

COVARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN EL MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL Y LA CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA A GRAN ESCALA

A. MORATA, M.L. MARTÍN, M.Y. LUNA y F. VALERO

Dpto. de Astrofísica y CC. de la Atmósfera, Facultad de CC. Físicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid. petras@fis.ucm.es

RESUMEN

La covariabilidad entre circulación a gran escala y precipitación otoñal en el Mediterráneo Occidental es investigada mediante el análisis de Descomposición en Valores Singulares. Este análisis se aplica a anomalías de precipitación mensual acumulada y de medias mensuales de geopotencial y componentes zonal y meridional del viento en 300 hPa en la cuenca Atlántica. Se obtienen dos modos significativos que explican más del 50 y el 20 %, respectivamente, de covarianza cuadrada entre la precipitación y las diferentes variables a gran escala. Analizando la variabilidad inherente, más del 50 % de la variabilidad del campo de la precipitación en el Mediterráneo Occidental está vinculada a la circulación atmosférica a gran escala.

Palabras clave: precipitación, circulación a gran escala, Descomposición en Valores Singulares, Mediterráneo Occidental.

ABSTRACT

Covariability between autumn time large-scale circulation and Western Mediterranean precipitation is analysed by means of singular value decomposition. This analysis is applied to monthly mean precipitation anomalies and monthly mean 300 hPa geopotential, zonal and meridional wind anomalies over North Atlantic Basin. This method yields two significant modes that account for more than 50% and 20% of squared covariance between precipitation and large-scale circulation variables. These modes account for more than 50% of the variability of the individual precipitation field.

Key words: precipitation, large scale circulation, Singular Values Decomposition, Western Mediterranean.

1. INTRODUCCIÓN

El análisis de las grandes fluctuaciones de la precipitación en la zona del Mediterráneo occidental es de vital importancia debido a su gran impacto socioeconómico. Los modelos climáticos de circulación general han previsto un aumento global de la precipitación debido a un aumento en los gases de efecto invernadero (IPCC, 1996) pero este aumento no es uniforme ni en el espacio ni en el tiempo. Además, la predicción de la precipitación en modelos que poseen poca resolución espacial no resulta precisa, sin olvidar que diferentes modelos producen diferentes resultados especialmente en la cuenca del Mediterráneo. Lo cierto es que los modelos climáticos son capaces

de simular las variables a gran escala con razonable exactitud pero no es así con las variables regionales. Por tanto, analizar las interacciones entre la circulación a gran escala y la precipitación regional resulta determinante para ahondar en el conocimiento de la variabilidad conjunta y, por ende, en la mejora en la interpretación de los resultados obtenidos por las simulaciones.

Las interacciones entre circulación atmosférica a gran escala y precipitación a escala regional han sido estudiadas por numerosos autores en diferentes regiones del mundo (ROPELEWSKI y HALPERT, 1989; TING y WANG, 1997; MAHERAS et al., 1999; STORCH *et al.*, 1993; GONZÁLEZ-ROUCO, 2000; LUNA *et al.*, 2001) analizaron la influencia de la circulación atmosférica en la cuenca del Atlántico Norte sobre la precipitación invernal en la Península Ibérica identificando patrones entre ambos campos. Sin embargo, el área del Mediterráneo Occidental presenta peculiaridades respecto al resto de la Península. GONZÁLEZ-ROUCO (1997) observó diferencias entre los patrones del Mediterráneo Occidental y del resto de Iberia aplicando un análisis de correlación canónica a la presión a nivel del mar y a la precipitación invernal. Dicha zona está caracterizada por la irrupción de depresiones inmersas en la circulación zonal a gran escala fundamentalmente por circulaciones meridionales y depresiones formadas en el Mediterráneo Occidental o sobre África que principalmente aparecen en otoño produciendo precipitación de carácter intenso en el área del Mediterráneo. Además, DAUPHINÉ (1983) y KUTIEL *et al.* (1996) apuntaron que la circulación meridional resulta determinante sobre la precipitación sobre la cuenca mediterránea.

El propósito de este estudio es el análisis de las relaciones existentes entre circulación a gran escala y la precipitación otoñal en un conjunto de estaciones en el Mediterráneo Occidental. Para ello se utilizarán métodos estadísticos multivariantes que sean capaces de “extraer” información común entre diferentes campos identificando patrones que ocurren de forma simultánea. El trabajo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se exponen brevemente los datos utilizados y la metodología aplicada. Los resultados más relevantes se discuten en la sección 3 finalizando con la exposición de las conclusiones destacables de este estudio en la sección 4.

2. METODOLOGÍA Y BASES DE DATOS

Las interacciones existentes entre circulación a gran escala y precipitación en el Mediterráneo Occidental son investigadas mediante análisis de Descomposición en Valores Singulares (DVS). Este método multivariante es una técnica muy útil para analizar simultáneamente dos campos en el espacio y en el tiempo detectando de forma objetiva patrones de variabilidad acoplada entre dichos campos (BRETHERTON *et al.*, 1992). Este método estadístico puede ser entendido como una generalización del análisis de componentes principales (ACP) ya que consiste básicamente en la diagonalización de la matriz de covarianza entre dos variables obteniéndose pares de patrones que explican máxima covarianza cuadrada existente entre ambas. La matriz de covarianza se construye a partir de las anomalías de las variables respecto a sus valores medios y de la eliminación de las tendencias a largo plazo. Los autovectores resultantes de la diagonalización de esta matriz rectangular se denominan vectores singulares derechos e izquierdos, cada uno de ellos correspondiendo a cada una de las variables, y están ordenados con respecto al valor del autovalor correspondiente, de forma que el primer par de vectores da cuenta de la máxima cantidad de covarianza cuadrada total entre los campos (análogamente al significado de los autovectores en el ACP). Proyectando el

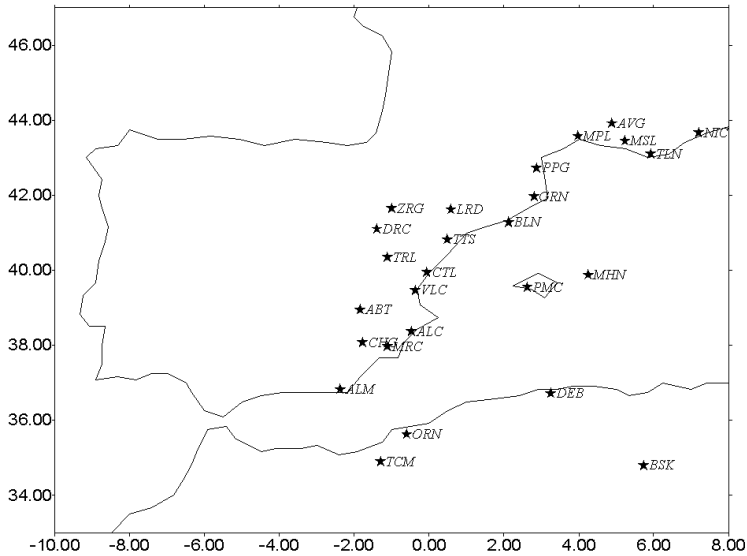


Figura 1: Distribución espacial de los observatorios SED en el Mediterráneo occidental.

campo original sobre el vector singular, se obtiene la serie temporal de coeficientes de expansión. La correlación existente entre los coeficientes de expansión de cada variable mide la intensidad de la relación entre el par de variables. Los patrones espaciales obtenidos de la *DVS* se escalan multiplicándolos por el correspondiente valor singular y dividiéndolos por la desviación estándar de sus correspondientes coeficientes de expansión representando correlaciones entre los coeficientes de expansión de un campo y los datos observacionales del otro campo.

Uno de los campos utilizados en el análisis *DVS* consiste en series de precipitación acumulada mensual en 26 observatorios distribuidos por la zona mediterránea occidental según se muestra en la figura 1. Los datos de precipitación se han obtenido de la base de datos Southwestern Europe Dataset (*SED*) de GONZÁLEZ-ROUCO *et al.* (2001). Por otro lado, los campos de geopotencial y las componentes zonal y meridional del viento en 300 hPa han sido obtenidos del National Centre for Atmospheric Research (*NCAR*). El dominio espacial abarca el Atlántico Norte, el mar Mediterráneo y Europa desde 20° a 85°N de latitud, y desde 100°W a 40°E de longitud. Los datos de viento y geopotencial son medias mensuales sobre una rejilla de 2.5° x 2.5° latitud-longitud. Todos los campos abarcan un periodo de 42 otoños (septiembre-octubre-noviembre) para el periodo 1948-1989. Para realizar los cálculos de *DVS*, los datos han sido modificados dividiéndolos por la raíz del coseno de la latitud del lugar para tener en cuenta la diferencia de distancia entre puntos de red. Posteriormente, se eliminaron las contribuciones de la tendencia a largo plazo y del ciclo estacional para detectar con mayor claridad la variabilidad intraestacional de los patrones obtenidos. Por último, se obtuvieron anomalías estandarizadas de todos los campos utilizados.

Tabla 1: Porcentaje de la fracción de covarianza cuadrada, *FCC*, para los cinco primeros modos resultantes del análisis *DVS* y correlación temporal, *r*, entre los coeficientes de expansión de los campos *GPT*, *CZU* y *CMV* y *PCP*.

K	GPT		CZU		CMV	
	FCC	r	FCC	r	FCC	r
1	52	0.64	53	0.67	55	0.64
2	21	0.60	25	0.67	21	0.69
3	11	0.51	7	0.45	12	0.54
4	3	0.45	3	0.51	4	0.49
5	2	0.44	3	0.49	3	0.45

3. COVARIABILIDAD ENTRE CIRCULACIÓN A GRAN ESCALA Y PRECIPITACIÓN

Los resultados de los análisis *DVS* entre los campos geopotencial, *GPT*, componente zonal del viento, *CZU*, y componente meridional del viento, *CMV*, con la precipitación en el mediterráneo occidental, *PCP*, se ilustran en la tabla 1. Dado que la “fuerza” del acoplamiento entre los dos campos está relacionada con la covarianza cuadrada explicada por cada modo, resulta evidente que los dos primeros modos singulares son los más significativos ya que el mayor porcentaje de covarianza está concentrado en ellos. Además se puede observar que los valores de correlación entre los coeficientes de expansión son más elevados también en los dos primeros modos.

3.1. Primer Modo de Covariabilidad

El primer modo presenta una fracción de covarianza superior al 50 % en los tres análisis *DVS* llevados a cabo. Los patrones espaciales obtenidos de la *DVS* entre el campo de geopotencial y la precipitación para el primer modo se muestra en la figura 2. El patrón de geopotencial (fig. 2a) está caracterizado por un dipolo de anomalías con orientación Norte- Sur, situándose el centro de anomalías positivas al suroeste de la Península Ibérica y el centro de anomalías negativas sobre la Península Escandinava y el Mar del Norte. La fase opuesta representa una situación de bloqueo alta sobre baja que da lugar a una configuración de “split flow” sobre estas regiones, es decir, una bifurcación de la corriente en chorro posicionándose una de las ramas alrededor de los 70°N y la otra sobre los 30°N de latitud. Una configuración de geopotencial como la mostrada en la fig. 2a produce intensificación de los vientos del oeste sobre las latitudes centrales del Atlántico Norte y gran parte de Europa, concretamente sobre en el Sur de Inglaterra y Norte de Francia, y debilitamiento de éstos sobre el norte de África. Esta situación queda claramente reflejada en el primer modo del análisis *DVS* de la componente zonal del viento y la precipitación (fig. 3a). La fase opuesta de este modo representa claramente la configuración “split flow” asociada a situaciones de bloqueo descrita anteriormente. Los patrones asociados a la precipitación (fig. 2b y 3b) muestran anomalías negativas en todo el dominio espacial observándose los valores más elevados de correlación en las estaciones del Sur de Francia. La fase negativa, caracterizada por anomalías positivas de precipitación en todo el área, estaría asociada a situaciones de bloqueo en el campo de geopotencial con intensificación del viento zonal sobre el Norte de Africa.

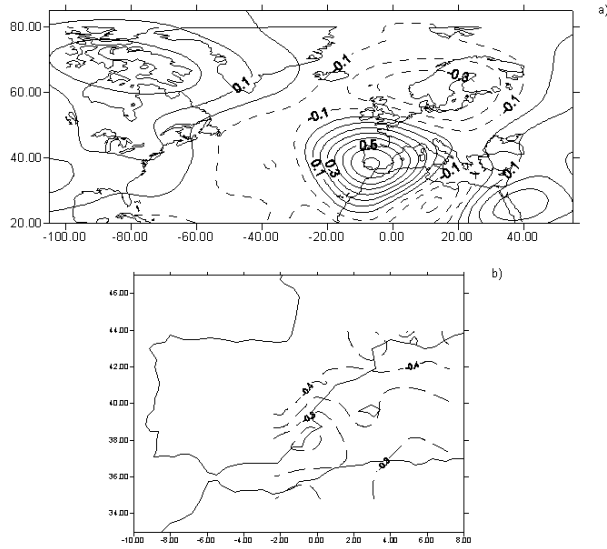


Figura 2: Patrones heterogéneos del primer modo del análisis DVS entre los campos (a) *GPT* y (b) *PCP*. Las isolíneas representan valores de correlación.

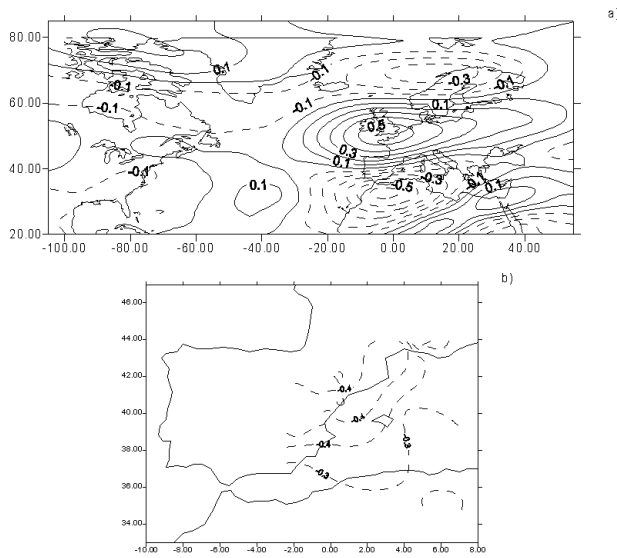


Figura 3: Patrones heterogéneos del primer modo del análisis DVS entre los campos (a) *CZU* y (b) *PCP*. Las isolíneas representan valores de correlación.

La figura 4a muestra nuevamente una configuración dipolar en el campo de viento meridional. El centro de anomalías positivas (vientos máximos del sur) se sitúa sobre el Atlántico Este, al Oeste de las Islas Azores, y el centro de anomalías negativas (viento máximo del Norte) está centrado en el Mediterráneo occidental, concretamente al Oeste de las Islas Baleares. Esta configuración de circulación meridional presenta una correspondencia coherente con el patrón de geopotencial descrito en la fig. 2a. Bajo la hipótesis de la existencia de una zona de anomalías positivas de geopotencial sobre la Península Ibérica, la circulación tendría una componente Sur sobre el Atlántico y una componente Norte sobre el Mediterráneo Occidental. El patrón de precipitación asociado (fig. 4b) presenta de nuevo anomalías negativas en toda el área. La fase opuesta de este modo conllevaría vientos de componente Sur sobre el Mediterráneo y anomalías positivas de precipitación en toda el área.

Las series temporales de los coeficientes de expansión del primer modo para los campos analizados se presentan en las figuras 5a, 5b y 5c. En cada figura se muestran los coeficientes de expansión de la variable que caracteriza circulación a gran escala (en línea continua) y los correspondientes asociados al patrón de precipitación (en línea punteada). La correlaciones temporales de los diferentes coeficientes de expansión de *GPT*, *CZU* y *CMV*, con los correspondientes de *PCP* son 0.64, 0.67 y 0.64, respectivamente. Se puede observar una ligera tendencia creciente en las series temporales a partir de la década de los 70. Los resultados del test de Mann-Kendall indican que esta tendencia resulta significativa a un nivel de confianza del 90 %. Una tendencia positiva supone que el patrón se presenta en su fase positiva con mayor intensidad. La fase negativa del patrón (valores negativos de los coeficientes de expansión) asociada a situaciones de bloqueo que favorecen la precipitación en la zona mediterránea, es menos frecuente e intensa desde dicha década. Se ha realizado un análisis espectral de las series de los coeficientes y los resultados obtenidos no indican ninguna periodicidad significativa.

3.2. Segundo Modo de Covariabilidad

El segundo modo presenta una fracción de covarianza superior al 20 % en los tres análisis *DVS*. Los patrones espaciales obtenidos del análisis entre el campo de geopotencial y la precipitación se muestran en la figura 6. Para el campo de geopotencial, este modo está caracterizado por un centro de anomalías negativas al Noroeste de la Península Ibérica y un centro de anomalías positivas sobre el Norte de Africa. En estas condiciones, se produce advección del Oeste sobre la Península Ibérica. Esto concuerda con el patrón espacial del segundo modo del viento zonal (fig. 7a), en el que puede observarse un máximo de anomalías positivas sobre la Península (alrededor de 40°N de latitud) y dos centros de anomalías negativas situados uno al Norte de las Islas Británicas y otro al Sur de la Cordillera del Atlas. Análogamente al primer modo, el patrón de viento meridional presenta un dipolo orientado Este-Oeste (fig. 8a) con el centro de anomalías positivas situado sobre la mitad occidental de la Península Ibérica y el de anomalías negativas sobre el Mediterráneo, al Sur de Italia. La zona de anomalías negativas de geopotencial al Noroeste de la Península Ibérica induce advección del Sur sobre la mitad occidental de la Península y del Norte sobre el Mediterráneo. Los patrones de precipitación asociados a los tres campos son similares mostrando anomalías positivas de precipitación sobre la Cuenca del Ebro, Cataluña y Sur de Francia y anomalías negativas en el resto del área (figs. 6b, 7b y 8b).

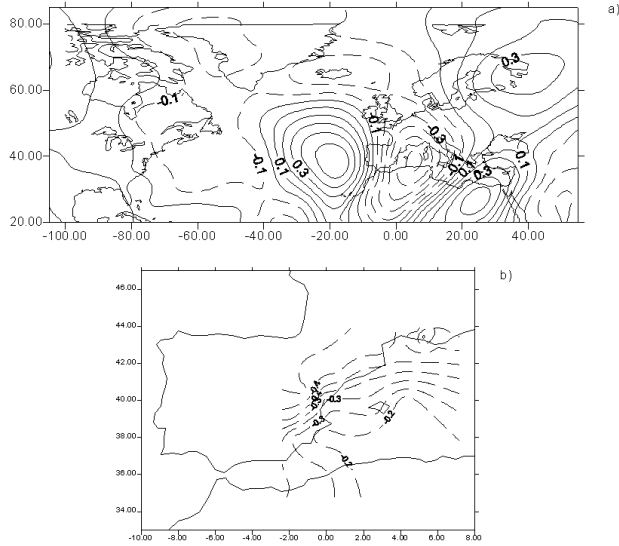


Figura 4: Patrones heterogéneos del primer modo del análisis *DVS* entre los campos (a) *CMV* y (b) *PCP*. Las isolíneas representan valores de correlación.

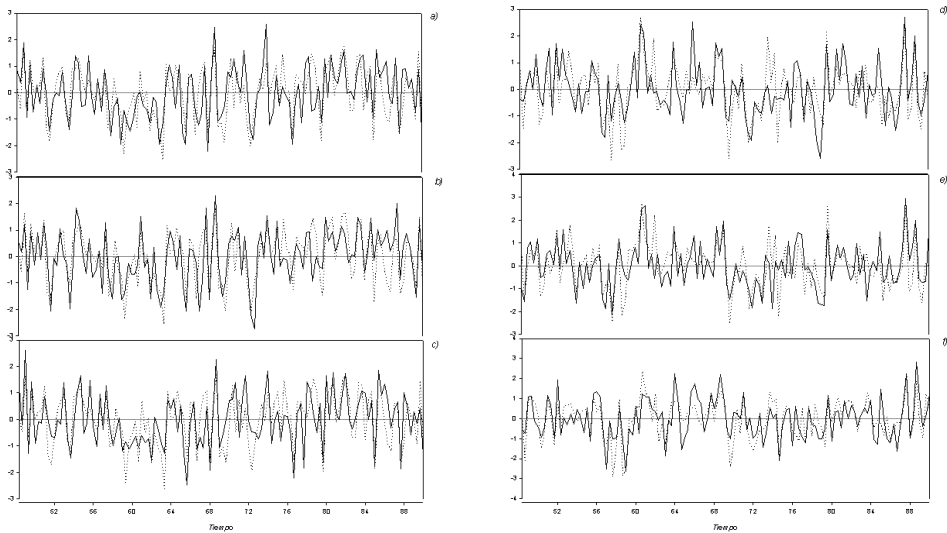


Figura 5: Coeficientes de expansión normalizados del análisis *DVS* para el primer modo entre los campos (a) *GPT*, (b) *CZU*, (c) *CMV* (línea continua) y *PCP* (línea punteada). Idem para el segundo modo en figuras (d), (e) y (f).

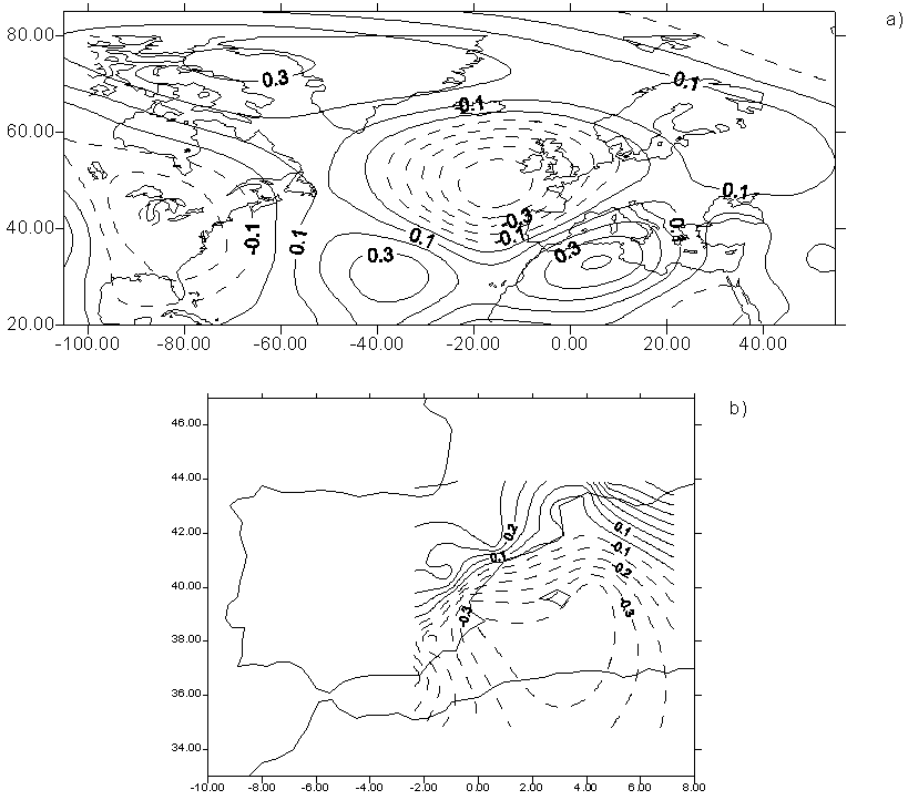


Figura 6: Idem a la fig. 2 excepto para el segundo modo.

La fase negativa de este modo está caracterizada por un centro de anomalías negativas de geopotencial sobre el Norte de Africa que llevaría asociado un máximo de viento zonal al Sur de la Cordillera del Atlas y advección meridional del Sur sobre el Mediterráneo. Esta situación es favorable para un aumento de precipitación en la costa levantina y el Norte de Africa, como indican los patrones de precipitación asociados a la fase negativa.

Las series temporales de los coeficientes de expansión del segundo modo se muestran en las figs. 5d, 5e y 5f. Las correlaciones temporales entre los coeficientes de expansión de *GPT*, *CZU* y *CMV*, y *PCP* son 0.60, 0.60 y 0.69, respectivamente. En estas series no se detecta ninguna tendencia significativa según los resultados del test de Mann-Kendall. Tampoco aparece ninguna periodicidad significativa en el análisis espectral de las series de los coeficientes. Las fluctuaciones temporales que presentan estas series se dan a escalas temporales mayores que las fluctuaciones de las series del primer modo. De hecho en el análisis espectral realizado se observa que en este segundo modo se concentra más varianza en frecuencias bajas que en el primero.

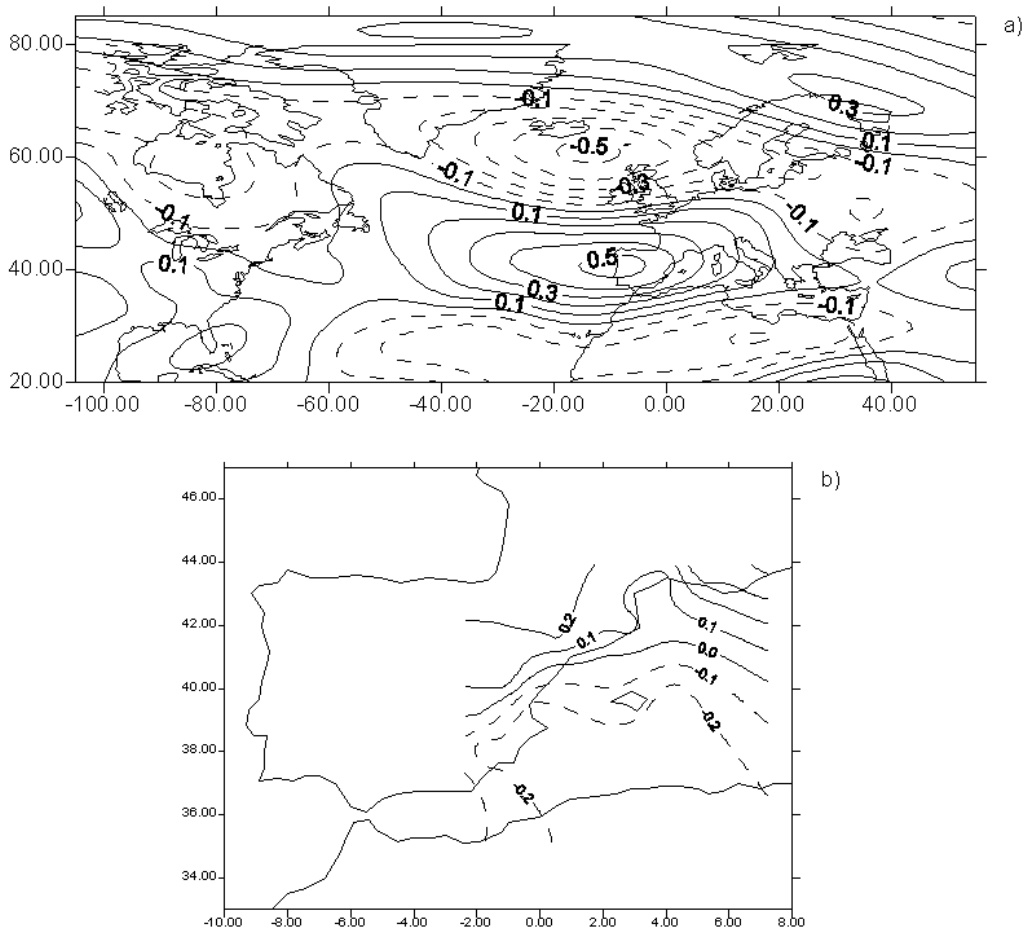


Figura 7: Idem a la fig. 3 excepto para el segundo modo.

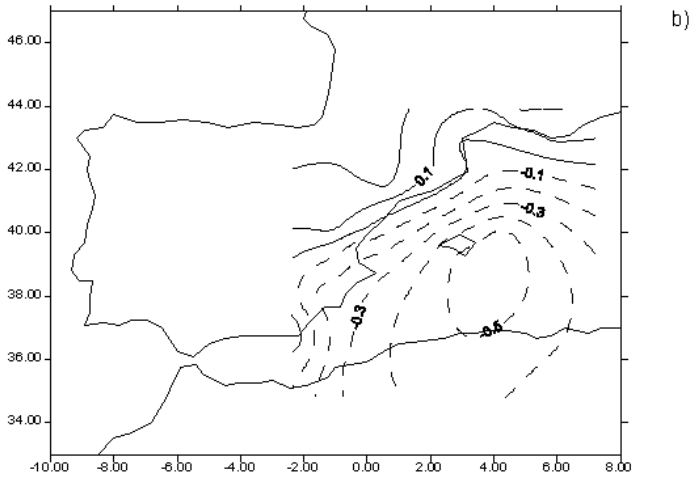
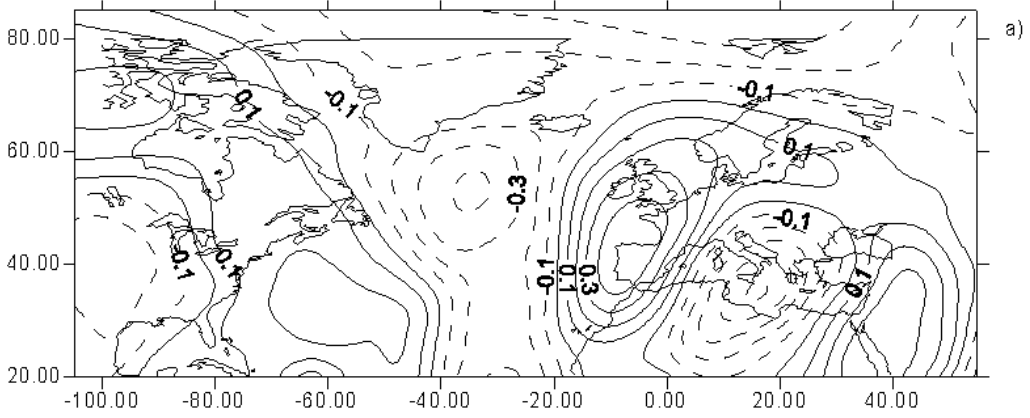


Figura 8: Idem a la fig. 4 excepto para el segundo modo.

4. CONCLUSIONES

El análisis de las interacciones circulación atmosférica-precipitación en Mediterráneo Occidental se ha llevado a cabo mediante un análisis *DVS* aplicado a diversos campos atmosféricos y la precipitación mensual acumulada en 26 observatorios de dicha zona durante 42 años. La aplicación de este método estadístico multivariante a los campos *GPT*, *CZU*, *CMV* y *PCP* ha dado como resultado dos modos significativos con un porcentaje de covarianza muy superior al de los modos restantes.

El primer modo mostraba una configuración de “split flow” sobre Europa Occidental. Esta situación induce intensificación de los vientos zonales sobre latitudes centrales y debilitamiento de los mismos sobre el Norte de Africa. Del análisis de los coeficientes de expansión de este modo es destacable el descenso tanto en frecuencia como en intensidad de las situaciones de bloqueo que favorecen la precipitación en la zona en estudio.

Aunque no desarrollado en el epígrafe anterior de resultados, se ha estimado la proporción de varianza de los campos individuales explicada por cada uno de los modos *DVS*. Es destacable que el primer modo conlleva el 40 % aproximadamente de la varianza inherente al campo de precipitación.

El segundo modo de covariabilidad presenta una covarianza superior al 20 % en los análisis *DVS* correspondientes a los tres campos atmosféricos y a la *PCP*. En cada uno de estos patrones atmosféricos destacan los centros de anomalías que inducen un comportamiento dipolar Norte-Sur en el campo de la precipitación. La varianza individual del campo de la precipitación explicada por este segundo modo es aproximadamente del 14 %. Este valor junto con el obtenido para el primer modo indican que más del 50 % de la variabilidad del campo de la precipitación en el Mediterráneo Occidental está vinculada a la circulación atmosférica a gran escala.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al *NOAA-CIRES* Climate Diagnostics Center, Boulder, Colorado, USA (<http://www.cdc.noaa.gov/>) los datos de reanálisis *NCEP* de geopotencial y componentes del viento y al Dr. F. González-Rouco por los datos de precipitación *SED*. Este trabajo está subvencionado en parte por el proyecto de investigación REN2000- 0786/CLI.

6. REFERENCIAS

- BRETHERTON, C.S., SMITH, C. y WALLACE, J.M. (1992): An intercomparison of methods for finding coupled patterns in climate data. *J. Climate*, 5, pp. 541-560.
- DAUPHINÉ, A. (1983): Les corrélations pluviométriques en Méditerranée. *La Météorologie*, 34, pp. 245-263.
- GONZÁLEZ-ROUCO, J.F. (1997): *Modelo de predicción de la precipitación peninsular en climas perturbados*. Tesis Doctoral. UCM. 237 pp.

GONZÁLEZ-ROUCO, J.F., HEYEN, H., ZORITA, E. y VALERO F. (2000): Agreement between observed rainfall trends and climate change simulations in the Southwest of Europe. *J. Climate*, 13, pp. 3057-3065.

GONZÁLEZ-ROUCO, J.F., JIMÉNEZ, J.L., QUESADA, V. y VALERO, F. (2001): Quality control of monthly precipitation data in the Southwest of Europe . *J. Climate*, 14, pp. 964-978.

IPCC (1996): Contribution of working group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, Cambridge University Press.

KUTIEL, H., MAHERAS, P. y GUIKA, S. (1996): Circulation indices over the Mediterranean and Europe and their relationship with rainfall conditions across the Mediterranean. *Theoretical and Applied Climatology*, 54, pp. 125-138.

LUNA, M.Y., MARTÍN, M.L., VALERO, F. y GONZÁLEZ-ROUCO, F. (2001): Wintertime Iberian Peninsula precipitation variability and its relation to North Atlantic atmospheric circulation. *Detecting and Modelling Regional Climate Change*. Eds. Manola Brunet India and Diego López Bonillo. Springer-Verlag. pp. 369-376.

MAHERAS, P., XOPLAKI, E. y KUTIEL, H. (1999): Wet and dry monthly anomalies across the Mediterranean Basin and their relationship with circulation, 1860-1990. *Theoretical and Applied Climatology*, 64, pp. 189-199.

ROPELEWSKI, C.F. y HALPERT, M.S. (1989): Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation. *J. Climate*, 2, pp. 268-284.

STORCH, H., ZORITA, E. y CUBASCH, U. (1993): Downscaling of global climate change estimates to regional scales: An application to Iberian Rainfall in wintertime. *J. Climate*, 6, pp. 1161-1171.

TING, M. y WANG, H. (1997): Summertime U.S. precipitation variability and its relation to Pacific sea surface temperature. *J. Climate*, 10, pp. 1853-1873.