

LA VARIABILIDAD INTERANUAL DEL MEDITERRANEO OCCIDENTAL EN VERANO EN UNA SIMULACIÓN REGIONAL ACOPLADA

María José ORTIZ BEVIÁ¹, Francisco José ÁLVAREZ GARCÍA¹,
Jesús HERNÁNDEZ CARRETERO¹, Pilar LORENTE LORENTE¹, Guiomar SÁNCHEZ LÓPEZ¹
'Grupo de Física del Clima, Departamento de Física, Universidad de Alcalá
mjose.ortiz@uah.es

RESUMEN

La variabilidad interanual estival observada en el Mediterráneo Occidental no está tan relacionada con la del Atlántico Norte como en invierno. Su rasgo más característico son los calentamientos y enfriamientos que tienen lugar cada 4-5 años. En el marco del proyecto europeo CIRCE (GOCE-036961) se han desarrollado una serie de simulaciones de la variabilidad climática mediterránea con modelos regionales anidados en modelos acoplados globales. Las simulaciones representan el período 1950-2050, los primeros 50 años bajo condiciones observadas, y los últimos 50 con condiciones correspondientes al escenario A1B. Los análisis que se han realizado para este trabajo corresponden a la simulación regional realizada con el modelo desarrollado en el INGV (Bologna, Italia). En el período histórico, la simulación presenta calentamientos y enfriamientos con la misma escala temporal que las observaciones, y éstos se mantienen durante la simulación del clima futuro.

Palabras clave: Variabilidad Interanual, Mediterráneo, Simulaciones Regionales Acopladas, Circe.

ABSTRACT

The observed summer interannual variability in the Western Mediterranean is less conditioned by the North Atlantic variability than the winter one. The most relevant trait of this variability is the recurrent warming and cooling events that take place every 4-5 years. A number of simulations of the mediterranean climate variability, performed with regional models nested in coupled global models, have been developed in the frame of the European project CIRCE (GOCE-036961). The simulations cover the 1950-2050 time interval. The first 50 years were simulated under observed conditions, and the last 50 under the A1B scenario conditions. The analysis presented in this work corresponds to a regional simulation developed at the INGV (Bologna, Italy). During the historical period, the simulated heating and coolings have the observed temporal time scale, and the fluctuation is maintained in the simulation under future conditions.

Key words: Interannual Variability, Mediterranean, Coupled Regional Simulations, Circe.

1. INTRODUCCIÓN

Estudiamos aquí la variabilidad interanual del Mediterráneo en verano, y su relación con el patrón dominante de circulación atmosférica a gran escala, la Oscilación del Atlántico Norte (NAO). Trabajos anteriores han demostrado que esta influencia es muy estacional. En invierno, se ha observado una fuerte influencia de la NAO sobre la precipitación de toda la cuenca (LAMB y PEPPLER 1987). La NAO invernal ejerce también una influencia significativa sobre la temperatura del aire (CASTRO-

DIEZ et al 2002) y sobre la temperatura superficial (SST) y el contenido de calor de las capas superiores del Mar Mediterráneo (MASSTNA *et al.*, 2004). También es estadísticamente significativa la influencia de El Niño-La Oscilación del Sur (ENSO) sobre la precipitación mediterránea en invierno y otoño (MARIOTTI *et al.*, 2002, OLDENBORG *et al.*, 2002). Las anomalías de temperatura estival no parecen estar muy relacionadas con ninguno de los patrones atmosféricos a gran escala (LIONELLO *et al.*, 2006). Los patrones atmosféricos regionales asociados, sin embargo, suscitan gran interés en la meteorología mesoescalar, por la importancia que tienen en determinados episodios de recirculación que tienen lugar en el Mediterráneo Occidental (SALVADOR *et al.*, 1997). Estos episodios se acaban cuando las masas húmedas y contaminantes, que se han acumulado en el Mediterráneo, son exportadas fuera de la cuenca, unas veces a Centroeuropa y otras al Norte de África.

Por otro lado, la variabilidad superficial del Mediterráneo (caracterizada por anomalías mensuales de SST y SLP) está caracterizada por calentamientos y enfriamientos, recurrentes cada cuatro o cinco años, asociados a un patrón espacial dipolar (signos opuestos entre el Mediterráneo Occidental y el Oriental), que se conoce como Oscilación Mediterránea (SUSELJ y BERGANT 2005).

Estudiamos aquí algunas características de esta variabilidad mediterránea estival, y cómo se modifican en condiciones de escenario. Los datos y la metodología utilizados en este trabajo se detallan en la sección 2, los resultados se presentan en la sección 3, y se discuten en la sección 4.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

La simulación del Mediterráneo que analizamos aquí ha sido desarrollada en el INGV (Bologna) como parte de la contribución de este instituto al proyecto CIRCE. Se realiza con un modelo regional del Mediterráneo, anidado dentro de un modelo global acoplado atmósfera océano. El modelo global acoplado consta en su parte atmosférica del ECHAM5.4 (ROECKNER *et al.*, 2003) y en su parte oceánica del OPA8.2 (MADEC *et al.*, 1998). En el modelo atmosférico la discretización vertical se realiza en 31 niveles con resolución T159, que corresponde aproximadamente a una rejilla de 80 Km. El modelo global del océano la discretización tiene 31 niveles verticales y una resolución horizontal de unos 2" que se mejora hasta 0.5" en la región ecuatorial. La parte oceánica incluye también un modelo dinámico para el hielo (LIM, FICHEFET y GOOSSE 1999). El modelo regional del Mediterráneo se basa en el OPA.9.0 con resolución horizontal 1/16", 72 niveles verticales y tiene una superficie libre implícita (TONANI *et al.*, 2008). El acoplamiento entre atmósfera y océano en el modelo global se realiza mediante el acoplador OASIS.3 (VALCKE, 2006). El modelo atmosférico intercambia flujos superficiales de las variables con los dos modelos independientemente. Esta información se pasa al Mediterráneo mediante una caja que representa al Atlántico, que intercambia campos de flujos a través de sus tres lados abiertos. La información del modelo regional del Mediterráneo pasa al global como una descarga hidrográfica (en toda la columna oceánica) en el estrecho de Gibraltar. El acoplamiento entre la atmósfera y los océanos resuelve el ciclo diario, mientras que el del océano global con el Mediterráneo se realiza a escala semanal. Con respecto a otros modelos, hay una mejora sustancial en la resolución del ciclo hidrográfico, puesto que la descarga se calcula a partir del modelo atmosférico y para todos los ríos principales del globo y del Mediterráneo. El período simulado va de 1951 a 2060, de los que los primeros 50 corresponden a la situación observada, y los últimos a condiciones de escenario SRES A1B.

Las dos variables que utilizamos fundamentalmente en este trabajo son la Temperatura en Superficie del Mar (SST) y la Presión a Nivel del Mar (SLP) del modelo global (resolución 0.8°), Para comparar con las observaciones utilizamos los datos del reanálisis ERA (UPPALA *et al.*, 2004), que van de 1958

a 2002, para las mismas variables. Como nos interesamos únicamente por la variabilidad en verano, estudiaremos las medias, y las anomalías estivales de esas variables.

Para realizar el presente estudio nos centramos en el dominio mediterráneo [10° W-43° E, 30° N- 80° N] y calculamos anomalías, pesadas para corregir el efecto de la esfericidad de la Tierra, de SST y de SLP. A partir de los valores anómalos de SST, calculamos índices para el Mediterráneo Occidental (WNIEDI) y para el Mediterráneo Oriental (EMEDI). Comparamos la evolución de dichos índices.

A partir de las anomalías de SLP calculamos los índices de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) para verano, primavera, otoño e invierno. Calculamos correlaciones entre los índices WMEDI y EMEDI y el de la NAO, y comparamos su comportamiento relativo en la simulación con el observado.

3. RESULTADOS

Los índices de anomalías observadas de SST en el Mediterráneo occidental (WMEDI) y oriental (EMEDI) se han representado en la figura 1. Los índices obtenidos de la simulación se han representado en la figura 2. El período básico de la variabilidad interanual en el Mediterráneo, alrededor de los cinco años, parece estar bien representado en la simulación. El periodo corresponde a lo que se llama Oscilación Mediterránea (MO), que se caracteriza por anomalías en oposición de fase entre el Mediterráneo Occidental y el Oriental, tanto en los campos de SST como en los de las SLP. Este desfase espacial, que hace que la correlación entre WMEDI y EMEDI en las observaciones no sea estadísticamente significativa al 95% de confianza, se consigue representar también en la parte histórica de la simulación (los primeros 50 años): la correlación entre WMEDI y EMEDI en la simulación tampoco es significativa. Sin embargo la correlación entre los índices WMEDI y EMEDI para la última parte del registro es altamente significativa ($r=0.7$), debido a la tendencia inducida por las condiciones de escenario.

La tendencia supone en media una subida de temperatura de 2.2 °K para el Mediterráneo Occidental y de 2.7 °K para el Oriental. Esto es también un rasgo de las observaciones, donde los aumentos de temperaturas son algo más importantes en el Este.

En la figura 3 se han representado las correlaciones observadas de los índices WMEDI y EMEDI (en verano) con los de la NAO (en la primavera, verano y otoño de ese año). Vemos que la variabilidad estival observada en el Mediteiráneo Occidental está muy condicionada por el valor de la NAO de primavera, ($r=0.37$), con la que se encuentra frecuentemente en fase, mientras que los valores de la señal atmosférica en verano no parecen influir en ella. Esta relación es robusta, y no depende de nuestra definición del WMEDI. Por el contrario, la variabilidad estival del Mediterráneo Oriental parece estar influida por los valores de la NAO en el invierno precedente (correlación significativa al 95%, y negativa), y está a su vez muy relacionada con los valores estivales de esta señal (también en oposición de fase).

En lo que respecta a la simulación en período histórico (1950-2000), el signo de las correlaciones entre la NAO y el índice WEMEDI recuerda al de las observaciones, pero sus valores son mucho más bajos: ninguno de ellos es estadísticamente significativo, y por eso no se han representado. En lo que respecta al índice EMEDI, las correlaciones no son significativas, ni evolucionan como las observadas. En lo que respecta al clima futuro (2020-2069), las correlaciones entre los índices corregidos de tendencia y el índice de la NAO en las distintas estaciones, predominantemente negativas, tienen valores absolutos más altos, aunque siguen sin ser significativas. Es de destacar sin embargo que en estos índices corregidos se mantiene el ciclo de variabilidad de aproximadamente 5 años tan robusto como en el período histórico.

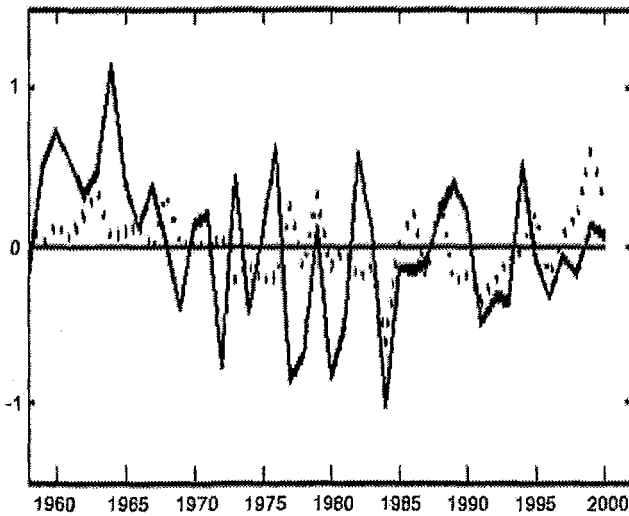


Figura 1. Índices observados del Mediterráneo Occidental (WMEDT, línea continua) y Oriental (EMEDI, línea de puntos).

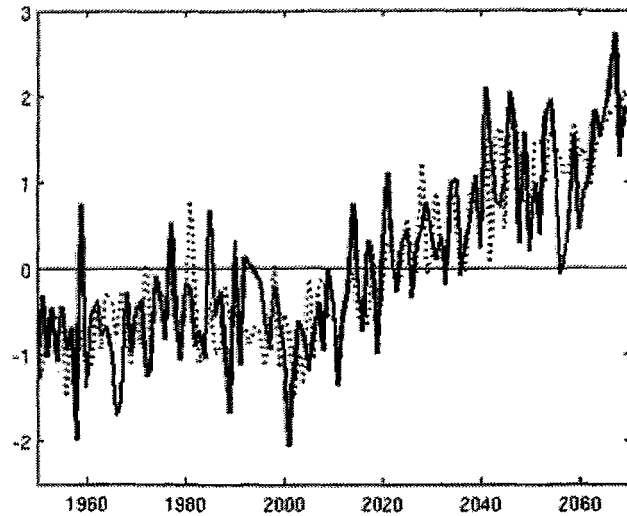


Figura 2. Índices simulados del Mediterráneo Occidental (WEMEDT, línea continua) y Oriental (EMEDI, línea de puntos)

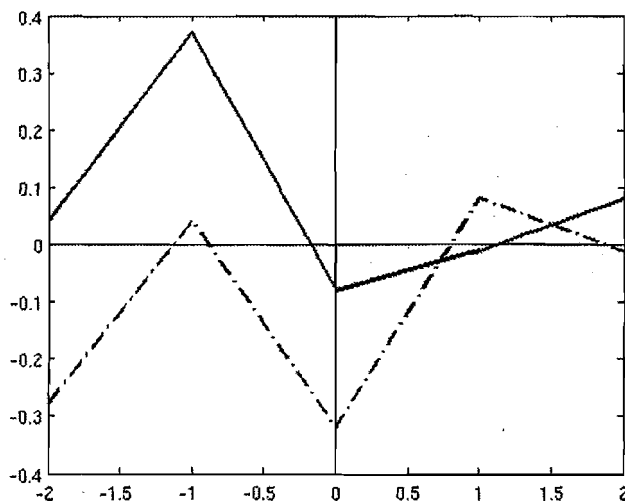


Figura 3. Correlaciones observadas entre el índice del Mediterráneo Occidental en verano (WMEDI) y la NAO (línea continua) y entre el índice del Mediterráneo Oriental y la NAO (línea discontinua). El eje de las x va desde el invierno anterior (-2) al invierno siguiente (+2).

4. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Se analizan aquí algunas características de la variabilidad interanual estival del Mediterráneo simulada por un modelo regional anidado en un modelo global acoplado. Alguno de los rasgos fundamentales de la variabilidad observada, como el ciclo básico de la variabilidad interanual mediterránea en verano, están bien reproducidos. Las tendencias con las que el sistema responde al calentamiento parecen realistas, con una mayor tendencia al calentamiento en el Mediterráneo Oriental, como ocurre en el caso observado. En el periodo histórico, no existe una relación estadísticamente significativa entre la variabilidad interanual del Occidental y la Oriental, tal como sucede en las observaciones.

Sin embargo, existen unas relaciones entre la variabilidad atmosférica de gran escala más influyente en la región y las anomalías de SST en el Mediterráneo Occidental y Oriental, que son estadísticamente significativas en las observaciones. Por ejemplo, la variabilidad primaveral de la NAO influye fuertemente en la variabilidad oceánica estival, mientras que en el caso del Mediterráneo Oriental esta influencia se da en invierno y es de signo contrario a la variabilidad del Mediterráneo en verano. Ninguna de estas relaciones se refleja en la simulación.

Parece más adecuado por lo tanto, dirigir los análisis futuros hacia el examen de los procesos que determinan la relación entre la variabilidad oceánica y la atmosférica (cómo responde la atmósfera a estos calentamientos periódicos, por ejemplo, o cuales son las relaciones de estos calentamientos con el ciclo hidrológico simulado) que en estas relaciones estadísticas.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado con la financiación del contrato de la UE CIRCE (GOCE-036961), Se agradece a la AEMET el acceso a los datos de ERA.

6. REFERENCIAS

- CASTRO-DÍEZ, Y.; D. POZO-VÁZQUEZ; F.S. RODRIGO y M.J. ESTEBAN-PARRA (2002): "NAO and winter temperature variability": *Geophys. Res. Lett.*, 29, doi: 10.1029/2001GL014042.
- FICHEFET, T. y H. GOOSSE (1999): "A numerical investigation of the spring Ross Sea polynya". *Geophys. Res. Lett.*, 26, 1015-1018
- LAMB, K. M. y K.M. PEPPLER (1987): "North Atlantic Oscillation: concept and applications". *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 68, 1218-1225.
- LIONELLO, P.; MALANOTTE-RIZZOLI, P. y BOSCOLO, R. (eds.), (2006): *Mediterranean Climate Variability*, Amsterdam.
- MARIOTTIA.; N. ZENG y K-M. LAU (2002): "Euro-Mediterranean rainfall and ENSO- a seasonally varying relationship". *Geophys. Res. Lett.*, 29 (12) L014248.
- MAY, W. y BENGTSSON, L. (1998): "The signature of ENSO in the northern hemisphere midlatitude seasonal mean flow and high-frequency intraseasonal variability". *Meteor. Atmos. Phys.*, 69, 81-100
- MASINA, S.; P. di PIETRO y A. NAVARRA (2004): "Interannual to decadal variability in the North Atlantic from an ocean data assimilation system". *Climate Dyn.*, 23, 531-546.
- MADEC, G. y M. IMBARD (1996): "A global ocean mesh to overcome the North Pole singularity". *Clim. Dyn.*, 12, 381-388.
- OLDENBORG, G.J. van; G. BURGERS y A. KLEIN TANK (2002): "On the El Niño teleconnections to spring precipitation in Europe". *Int. J. Climatology*, 20, 565-574.
- ROECKNER, E. et al., (2003): "The atmospheric general circulation model ECHAM5, Part I". *Max-Planck-Institut für Meteorologie Report N. 349*, ISSN 0937 – 1060, 127 pp.
- SALVADOR, R.; MILLÁN, M.M.; MANTILLA, E. y J. M. BALDASANO (1997): "Mesoscale modelling of atmospheric processes over the western Mediterranean ocean during summer". *Int. J. Env. Pollution*, 8, 513-529
- SUSELJ, K. y K. BERGANT (2005): "The Mediterranean Oscillation, the main mode of atmospheric variability above the Mediterranean Region", *Geophys. Res. Abstracts*, 8, 02145.
- TONANI, M.; N. PINARDI ; S. DOBRICIC ; I. PUJOL y C. FRATIANNI (2008): "A high-resolution free-surface model of the Mediterranean Sea". *Ocean Sci.*, 4, 1–14.

UPPALA, S. et al., (2004): "ERA-40: ECMWF 45 year reanalysis of the global atmosphere and surface conditions 1957-2002". *Newsletter* 101, European Center for Medium Range Weather Forecasts, U. K.

VALCKE, S. (2006): *OASIS3 User Guide* (prism_2-5). PRISM Support Initiative No 3, 68 pp.