

La variabilidad del Atlántico tropical y su teleconexión extra-tropical

Irene POLO SÁNCHEZ, Teresa LOSADA DOVAL y Belén RODRÍGUEZ DE FONSECA

Departamento de Física de la Tierra I (Geofísica y Meteorología)
Universidad Complutense de Madrid
ipolo@fis.ucm.es

RESUMEN

El modo dominante de variabilidad de la temperatura de la superficie del mar (SST) en el Atlántico Tropical es investigado en relación con el océano superior y su teleconexión extratropical, en concreto con las anomalías de precipitación invernal en Europa.

Se muestran evidencias observacionales de tales teleconexiones con el océano Atlántico tropical superior (0-500 m). Asimismo, se encuentran relaciones con la llamada Variabilidad del Atlántico Tropical (VAT). A través del análisis de datos procedentes de observaciones de variables oceánicas y atmosféricas se propone un posible mecanismo de realimentación atmósfera-océano-atmósfera a través del cual se podría explicar dicha teleconexión.

Palabras clave: Variabilidad del Atlántico Tropical, Patrones de teleconexión del Atlántico Norte, variabilidad oceánica subsuperficial, precipitación en Europa.

Tropical Atlantic variability and the extratropical teleconnection

ABSTRACT

The leading mode of sea surface temperature (SST) variability in the Tropical Atlantic is investigated on relation with the extratropical teleconnections, in particular with the winter European precipitation anomalies. Observational teleconnection evidences with the Tropical Atlantic upper ocean (0-500 m) are also shown. At the same time, relationships with the known Tropical Atlantic Variability (VAT) are also found. Through the observational analysis of data from different oceanic and atmospheric variables, a possible atmosphere-ocean-atmosphere feedback mechanism is proposed to explain this teleconnection found.

Keywords: Tropical Atlantic Variability, North Atlantic teleconnection patterns, subsurface ocean variability, European precipitation.

SUMARIO: 1. Introducción. 2. Datos y Metodología. 3. Resultados. 4. Conclusiones. 5. Referencias bibliográficas.

1. INTRODUCCIÓN

La variabilidad climática en el Atlántico Norte implica interacciones entre la troposfera y la estratosfera, el océano superficial y sub-superficial y las masas continentales adyacentes; así como teleconexiones con el Ártico al norte, los trópicos al sur, y la teleconexión con el Pacífico.

La Oscilación del Atlántico Norte (NAO) es la fuente de variabilidad más importante para el clima en el Atlántico norte a muchas escalas de tiempo, teniendo una alta

conexión con los modos de baja frecuencia de la precipitación en Europa (Hurrell 1995). De este modo durante los episodios de alto (bajo) índice de la NAO, se produce una reducción (aumento) en el transporte de humedad atmosférica en las regiones mediterráneas y, por tanto, una disminución de la precipitación, ocurriendo lo contrario en el norte de Europa.

La influencia de la NAO alcanza desde los trópicos al Ártico, extendiéndose en la estratosfera, afectando a los flujos de aire-mar, y siendo una fuente de variabilidad para la temperatura de la superficie del mar (SST¹), la Variabilidad del Atlántico Tropical (VAT²), los giros oceánicos y la circulación meridional de retorno (MOC)³.

Diversos autores han mostrado evidencias de que la NAO podría ser forzada remotamente por los trópicos. Esto podría deberse a que la circulación de Hadley es sensible a los gradientes de SST meridionales en los trópicos, y actuaría como un «puente» a las latitudes medias modulando, así, la variabilidad de la NAO (Okumura 2001). Por otro lado, la NAO presenta un patrón asociado, principalmente en invierno, de anomalías de la SST en el Atlántico Norte, también conocido como Tripolo Atlántico (Sutton y Allen 1999). Este Tripolo tiene una señal muy fuerte en los trópicos (rama sur) desde donde la variabilidad de la corriente del chorro podría ser excitada (Robertson y Mechoso 2000; Venzke et al 1999). Además, el Tripolo Atlántico puede encontrar su fuente de variabilidad en las anomalías superficiales del flujo de calor latente y sensible en el Atlántico Norte. Cayan (1992) encontró que los patrones de co-variabilidad de los flujos de calor superficiales con la NAO, mostraban la misma estructura tripolar, siendo la NAO la causa de estas anomalías superficiales del flujo de calor, induciendo anomalías sobre las SST.

Existen dos modos a la hora de describir la VAT: el *modo ecuatorial* y el *modo dipolar* (Servain et al. 1999). El *modo ecuatorial* es una estructura de variabilidad climática caracterizada por variaciones anómalas de SST en el Atlántico ecuatorial, con un comportamiento equivalente al ENSO pero más débil (Zebiak 1993). Este modo relaciona los cambios de la estructura térmica del océano con las anomalías de los alisios en el oeste del Atlántico ecuatorial. De esta forma, cuando los vientos alisios en el oeste Atlántico aumentan (disminuyen), la pendiente de la termoclina ecuatorial aumenta (disminuye) desarrollándose anomalías negativas (positivas) de SST en el este. Por otro lado, *el modo meridional* o dipolar se caracteriza por anomalías en el gradiente interhemisférico de SST (Carton et al. 1996; Chang et al. 1997), de forma que en un episodio típico aparecen anomalías de distinto signo a ambos lados de la ITCZ. Chang et al. (1997) encontraron una realimentación termodinámica positiva océano-atmósfera de las variaciones del gradiente de SST interhemisférico, a través del flujo de calor anómalo inducido por el viento en escalas decadales. La rama subtropical del Tripolo Atlántico comparte anomalías de SST con el dipolo del Atlántico Tropical y es frontera entre los trópicos y las latitudes medias. Además, se han mostrado evidencias con Modelos de Circulación General (MCG) de que es la rama más

¹ En inglés *Sea Surface Temperature*.

² Más conocida por su traducción en inglés *Tropical Atlantic Variability (VAT)*.

³ Más conocida por su traducción en inglés *Meridional Overturning Circulation*.

importante en su influencia en la NAO (Sutton et al. 2001), mostrando una relación no lineal entre los tres centros de acción del Tripolo Atlántico.

La variabilidad en la precipitación anómala invernal en el Suroeste de Europa y el Norte de África (SENA) ya se ha relacionado con la NAO y con la SST anómala de la rama subtropical del *Tripolo Atlántico* (Rodríguez-Fonseca y Castro 2002), extendiéndose el estudio a toda Europa (Rodríguez-Fonseca et al. 2004). Rodríguez-Fonseca y Castro (2002) describieron el llamado índice SA como la anomalía estandarizada de la temperatura de la superficie del mar promediada en la región (15°N-25°N, 20°W-30°W), cuya señal persistía desde el verano hasta el invierno siguiente, en la covariabilidad con la precipitación anómala invernal de SENA. Este índice (SA⁴) definido, se comporta como un posible predictor de las anomalías invernales de la precipitación (Rodríguez-Fonseca et al. 2004). Se ha demostrado que en los casos extremos de alto (bajo) índice SA, los vientos correspondientes a la alta subtropical muestran una anomalía ciclónica (anticiclónica), pudiendo producir un aumento de la advección de humedad del suroeste sobre Europa.

El presente trabajo constituye un análisis de la covariabilidad invernal de la precipitación anómala en Europa, por una parte, con algunas de las variables que forman parte de la VAT. La originalidad del mismo reside en la inclusión del estudio del Atlántico subtropical subsuperficial de modo que se analizará el comportamiento de la columna de 0-500m sobre la variabilidad oceánica y atmosférica superficial, así como sobre los flujos de calor y temperatura en el Atlántico Norte y, por ende, con la variabilidad climática invernal en Europa.

En la siguiente sección se van a describir las bases de datos empleadas en la elaboración de este trabajo, así como la metodología fundamental de estudio. En la sección 3 se analizarán los resultados del cálculo de estructuras oceánicas superficiales y sub-superficiales, así como de patrones atmosféricos; todos ellos en relación con la variabilidad climática invernal en Europa. Este estudio se va a realizar desfasando las estaciones desde el invierno (noviembre-diciembre-enero-febrero, NDEF) hasta el verano anterior (junio-julio-agosto-septiembre, JJAS). Finalmente, las principales conclusiones del estudio se resumen en la sección 4.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

Para el estudio de la precipitación anómala en Europa en relación con la VAT se han tomado datos de precipitación mensual acumulada de la base de datos de Legates y Willmott, con una resolución espacial de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ lat-lon (Legates y Willmott 1990).

Las variables superficiales empleadas para el Atlántico Tropical, son medias mensuales de la temperatura de la superficie del mar y de la tensión del viento, de la base de datos del programa PIRATA-CLIVAR (*Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic*), con una resolución espacial de $2^\circ \times 2^\circ$ lat-lon (Servain et al. 1999).

⁴ Acrónimo del término inglés *Subtropical Atlantic*.

Las variables sub-superficiales del Atlántico Tropical son medias mensuales de la temperatura de 0 a 500 m de profundidad de la base de datos TAOSTA (*Tropical Atlantic Ocean Subsurface Temperature Atlas*), y con una resolución espacial de $2^\circ \times 2^\circ$ latitud-longitud (Vauclair y Du-Penhoat 2001). Las medias mensuales de la temperatura superficial del Atlántico Norte y Tropical proceden de la base de datos *Extended Reconstructed Sea Surface Temperatures* (ERSST), con una resolución espacial de $2^\circ \times 2^\circ$ lat-lon (Smith y Reynolds 2003). Como variables atmosféricas se han empleado los flujos de calor latente y sensible, y de la velocidad vertical tomadas del reanálisis del NCEP/NCAR, con una resolución espacial de $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ (Kalnay et al. 1996).

Como los datos TAOSTA abarcan el período 1979-1998, con el objeto de uniformizar conclusiones, se ha restringido el estudio a dicho período de tiempo. Se trata de un período corto para establecer conclusiones interanuales de escalas interdecadales pero lo suficientemente largo como para hacer estudios de variabilidad intra-anual importantes en predicción estacional.

Se ha calculado la anomalía mensual de todos los datos disponibles agrupándose en secuencias temporales de cuatro meses para aumentar la longitud de la serie y, por ende, asegurar la significación estadística de los resultados; la cual se ha analizado con un Test t-Student.

La técnica empleada en el cálculo de las estructuras descriptoras de la variabilidad tanto oceánica como atmosférica en su relación con el clima de Europa ha sido el Análisis de Covarianza Máxima (MCA o SVD, Bretherton et al. 1992). También se han elaborado mapas compuestos y mapas de regresión.

3. RESULTADOS

3.1. RELACIÓN ENTRE LA PRECIPITACIÓN INVERNAL EN EUROPA Y LA VARIABILIDAD DEL ATLÁNTICO TROPICAL

La covariabilidad de la precipitación anómala invernal en Europa y la Variabilidad del Atlántico Tropical (VAT) se ha estudiado como resultado del análisis SVD contemporáneo entre la precipitación anómala invernal en Europa y las anomalías de las variables más importantes relacionadas con los modos de la VAT.

En la Fig. 1 se muestran los primeros modos de este análisis. Como puede observarse, el primer modo de precipitación anómala es dipolar, distinguiendo las regiones mediterráneas de aquéllas del norte y centro de Europa. Esta polaridad ha sido relacionada con la NAO (Hurrell 1995) y con el tripolo Atlántico (Rodríguez-Fonseca et al. 2004). Este campo de precipitación se relaciona con un patrón de SST (Fig. 1 central, panel izquierdo) de igual signo en toda la región.

El segundo modo de precipitación es tripolar y muestra el mismo signo sobre el norte de África, sur de la Península Ibérica y el norte de la Península Escandinava, y signo opuesto para el centro y norte de Europa, incluyendo el norte de la Península Ibérica y los países de la cuenca mediterránea. La SST del Atlántico tropical en relación con este modo muestra un comportamiento dipolar, que consiste en

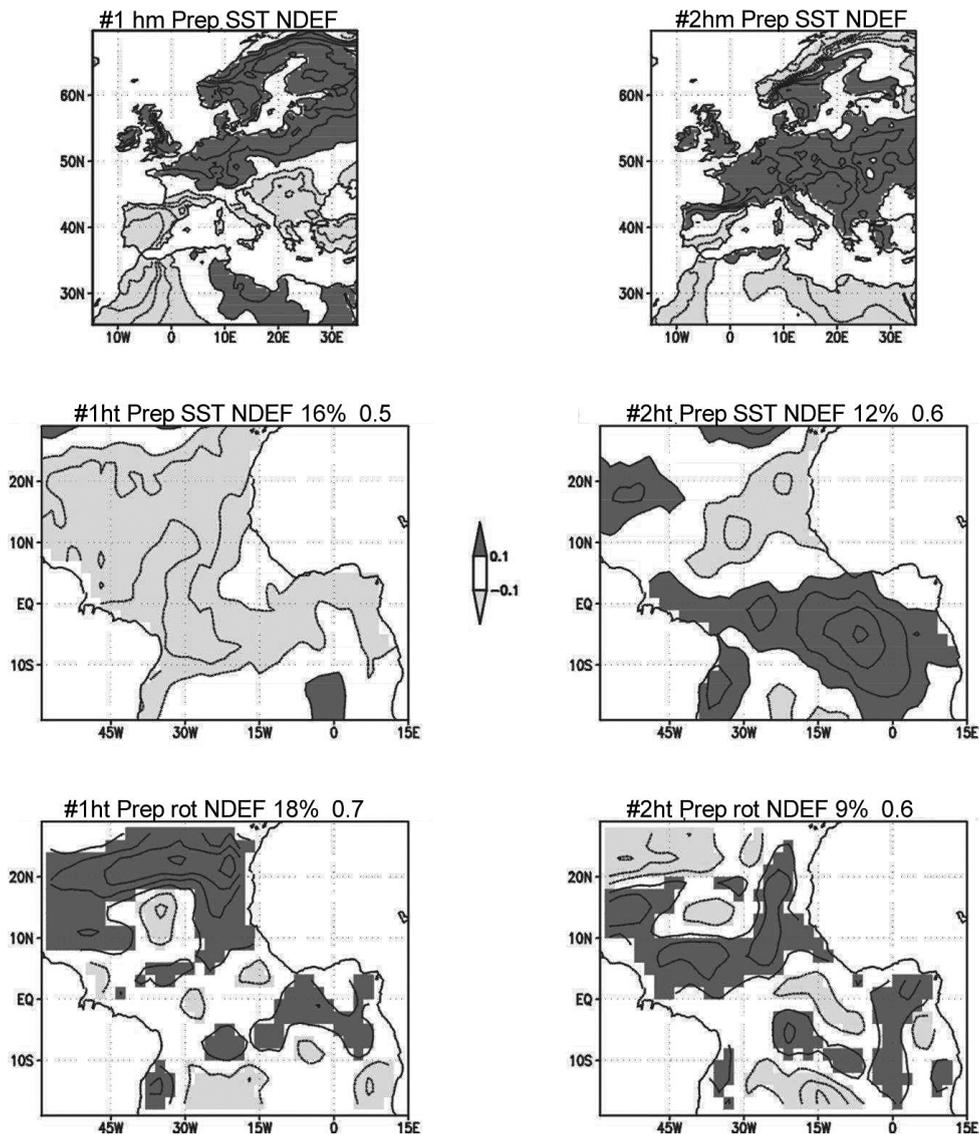


Figura 1. Resultado de los dos primeros modos (panel izquierdo primer modo, panel derecho segundo modo) del análisis SVD entre la precipitación anómala invernal en Europa y las variables asociadas a la VAT; a) mapa homogéneo de correlación de la precipitación anómala invernal en Europa, b) mapa heterogéneo de correlación de las anomalías de la SST en el Atlántico tropical, c) mapa heterogéneo de correlación de las anomalías del rotacional de la tensión del viento. El mapa homogéneo de la precipitación es el asociado a la SST, pero los mapas homogéneos correspondientes al resto de variables muestran el mismo patrón espacial (no se muestran). Intervalo de contorno 0.1; contorno mínimo 0.1 El porcentaje de covarianza cuadrática (scf) y el coeficiente de correlación entre los coeficientes de expansión derecho e izquierdo (ruv) aparecen indicados en la parte superior de cada mapa.

anomalías de distinto signo a ambos lados del Ecuador (Carton et al. 1996; Chang et al. 1997).

Para conocer la relación entre este comportamiento de la precipitación y el grado de afloramiento en el Atlántico tropical se ha realizado otro análisis SVD entre la precipitación y el rotacional de la tensión del viento (Fig.1, mapas inferiores), obteniéndose los mismos patrones de precipitación que en el caso de la SVD entre precipitación y SST anteriormente explicado. El primer modo de la precipitación anómala en Europa esta relacionado con un rotacional de la tensión del viento anómalo en el Atlántico norte tropical, de forma que en casos de precipitación anómala positiva (negativa) para el norte y centro de Europa y negativa (positiva) para las regiones mediterráneas, la SST es anómalamente negativa (positiva) en el atlántico norte tropical y el rotacional es anómalamente positivo (negativo) en torno a 20°N.

El segundo modo, relacionado con una estructura de SST dipolar, concentra las anomalías asociadas del rotacional de la tensión del viento cerca del Ecuador (5°N) y con distinto signo al noroeste de 5°N.

La estructura de los patrones de SST y del rotacional de la tensión del viento encontrados coinciden con la de los modos mas importantes de la VAT: el modo ecuatorial y el modo meridional (Servain et al. 1999), lo que relaciona la variabilidad de la precipitación en Europa con dichas estructuras.

3.2. RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA SUBSUPERFICIAL EN EL ATLÁNTICO SUBTROPICAL Y LA VARIABILIDAD DE LA SST Y LA PRECIPITACIÓN EN LA REGIÓN EURO-ATLÁNTICA

Dado que las variaciones de la termoclina en la región del Atlántico Norte Subtropical (ANS) pueden ser importantes a la hora de entender la variabilidad de la SST, se han realizado dos análisis SVD: entre la temperatura anómala de la columna de agua a 15°N y la SST en el Atlántico (Fig. 2) por un lado; y entre la temperatura anómala de la columna de agua en 15°N y la precipitación en Europa (Fig. 3) por otro.

Se ha tomado dicho perfil porque se encuentra enclavado en latitudes subtropicales y existen trabajos previos que muestran el carácter predictivo de las variaciones térmicas superficiales de la región del Atlántico subtropical (15°N-25°N; 20°W-30°W) en la precipitación anómala invernal en Europa (Rodríguez-Fonseca et al 2004).

En la Fig. 2 la estructura más importante de covariabilidad entre la SST y la temperatura subsuperficial en el Atlántico es el Tripolo Atlántico, modo reconocido por ser el más importante relacionado con la NAO (Sutton et al. 2001). Este análisis se ha realizado tanto simultáneamente como desfasando la temperatura subsuperficial durante los meses anteriores. Este patrón de SST aparece relacionado con anomalías del perfil térmico de temperatura en la superficie y al oeste de 20°W, y de signo contrario a ambos lados de 20°W desde la estación ASON anterior. Esta estructura de comportamiento dipolar de la columna de agua coincide con la primera componente principal de la columna de agua de 15°N en verano (no se muestra).

La Fig. 3 muestra el resultado de la SVD entre la precipitación anómala invernal en Europa y la estructura térmica de la columna de agua a 15°N tanto simultáneamente

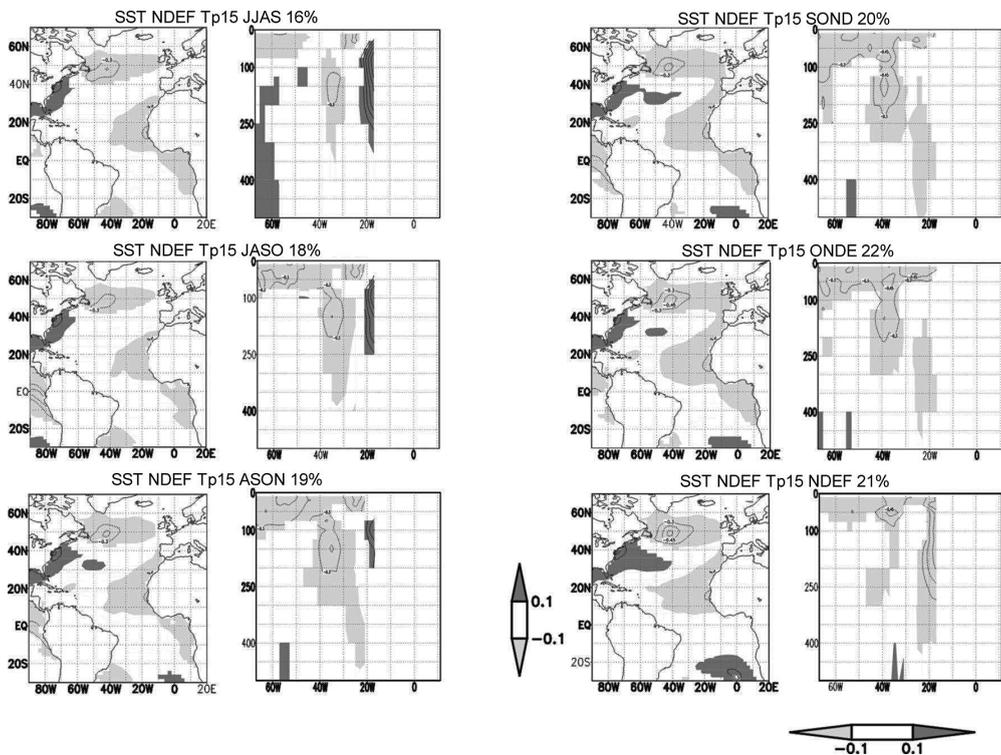


Figura 2. Resultado del primer modo SVD entre la SST del Atlántico en invierno (NDEF) y la temperatura sub-superficial a 15°N, desfasada hasta el verano anterior (JJAS). Mapas derechos: mapas heterogéneos de la temperatura anómala en la columna de agua (en °C). Mapas izquierdos: mapas homogéneos de la SST anómala en el Atlántico norte y tropical (en °C). El sombreado indica los valores estadísticamente significativos, diferenciando entre positivos (sombreado oscuro) y negativos (sombreado claro). El intervalo de contorno es 0.15°C. El porcentaje de covarianza cuadrática (scf) aparece indicado en la parte superior de cada mapa.

como desfasando la temperatura subsuperficial mes a mes hasta el verano anterior. El mapa homogéneo del primer modo para la precipitación invernal anómala en Europa tiene la misma forma dipolar que el descrito anteriormente en relación con el Atlántico tropical. La estructura de la columna mostrada como mapa heterogéneo, evoluciona desde el verano anterior como un patrón dipolar de distinto signo a ambos lados de 20°W hasta el invierno, en donde el signo de la temperatura superficial invade en profundidad la columna al este de 20°W.

Este comportamiento de la columna de agua en relación con la SST y la precipitación indicaría una advección horizontal de masas de agua en la región subtropical a 15°N, así como la influencia de las anomalías en el afloramiento costero a la hora de producir cambios en la SST que, por ende, podrían influir en la variabilidad de la precipitación en Europa.

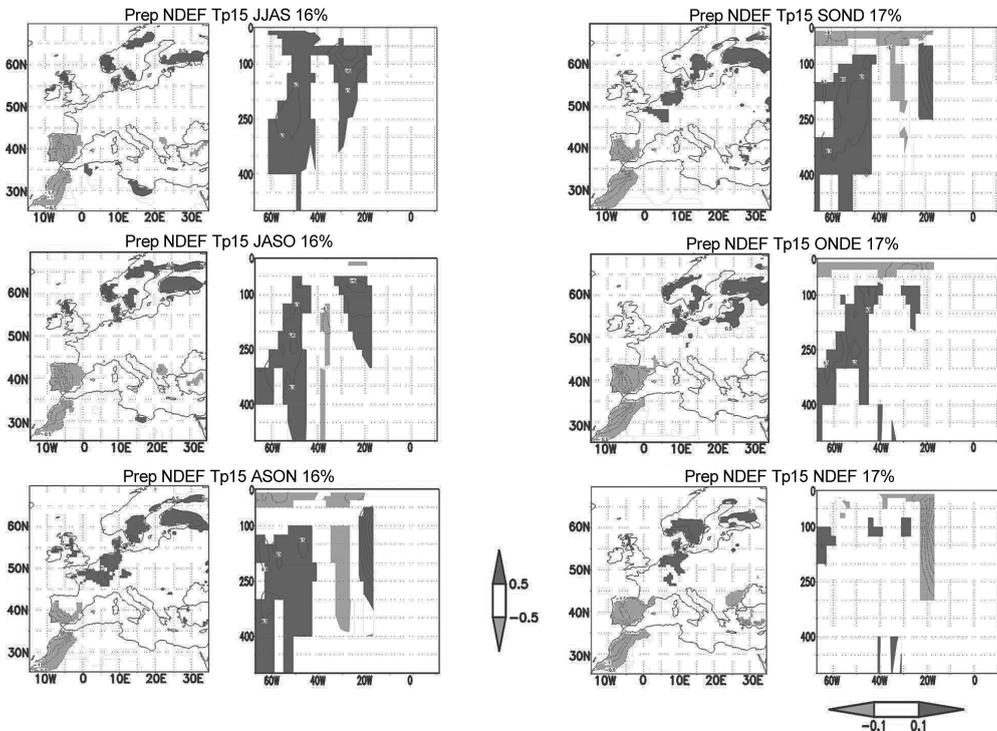


Figura 3. Primer modo SVD entre la precipitación anómala invernal en Europa y la temperatura sub-superficial anómala en 15°N de latitud desfasada hasta el verano anterior. Mapas derechos: mapas heterogéneos de la temperatura sub-superficial (en $^{\circ}\text{C}$). Mapas izquierdos: mapas homogéneos de la precipitación anómala en Europa (en cm mes^{-1}). El sombreado indica los regiones estadísticamente significativas, diferenciando entre positivas (sombreado oscuro) y negativas (sombreado claro). El intervalo de contorno para los paneles izquierdos y derechos es 0.5 cm/mes y 0.15°C respectivamente. El porcentaje de covarianza cuadrática (scf) aparece indicado en la parte superior de cada mapa.

3.3. LA REGIÓN DEL ATLÁNTICO NORTE SUBTROPICAL Y SU IMPLICACIÓN ATMOSFÉRICA

De los resultados anteriores se ha inferido la posibilidad de que el perfil térmico en 15°N pueda ser importante en las variaciones de la SST en la rama subtropical del Tripolo Atlántico, el cual influiría en la variación de la precipitación invernal en la PI. En este apartado se caracterizan algunas de las variables atmosféricas fundamentales en el Atlántico Norte en relación con la temperatura superficial en el Atlántico norte subtropical (índice SA, Rodríguez-Fonseca y Castro, 2002). La Fig. 4 muestra los mapas compuestos de «alto menos bajo índice SA» de la tensión anómala del viento (w_s), el perfil térmico en 15°N (T_p), el flujo de calor latente (Q_{lat}) y la velocidad vertical (ω). Se aprecia cómo para calentamiento (enfriamiento) superficial en la región

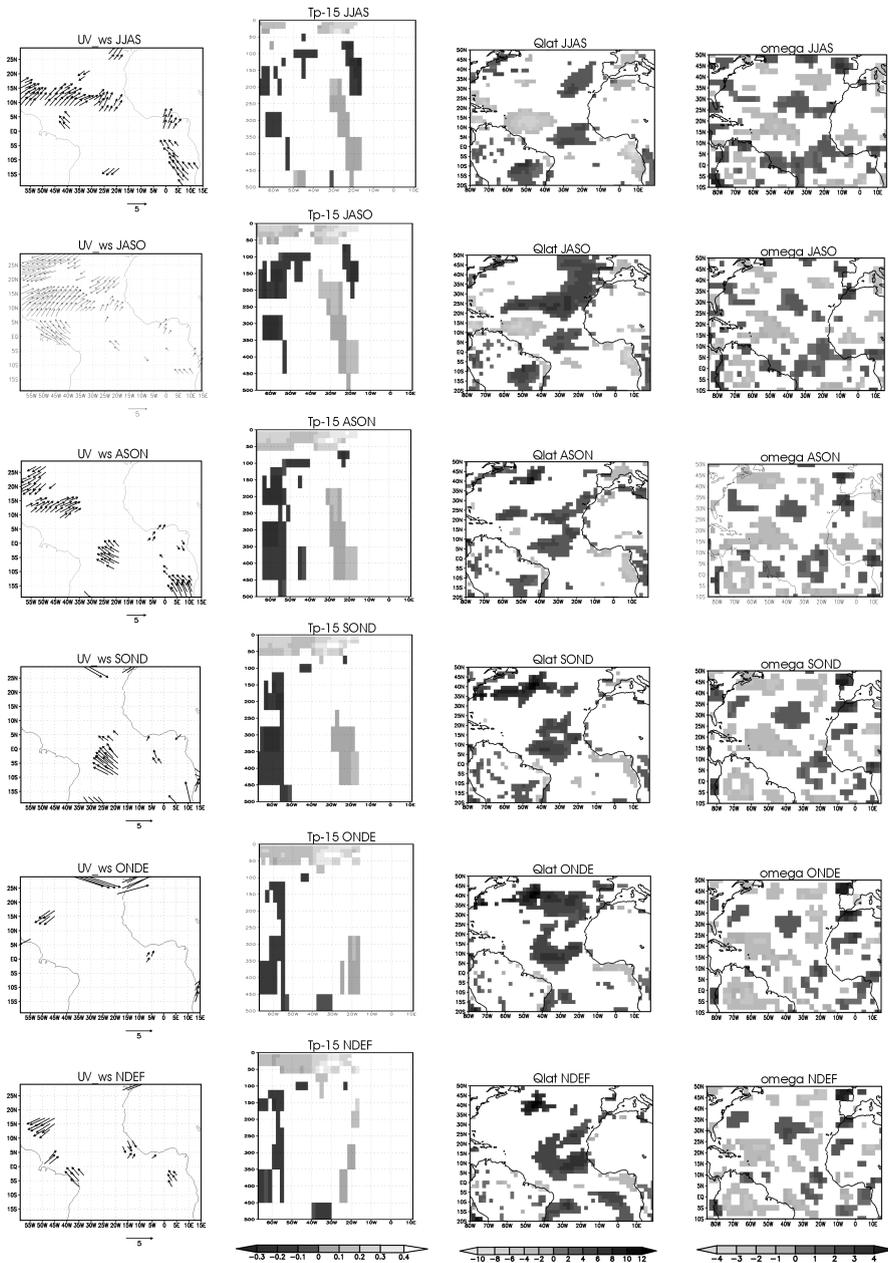


Figura 4. Mapas compuestos para «alto menos bajo índice» del índice del Atlántico Subtropical (SA), de la tensión del viento (mapas izquierdos, en m^2/s^2), el perfil térmico de 15N (mapas central-izquierdos, en $^{\circ}C$), el calor latente (mapas central-derechos, en Wm^{-2}) y la velocidad vertical en la región tropical (mapas derechos, en Pa^{-1}). Sólo las regiones donde la correlación entre cada variable y el índice SA eran significativas con un test T, se han representado.

SA; se produce un aumento (disminución) anómalo del flujo de calor latente hacia la atmósfera en el Atlántico Subtropical desde el verano hasta el invierno, y un aumento (disminución) de los movimientos ascendentes sobre todo en el trópico en casos de alto (bajo) índice SA. Todo esto aparece relacionado con un enfriamiento (calentamiento) anómalo en la columna al este de 20°W en el perfil de 15°N en verano, y anomalías negativas (positivas) de la tensión de los vientos alisios del norte y una tensión anómala tras-ecuatorial desde el verano anterior, fortaleciéndose las anomalías negativas de la tensión del viento durante el invierno en la región ANS.

4. CONCLUSIONES

Se ha encontrado una relación entre la variabilidad de la precipitación en Europa con los modos ecuatorial y meridional propios de la VAT.

Asimismo se ha encontrado una relación entre las variaciones de la temperatura de la superficie del mar en la rama subtropical del TA, y la columna oceánica de 0 a 500 m al este de 20°W desde el verano anterior, en relación con los cambios que acontecen en el régimen de precipitación en Europa en invierno. En la región subtropical se observa como los cambios de la SST están altamente relacionados con los cambios en la velocidad vertical, la tensión del viento y los flujos de calor latente.

De este modo, a la hora de explicar un posible mecanismo que explique la aparición y persistencia de las anomalías de la SST en la región ANS, hay que considerar las variaciones de la tensión del viento actuando directamente sobre la superficie del mar en la región ANS, así como las variaciones en los afloramientos costeros y ecuatoriales y el gradiente inter-hemisférico de anomalías de SST causante de anomalías del viento atravesando el Ecuador.

No obstante hay que considerar asimismo que los cambios superficiales de temperatura en el subtropico no tienen por qué deberse sólo a cambios en el afloramiento y que los flujos de calor pueden ser de gran importancia. Es por ello que en futuros estudios se prevé realizar un balance de calor en la columna.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRETHERTON, S. B.; C. SMITH & J. H. WALLACE (1992). An Intercomparison of methods for finding coupled patterns in climate data. *J. Climate*, 5, 541-560.
- CAYAN, D. R. (1992). Latent and sensible heat-flux anomalies over the northern oceans-driving the sea-surface temperature. *J. Phys. Oceanogr.*, 22, 859-881.
- CARTON, J. A.; X. CAO, B. S. GIESE & A. M. DA SILVA (1996). Decadal and interannual SST variability in the tropical Atlantic Ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, 26, 1165-1175.
- CHANG, P.; L. JI & H. LI (1997). A decadal climate variation in the tropical Atlantic Ocean from thermodynamic air-sea interaction. *Nature*, 385, 516-518.
- HURRELL, J. K. (1995). Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation. *Science*, 269, 676-679.

- KALNAY, E. M.; M. KANAMITSU, R. KISTLER, W. COLLINS, D. DEAVEN, L. GANDIA, M. IREDELL, S. SAHA, G. WHITE, J. WOOLLEN, Y. ZHU, M. CHELLIAH, W. EBISUZAKI, W. HIGGINS, J. JANOWIAK, K. C. MO, C. ROPELEWSKI, J. WANG, A. LEETMAA, R. REYNOLDS, R. JENNE & D. JOSEPH (1996). The NMC/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.
- LEGATES, D. R. & C. J. WILLMOTT (1990). Mean Seasonal and Spatial Variability in Gauge-Corrected, Global Precipitation. *Int. J. Climatol.*, 10, 111-127.
- OKUMURA, Y.; S. P. XIE, A. NUMAGUTI & Y. TANIMOTO (2001). Tropical Atlantic air-sea interaction and its influence on the NAO. *Geophys. Res. Lett.*, 28, 8, 1507-1510.
- ROBERTSON, A. W.; C. R. MECHOSO & Y. J. KIM (2000). The influence of Atlantic sea surface temperature anomalies on the North Atlantic Oscillation. *J. Climate*, 13, 122-138.
- RODRÍGUEZ-FONSECA, B. & M. 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. *Geoph. Res. Lett.*, 10.1029/GL014421.
- RODRÍGUEZ-FONSECA, B.; I. POLO, E. SERRANO & M. CASTRO (2004). Evaluation of the North Atlantic SST forcing on the European and Northern African winter climate. *Int. J. Climatol.* (enviado).
- SERVAIN, J.; I. WAINER, J. P. MCCREAR & A. DOSSIER (1999). Relationship between the equatorial and meridional modes of climate variability in the tropical Atlantic. *Geophys. Res. Lett.*, 26, 485-488.
- SMITH, T. M. & R. W. REYNOLDS (2003). Extended Reconstruction of Global Sea Surface Temperatures Based on COADS Data (1854-1997). *J. Climate*, 16, 1495-1510.
- SUTTON, R. T.; W. A. NORTON & S. P. JEWSON (2001). The North Atlantic Oscillation – What Role for the Ocean? *Atmospheric Science Letters*, 10.1006/asle.2000.0018.
- SUTTON, R. T. & M. R. ALLEN (1997). Decadal predictability of the North Atlantic sea surface temperature and climate. *Nature*, 388, 563-567.
- VAUCLAIR, F. & Y. DU-PENHOAT (2001). Interannual Variability of the upper layer of the tropical Atlantic Ocean from in situ data between 1979 and 1999. *Climate Dyn.*, 17, 527-546.
- VENZKE, S.; M. R. ALLEN, R. T. SUTTON & D. P. ROWELL (1999). The Atmospheric response over the North Atlantic to Decadal Changes in Sea Surface Temperature. *J. Climate*, 12, 2562-2584.
- ZEBIAK, S.E. (1993). Air-sea interaction in the equatorial Atlantic region. *J. Climate*, 6, 1567-1586.

