

ESTUDIO SOBRE LA RELACIÓN ENTRE PRECIPITACIONES MENSUALES EN EL LEVANTE ESPAÑOL Y TEMPERATURAS DE LA SUPERFICIE DEL MAR EN EL MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL

Javier BARBERO FRANCISCO; David MUÑOZ DÍAZ y Fernando S. RODRIGO
Departamento de Física Aplicada, Universidad de Almería

RESUMEN

En este trabajo se realiza una primera aproximación al estudio de la asociación entre la temperatura de la superficie del mar (SST) del Mediterráneo Occidental y las precipitaciones mensuales en la vertiente mediterránea de la Península Ibérica para el periodo 1950-2000. Los resultados indican débiles correlaciones entre ambas variables, y escasa capacidad predictiva de la SST, tan sólo limitada a los meses de agosto, septiembre y noviembre, sugiriendo que la escala mensual es inapropiada para analizar la dependencia entre ellas.

Palabras clave: Precipitaciones, temperatura de la superficie del mar (SST), Mar Mediterráneo.

ABSTRACT

A first approach to study the association between sea surface temperature (SST) in western Mediterranean Sea and monthly rainfall in Mediterranean area of the Iberian Peninsula during the period 1950-2000 is made. Results show slight correlations between both variables, and low predictive capacity for SST (limited to august, september and november) suggesting that monthly time scale is not appropriate to analyze the relationship between them.

Key words: Rainfall, sea surface temperature (SST), Mediterranean Sea.

1. INTRODUCCIÓN

La temperatura de la superficie del mar (SST) es un parámetro fundamental en Meteorología y Climatología. Su valor en un punto dado depende de varios factores, tales como radiación, transporte vertical de calor sensible y calor latente, corrientes marinas horizontales y verticales, velocidad del viento en superficie, etc. Las SSTs modifican activamente y a veces amplifican los procesos atmosféricos, y son por tanto un factor importante para explicar las anomalías de precipitación (PHILIPS y MCGREGOR, 2002). Aunque se han hecho intentos para intentar comprender la variabilidad de la precipitación en el área mediterránea de la Península Ibérica considerando variaciones de la circulación atmosférica (GOODESS y JONES, 2002; SUMNER *et al.*, 2001) se ha realizado poco trabajo para reflejar la importancia de otras variables climáticas, como la temperatura de la superficie del mar. A causa de su situación geográfica, la costa mediterránea española está protegida de los típicos sistemas frontales de origen atlántico que cruzan la Península Ibérica. En su lugar, se produce usualmente un efecto *foehn* con vientos cálidos e intensos (ponientes), mientras que las precipitaciones en este área están principalmente asociadas con flujos del Este (MILLÁN *et al.*, 1995). ESTRELA *et al.* (2002) demuestran que la temperatura del agua del mar actúa como un factor clave en la génesis de precipitaciones torrenciales en la costa mediterránea. Sin embargo, otros autores (LOLIS *et al.*, 2002) encuentran

que las anomalías de SST están controladas en alto grado por la circulación atmosférica, y apenas influyen en ésta. El principal propósito de este estudio es investigar la asociación entre la SST del Mediterráneo y las precipitaciones totales mensuales en la vertiente mediterránea de la Península Ibérica. Además, se realiza idéntico estudio considerando desfases de 1 y 2 meses entre la SST y la precipitación, al objeto de analizar las posibilidades de utilizar la SST del Mediterráneo Occidental como factor clave para la predicción de las anomalías de precipitación en la región de estudio.

2. DATOS Y MÉTODOS

Los datos de precipitaciones usados en este estudio comprenden totales mensuales para 7 estaciones meteorológicas que comprenden el arco mediterráneo de la Península Ibérica, durante el periodo 1950-2000. La tabla 1 resume las características geográficas de las estaciones elegidas. Todas ellas mostraron registros completos durante el periodo analizado.

Tabla 1. Estaciones meteorológicas con datos de precipitación

Estación	Altitud (m)	Latitud	Longitud
Málaga	7	36°40'	4°29'W
Almería	21	36°50'	2°23'W
Murcia	75	37°57'	1°13'W
Alicante	82	38°22'	0°29'W
Valencia	11	39°28'	0°22'W
Tortosa	49	40°49'	0°29'E
Barcelona	94	41°25'	2°07'E

Para cada estación j se calcularon las anomalías estandarizadas de precipitación mensual p_{ij}

$$p_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_{ij}}{s_{ij}} \quad i = 1, 2, \dots, 12; j = 1, 2, \dots, 7$$

donde x_{ij} es el total de precipitaciones del mes i y la estación j ; \bar{x}_{ij} el valor medio de las precipitaciones del mes i y de la estación j durante el periodo de referencia 1961-1990, y s_{ij} la desviación típica de las precipitaciones del mes i y la estación j durante el periodo de referencia 1961-1990.

Para cada mes i se calculó un índice de precipitaciones I_i como el promedio de las anomalías estandarizadas p_{ij}

$$I_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N p_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, 12; N = 7$$

A título de ejemplo, la figura 1 muestra la serie temporal del índice calculado para el mes de enero. El cálculo de la función de autocorrelación para cada mes mostró que en todos los casos el índice de precipitaciones I_i se comporta como un ruido blanco.

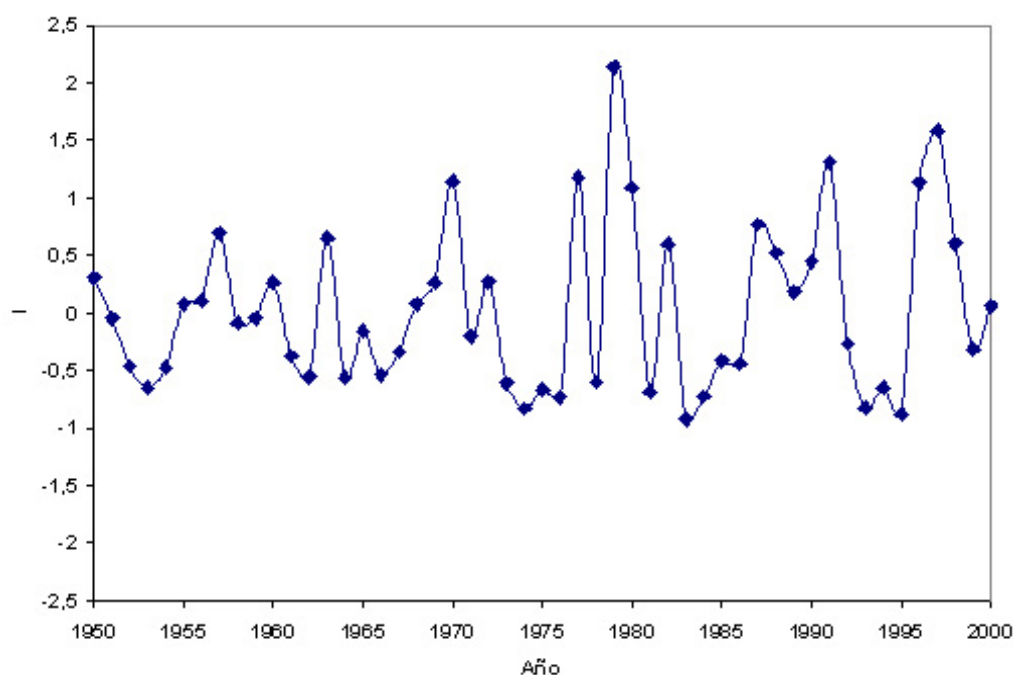


Fig. 1. Índice de precipitaciones del mes de enero, periodo 1950-2000

Los datos de SST utilizados se han extraído de la base de datos MOHSST6D, proporcionada por la British Meteorological Office (PARKER *et al.*, 1995). Se trata de anomalías mensuales respecto del promedio 1961-1990 para celdas de 5° de latitud por 5° de longitud, desde 1856 hasta el presente. A lo largo del siglo XX es común encontrar huecos en las series de algunas celdas para el periodo de entreguerras. Por otra parte, existe la sospecha de que los datos previos a 1942 presentan problemas de homogeneidad, y es preciso corregirlos (WARD, 1995). Por esta razón, se eligió el periodo 1950-2000 para el análisis.

La elección de las celdas de interés dentro del entorno mediterráneo se realizó teniendo en cuenta los estudios de BARTZOKAS *et al.* (1994) y LOLIS *et al.* (2002), quienes, en sus estudios sobre la SST, detectan dos subregiones de signo opuesto, correspondientes al Mediterráneo Occidental y al Mediterráneo Oriental, en las series anuales de SST. Análisis multivariantes (análisis factorial y análisis cluster) efectuados para las series mensuales y el periodo 1900-2000 fueron utilizados para corroborar estos resultados. Aunque con ligeras variaciones de un mes a otro, estos análisis sirvieron para identificar una región comprendida entre los 5° de longitud Oeste y los 15° de longitud Este como la mejor candidata para el estudio de la influencia de la SST en las precipitaciones del litoral mediterráneo español. Esta elección corresponde además al área seleccionada por ESTRELA *et al.* (2002) para su estudio sobre la génesis de las precipitaciones torrenciales en la costa mediterránea de la Península Ibérica. Las celdas seleccionadas finalmente para su estudio pueden apreciarse en la figura 2. Hay 8 celdas útiles de 5°x5° de latitud-longitud en esta región. La nomenclatura utilizada para designarlas ha sido la de (latitud, longitud). Así, según el esquema de la figura 2, el Mar de Alborán corresponde a la celda (2,1).

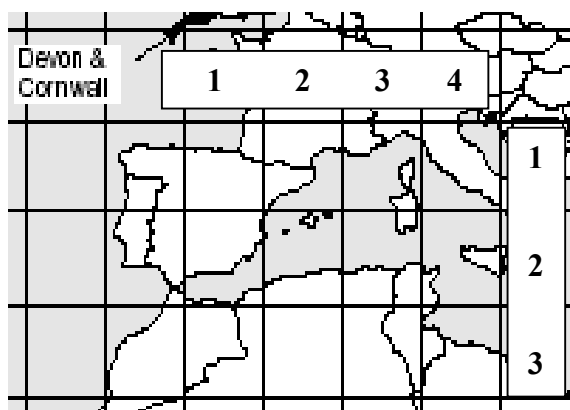


Fig. 2. Red de 5° de latitud por 5° de longitud seleccionada para el estudio de la SST

Para cada celda y mes, se eliminaron las posibles tendencias en las series de SST y posteriormente se normalizaron reduciéndolas a media nula y varianza unidad. La figura 3 muestra la serie temporal de la SST durante el periodo 1950-2000 para la celda correspondiente al Mar de Alborán.

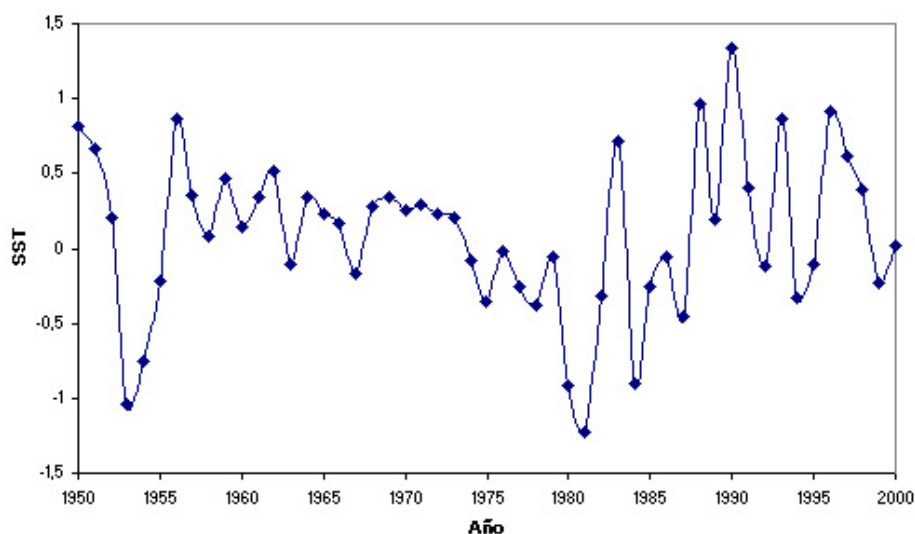


Fig. 3. Anomalías de SST del Mar de Alborán para enero durante el periodo 1950-2000

3. RESULTADOS

Aunque los métodos multivariantes, como el análisis de componentes principales, tienen la ventaja de proporcionar patrones incorrelacionados, estos patrones son variables intrínsecamente no locales que caracterizan patrones globales de correlaciones, por lo que su interpretación en términos de efectos regionales y/o locales puede ser difícil (PHILIPS y MCGREGOR, 2002). Por esa razón se buscaron correlaciones lineales entre el índice de precipitaciones y los valores contemporáneos de anomalías mensuales de la SST en cada una de las 8 celdas en que queda

dividido el Mediterráneo Occidental. Se intentaron también correlaciones múltiples entre las precipitaciones y grupos de celdas, pero sin obtener mejores resultados que con las celdas individuales. En cada caso, el nivel de significación para el coeficiente de correlación fue de $2/\sqrt{n}$, siendo $n = 51$ el número de años de cada serie. Las correlaciones significativas, junto con los parámetros de la regresión lineal obtenidos se muestran en la tabla 2. La figura 4 muestra a título de ejemplo el diagrama de dispersión correspondiente al mes de marzo y la celda (2,1).

Tabla 2. Correlaciones significativas entre las anomalías de SST y el índice de precipitaciones

Celda SST	Mes	I=aSST+b		r
		a±Δa	b±Δb	
1,4	Febrero	-0,234±0,086	-0,045±0,087	-0,357
2,1	Marzo	-0,267±0,083	-0,025±0,083	-0,415
2,1	Mayo	-0,237±0,090	-0,035±0,090	-0,351
2,1	Julio	-0,215±0,074	-0,031±0,074	-0,384
2,1	Noviembre	0,231±0,090	-0,146±0,090	+0,342
2,2	Marzo	-0,241±0,085	-0,025±0,085	-0,375
2,2	Mayo	-0,259±0,089	-0,035±0,089	-0,384
3,4	Junio	-0,296±0,109	-0,024±0,109	-0,361

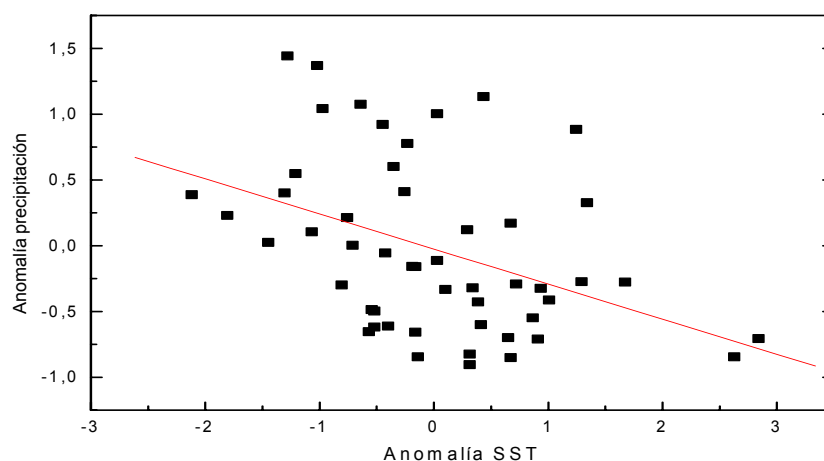


Fig. 4. Diagrama de dispersión entre el índice de precipitaciones y las anomalías de SST correspondientes al Mar de Alborán durante el mes de marzo

El primer resultado que se desprende de la tabla es que sólo unas pocas celdas, y en contados meses a lo largo del año, presentan correlaciones significativas. En concreto, la celda (1,4), que corresponde al Adriático, la celda (2,1) asociada al Mar de Alborán, la celda (2,2) que corresponde al sector entre las Baleares y la costa de Argelia, y la celda (3,4) que corresponde a las costas de Túnez. Todas las correlaciones son negativas, excepto para el mes de noviembre y la celda (2,1).

Altas precipitaciones (situación ligada a bajas presiones) parecen corresponder a anomalías negativas de la SST y viceversa. El predominio de situaciones anticiclónicas, con menor nubosidad, mayor radiación solar incidente y mayor estabilidad, supone anomalías positivas de la SST y negativas del índice de precipitaciones. Esta situación se produce fundamentalmente en los

meses de primavera (marzo, mayo) para los sectores mediterráneos próximos a la Península. En el caso de febrero, con una situación de circulación atmosférica reforzada propia del invierno, la misma correlación se extiende hasta el Adriático. LOLIS *et al.* (2002) relacionan este comportamiento con la Oscilación del Atlántico Norte (NAO). El reforzamiento de la actividad anticiclónica sobre Europa Occidental con la extensión hacia el nordeste del anticiclón de las Azores, conduce a advección cálida sobre la parte occidental del Mediterráneo. Por el contrario, la fase negativa de la NAO, asociada con el reforzamiento de la actividad depresionaria en estas latitudes, permite que los flujos del Oeste penetren hasta el Mediterráneo Central, causando advección fría en la zona occidental.

La correlación positiva detectada en noviembre parece indicar el origen de las lluvias otoñales, asociadas a situaciones de tormenta, con anomalías positivas de la SST, que dan lugar a más intensos procesos de evaporación, que, junto con los flujos predominantes del Este, aportan más humedad a las costas mediterráneas de la Península. Una vez una capa atmosférica potencialmente inestable se ha desarrollado, la disposición orográfica de la región contribuye a activar las precipitaciones (MILLÁN *et al.*, 1995).

Estos resultados deben considerarse con cautela, dado que no todos los meses presentan correlaciones significativas, y sólo unas pocas celdas aparecen relacionadas con las precipitaciones. En cualquier caso, parecen reflejar las conclusiones de varios autores (LOLIS *et al.*, 2002) sobre el hecho de que en el Mediterráneo, un mar casi encerrado, las anomalías de la SST parecen estar controladas en alto grado por la circulación atmosférica.

Esta conclusión refleja para el Mediterráneo los resultados encontrados a escala global, según los cuales, los océanos reaccionan a los cambios de alta frecuencia de la circulación atmosférica y su influencia sobre la atmósfera es débil en escalas temporales menores a una década (VISBECK *et al.*, 2003).

Sin embargo, la hipótesis de que las anomalías en la SST provocan un impacto significativo sobre la circulación atmosférica (y, en consecuencia, sobre las precipitaciones) ha sido utilizada en numerosos experimentos con modelos de circulación general. Así, por ejemplo, RODWELL y FOLLAND (2001) analizan la posibilidad de predecir el comportamiento de la Oscilación del Atlántico Norte durante el invierno a partir de los datos de SST del Atlántico Norte durante el mes de mayo previo. Por esta razón, se intentó un experimento de predicción de las precipitaciones mensuales en la vertiente mediterránea de la Península Ibérica, utilizando como predictores los valores de las anomalías de SST en el Mediterráneo Occidental con 1 y 2 meses de antelación. Los resultados se muestran en la tabla 3, donde se indica el mes del predictor (SST) y el mes del predictando (índice de precipitaciones I).

Tabla 3: Correlaciones significativas entre anomalías de la SST e índice de precipitaciones con desfases de 1 y 2 meses

Celda SST	Mes SST	Mes I	I = aSST+b		R
			a±Δa	b±Δb	
1,2	Agosto	Septiembre	0,249±0.104	0,107±0.104	+0,342
2,1	Octubre	Noviembre	0,278±0.088	-0,146±0.088	+0,413
1,2	Junio	Agosto	0,317±0.112	0,025±0.112	+0,374

De nuevo, es llamativo el escaso número de correlaciones significativas, indicando que las anomalías mensuales de la SST no proporcionan un predictor adecuado para el estudio de las precipitaciones en la región de interés. De hecho, sólo los meses de agosto y octubre para la SST parecen influir en las precipitaciones del mes siguiente, y para el caso de un desfase de 2 meses sólo se encuentra un resultado significativo con la SST de junio. En los tres casos, el coeficiente de correlación es positivo, indicando un aumento de las precipitaciones con valores positivos de las anomalías de SST, lo cual parece reflejar la influencia de la SST en la génesis de las lluvias tormentosas de finales del verano y el otoño. Los sectores marítimos implicados nuevamente son aquellos más próximos a la Península, es decir, el Mar de Alborán (celda 2,1) y las costas de Cataluña (celda 1,2).

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos, aunque las correlaciones significativas pueden explicarse desde un punto de vista físico y están corroboradas por otros resultados recogidos en la literatura, deben considerarse con las necesarias cautelas antes de establecer conclusiones definitivas. Sólo 6 meses del año presentan correlaciones significativas, y éstas con un coeficiente de correlación que en ningún caso supera el valor de 0.5. Además, en cuanto a las áreas del Mediterráneo con alguna influencia significativa, no parece haber una pauta concreta de comportamiento, aunque es de destacar el papel preponderante del Mar de Alborán. Por otra parte, el uso potencial de la SST del Mediterráneo Occidental como predictor de las precipitaciones en la costa mediterránea española debería descartarse a tenor de los resultados obtenidos, salvo en el caso de los meses de agosto, septiembre y noviembre. Una posible explicación para estos resultados debe buscarse en la propia base de datos. Así, aunque las celdas de 5° de latitud por 5° de longitud son todas de iguales dimensiones, en algunas de ellas una parte sustancial está ocupada por zonas terrestres y la cobertura marítima difiere considerablemente de una a otra; los valores mensuales de la SST no se han calculado a partir de un mismo número de observaciones en cada celda; las rutas de los barcos que midieron la SST pueden haber estado restringidas a una pequeña parte de la celda y, además, pueden ser diferentes de un mes a otro (BARTZOKAS *et al.*, 1994). El uso de datos de satélite para determinar la SST ofrece la posibilidad de solventar estos problemas, aunque la cobertura temporal de los datos de satélite sea sensiblemente menor, de tan sólo unas pocas décadas. Así, PASTOR *et al.* (2001) encontraron que las simulaciones de dos episodios de lluvias torrenciales usando datos de satélite de SST de unos días previos al evento mejoraban los resultados obtenidos usando medias mensuales de la SST medidas en superficie.

Otro problema importante es la resolución temporal de los datos de SST. El flujo de humedad desde la superficie del mar hacia la atmósfera va disminuyendo debido al intercambio convectivo del aire con el agua. El calentamiento y transferencia de humedad a la masa de aire explica la caída de las temperaturas en la zona de origen. Este proceso se produce en el transcurso de unos pocos días (MILLÁN *et al.*, 1995). Como consecuencia, dado que el uso de datos mensuales significa trabajar con valores promedios, donde el calentamiento inicial del agua superficial y su posterior enfriamiento vienen a compensarse en cierto grado, se produce un efecto de suavización, que vendría a explicar los bajos valores de las correlaciones encontradas. Como conclusión, aunque los datos mensuales parecen reflejar en cierto modo el importante papel de la SST del Mediterráneo Occidental en la génesis de las precipitaciones del Levante español, el uso de valores mensuales de

la SST debería descartarse a efectos predictivos. Se hace necesario, pues, recurrir a datos de resolución diaria para profundizar en el estudio.

5. AGRADECIMIENTOS

La base de datos MOHSST6D fue proporcionada por el British Atmospheric Data Center, dependiente del United Kingdom Meteorological Office (UKMO). Este trabajo fue financiado por el Proyecto REN2001-3923-C02-02/CLI (Ministerio de Ciencia y Tecnología).

6. REFERENCIAS

- BARTZOKAS, A.; METAXAS, D.A. and GANAS, I.S. (1994). "Spatial and temporal sea-surface temperature covariances in the Mediterranean". *International Journal of Climatology*, 14, pp. 201-213.
- ESTRELA, M.J. *et al.* (2002). *De la gota fría al frente de retroceso*. Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo, Valencia.
- GOODESS, C.M. and JONES, P.D. (2002). "Links between circulation and changes in the characteristics of Iberian rainfall". *International Journal of Climatology*, 22, pp. 1593-1615.
- LOLIS, C.J.; BARTZOKAS, A. and KATSOUKIS, B.D. (2002). "Spatial and temporal 850 hPa air temperature and sea-surface temperature covariances in the Mediterranean region and their connection to atmospheric circulation". *International Journal of Climatology*, 22, pp. 663-676.
- MILLÁN, M.; ESTRELA, M.J. and CASELLES, V. (1995). "Torrential precipitations on the Spanish east coast: The role of the Mediterranean sea surface temperature". *Atmospheric Research*, 36, pp. 1-16.
- PARKER, D.E. *et al.* (1995). Marine surface data for analyses of climatic fluctuations on inter-annual to century time-scales. En: *Climate variability on decade to century time-scales*. US National Academy of Science, Washington, pp. 12-54.
- PASTOR, F. *et al.* (2001). "Torrencial rains on the Spanish Mediterranean coast: Modeling the effects of the sea surface temperature". *Journal of Applied Meteorology*, 40, pp. 1180-1195.
- PHILIPS, I.D. and MCGREGOR, G.R. (2002). "The relationship between monthly and seasonal south-west England rainfall anomalies and concurrent North Atlantic sea surface temperatures". *International Journal of Climatology*, 22, pp. 197-217.
- RODWELL, M.J. and FOLLAND, C.K. (2001). "Atlantic air-sea interaction and seasonal predictability". *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 127, pp. 1-33.
- SUMNER, G.; HOMAR, V. and RAMIS, C. (2001). "Precipitation seasonality in eastern and southern coastal Spain". *International Journal of Climatology*, 21, pp. 219-247.
- VISBECK, M. *et al.* (2003). The Ocean's Response to North Atlantic Oscillation variability. En: HURRELL, J.W.; KUSHNIR, Y; OTTERSEN, G y VISBECK, M. (Eds.). *The North Atlantic Oscillation*. American Geophysical Union, Washington, pp. 113-145.
- WARD, M.N. (1995). Analysing the Boreal summer relationship between world-wide sea-surface temperature and atmospheric variability. En: VON STORCH, H. y NAVARRA, A. (Eds.). *Analysis of climate variability*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 95-117.