

VARIABILIDAD CLIMÁTICA DEL OCÉANO ATLÁNTICO TROPICAL EN ESCALAS TEMPORALES DE VARIOS AÑOS A DÉCADAS

Maria José ORTIZ BEVIA, Francisco ÁLVAREZ GARCÍA
y William CABOS NARVÁEZ.
Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares, Madrid.

RESUMEN

Se ha analizado la variabilidad climática del océano Atlántico tropical a partir de 50 años de observaciones y 200 años de simulación con un modelo acoplado océano - atmósfera. Con ayuda de distintas técnicas estadísticas se han identificado los patrones de variabilidad de las temperaturas de la superficie del océano (SST) Atlántico tropical y los posibles mecanismos responsables de dicha variabilidad.

Palabras clave: Variabilidad climática, Atlántico, tropical, análisis espectral

ABSTRACT

A study of the tropical Atlantic Ocean climatic variability is presented. We analyze 50 years of observed data and 200 years of data from an OPYC3-ECHAM4 coupled ocean-atmosphere model simulation. We use a number of statistical methods in order to identify the patterns of sea surface temperatures (SST) variability in the tropical Atlantic and study the mechanisms responsible for this variability.

Key words: Climatic variability, Atlantic, tropical, spectral analysis

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas se ha dedicado especial atención al estudio del fenómeno del Niño, tanto por su interés científico como por sus implicaciones económicas y sociales. Mucho menos esfuerzo ha sido dedicado al estudio del Océano Atlántico tropical, que presenta una variabilidad menos intensa y menos importante para el clima global que su contraparte del Océano Pacífico pero no por ello menos interesante y compleja (CABOS *et al.*, 1998).

La variabilidad del océano Atlántico tropical puede ser separada en tres escalas temporales claramente diferenciadas: La variabilidad estacional tiene un peso específico en la variabilidad de este océano superior al que tiene en el Pacífico, ya que los episodios fuertes de calentamiento o enfriamiento en el océano Atlántico aparecen como un reforzamiento de esta variabilidad estacional (PHILANDER, 1990).

La variabilidad interanual (es decir, con períodos típicos de unos cuantos años) es más notoria en dos regiones: El Golfo de Guinea y la región cercana a las costas del África subsahariana (Cabo Verde) (SERVAIN, 1993, CURTIS y HASTENRATH, 1995).

La variabilidad decadal se manifiesta a través de la variabilidad coherente de regiones al norte y al sur de una línea que aproximadamente coincide con la región que cubre la Zona de Convergencia Intertropical a lo largo del año. Estas dos regiones suelen estar anticorrelacionadas (dando lugar a lo que se conoce como el patrón dipolar del Atlántico) Aunque también pueden estar correlacionadas o no estarlo en absoluto (SERVAIN, 1993, CHANG *et al.*, 1996).

Teniendo esto en cuenta, previo al análisis estadístico, se han manipulado los datos para aislar los distintos tipos de variabilidad. Se ha efectuado un análisis espectral de las anomalías y se han reconstruido las series con diferentes bandas de frecuencia. Para ello se han seleccionado las siguientes bandas:

- Banda 1: Períodos de 7 años a 20 años. Se seleccionó esta banda con el fin de aislar en ella la variabilidad interdecadal. Como la longitud de la serie de datos observados es de 50 años, 20 años es el período de la última frecuencia que puede ser tomada en cuenta de manera fiable.
- Banda 2: Períodos de 4 a 7 años. Esta banda se escogió por corresponder a las frecuencias propias del fenómeno ENSO, cuya influencia sobre el Atlántico Tropical también queremos estudiar.
- Banda 3: Períodos de 1.5 a 4 años: Esta banda incluye los períodos característicos de la variabilidad interanual en el Golfo de Guinea.
- Como representativos de la variabilidad estacional se han tomado los patrones de las POPs calculadas a partir de la climatología de las observaciones de SST disponibles.

Después de aplicar los respectivos filtros espectrales, se reconstruyó la serie usando las frecuencias de cada una de las bandas.

Las series reconstruidas se han analizado empleando técnicas estadísticas de análisis multivariante, en particular el análisis de POPs (Principal Oscillation Patterns) estacionarias (von STORCH *et al.*, 1993), con objeto de identificar los patrones de variabilidad más importantes en cada banda.

A continuación procedemos a dar una breve descripción de la técnica de las POPs usada en este estudio.

Las POPs resultan de suponer que un proceso dado es un proceso multivariado estocástico regresivo de primer orden, lo cual permite hallar las frecuencias y los patrones espaciales que caracterizan las propiedades propagantes de dicho proceso.

Previo al análisis de POPs se reducen los grados de libertad del sistema a través del análisis de EOFs (Empirical Orthogonal Functions), cada una de las cuales corresponde al patrón espacial que explica la máxima varianza del campo en aproximaciones sucesivas. Es decir, la primera EOF es el patrón espacial que explica la máxima varianza del campo original, la segunda EOF es el patrón espacial que explica la máxima varianza del campo que resulta de sustraer del campo original la primera EOF (los coeficientes temporales por los que se multiplica la EOF reciben el nombre de Componentes principales y nos proporcionan la variabilidad temporal de la EOF). El campo que se

utiliza para hallar las POPs es el campo reconstruido usando unas cuantas EOFs, que usualmente explican la mayor parte de la varianza del campo original. Nosotros dejamos el número de EOFs que explican al menos el 95% de la varianza.

2. ANÁLISIS DE LAS OBSERVACIONES

En la banda 1 (de 7-20 años) se ha encontrado un par de POPs, la primera de las cuales corresponde al patrón dipolar. En esta POP las regiones con más variabilidad son exteriores a la franja ecuatorial de 5° S-5° N, siendo la región cercana a las costas de África subsahariana las de mayor variabilidad. La segunda POP muestra un patrón con anomalías de igual signo en toda la región comprendida entre 25° S y 25° N, con estructura en el Golfo de Guinea. Los coeficientes temporales de ambas POPs presentan un período de aproximadamente 10 años.

El análisis de la banda 2 (de 4-7 años) arroja un par de POPs. El patrón de la primera es del mismo signo en todo el dominio 30° S-30° N con excepción de una zona de anomalías de signo opuesto en la región de Cabo Verde. La variabilidad de este patrón es mayor en la región del golfo de Guinea, al sur del ecuador y al este de 20° W. La amplitud de las anomalías en la región de Cabo Verde es aproximadamente la mitad de la de las anomalías en el sur. En cuanto al segundo patrón, su estructura le asocia a la variabilidad interanual en el Golfo de Guinea. Más al norte, por encima de 5° N, las anomalías cambian de signo y su amplitud es menor. Ambas POPs tienen en común que su variabilidad es mayor en la región este tanto al norte como al sur de la Zona de Convergencia Intertropical. Los períodos de los coeficientes temporales son fundamentalmente de cinco años.

La banda 3 (de 1.5 a 4 años) se caracteriza por dos pares de POPs, con un primer patrón homogéneo con estructura en el Golfo de Guinea. En el patrón de la segunda POP las anomalías del Golfo de Guinea son de signo opuesto a las del resto del dominio. El patrón de la tercera POP es uniforme, mientras que en el cuarto patrón destaca la presencia de una franja que se extiende desde la región de Cabo Verde hacia la costa sudamericana, centrada en un eje que uniría la costa de África a unos 15°N con la de Sudamérica a unos 5°N, con anomalías máximas en la parte oriental. Tanto al Norte como al Sur la franja descrita está flanqueada por anomalías de signo opuesto.

Dado que pretendemos relacionar la variabilidad interanual con la estacional, hemos caracterizado esta última utilizando también las POPs. Sin embargo, como se expuso antes, en este caso no separamos la banda de frecuencias correspondiente, sino que operamos sobre la climatología de las observaciones de SST. El análisis de POPs de dicha climatología separa los ciclos anual y semianual en dos pares de patrones. El primer patrón con período semianual presenta fundamentalmente la variabilidad de esa frecuencia en el Golfo de Guinea: desde el mismo y a lo largo del Ecuador se encuentran anomalías con intensidad decreciente hacia el Oeste. En la zona de Cabo Verde aparece una estructura que se repite, con signos opuestos, en el segundo patrón con período semianual. Si bien en éste no se presenta la misma estructura que en el anterior para el Golfo de Guinea, en general ambos patrones muestran variabilidad a lo largo de la costa africana, frente a una menor actividad en la parte occidental del Atlántico. La característica fundamental de las POPs con período anual es, en cambio, el contraste latitudinal, con patrones dipolares en ambos casos, sobre los cuales pueden reconocerse rasgos como los detallados en patrones anteriores para el Golfo de Guinea, que aparecen en la primera de estas POPs.

3. ANÁLISIS DE LA SIMULACIÓN

En la banda 1 (de 7-20 años) se han encontrado dos pares de POPs. El primer patrón del primer par de la simulación es semejante al segundo patrón del primer par de POPs de las observaciones para esta misma banda. El segundo patrón muestra un contraste entre las regiones ecuatorial y extraecuatorial, tanto en el signo como en la amplitud de las anomalías, mayores en la última. En el segundo par de POPs, la primera presenta una estructura similar a la de la segunda POP de la banda 2 (de 4-7 años) de las observaciones, y a la segunda POP de la banda 3 (de 4-1.5 años) también de las observaciones. La segunda POP de este par guarda similitud con la primera de la banda 1 (de 7-20 años) de las observaciones. Se trata del patrón típico dipolar, con su núcleo de mayor variabilidad en el sur 5° más alejado del ecuador que su contraparte en la primera POP observada. Además, tanto el núcleo sur como el norte se encuentran más al interior del océano.

Los coeficientes temporales de los dos pares de POPs se ajustan bien al comportamiento teórico esperado, con el primer coeficiente de cada par precediendo al segundo.

Pueden distinguirse tres etapas en el comportamiento del primer par de coeficientes: en los 90 años iniciales, ambos presentan un periodo de unos 10 – 15 años. El siguiente estadio lo constituyen, para el primer coeficiente, un intervalo en el que su amplitud es relativamente pequeña, mientras que para el segundo se reduce la amplitud y aumenta la frecuencia de las oscilaciones. En su etapa final, y después de un cierto periodo de ajuste, los coeficientes entran en un régimen muy similar al inicial. La POP 3 también presenta 3 regímenes claramente diferenciados: los primeros 90 años se caracterizan por oscilaciones más o menos regulares con períodos de unos 15 años seguidos 40 años de oscilaciones más frecuentes que hacia el año 135 vuelven a tener menos frecuencia. En la evolución temporal de la POP 4 son dos los periodos distinguibles: Durante los primeros 70 años las oscilaciones ocurren con una frecuencia aproximada de unos 7 años, en tanto que las oscilaciones en los años siguientes tienen una menor frecuencia.

El análisis de la banda 2 (de 4-7 años) nos da dos pares de POPs. El patrón de la primera es uniforme y similar al de la tercera POP que presentan las observaciones en la banda 3 (de 1.5-4 años). El segundo patrón contiene estructuras similares, aunque con el signo cambiado, a las que se dan en la segunda POP de la banda 3 (de 1.5-4 años). El primer patrón del segundo par da anomalías de un mismo signo en prácticamente todo el dominio, con la zona de máxima variabilidad en una banda latitudinal alrededor de 15° S. La segunda POP del par es, de nuevo con una inversión del signo, parecida a la segunda de las observaciones en la banda 1 (de 7-20 años).

Los períodos de los coeficientes temporales son fundamentalmente de cinco años. La POP 1 siempre va por delante de la POP 2 en tanto que no podemos decir lo mismo de las POPs 3 y 4. Existen períodos en que la 3 precede a la 4, otros en que la 4 precede a la 3 y otros en que van igual.

En la banda 3 (de 1.5-4 años) hemos seleccionado 2 POPs, que corresponden bastante bien a las POPs de las observaciones en la misma banda. La escala dominante de los coeficientes de estos patrones, tanto en las observaciones como en la simulación es de 2.5 años. Sin embargo, en los coeficientes de la simulación no se observa ningún rasgo de comportamiento propagante.

En lo referente al ciclo anual, hemos aplicado la misma metodología a la climatología del modelo. Al igual que con las observaciones, se obtienen dos pares de POPs, con periodicidad anual y semianual,

respectivamente. En el primer par de POPs que corresponden al ciclo semianual los patrones espaciales observados y simulados son básicamente el mismo. En el patrón 1 hay un contraste entre el trópico y la región extratropical, en el patrón 2 el contraste es entre la región comprendida entre 10°S y 20°N y el resto del dominio. Aparece, sin embargo, en las observaciones una dipolaridad en las anomalías próximas a la costa de Africa y al norte de 5°N, que no se reproduce en el modelo.

Los máximos y mínimos del primer coeficiente observado y simulado del ciclo semianual coinciden. Los máximos del segundo coeficiente simulado están desplazados un mes con respecto a los del segundo coeficiente observado. Pero, sobre todo, mientras que en el ciclo observado el primer coeficiente tiene una importancia menor que el segundo, en el ciclo simulado los dos coeficientes tienen aproximadamente la misma importancia. Para el segundo par, que tiene un periodo anual, se encuentra que en las observaciones el coeficiente del tercer patrón es más importante que el coeficiente del cuarto, siendo en la simulación la importancia de ambos coeficientes comparable.

4. CONCLUSIONES

Hay más variabilidad decadal (cuatro POPs) en la simulación que en las observaciones, debido probablemente a que la serie simulada es más larga que la observada.

La variabilidad decadal de la banda 1 en las observaciones viene dada por la evolución de un patrón homogéneo en el trópico, con anomalías de signo distinto en el extratropico, a otro patrón dipolar. En la variabilidad decadal de la banda 1 en la simulación, el primer patrón se alterna con otro en donde la región homogénea se reduce a (17°S-7°N), mientras que aparece como consecuencia de que la región del Golfo de Guinea está conectada con la parte norte del Atlántico tropical. En el otro patrón el Golfo de Guinea tiene su variabilidad con el mismo signo que la corriente de Benguela. Además, aparece el patrón dipolar en la banda 3 de las observaciones (POP 2), y también en el segundo par de POPs (periodo anual) de la climatología tanto del modelo como de las observaciones. La diferencia entre estos dos últimos patrones dipolares es que uno de ellos tiene variabilidad más intensa en el Golfo de Guinea.

El patrón homogéneo con anomalías de distinto signo en los extratropicos aparece además en la POP 1 y también en la POP 4 de la banda 2 y en la POP 1 de la banda 3 de la simulación. Este patrón está conectado con el ciclo semianual.

El patrón "Golfo de Guinea" aparece en la POP 2 de la banda 2 y en las POPs 2 y 4 de la banda 3 de las observaciones. También en la POP 2 de modelo y observaciones ligada al ciclo semianual.

En resumen, el patrón homogéneo con anomalías de signo distinto en los extratropicos está asociado, en las observaciones, a un patrón en la variabilidad de la banda 1 y al ciclo semianual, y, en la simulación, a dos patrones en la variabilidad de la banda 1, a dos patrones en la variabilidad de la banda 2 y a un patrón en la variabilidad de la banda 3.

El patrón dipolar aparece en un patrón de la variabilidad de la banda 1 y ligado a dos patrones con periodo anual en la climatología de las observaciones, y a un patrón en la banda 3 de las observaciones. En la simulación, este patrón aparece cuando la variabilidad del Golfo de Guinea se conecta con el Atlántico sur (probable influencia de la corriente de Benguela).

El patrón de 1 Golfo de Guinea aparece en las observaciones en las bandas 2 y 3, y en la simulación también en las bandas 2 y 3, y está ligado en las climatologías al ciclo semianual. Resulta interesante resaltar que en la simulación el patrón de variabilidad del Golfo de Guinea está unas veces conectado con la corriente de Benguela y otras con la de Brasil, y que estas conexiones no aparecen en las observaciones, probablemente debido a la falta de datos. Esta conexión pone de manifiesto mecanismos dinámicos ligados a la variabilidad de los sistemas de corrientes que ciertamente se dan y que están siendo investigados por este grupo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CABOS NARVÁEZ, W.; ORTIZ BEVIA, M. J. y OBERHUBER, J. M. (1998): "The variability of the Tropical Atlantic", *J. Geophys. Res.*, **103**, 7475 - 7489.
- CHANG, P., JI, L. y LI, H. (1996): "A decadal climate variation in the tropical Atlantic Ocean from thermodynamic air-sea interactions", *Nature*, **385**, 516 - 518.
- CURTIS, S. y HASTENRATH, S. (1995): "Forcing of anomalous sea surface temperature evolution in the Tropical Atlantic during Pacific warm events", *J. Geophys. Res.*, **100**, 15835 - 15847.
- PHILANDER, S. G. H. (1990): *El Niño, La Niña and the Southern Oscillation*, San Diego, Academic Press, 293 pp.
- SERVAIN, J. (1993): "Simple climatic indices for the Tropical Atlantic Ocean and some applications", *J. Geophys. Res.*, **96**, 15137 - 15146.
- STORCH, H. von, *et al.* (1993): "Principal Oscillation Pattern analysis", *MPIM Rep.* 113, 46 pp., Max-Planck-Inst. für Meteorol., Hamburg.

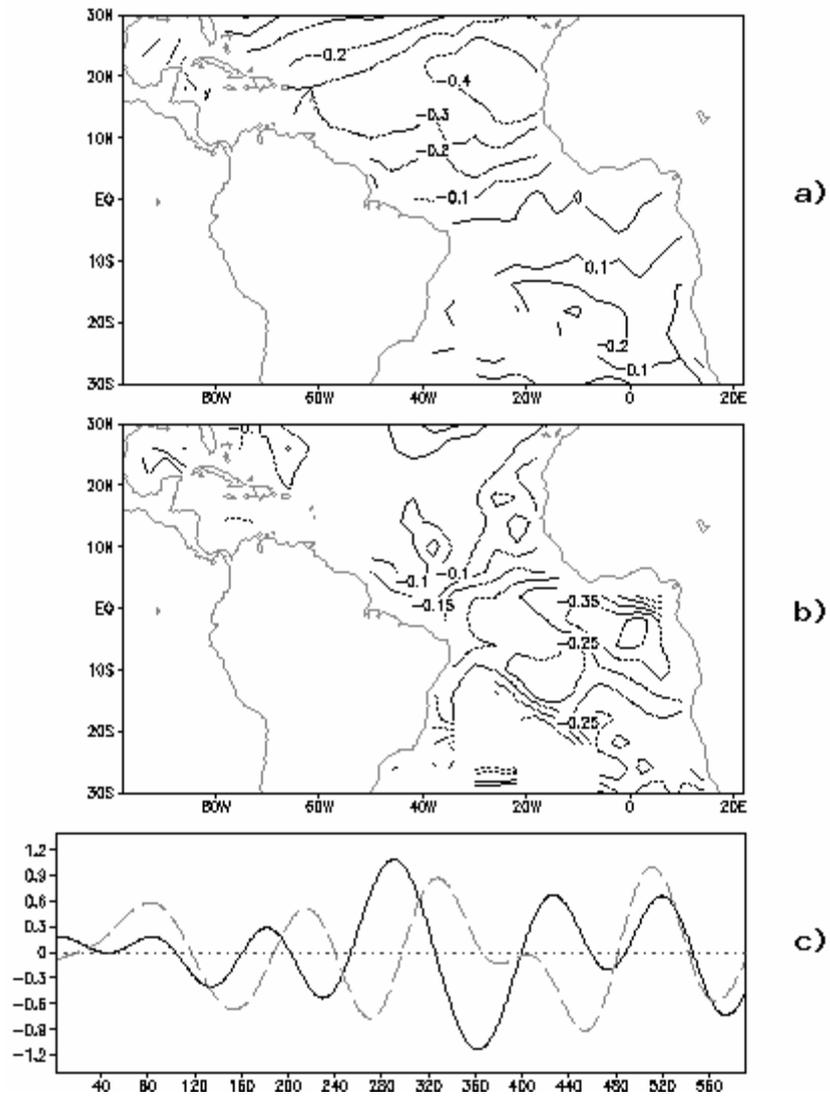


Figura 1. Par de POPs de las observaciones en la banda 1:

- a) Primer patrón espacial.
- b) Segundo patrón espacial.
- c) Coeficientes temporales (1: línea continua, 2: línea discontinua)

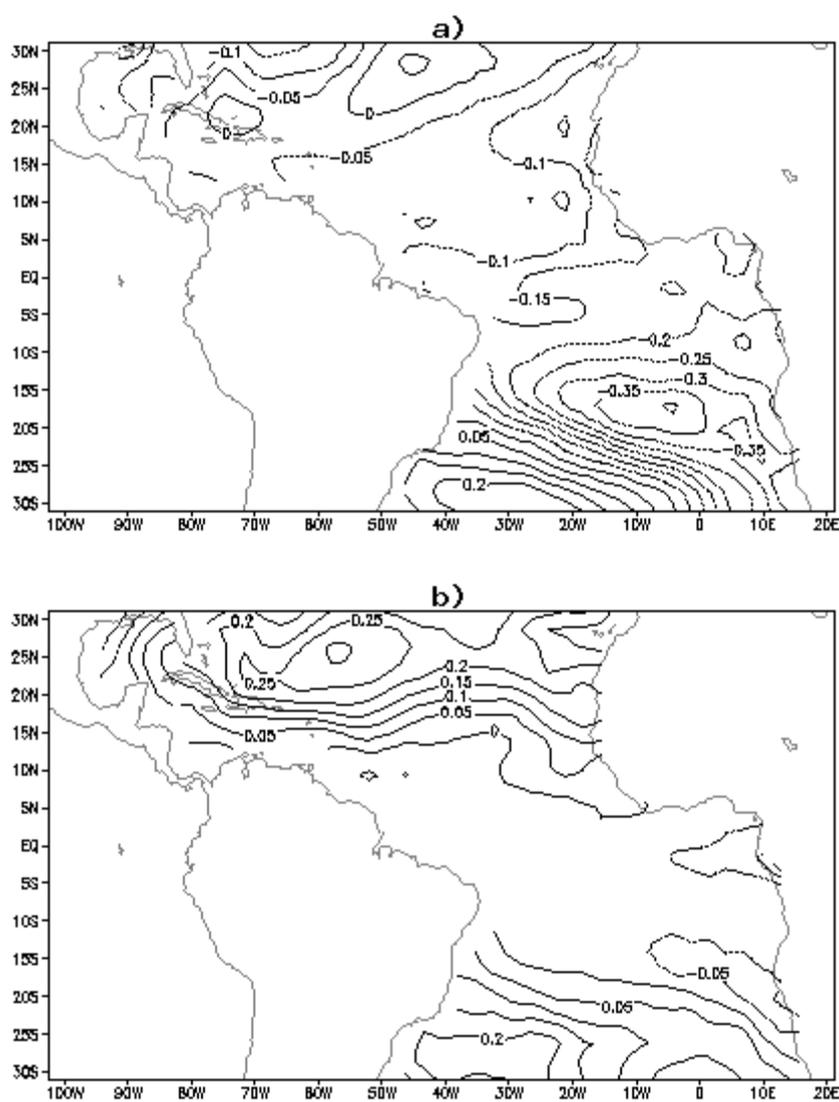


Figura 2. Pares de POPs de la simulación en la banda 1: primer par.

- a) Primer patrón espacial.
- b) Segundo patrón espacial.

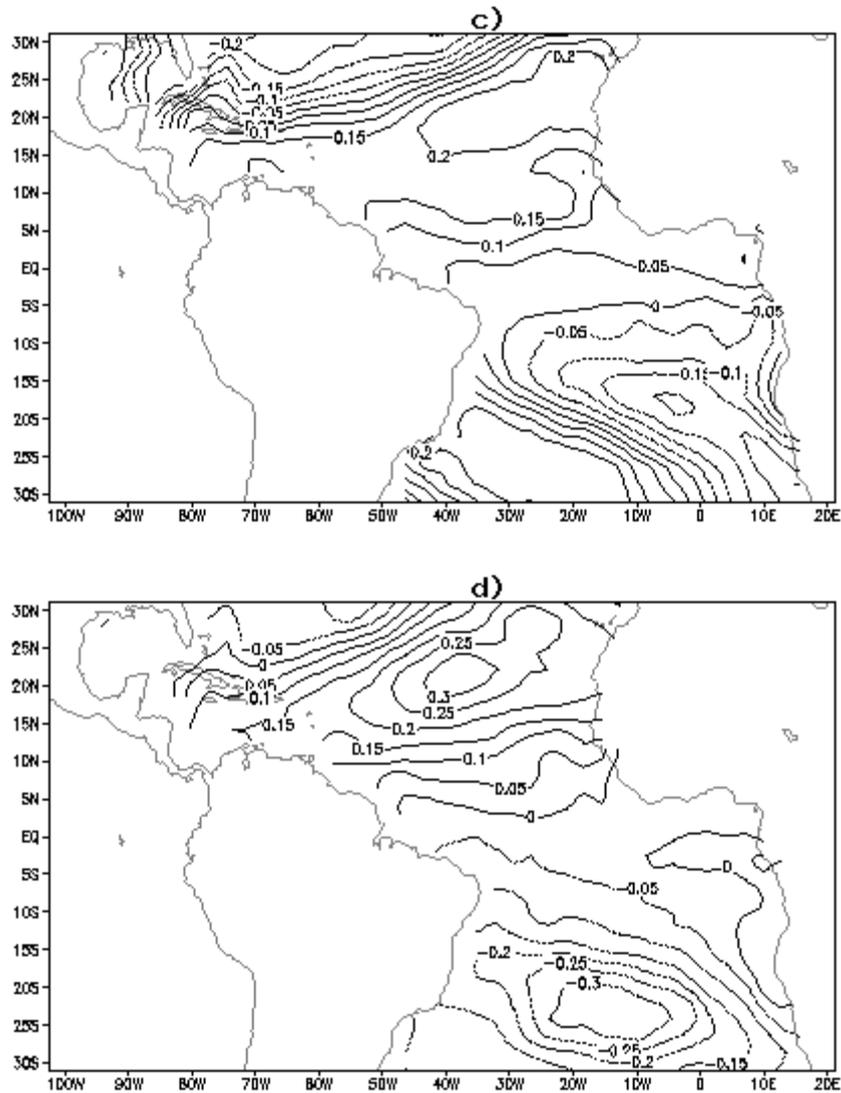


Figura 2 (cont.). Pares de POPs de la simulación en la banda 1: segundo par.

- c) Primer patrón espacial.
- d) Segundo patrón espacial.

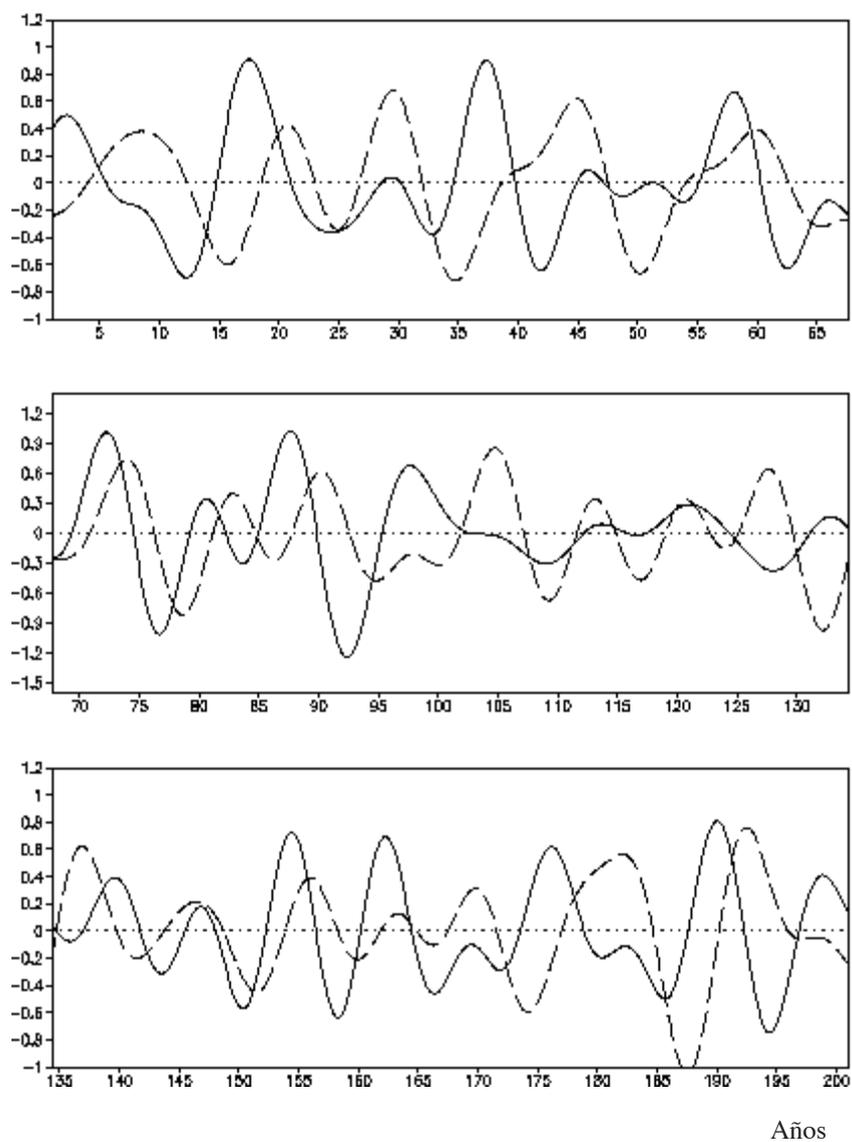


Figura 3. Pares de POPs de la simulación en la banda 1:
Coeficientes temporales del primer par (1: línea continua, 2: línea discontinua)

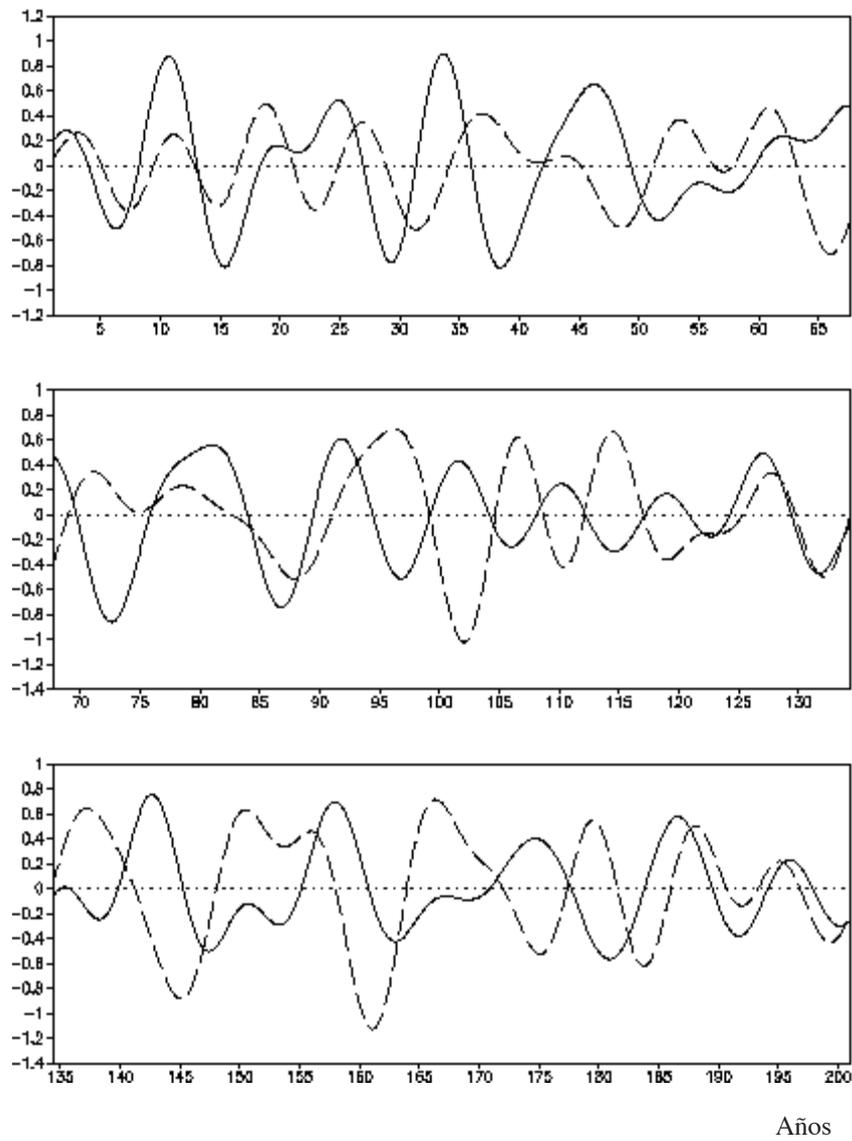


Figura 4. Pares de POPs de la simulación en la banda 1:
Coeficientes temporales del segundo par (1: línea continua, 2: línea discontinua)

