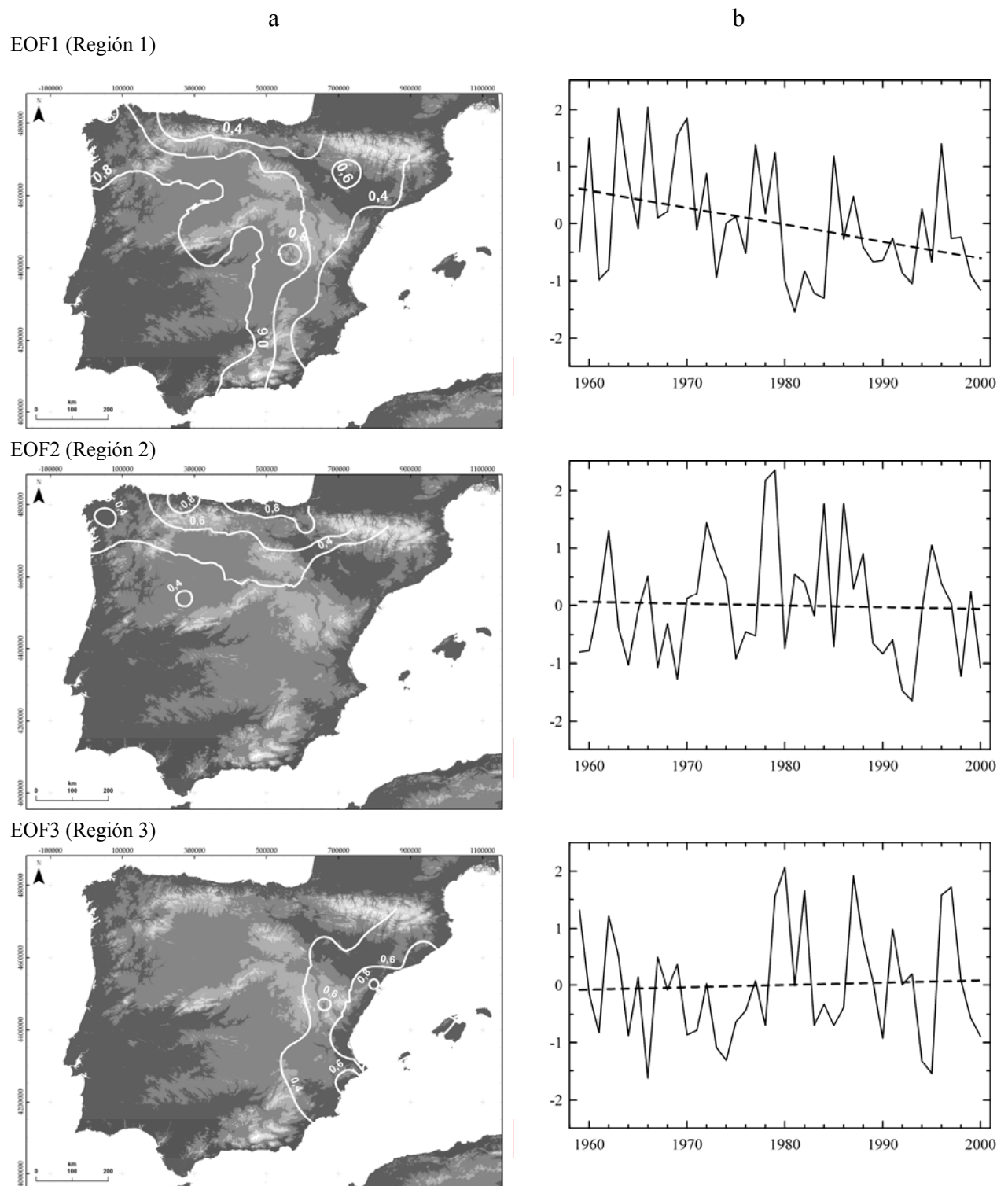


Fig. 1. (a) Distribución espacial de las cargas factoriales (*loadings*) de cada componente principal retenida y rotada. (b) Evolución y tendencias de la precipitación media a lo largo del periodo de estudio 1959-2000 a partir de las puntuaciones (*scores*) obtenidas para cada componente.

3. EL PAPEL DE LOS PATRONES DE TELECONEXIÓN Y DE CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA

En este apartado se explican las tendencias pluviométricas detectadas en función de la variabilidad de patrones de teleconexión, particularmente de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO). La NAO representa el patrón de variabilidad de baja frecuencia más extendido para estudiar la variabilidad del clima en Europa Occidental y en la fachada oriental de América del Norte (HURRELL, 1995). A partir de una malla de presión atmosférica a nivel del mar (TRENBERTH y PAOLINO, 1980; actualizada), de $5^\circ \times 5^\circ$ de latitud y longitud, se ha extraído el primer componente no rotado de la ventana (70°N - 30°N ; 30°O - 20°E), que explica el 55% de la variabilidad de la presión atmosférica superficial en Europa Occidental. Este patrón de circulación atmosférica se corresponde con una fase positiva de la NAO (Fig. 2a), y presenta una tendencia positiva y significativa durante el periodo 1959-2000 (Fig. 2b). HURRELL y VAN LOON (1997) detectaron un incremento de los valores positivos del índice de la NAO (NAOi) a partir de la década de los 80 y, principalmente, en el mes de febrero (LÓPEZ-BUSTINS, 2007).

El descenso pluviométrico significativo detectado en la mayor parte de la PI se debe a este incremento de la fase positiva en las últimas décadas, pues la precipitación de la región centro/suroeste es muy dependiente de la variabilidad de la NAO (Fig. 3). Las relaciones no significativas entre la NAO y la precipitación de las otras dos regiones es un hecho ya demostrado en varios trabajos previos (ESTEBAN-PARRA *et al.*, 1998; MUÑOZ-DÍAZ y RODRIGO, 2004; TRIGO *et al.*, 2004, GALLEGO *et al.*, 2005). En consecuencia, recientemente se propuso la definición de un nuevo patrón de teleconexión regional, denominado Oscilación del Mediterráneo Occidental (*Western Mediterranean Oscillation*; WeMO) (MARTIN-VIDE y LOPEZ-BUSTINS, 2006), que permite explicar la variabilidad pluviométrica de estas dos regiones.

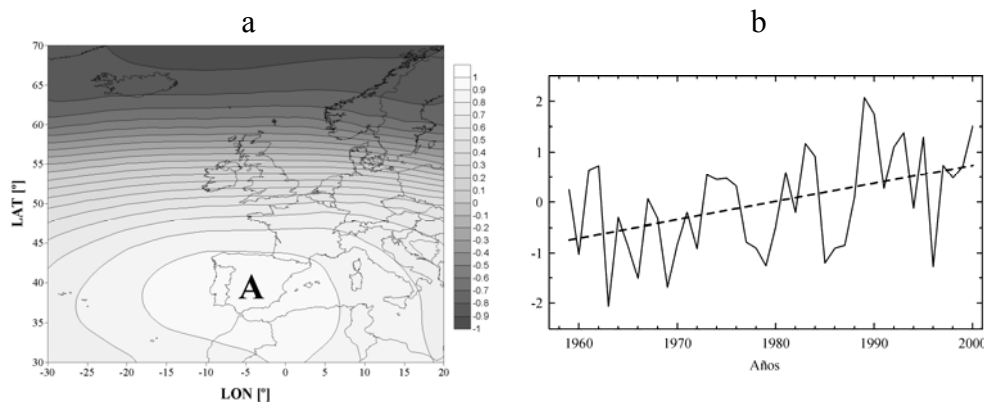


Fig. 2. (a) Distribución espacial de las cargas factoriales del primer componente del ACP de la malla de presión atmosférica a nivel del mar sobre Europa Occidental. (b) Evolución temporal de las puntuaciones obtenidas en esta primera componente.

Junto a la evolución de la NAO, también se ha comprobado cuál ha sido la dinámica de los principales patrones de circulación atmosférica en Europa Occidental. En un estudio previo (LOPEZ-BUSTINS *et al.*, 2008), se identificaron tres patrones principales a partir de una

clasificación automática diaria de la presión atmosférica a nivel mar. Estos tres patrones sinópticos representaban casi el 80% de los días de invierno –diciembre, enero y febrero– comprendidos en el periodo 1958/59-1999/2000. En dicho estudio se aplicó un ACP a partir de una malla de presión superficial de los datos de reanálisis NCEP/NCAR (KALNAY *et al.*, 1996) partiendo de una matriz en *T-mode* (HUTH, 1996), extrayéndose 4 componentes (8 patrones posibles; signo positivo y negativo) y realizándose una rotación Varimax (RICHMAN, 1986). De los tres patrones principales, el que presenta unas variaciones más significativas en los meses de enero y febrero es el que se presenta en la Fig. 4a. Éste se corresponde con la situación sinóptica típica del periodo central del invierno: potente anticiclón centrado sobre Europa Central, comportando estabilidad atmosférica sobre el centro y oeste de la PI y una circulación del NE en la fachada mediterránea. Este patrón ha incrementando su frecuencia del orden de 2,71 días/década en los meses centrales del invierno a lo largo del periodo 1959-2000 (Fig. 4b). Esto significa un aumento de la presión atmosférica en la planicie centroeuropea en invierno, resultado que corrobora varios estudios previos (STEFANICKI *et al.*, 1998; MAUGERI *et al.*, 2004; TRIGO, 2006). Este patrón de circulación atmosférica también se corresponde con una fase típicamente positiva de la NAO, lo cual justifica la reducción pluviométrica de la región 1 y la tendencia positiva no significativa de la precipitación de la región 3 (Fig. 1) por efecto de frentes de retroceso con recorrido marítimo que precipitan sobre esta área (ESTRELA *et al.*, 2002; MILLÁN *et al.*, 2005).

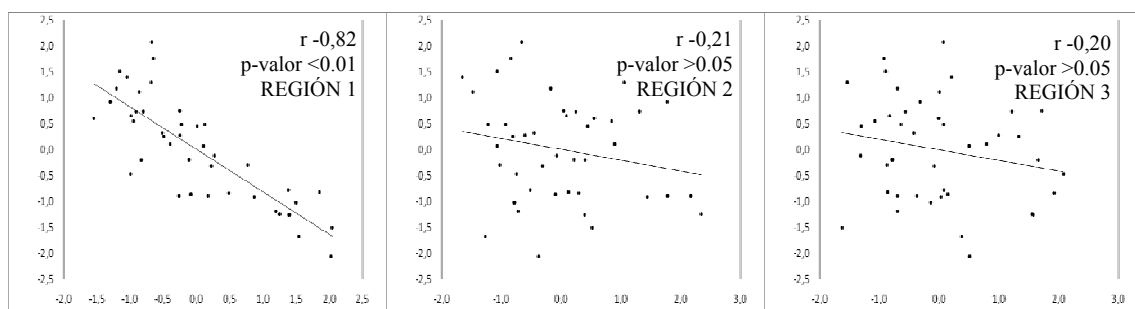


Fig. 3. Diagrama de dispersión de puntos y coeficiente de correlación de Pearson entre la serie media de precipitación de cada una de las regiones y el NAOi (1959-2000).

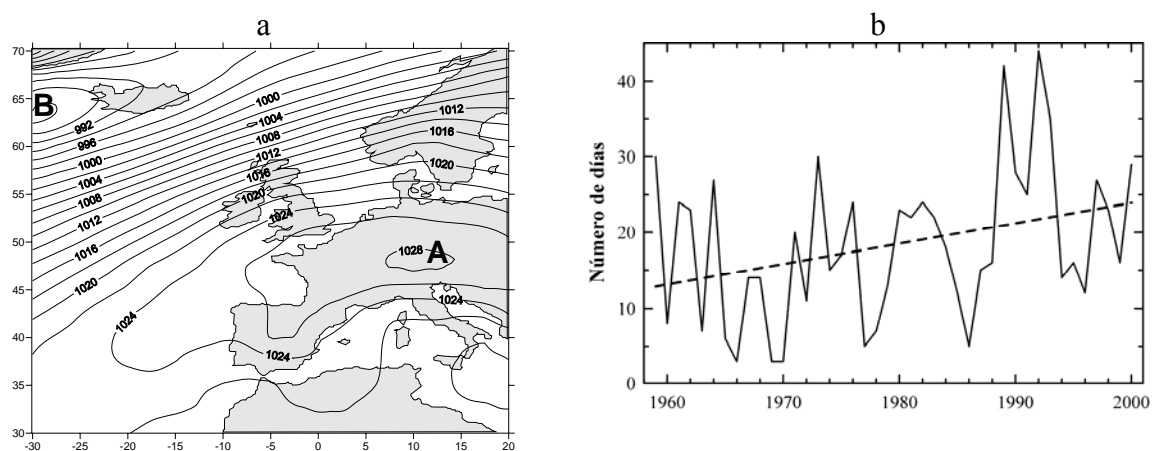


Fig. 4. (a) Patrón de circulación con anticiclón centrado sobre Europa Central (extraído de LOPEZ-BUSTINS *et al.*, 2008). (b) Evolución y tendencia de la frecuencia absoluta (número de días) de este patrón en el conjunto de los meses de enero y febrero (1959-2000).

4. TENDENCIAS DE LA PRECIPITACIÓN EN LA FACHADA ORIENTAL DE LA PI

Ante la detección de una variabilidad pluviométrica levemente contraria en la fachada mediterránea de la PI, se propone un análisis de detalle sobre esta región. Para ello se acota el área de estudio al sector más oriental de la PI, cuyo territorio engloba la Comunidad Valenciana, Cataluña, el departamento francés de los Pirineos Orientales, el país de Andorra y una estrecha franja del este de Aragón, que corresponde al territorio peninsular del ámbito geográfico conocido popularmente como Países Catalanes. Dentro de esta nueva área de trabajo se utilizaron 115 series pluviométricas para el mismo periodo de estudio (1959-2000) (LÓPEZ-BUSTINS, 2007).

Como se ha indicado en el apartado anterior, la serie regional del área estrictamente mediterránea presentaba un leve ascenso no significativo (Fig. 1). Sin embargo, con un aumento de la resolución espacial de las series pluviométricas, la Fig. 5 muestra que en las montañas del sur de Valencia y norte de Alicante (últimas estribaciones de la Cordillera Prebética), la precipitación está aumentando significativamente. Del mismo modo, en la vertiente norte de los Pirineos Orientales también se localizan enclavamientos con tendencias positivas próximas a la significación. Se trata de dos áreas que, a pesar de su relativa lejanía, presentan un comportamiento pluviométrico similar debido a las características geográficas. La topografía de estos enclaves está caracterizada por valles orientados al NE (golfo de Valencia en el caso de las montañas de Alicante y golfo de León en el de los Pirineos Orientales), que reciben flujos húmedos del Mediterráneo en situaciones de frente de retroceso (ESTRELA *et al.*, 2002), impulsados por un anticiclón centroeuropeo (AZORÍN-MOLINA y LÓPEZ-BUSTINS, 2004; MILLÁN *et al.*, 2005). En cambio, los territorios colindantes a estas áreas apenas reciben lluvias bajo la influencia de esta situación anticiclónica al situarse a sotavento de los flujos húmedos mediterráneos. De ahí que en las tierras de Poniente de Cataluña, sobre todo en el Pirineo y Prepirineo Occidental, y en el interior de Valencia se detecte un descenso significativo de la precipitación acorde con la región del EOF1 (Fig. 1).

Además, se ha observado que en situaciones de elevada persistencia del anticiclón invernal centroeuropeo ocurren anomalías positivas de precipitación en la Comunidad Valenciana, principalmente en las montañas de Alicante, y en el Pirineo Oriental. Mientras en la mayor parte de Cataluña, principalmente en su mitad occidental, se observan anomalías negativas (Fig. 6a). En cambio, ocurre algo contrario en aquellos años que este patrón de circulación atmosférica se debilita (Fig. 6b). El análisis de comparación de las anomalías de ambos grupos de años permite corroborar los resultados obtenidos, ya que aquellas zonas donde las variaciones pluviométricas son significativas son precisamente las montañas del norte de Alicante y el Pirineo y Prepirineo Occidental de Cataluña (Fig. 6c).

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS: CONSECUENCIAS PLUVIOMÉTRICAS DE LOS CAMBIOS EN LA CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA

Estudios previos ya detectaron un aumento de la precipitación invernal en el área mediterránea, que contrastaba con el descenso pluviométrico invernal del resto de la PI (SALADIÉ *et al.*, 2002; GONZÁLEZ-HIDALGO *et al.*, 2006; RODRIGO y TRIGO, 2007). Entre ellos, destaca el trabajo de GOODESS y JONES (2002), quienes atribuyeron este incremento de la precipitación a una mayor ocurrencia de episodios de lluvia torrencial. SUMMER *et al.* (2003) proyectaron, mediante un GCM, un incremento pluviométrico en la

fachada mediterránea de la PI para finales de este siglo por efecto de una mayor intensidad de las precipitaciones. Con todo, las tendencias pluviométricas son dispares según la región peninsular, así como la época del año (GONZÁLEZ-HIDALGO *et al.*, 2002).

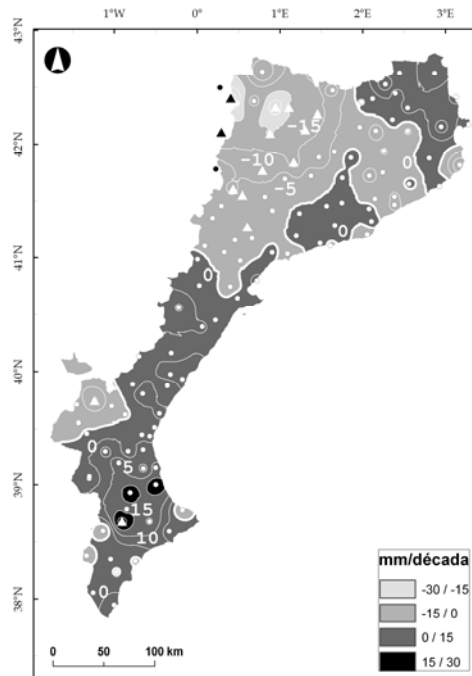


Fig. 5. Distribución espacial de las tendencias de precipitación de los meses de enero y febrero en la fachada oriental de la PI durante el periodo 1959-2000. (En aquellos puntos donde la tendencia es significativa al 95% del nivel de confianza se simboliza con un triángulo).

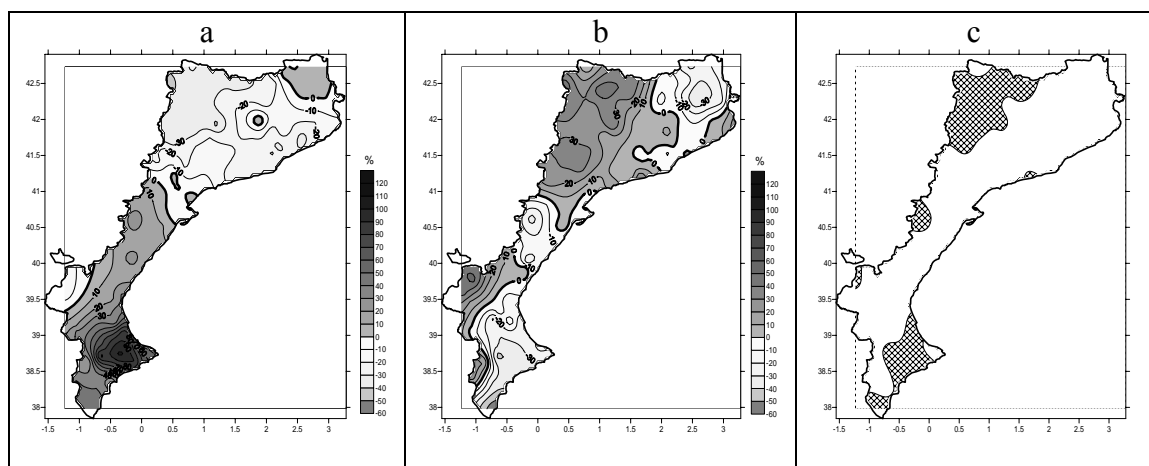


Fig. 6. (a) Anomalías de precipitación de los meses de enero y febrero en la fachada oriental de la PI en el periodo 1959-2000, considerando aquellos años cuando el patrón de circulación de la Fig. 4a ha sido detectado ≥ 25 días (1959, 1964, 1973, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1997 y 2000). (b) Ídem que (a), pero en aquellos años que el patrón ha sido detectado ≤ 10 días (1960, 1963, 1965, 1966, 1969, 1970, 1977, 1978 y 1986). (c) Distribución espacial de las áreas con diferencias significativas de las medias según la distribución *t* de Student.

Los análisis presentados en este estudio han detectado una intensificación significativa del anticiclón centroeuropeo de invierno y, en consecuencia, una mayor persistencia de las fases

positivas de la NAO y un probable aumento de la frecuencia de las advecciones del NE con entrada de aire polar continental (Pc) sobre la PI. En el contexto de la hipótesis de cambio climático antropogénico (IPCC, 2007), estos cambios en la circulación atmosférica sobre Europa Occidental pueden vincularse a un reforzamiento del vórtice polar, como resultado del enfriamiento de la baja-media estratosfera en el Polo Norte en invierno (SHINDELL *et al.*, 2001).

Estas advecciones de aire Pc provocan un descenso de las temperaturas y una inestabilización de las condiciones atmosféricas en el área mediterránea en los meses de invierno. La Fig. 7 presenta los análisis en superficie, 850 y 500 hPa a las 00Z del 22 de enero de 1992, en un episodio modélico de esta situación sinóptica. Pese a que la fiabilidad de los datos históricos de episodios de nevada no es suficiente para detectar tendencias, la mayor ocurrencia de esta circulación atmosférica puede estar provocando un aumento de las nevadas en las montañas prebéticas del norte de Alicante y el Pirineo Oriental. Esta hipótesis de trabajo representa el punto de partida para futuras investigaciones que evalúen las consecuencias de los cambios en la circulación atmosférica en las características de la precipitación en la PI.

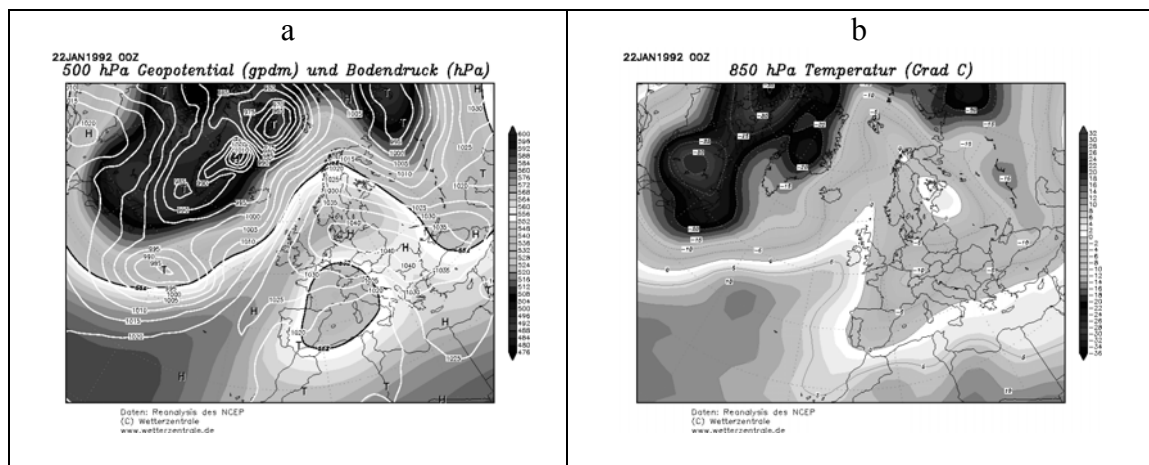


Fig. 7. (a) Mapa sinóptico de superficie y de altura geopotencial a 500 hPa del 22 de enero de 1992. (b) Mapa de temperatura a 850 hPa del 22 de enero de 1992.

5. CONCLUSIONES

A continuación se resumen los principales resultados obtenidos en este estudio de tendencias de la precipitación invernal en la PI:

(a) Existe una heterogeneidad pluviométrica en el conjunto de la PI en cuanto a las tendencias recientes en los meses centrales del invierno (enero y febrero). La fachada mediterránea presenta un ligero ascenso pluviométrico no significativo, mientras en la mayor parte de la PI se detecta una reducción significativa.

(b) El aumento de la frecuencia del patrón de circulación atmosférica asociado a un anticiclón sobre Europa Central es la causa principal de estas tendencias pluviométricas.

(c) Un análisis de detalle en la fachada oriental de la PI ha permitido detectar algunos incrementos y anomalías significativos de la precipitación dentro de la región.

(d) El cambio climático puede conllevar tipos de tiempo contrarios a las proyecciones de los GCM y los RCM a nivel local, como han puesto de manifiesto las tendencias pluviométricas en el caso de la vertiente mediterránea de la PI.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha llevado a cabo en el seno del *Grup de Climatologia* de la Universitat de Barcelona (2005SGR 01034) y del proyecto IPIBEX (CGL2005-07664-C02-01). Esta investigación también ha sido financiada por el Programa CONSOLIDER-INGENIO 2010 (Proyecto GRACCIE). El segundo coautor disfruta de una beca FPU del MEC. Se han usado series de precipitación de la base de datos NESAP (*Climate Change Research Group*, Universitat Rovira i Virgili), del INM y de *Météo France*. Se ha empleado el *software* SEXTANTE para la realización de algunas figuras de este trabajo. Por último, queremos mencionar al *Forolobo* por haber permitido una gran amistad entre los autores de este artículo.

7. REFERENCIAS

- AZORÍN-MOLINA, C. y LÓPEZ-BUSTINS, J.A. (2004). “Catálogo sinóptico manual y causas atmosféricas de la precipitación en la provincia de Alicante”. *Boletín de la AGE*, 38, 279-310.
- ESTEBAN-PARRA, M.J; RODRIGO, F.S. y CASTRO-DÍEZ, Y. (1998). “Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880-1992. *International Journal of Climatology* 18, 1557-1574.
- ESTRELA, M^a J.; MILLÁN, M.; PEÑARROCHA, D. y PASTOR, F. (2002). *De la Gota Fría al Frente de Retroceso*. Colección Interciencias, UNED, CEAM, Alzira (Valencia), 260 pp.
- GALLEGO, M.C.; GARCÍA, J.A. y VAQUERO, J.M. (2005). “The NAO signal in daily rainfall series over the Iberian Peninsula”. *Climate Research*, 29,103-109.
- GONZÁLEZ-HIDALGO, J.C.; DE LUIS, M. y RAVENTÓS, J. (2002). “Variaciones estacionales de la precipitación en la costa Este peninsular durante la década de los años noventa. *III Congreso de la Asociación Española de Climatología* 3, 229-236, Palma.
- GONZÁLEZ-HIDALGO, J.C.; DE LUIS, M.; STEPANEK, P. y LANJERI, S. (2006). “Propuesta metodológica para realizar el control de calidad de las precipitaciones mensuales en la vertiente mediterránea de la Península Ibérica”. *V Congreso de la Asociación Española de Climatología* 5: 391-409, Zaragoza.
- GOODESS, C.M. y JONES, P.D. (2002). “Links between circulation and changes in the characteristics of Iberian rainfall”. *International Journal of Climatology* 22, 1593-1615.
- HURRELL, J.W. (1995). “Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation”. *Science* 269, 676-679.
- HURRELL, J.W. y VAN LOON, H. (1997). “Decadal Variations in Climate associated with the North Atlantic Oscillation”. *Climatic Change* 36, 301-326.
- HUTH, R. (1996). “An intercomparison of computer-assisted circulation classification methods”. *International Journal of Climatology* 16, 893-922.
- IPCC, 2007. “Climate Change 2007: The Physical Science Basis”. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL. (Eds.), *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*

Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 996 pàgs.

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.C.; ROPELEWSKI, C.; WANG, J.; LEETMA, A.; REYNOLDS, R.; JEENE, R. y JOSEPH, D. (1996). "The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project". *Bulletin of the American Meteorological Society* 77, 437-471.

LÓPEZ-BUSTINS, JA. (2007). *L'Oscil·lació de la Mediterrània Occidental i la Precipitació als Països Catalans*. Tesis doctoral. Director: Javier Martín Vide. Departament de Geografia Física i Anàlisi Geogràfica Regional de la Universitat de Barcelona, 400 pàgs.

LOPEZ-BUSTINS, J.A.; MARTIN-VIDE, J. y SANCHEZ-LORENZO, A. 2008. "Iberia winter rainfall trends based upon changes in teleconnection and circulation patterns". *Global and Planetary Change*, doi:10.1016/j.gloplacha.2007.09.002.

MARTÍN-VIDE, J. (1982). *Características climatológicas de la precipitación en la franja costera mediterránea de la Península Ibérica*. Tesis doctoral. Directora: Maria de Bolós i Capdevila. Departamentos de Geografia de la Universitat de Barcelona.

MARTÍN-VIDE, J. y OLCINA CANTOS, J. (2001). *Climas y tiempos de España*. Alianza Editorial, Madrid, 258 pàgs.

MARTIN-VIDE, J. y LOPEZ-BUSTINS, J.A. (2006). "The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula". *International Journal of Climatology* 26, 1455-1475.

MAUGERI, M.; BRUNETTI, M.; MONTI, F. y NANNI, T. (2004). "Sea-Level pressure variability in the Po plain (1765-2000) from homogenized daily secular records". *International Journal of Climatology* 24, 437-455.

MILLÁN, M.; ESTRELA, M.J; MIRÓ, J.J. (2005). "Rainfall Components: Variability and Spatial Distribution in a Mediterranean Area (Valencia Region)". *Journal of Climate* 18, 2682-2705.

MUÑOZ-DÍAZ, D. y RODRIGO, F. (2004). "Impacts of the North Atlantic Oscillation on the probability of dry and wet winters in Spain". *Climate Research* 27, 33-43.

NORRANT, C. y DOUGUÉDROIT, A. (2006). "Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950-2000)". *Theoretical and Applied Climatology* 83, 89-106.

RICHMAN, M.B. (1986). "Rotation of principal components". *Journal of Climatology* 6, 293-335.

RODRIGO, F.S. y TRIGO, R.M. (2007). "Trends in daily rainfall in the Iberian Peninsula from 1951 to 2002". *International Journal of Climatology* 27, 513-529.

RODRÍGUEZ-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, 299-316.

ROMERO, R.; SUMNER, G.; RAMIS, C. y GENOVÉS, A. (1999). "A classification of the atmospheric circulation patterns producing significant daily rainfall in the Spanish Mediterranean area". *International Journal of Climatology* 19, 765-785.

SALADIÉ, O.; BRUNET, M.; AGUILAR, E.; SIGRÓ, J. y LÓPEZ, D. (2002). "Evolución de la precipitación en el Sector Sureste de la Depresión del Ebro durante la segunda mitad del siglo XX". *III Congreso de la Asociación Española de Climatología* 3, 335-346, Palma.

SHINDELL, D.T.; SCHMIDT, G.A.; MILLER, R.L. y RIND, D. (2001). "Northern Hemisphere winter climate response to greenhouse gas, ozone, solar and volcanic forcing". *Journal of Geophysical Research* 106 (D7), 7193-7210.

STEFANICKI, G.; TALKNER, P. y WEBER, R.O. (1998). "Frequency Changes of Weather Types in the Alpine Region since 1945". *Theoretical and Applied Climatology* 60, 47-61.

SUMNER, G.N.; ROMERO, R.; HOMAR, V.; RAMIS, C.; ALONSO, S. y ZORITA, E. (2003). "An estimate of the effects of climate change on the rainfall of Mediterranean Spain by the late twenty first century". *Climate Dynamics* 20, 789-805.

TRENBERTH, K.E. y PAOLINO, D.A. (1980). "The Northern Hemisphere sea-level pressure data set: Trends, errors and discontinuities". *Monthly Weather Review* 108, 855-872.

TRIGO, I.F. (2006). "Climatology and interannual variability of storm-tracks in the Euro-Atlantic sector: a comparison between ERA-40 and NCEP/NCAR reanalyses". *Climate Dynamics* 26, 127-143.

TRIGO, R.M.; POZO-VÁZQUEZ, D.; OSBORN, T.J.; CASTRO-DÍEZ, Y.; GÁMIZ-FORTIS, S. y ESTEBAN-PARRA, M.J. (2004). North Atlantic Oscillation influence on precipitation, river flow and water resources in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology* 24, 925-944.

VICENTE-SERRANO, S.M. y BEGUERÍA-PORTUGUÉS, S. (2004). "Analysis of the spatial patterns of drought magnitude in the Iberian Peninsula by means of the Standardized Precipitació Index (SPI) and the Generalized Pareto distribution". *EMS Annual Meeting of Abstracts* 1, 00180, Nice.