

Influencia de la SST atlántica sobre las precipitaciones de la Península Ibérica

S. R. GÁMIZ-FORTIS¹, D. POZO-VÁZQUEZ², M. J. ESTEBAN-PARRA¹ y Y. CASTRO-DÍEZ¹

¹ Universidad de Granada; Departamento de Física Aplicada
srgamiz@ugr.es

² Universidad de Jaén; Departamento de Física
dpozo@ujaen.es

RESUMEN

En este trabajo se estudia la influencia que ejercen las temperaturas de la superficie del mar (SST) de la región del Océano Atlántico sobre las precipitaciones en la Península Ibérica. Para ello se ha realizado primero un estudio independiente de cada una de las variables (SST atlántica y precipitaciones de la Península). Se trata de datos mensuales que abarcan el periodo 1871-2001 para la SST y 1900-2001 para el caso de la precipitación. Mediante el Análisis Singular Espectral Multi-canal (M-SSA) se ha analizado la estructura espacio-temporal de la variabilidad de ambos conjuntos de datos, en escalas interanual y decadal, encontrándose la existencia de varios modos oscilatorios comunes a la SST y a la precipitación, con periodos cercanos a los 13.7, 8.5, 5.5, 3.6 y 2.7 años. Adicionalmente, la detección de los retrasos encontrados entre estos modos de variabilidad confiere una capacidad predictiva de la SST atlántica sobre las precipitaciones de la Península Ibérica.

Palabras clave: M-SSA, SST atlántica, precipitación de la Península Ibérica, modos oscilatorios comunes, variabilidad espacio-temporal.

Influence of the atlantic SST on the Iberian Peninsula precipitation

ABSTRACT

In this work we have studied the influence of the sea surface temperature (SST) of the Atlantic Ocean on the Iberian Peninsula precipitation. To this end, we have firstly carried out an independent study of both variables (Atlantic SST and Iberian precipitation). Monthly data sets, covering the period 1871-2001 for the SST and 1900-2001 for the case of the precipitation, have been used. Secondly, the Multi-channel Singular Spectral Analysis (M-SSA) was used to analyze the spatio-temporal structure of the variability, on interannual and interdecadal scales, of both data sets. Based on this study, we found some common oscillatory modes in the SST and the precipitation, having periods of around 13.7, 8.5, 5.5, 3.6 and 2.7 years. Additionally, we found the existence of lags between these oscillatory modes, which provide a potential source of predictability of the Iberian Peninsula precipitation based on the SST of the Atlantic Ocean.

Keywords: M-SSA, atlantic SST, Iberian Peninsula precipitation, common oscillatory modes, spatio-temporal variability.

SUMARIO: 1. Introducción. 2. Datos. 3. Metodología. 4. Resultados. 5. Resumen y conclusiones. 6. Referencias bibliográficas.

1. INTRODUCCIÓN

El océano es el componente del sistema climático modulador de la variabilidad climática en escalas decadales. Por ello, el estudio de la interacción entre el océano y

la atmósfera resulta fundamental para entender los procesos dinámicos que gobiernan el clima y su variabilidad.

En este trabajo se pretende estudiar la influencia que ejercen las temperaturas de la superficie del mar (SST) sobre las precipitaciones en la Península Ibérica (PI). Para ello se ha realizado un estudio de la variabilidad espacial, tanto de la SST atlántica como de las precipitaciones de la PI, mediante un Análisis de Componentes Principales (PCA) independiente, obteniendo los patrones espaciales y sus series S-PCs asociadas. Posteriormente, se estudia la variabilidad temporal conjunta de los datos de precipitación y SST mediante la aplicación del Análisis Singular Espectral Multi-canal (M-SSA) a estas series S-PCs. Para cada uno de los modos encontrados se analiza su evolución espacio-temporal a través de los mapas de promedios asociados a las distintas fases de la oscilación.

Para completar este análisis, y con el fin de verificar la fiabilidad de los modos encontrados, se ha llevado a cabo un estudio de la significación estadística mediante el análisis Monte-Carlo (MC-SSA) del conjunto de series S-PCs encontradas en la primera parte del estudio.

2. DATOS

Para el estudio de la SST se ha empleado el conjunto de datos denominado HADISST1.1 (Rayner et al. 2000, 2001), que abarca datos mensuales desde 1871 a 2001, proporcionados por el Hadley Centre for Climate Prediction and Research. El área de estudio se ha centrado en la región del Atlántico. Comprende entre los 80°N-40°S y 80°O-30°E, y se ha utilizado una resolución espacial de 2° de latitud por 2° de longitud. Para la normalización de los datos se ha tomado como periodo de referencia el total, 1871-2001.

Para la precipitación se ha elaborado una base de datos configurada en una rejilla de 2° de latitud por 2° de longitud, que cubre la mayor parte de la PI y las Islas Baleares y que abarca el periodo desde enero de 1900 a agosto de 2001. Para ello se han utilizado series de precipitaciones mensuales correspondientes a distintas localizaciones de España y Portugal, suministradas por el Instituto Nacional de Meteorología (INM) y por la Climatic Research Unit (CRU) (Hulme 1992).

El estudio realizado en este trabajo está centrado en la investigación de la variabilidad interanual, y no intraanual, por lo que todos los datos han sido sometidos a un filtro paso-baja, reteniéndose únicamente la variabilidad inferior a la frecuencia de 0.08 ciclos/mes (periodos mayores de 1 año). Para ello se han utilizado filtros LTI FIR basados en la ventana de Kaiser (Zelniker y Taylor 1994) de orden 24, perdiéndose un total de 48 meses, dos años al principio y dos al final del registro para cada serie.

3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada es el Análisis Singular Espectral Multi-canal (M-SSA) cuyo objetivo fundamental es la identificación de patrones espacio-temporales. El

análisis M-SSA permite la identificación sistemática de patrones oscilatorios en términos de su comportamiento espacial y temporal, dentro de un amplio rango de escalas temporales.

Consideremos el análisis de un conjunto de datos que consiste en una serie temporal multicanal \mathbf{X}_t , $1 \leq t \leq N$, $1 \leq l \leq L$, con t representando el tiempo y l el número del canal. El índice l podría, por ejemplo, representar un punto en una rejilla específica. En el M-SSA usualmente se elige $L \leq M$, siendo M el número de retardos a considerar (comúnmente denominado *longitud de la ventana*), de forma que a menudo el análisis M-SSA se aplica a unas cuantas componentes PCs directoras de los datos espaciales. Este procedimiento requiere la construcción de una gran matriz para las covarianzas, cuya posterior diagonalización dará lugar a la determinación de pares de autovalores indicativos de modos oscilatorios existentes en el conjunto de datos original. El análisis de promedios para las distintas fases de las oscilaciones encontradas permitirá estudiar el comportamiento espacio-temporal de dichas oscilaciones. Para una información más detallada acerca de esta metodología véase Vautard et al. (1992), Broomhead y King (1986a, b), Plaut y Vautard (1994), Allen y Robertson (1996) o Gámiz-Fortis et al. (2002).

4. RESULTADOS

4.1. VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA SST ATLÁNTICA

En el estudio de la variabilidad espacial de la SST en el sector atlántico mediante PCA, se han encontrado un total de cinco EOFs espaciales (S-EOFs) significativas a las que les fue aplicada la rotación Varimax. Las cinco S-REOFs dan cuenta del 54.8% de la varianza. La Fig. 1 muestra los patrones espaciales mediante el dibujo de los factores de carga multiplicados por diez.

Los dos primeros modos poseen varianzas muy similares (16.1% para el primero y 15.1% para el segundo). La Fig. 1a muestra la primera S-REOF, que es especialmente representativa de la variabilidad de las temperaturas oceánicas en el Atlántico sur tropical. Los mayores factores de carga son positivos, y se encuentran entre el Ecuador y los 30°S. La serie S-PC asociada (no mostrada) presenta una considerable variabilidad interanual e interdecadal y algunos periodos con tendencias.

La segunda S-REOF, Fig. 1b, muestra un patrón tripolar en el Atlántico norte, con factores de carga positivos en la región subpolar y en la comprendida entre el Ecuador y los 30°N, y un centro negativo en torno a los 35°N. Este patrón coincide con el descrito en Czaja y Frankignoul (2002).

La tercera S-REOF (8.8%), Fig. 1c, presenta un patrón tripolar similar aunque con factores de carga opuestos al tripolo anterior y diferente intensidad en los centros de acción. Se encuentran factores de carga positivos en el Mar del Norte y en torno a los 30°N, mientras que aparecen correlaciones negativas al sur de Groelandia y en torno a los 10°N.

La cuarta S-REOF (8.4%), Fig. 1d, representa, en mayor medida, la variabilidad asociada a la zona del Atlántico suroccidental. La pendiente para la serie S-PC

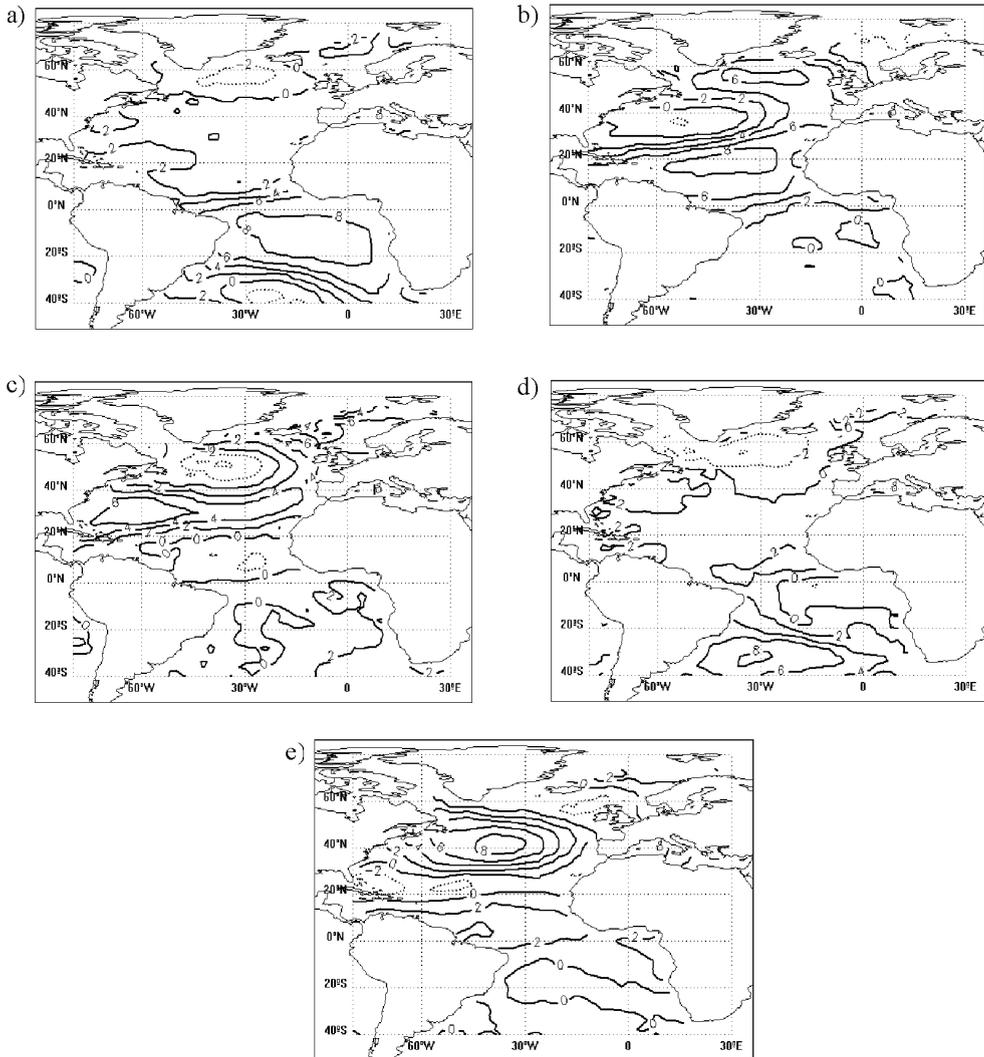


Figura 1. Factores de carga (por diez) para la primera a), segunda b), tercera c) cuarta d) y quinta e) S-REOF resultantes del análisis de las temperaturas mensuales de la superficie del mar en el Atlántico durante el periodo 1871-2001. La línea continua indica correlación positiva o cero y la línea discontinua indica correlación negativa.

correspondiente (no mostrada) es marcadamente creciente desde los años 60 hasta mediados de los 80.

Por último, la quinta S-REOF (6.5%), Fig. 1e, presenta factores de carga altos en la región del Atlántico norte central. Su S-PC muestra una fuerte tendencia creciente desde mediados de los años 80 hasta el final del registro.

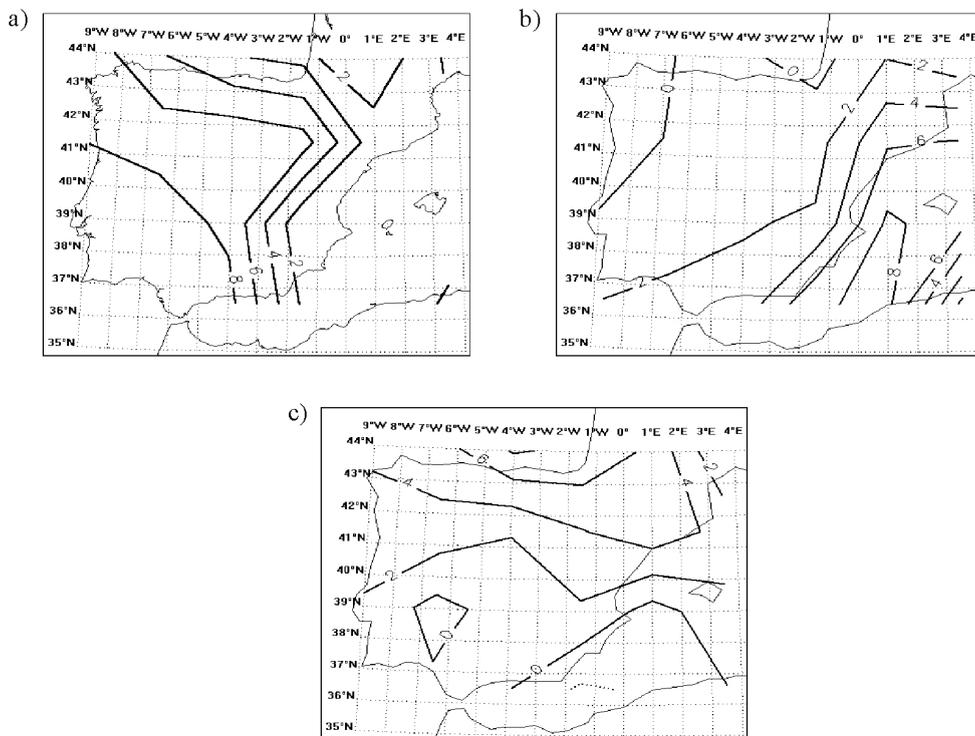


Figura 2. Factores de carga (por diez) para la primera a), segunda b) y tercera c) S-REOFs resultantes del análisis de las precipitaciones mensuales durante el periodo 1900-2001. La línea continua indica correlación positiva o cero y la línea discontinua indica correlación negativa.

4.2. VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

Al igual que en el apartado anterior se ha aplicado el método de las Componentes Principales a los datos mensuales de precipitación de la PI. Los resultados obtenidos están de acuerdo con los encontrados en estudios similares (Esteban-Parra et al. 1998), y muestran la existencia de tres modos significativos en la Península que dan cuenta del 61% de la varianza total de los datos. En la Fig. 2 están representados los patrones espaciales correspondientes a las S-EOFs rotadas mediante el dibujo de las isolíneas de los factores de carga.

El primer modo, Fig. 2a, explica el 32% de la varianza total de los datos y presenta factores de carga altos sobre toda la PI, si bien es principalmente representativo de la parte centro y suroccidental de la misma (zona centro-suroccidental de ahora en adelante).

El segundo modo de variabilidad, Fig. 2b, explica el 15% de la varianza y es representativo de la zona sudeste de la PI, fundamentalmente de las regiones de Valencia, Murcia y este de Andalucía (zona levante de ahora en adelante).

El tercer modo de variabilidad, Fig. 2c, explica el 14% de la varianza y representa la variabilidad del norte de la Península Ibérica, fundamentalmente de la cornisa cantábrica (zona cantábrica de ahora en adelante). En cualquier caso, debe notarse que el primer modo también representa de forma importante la variabilidad de esta zona. El SSA monocal canal muestra para esta región una pendiente creciente desde 1905 a 1920 aproximadamente.

4.3. PARES OSCILATORIOS COMUNES SST-PRECIPITACIÓN PI

Los modos de variabilidad descritos en los apartados anteriores, tanto para la SST atlántica, como para la precipitación de la PI (S-PCs), una vez eliminadas las respectivas tendencias, son ahora las variables de entrada como canales en el análisis M-SSA. El hecho de eliminar las tendencias cuando se trabaja con variables de distinta naturaleza física es necesario para que los modos oscilatorios no queden enmascarados, en gran parte, por ella. Se tienen, pues, un total de ocho canales ($L=8$), los 5 primeros correspondientes a las 5 S-PCs obtenidas a partir del análisis PCA de la SST y los 3 últimos correspondientes al análisis PCA de la precipitación de la PI. El análisis ha sido limitado a automodos de varianza elevada cuyo orden no exceda de 20 y a periodos mayores de un año. Las longitudes de ventana utilizadas han sido 240, 293 y 340 meses. Para cada una de ellas se identifican de una a cinco oscilaciones, con frecuencias asociadas cerca de 0.0061, 0.0098, 0.015, 0.023 y 0.031 meses (periodos de 13.7, 8.5, 5.5, 3.6 y 2.7 años respectivamente). Estas oscilaciones se observan de forma más clara para la ventana de 340 meses (28 años) que para el resto, por lo que se ha seleccionado este tamaño para el estudio posterior. En las siguientes secciones estos modos oscilatorios son analizados según su importancia, indicada por el orden del par de autovalores que los representan.

4.3.1. OSCILACIÓN INTERDECADAL

La oscilación con periodo aproximado 13.7 años ha sido denominada oscilación interdecadal. Para ella, los canales con amplitud máxima son $L=1, 2$ y 3 , para el caso de la SST. Para la precipitación, cabe destacar el hecho de que esta oscilación no aparece en el canal 8, por lo que este modo queda confinado a la zona centro-suroccidental y a la zona levante de la PI.

En la Fig. 3 se muestra la evolución espacio-temporal de esta oscilación, para los datos de SST, a lo largo de ocho mapas, representando las fases (de la 1 a la 8) el ciclo de vida de dicha oscilación. Se puede observar la existencia de un patrón con varios centros de acción: uno al sur de Groelandia, en fase con la zona del Atlántico norte tropical, y a su vez en oposición de fase con la región próxima a la costa este de Florida y el Atlántico norte oriental en las latitudes altas. A su vez, el Atlántico sur presenta otros dos centros de acción variando en oposición de fase, uno en la región tropical y otro en el Atlántico sur occidental. Se observa también una propagación hacia el noreste del patrón de la región del Atlántico norte, como viene indicada por el aparente cambio de fase ocurrido entre las fases 4 y 5 de la Fig. 3.

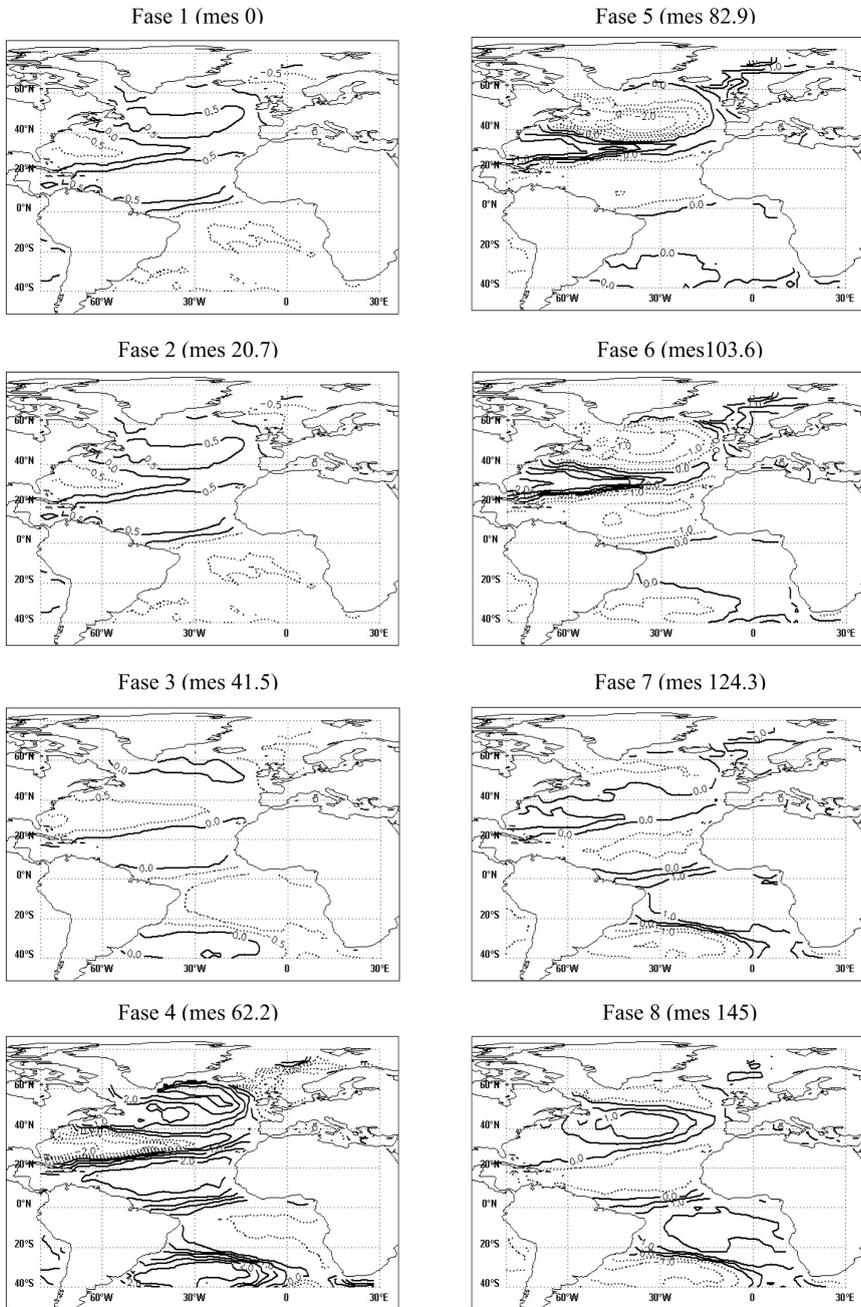


Figura 3. Evolución espacio temporal (de arriba abajo y de izquierda a derecha) de la oscilación de periodo 13.7 años de las anomalías de la SST. Se representa el ciclo completo. Hay una diferencia de 20.7 meses entre cada mapa de fases. Los valores indicados son anomalías de temperatura en $^{\circ}\text{C}$ multiplicados por 10, a intervalos de 0.05 $^{\circ}\text{C}$. Las anomalías negativas se indican con línea punteada.

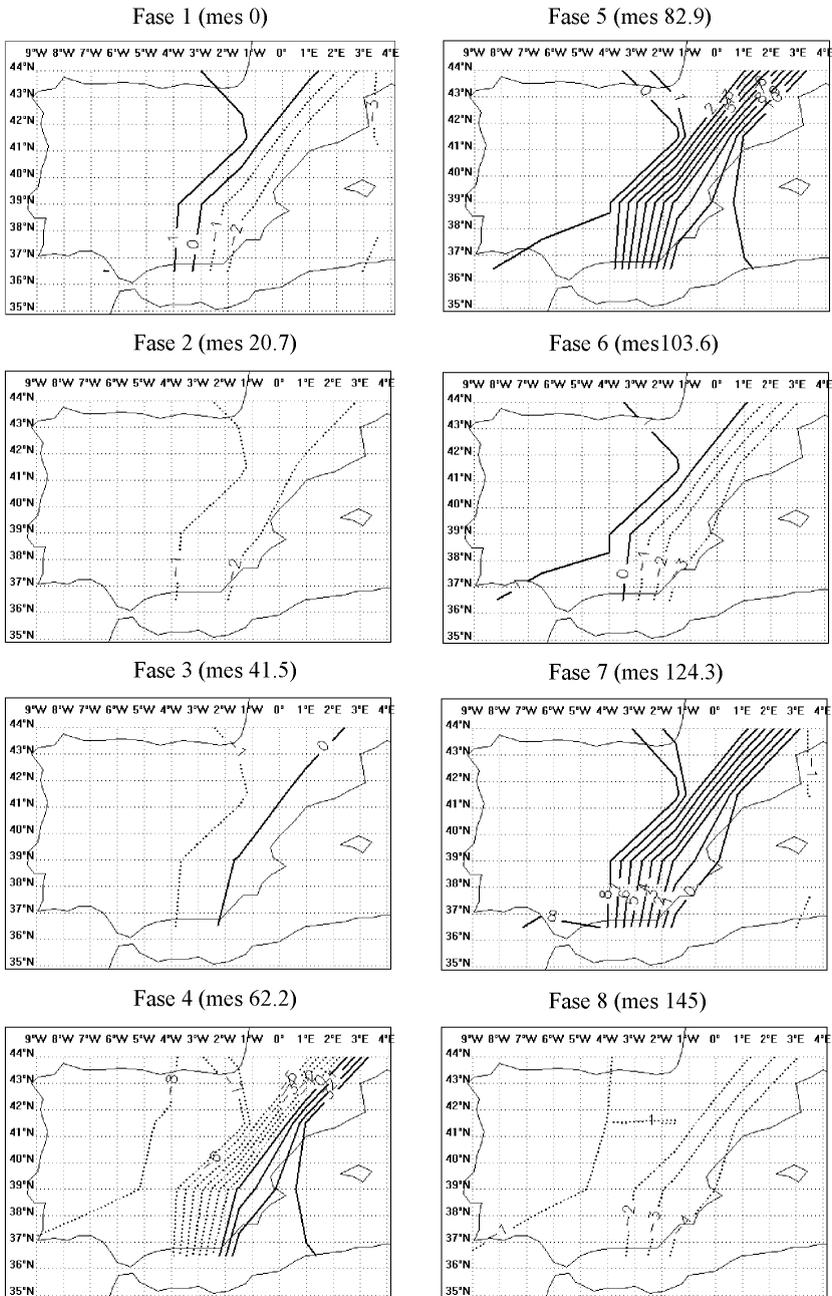


Figura 4. Evolución espacio temporal (de arriba abajo y de izquierda a derecha) de la oscilación de periodo 13.7 años de las anomalías de la precipitación de la Península Ibérica. Se representa el ciclo completo. Hay una diferencia de 20.7 meses entre cada mapa de fases. Los valores indicados son anomalías de precipitación en mm, a intervalos de 1 mm. Las anomalías negativas se indican con línea punteada.

Los mapas de fases de esta oscilación para la precipitación se muestran en la Fig. 4. Se observa un patrón bipolar, que diferencia perfectamente la zona levante de la zona centro-suroccidental de la PI. Existe un desfase aproximado de 41 meses (dos mapas de fases) entre la aparición de anomalías máximas en la zona levante y en el centro-suroccidental peninsular.

La región del Atlántico norte es la que mayor influencia presenta en la precipitación de la PI. Los mapas de fases revelan que 20.5 meses después de una situación de tripolo positivo (anomalías de temperatura extremas positivas en el Atlántico norte tropical y al sur de Groelandia, y negativas en torno a los 30°N) cabe esperar la aparición de anomalías positivas de precipitación en la zona del levante español (Fig. 3, fase 4 y Fig. 4, fase 5). Para el caso de la región centro-suroccidental de la PI, la situación de anomalías extremas de SST en el tripolo (Fig. 3, fase 6), está relacionada con la aparición 123 meses más tarde (entre seis y siete mapas de fases) de anomalías de precipitación negativas en la zona centro-suroccidental de la PI (Fig. 4, fase 4).

4.3.2. OSCILACIÓN DE PERÍODO 3.6 AÑOS

Esta oscilación está presente en la variabilidad de la precipitación en toda la PI, aunque los valores de las anomalías de precipitación son inferiores a los encontrados para el modo oscilatorio de 13.7 años.

Los datos de SST muestran una evolución casi en fase que involucra el Atlántico ecuatorial y las latitudes altas del Atlántico norte y sur, en oposición de fase con la evolución casi simultánea de las dos áreas que comprenden las latitudes medias.

En lo que se refiere al retraso entre SST y precipitación, el desfase producido entre los canales correspondientes al tripolo del Atlántico norte y a la región del levante español es de 37.8 meses. Para el caso de la precipitación en la cornisa cantábrica el retraso es de 43.2 meses.

4.3.3. OSCILACIÓN DE PERÍODO 5.5 AÑOS

En este caso, la SST presenta cinco centros de acción diferentes: la zona tripolo, el Atlántico norte oriental en las latitudes altas y el Atlántico sur tropical.

En cuanto a la precipitación de la PI, de nuevo se trata de una oscilación en la que participa toda la Península, pero sobre todo la región de la cornisa cantábrica y la zona centro-suroccidental.

Para esta oscilación, la precipitación del centro-suroccidental de la PI se encuentra retrasada 49.5 meses respecto a la SST del tripolo.

4.3.4. OSCILACIÓN CUASI-DECADAL

La oscilación cuasi-decadal posee un periodo aproximado de 8.5 años. Su característica fundamental es que sólo aparece a partir de la década de los 60 y para

determinadas regiones. Los canales que participan de esta oscilación son la zona correspondiente al tripolo del Atlántico norte (L=2) y el Atlántico norte central (L=5), para la SST, y la región centro-suroccidental (L=6) y el levante de la PI para la precipitación (L=7).

En cuanto a los desfases producidos, existe un retraso de 25.5 meses para las anomalías de la precipitación en el levante español con respecto a las anomalías de SST en la región del tripolo. Sin embargo, no se observa retraso alguno entre esta SST y la precipitación de la zona centro-suroccidental, por lo que no se puede argumentar nada acerca de la capacidad predictiva de la SST sobre esta zona de la PI.

4.3.5. OSCILACIÓN CUASI-BIENAL

Esta oscilación se caracteriza por poseer un periodo aproximado de 2.7 años. Para este modo oscilatorio se encuentra una capacidad predictiva de la SST de la zona del tripolo del Atlántico norte de 8 meses respecto a la precipitación de la zona del levante de la PI, y de 4 meses respecto a la precipitación de la cornisa cantábrica.

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

En este trabajo se ha llevado a cabo un estudio de la variabilidad espacio-temporal común de las precipitaciones de la Península Ibérica (PI) y la SST de la región del Atlántico a través de la técnica M-SSA. Se trata de datos mensuales de SST y precipitación que se encuentran distribuidos sobre una rejilla de 2° de latitud por 2° de longitud. Dado que para la precipitación sólo se dispone de datos desde enero de 1900 a agosto de 2001, la aplicación del filtro paso baja a ambos conjuntos de datos restringió el estudio de los modos oscilatorios comunes al periodo 1902-1999.

En lo que se refiere al estudio de la variabilidad espacial de la SST atlántica, se han encontrado distintas regiones con un comportamiento bien diferenciado: el Atlántico sur tropical, el patrón tripolar en el Atlántico norte (que comprende la región subpolar, la comprendida entre el Ecuador y los 30°N, y un centro de signo opuesto en torno a los 35°N), el Atlántico suroccidental y el Atlántico norte central.

En cuanto a la variabilidad espacial de las precipitaciones de la PI, se encuentran tres modos representativos, con una regionalización que corresponde a la zona centro-suroccidental (el modo más importante), a la región del levante peninsular y a la cornisa cantábrica. El SSA monocanal no muestra, de forma general, tendencias sostenidas en el tiempo. Únicamente, para la zona cantábrica se tiene una pendiente creciente desde 1905 a 1920 aproximadamente.

El análisis M-SSA de los datos conjuntos de la SST del Atlántico y precipitación de la PI muestra la existencia de varios modos oscilatorios comunes con periodos cercanos a 13.7, 8.5, 5.5, 3.6 y 2.7 años. Además, todas estas oscilaciones resultan significativas en la mayoría de los canales.

Nuestros resultados están de acuerdo con los de otros autores como los obtenidos por Moron et al. (1998), quienes destacan como significativa la existencia, en la SST del Atlántico, de una oscilación interdecadal con periodo entre 13 y 15 años, otra cuasi-decadal con un periodo comprendido entre 7 y 8 años y oscilaciones cuasi-bienales. Tourre et al. (1998), también en un análisis de la SST del Atlántico, identifican bandas muy similares a las encontradas en este estudio, asociando el modo de 3.6 años al fenómeno global del ENSO. Adicionalmente, los retrasos encontrados entre estos modos de variabilidad sugieren, de acuerdo con otros estudios (Rodríguez-Fonseca and Castro, 2002), la posibilidad de predecir la aparición de valores anómalos de precipitación en la PI.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, M. R. & A. W. ROBERTSON (1996). Distinguishing modulated oscillations from coloured noise in multivariate datasets. *Climate Dyn.*, 12, 775-784.
- BROOMHEAD, D. S. & G. P. KING (1986a). Extracting qualitative dynamics from experimental data. *Physica D*, 20, 217-236.
- BROOMHEAD, D. S. & G. P. KING (1986b). On the qualitative analysis of experimental dynamical systems, in Sarker S. (ed), *Nonlinear Phenomena and Chaos*, Adam Hilger, Bristol, 113-144.
- CZAJA, A. & C. FRANKIGNOUL (2002). Observed impact of Atlantic SST anomalies on the North Atlantic Oscillation. *J. Climate*, 15, 606-623.
- ESTEBAN-PARRA, M. J.; F. S. RODRIGO & Y. CASTRO-DÍEZ (1998). Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880-1992. *Int. J. Climatol.*, 18, 1557-1574.
- GÁMIZ-FORTIS, S. R.; D. POZO-VÁZQUEZ, M. J. ESTEBAN-PARRA & Y. CASTRO-DÍEZ (2002). Spectral characteristics and predictability of the NAO assessed through Singular Spectral Analysis. *J. Geophys. Res.*, 107 (D23), 4685, doi: 10.1029/2001JD001436.
- HULME, M.A. (1992). 1951-80 global land precipitation climatology for the evaluation of General Circulation Models. *Climate Dyn.*, 7, 57-72.
- MORON, V.; R. VAUTARD & M. GHIL (1998). Trends, interdecadal and interannual oscillations in global sea-surface temperatures. *Climate Dyn.*, 14, 545-569.
- PLAUT, G. & R. VAUTARD (1994). Spells of Low-Frequency Oscillations and Weather Regimes in the Northern Hemisphere. *J. Atmos. Sci.*, 51(2), 210-236.
- RAYNER, N.; A. D., E. PARKER, P. FRICH, E. B. HORTON, C. K. FOLLAND & L.V. ALEXANDER (2000). The HadISST Global Sea-Ice and Sea-Surface Temperature Dataset, 1871-1999. *Hadley Centre Technical Note*, 17.
- RAYNER, P. J.; W. KNORR, M. SCHOLZE, R. GIERING, T. KAMINSKI, M. HEIMANN & C. LEQUÉRE (2001). Inferring terrestrial biosphere carbon fluxes from combined inversions 34 of atmospheric transport and process-based terrestrial ecosystem models. *Sixth 35 International CO2 Conference*, Sendai, Japan, MB17, 36.
- RODRIGUEZ-FONSECA, B. & M. DE CASTRO (2002). On the connection between winter anomalous precipitation in the Iberian Peninsula and North West Africa and the summer subtropical Atlantic sea surface temperature. *Geophys. Res. Lett.*, 29 (18), 1863, doi: 10.1029/2001GL014421.

- TOURRE, Y. M.; B. RAJAGOPALAN & Y. KUSHNIR (1998). Dominant Patterns of Climate Variability in the Atlantic Ocean Region During the Last 136 Years. *J. Climate*, 12, 2285-2299.
- VAUTARD, R.; P. YIOU & M. GHIL (1992). Singular spectrum analysis: a toolkit for short, noisy chaotic signal. *Physica*, D58, 95-126.
- ZELNIKER, G. & F. J. TAYLOR (1994). *Advanced Digital Signal Processing*. Marcel Dekker, ISBN 0-8247-9145-2.