

TELECONEXIONES CON EL HEMISFERIO SUR DE TIPOS DE ENSO EN SIMULACIONES DE MODELOS ACOPLADOS DEL IPCC

Irene PÉREZ GONZÁLEZ, Francisco ÁLVAREZ GARCÍA
William CABOS NARVAEZ, y María José ORTIZ BEVIÁ
Departamento de Física. Grupo de Física del Clima. Universidad de Alcalá

RESUMEN

Hemos comparado las teleconexiones ENSO en los 240 años de datos de las simulaciones control y escenario del modelo acoplado atmósfera-océano ECHAM4-OPYC3. Una vez seleccionados los eventos, se identifica la respuesta atmosférica a ENSO en el Hemisferio Sur en regiones alejadas de la región Niño3. Para establecer las teleconexiones de ENSO en esta región se calculan compuestos de anomalías de presión a nivel del mar en diferentes fases de la evolución del ciclo ENSO. Se establece la significancia y consistencia de los compuestos mediante diversos tests estadísticos. Las regiones que muestran una respuesta significativa al ENSO en el modelo acoplado son el Pacífico Subtropical y las regiones tropicales de los océanos Atlántico e Índico y África. Los resultados obtenidos para la simulación de control se comparan con los obtenidos de dos conjuntos de datos reanalizados, los del Hadley Center y los del reanálisis NCEP. La simulación escenario proyecta un debilitamiento de las señales en las regiones anteriormente citadas.

Palabras clave: ENSO, Modelo Acoplado, Teleconexión, Hemisferio Sur.

ABSTRACT

We have compared ENSO teleconnections in the Southern Hemisphere during the 240-year period of the control and scenario simulations performed with the coupled ocean-atmosphere GCM ECHAM4-OPYC3. Once the events have been selected, we aim to test the skill of the model at capturing the atmospheric response to ENSO in Southern Hemisphere regions far away the Niño3 area. Sea Level Pressure anomalies composites have been computed at several phases of ENSO evolution in order to establish ENSO teleconnections. The significance and consistency of the composites is established by several statistical tests. Regions that show significant response to ENSO are the Subtropical Pacific ocean and the tropical regions of the Atlantic and Indian oceans and Africa. The patterns obtained for the control simulation are compared with those determined in two reanalyzed datasets, from the Hadley Center and the NCEP. The scenario simulation depicts a weakening of the signals in the above mentioned regions.

Key words: ENSO, Coupled Model, Teleconnections, Southern Hemisphere.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las razones que hacen al ENSO la señal climática interanual más importante es su impacto en la variabilidad climática global. Este impacto recibe el nombre de teleconexiones.

Las teleconexiones de ENSO con los subtropicos se conocen desde hace mucho tiempo (WALKER y BLISS, 1932) pero fue en la década de los sesenta cuando se profundizó en su conocimiento con los trabajos pioneros de BERLAGE y DE BOER (1959, 1960). En la década de los 80 VAN LOON y MADEN (1981), VAN LOON y ROGERS (1981), VAN LOON y SHEA (1985) llevan a cabo un estudio sistemático de las teleconexiones de ENSO. Más recientemente ROPELEWSKI y HALPERT (1989) y HALPERT y ROPELEWSKI (1992) estudiaron el impacto de las teleconexiones sobre las precipitaciones. Las teleconexiones ENSO con las altas latitudes del Hemisferio Sur son particularmente fuertes en el Pacífico Sur y en la zona del Pasaje de Drake (TURNER, 2004) y cuando el forzamiento del ENSO es especialmente fuerte (otoño e invierno boreal) y el SOI y AAOI están positivamente correlacionados (FOGT y BROMWICH, 2005) En la actualidad se emplean modelos atmosféricos de circulación general para estudiar los mecanismos físicos a través de los cuales se transmite la influencia de ENSO a regiones lejanas, lo que se da en llamar 'el puente atmosférico' (por ejemplo ALEXANDER *et al*, 2002) El estudio de las teleconexiones de ENSO ha recibido tanta atención porque proporciona la mayor fuente de predecibilidad de la variabilidad climática en los océanos tropicales y las latitudes medias y porque su análisis nos permite profundizar en los mecanismos que las mantienen. Por ello resulta importante valorar cuáles son las modificaciones que pueden sufrir estas conexiones como consecuencia de los cambios inducidos por el cambio climático artificial.

Existe una fuerte dependencia de las teleconexiones de la localización geográfica y de las estaciones del ciclo anual (ROPELEWSKI y HALPERT, 1987; KILADIS y DÍAZ, 1989; MASON y GODDARD, 2001). En cualquier caso, el porcentaje de variabilidad que explican es pequeño si se comparan con el explicado por la variabilidad meteorológica. Inicialmente las teleconexiones se estudiaban a través del análisis de las correlaciones entre un índice climático que caracterizaba la variabilidad de la oscilación climática en cuestión (originalmente para ENSO el índice de la Oscilación del Sur (SOI), para la NAO el índice NAO), y las series temporales de anomalías de los distintos campos atmosféricos. Es lo que se conoce como 'patrones de teleconexión'. La significancia de estos patrones viene dada por los tests estadísticos de significancia, univariados y multivariados, aplicados a las correlaciones. Los valores de los patrones de teleconexión son muy bajos fuera del Pacífico subtropical y el Índico.

Por ello para la caracterización de las teleconexiones se han utilizado también 'compuestos' (en inglés 'composites'). Los compuestos son promedios de las anomalías en cuestión para las distintas fases del ciclo. Los compuestos no presuponen, como hacen las correlaciones, una relación lineal entre las dos variables correlacionadas, sino que en su estimación subyace el concepto de 'probabilidad condicional': se estima el valor probable de las anomalías de una variable meteorológica dada una determinada fase del índice que facilita el seguimiento del ciclo. Los compuestos utilizados por RASMUSSEN y CARPENTER (1982a) para caracterizar el ciclo de ENSO se indexaban además por la fase del ciclo anual. Para determinar la significancia punto a punto se utilizan pruebas estadísticas no paramétricas. Además, puesto que el campo es multivariado, hay que determinar una significancia multivariada, un problema que se aborda desde distintos presupuestos (promedios regionales (LIVEZEY y CHEN, 1983), determinación de patrones multivariados de respuesta (HANNOSCHOCH y FRANKIGNOUL, 1985).etc). También existen pruebas estadísticas para determinar la consistencia del signo de las anomalías con el signo del compuesto (KILADIS y DÍAZ, 1989). Los compuestos han sido utilizados con éxito para determinar el impacto observado de ENSO en observaciones de anomalías de presión a nivel del mar en el Hemisferio Sur (KAROLY, 1989).

DATOS Y METODOLOGÍA

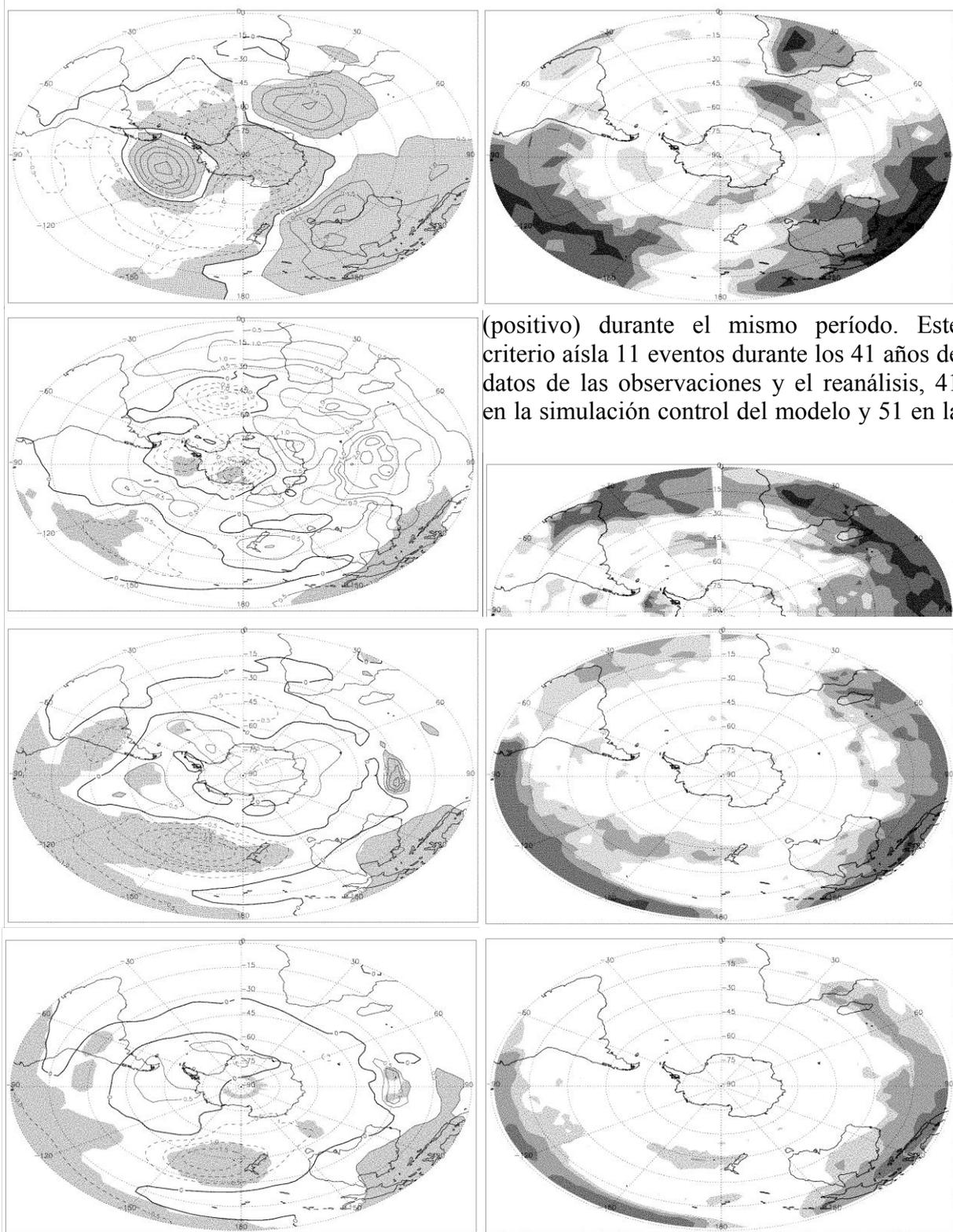
El estudio de los patrones de teleconexión y su eventual modificación a causa de un cambio climático artificial se ha realizado a través del análisis de las simulaciones climáticas generadas por el Modelo Acoplado de Circulación General ECHAM4-OPYC3 desde 1860 hasta 2100. En la simulación control, se establece una evolución del clima asumiendo que los efectos de los factores antropogénicos no varían: los valores de las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, metano y nitratos se consideran fijos, con los valores que tenían en 1990. En el modelo no se simula el ciclo del sulfuro en la atmósfera y las concentraciones de gases industriales (CFC y otros) se toman igual a cero, en tanto que para las concentraciones de ozono y aerosoles se toman los valores climatológicos actuales. Para detalles sobre las simulaciones que hemos utilizado en este trabajo el lector puede remitirse a ROECKNER *et al* (1995).

La simulación escenario incluye la variación temporal de la concentración de algunos gases industriales (los tipos más importantes de CFC, HCFC, HFC, CCl₄, CH₃CCl₃) tomando los valores actuales hasta 1990. Desde esta fecha en adelante la evolución de los valores se fija de acuerdo al escenario IS92a del IPCC de 1992 corregidos para que los valores de las concentraciones estén de acuerdo con el escenario de Copenhage (IPCC de 1996). Como valores iniciales de esta simulación se ha tomado el estado del clima de la corrida de control correspondiente nominalmente a 1860, aunque los valores de las variables climatológicas no corresponden a las condiciones climáticas presentes. Para calcular el valor correcto del forzamiento radiativo a partir de 1860 se incluye una modificación en las concentraciones que aunque nos da valores correctos de forzamiento radiativo no corrige el calentamiento espúreo introducido en las condiciones iniciales que se mantiene a lo largo de toda la corrida escenario. Por ello, como resultado del análisis de estas simulaciones obtenemos tendencias de la evolución del clima que pueden ser comparadas con las observaciones.

Se incluyen en este estudio datos de observaciones y de reanálisis. Los datos de observaciones de temperatura de la superficie del mar (SST) y presión en la superficie del mar (SLP) se han obtenido, respectivamente, del Hadley Centre's sea ice and sea surface temperature data set (HadISST1, 1871-1998) y del Hadley Centre's mean sea level pressure data set (HadSLP1, 1871-1998). Los datos del reanálisis son del National Center for Environmental Prediction-National Center for Atmospheric Research (NCEP-NCAR) (KALNAY *et al*, 1996; KISTLER *et al*, 2001). Debido a la menor calidad de los datos anteriores al mes de julio de 1957, se ha tomado un período de estudio de 41 años (1958-1998) para los dos sets de datos (TRENBERTH y CARON, 2000) Una relación de los problemas y errores asociados a los datos del Hemisferio Sur de este reanálisis puede encontrarse en KISTLER *et al* (2001)

El análisis propuesto se ha llevado a cabo a través del estudio de los compuestos de anomalías de SLP para las distintas fases de los eventos seleccionados. Éstos se han identificado a partir de dos índices climáticos: NIÑO3 (anomalías de temperatura de la superficie del mar promediada en la región 5S-5N, 30E-90E) y SOI (diferencia entre las anomalías de SLP de Tahití y Darwin). Para que un calentamiento (enfriamiento) sea considerado un evento, el índice NIÑO3 ha de ser mayor (menor) que la desviación estándar (menos la desviación estándar) durante al menos tres meses, mientras que el SOI ha de permanecer negativo

TELECONEXIONES CON EL HEMISFERIO SUR DE TIPOS DE ENSO EN SIMULACIONES DE MODELOS ACOPLADOS DEL IPCC



(positivo) durante el mismo período. Este criterio aísla 11 eventos durante los 41 años de datos de las observaciones y el reanálisis, 41 en la simulación control del modelo y 51 en la

simulación escenario.

Fig. 1: (Izda.): Compestos de anomalías de SLP en otoño (SON) durante eventos ENSO. El intervalo de contorno es 0.5 mb. Las áreas sombreadas indican diferencia de medias estadísticamente significativa al 95% comparada con años normales. (Dcha.): Mapa de

consistencia de las señales de la Fig. 1(Izda). Las áreas sombreadas indican consistencias superiores al 60%. De arriba a abajo: Hadley Center, NCEP/NCAR, ECHAM4-OPYC3 (control y escenario).

Una vez seleccionados y clasificados los eventos se procede al cálculo de los compuestos. Partiendo de promedios estacionales (MAM,JJA,SON,DJF) de anomalías de SLP para cada punto, se obtiene el estado medio de las anomalías del campo durante cada tipo de evento para cada estación. Las anomalías de los datos observados y reanálisis se expresan como anomalías de la media mensual calculada durante el período de referencia 1951-1980 (JONES, 1994; JONES *et al*, 1999).

Para dotar de significancia estadística a los resultados obtenidos se realiza una primera prueba de significancia local. Esta prueba diferenciará con un cierto nivel de confianza los estados durante los eventos seleccionados y los años clasificados como normales. Se considera año normal a aquel en que no se cumplen las condiciones arriba descritas para considerar un evento y que, además, no ha sido precedido por ninguno. El test de suma de rangos de Wilcoxon-Mann-Whitney es un test no paramétrico que, dadas dos muestras independientes de datos (con m y n observaciones en cada una, $m < n$) asigna un rango en orden ascendente al conjunto formado por las dos muestras (con $N=m+n$ observaciones). Bajo la hipótesis nula de que ambas muestras han sido extraídas de la misma distribución, los N rangos deberían estar repartidos de manera arbitraria entre los dos grupos. El estadístico W (suma de rangos del grupo de las m observaciones) se usa como referencia a la distribución que resultaría de esa partición aleatoria y se construyen las regiones de rechazo y aceptación para el nivel de confianza del 95%. La consistencia de las señales, definida como el porcentaje de eventos que tienen anomalías del mismo signo que el resultante en el compuesto, también ha sido calculada en cada punto, resultando en los mapas que se muestran a la derecha de cada compuesto en las figuras 1 y 2.

Debido al carácter multivariado del campo en estudio es necesario establecer la significancia estadística del campo. Este problema se ha abordado siguiendo LIVEZEY y CHEN (1983) Se trata de comprobar si el porcentaje de área del dominio experimental que es localmente significativo es por accidente o no, mediante la generación de 1000 compuestos de Monte Carlo. Construyendo la distribución nula con los porcentajes de área significativa resultantes de las pruebas de Monte Carlo vemos si nuestro área experimental supera aquélla que ha superado un 95% de los tests, para un nivel de confianza del 95%.

3. RESULTADOS

Las figuras 1 y 2 muestran los compuestos de anomalías de SLP durante los otoños e inviernos cero (año de generación del evento) para los datos reanalizados, simulación control y simulación escenario del modelo, respectivamente.

En otoño (las estaciones están referidas al Hemisferio Norte) se distingue una estructura que consiste en una cresta de anomalías de presión elongada meridionalmente centrada alrededor de $110^{\circ}W$ y flanqueada al este y oeste por valles. Se trata del patrón PSA1 del “Pacific-South American Pattern” y está asociado en esta estación a la fase positiva del ENSO (MECHOSO, 2003) Este patrón de anomalías evoluciona hacia el típico de inviernos ENSO descritos entre otros por VAN LOON y MADDEN (1981) y TRENBERTH y CARON (2000).

TELECONEXIONES CON EL HEMISFERIO SUR DE TIPOS DE ENSO EN SIMULACIONES DE MODELOS ACOPLADOS DEL IPCC

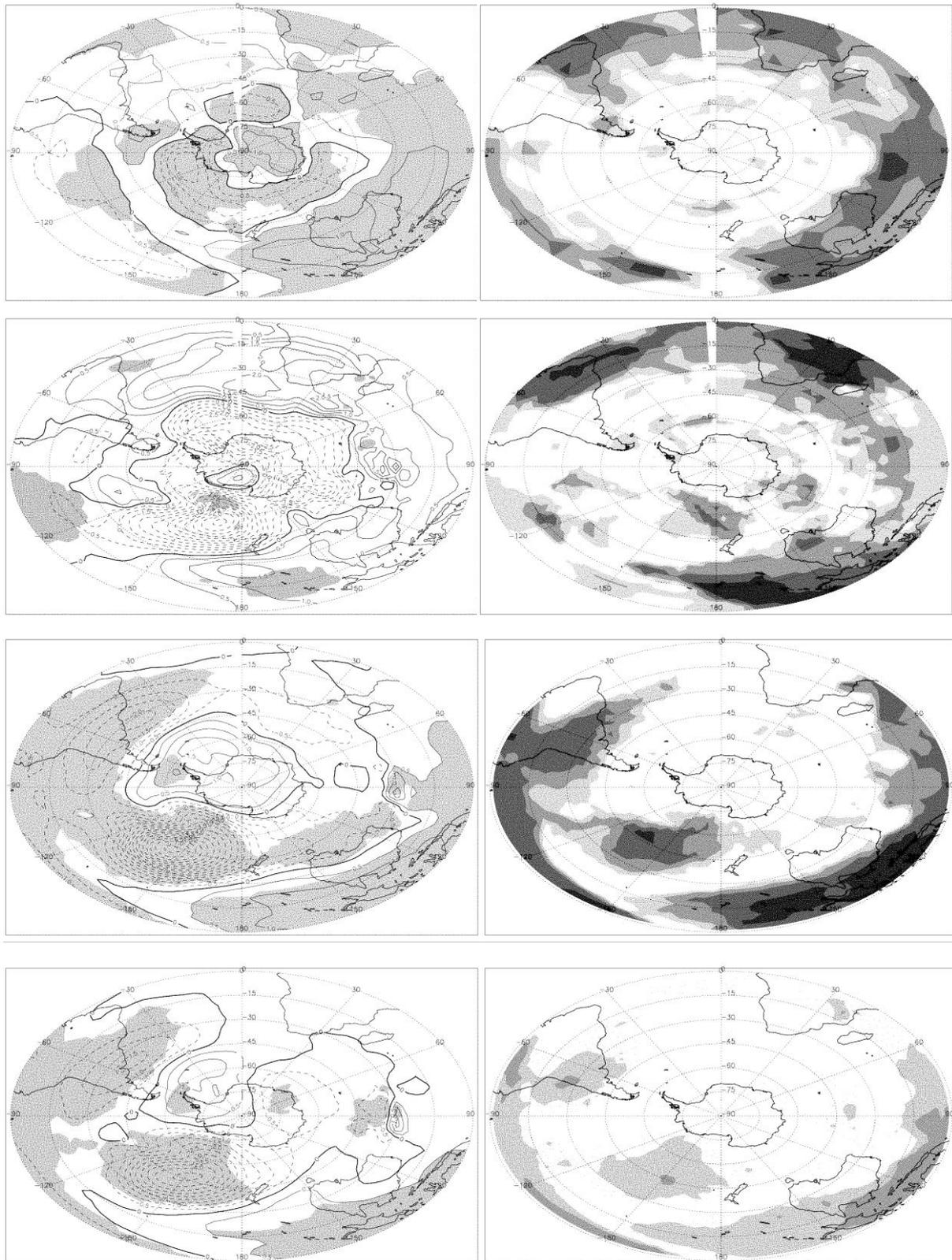


Fig. 2: (Izda.): Como Fig. 1 pero para las anomalías de SLP en invierno (DJF).

Podemos ver el debilitamiento de la Baja Subantártica y la Alta Subtropical y cómo la región de anomalías negativas del centro del Pacífico que en otoño se extendía hasta la costa de Chile pierde intensidad. En invierno las anomalías se hacen más extensas en el centro de acción Indonecio extendiéndose al sureste desde Australia y las anomalías positivas alcanzan a otras regiones de los trópicos (Océano Índico occidental, Atlántico y África). Fuera de la zona ENSO, los patrones de teleconexión que muestran las observaciones y el reanálisis son especialmente análogos durante el invierno, sin embargo existe una discrepancia entre las significancias locales de cada conjunto de datos, que puede ser debida a los diferentes modelos de interpolación (óptimo y dinámico, respectivamente) utilizados en cada uno.

Analizando los mapas correspondientes a la corrida control de las figuras 1 y 2 podemos ver hasta qué punto el modelo es capaz de capturar los rasgos principales de las teleconexiones ENSO en el Hemisferio Sur. El modelo reproduce la extensión del centro de acción Indonecio y la propagación de las anomalías positivas desde Australia hacia el este del otoño al invierno, pero amplifica tanto la extensión zonal como el debilitamiento de la Alta Subtropical asociada a los inviernos ENSO y no refleja las anomalías de presión positivas que en las observaciones cubren todo el continente antártico. Las teleconexiones de invierno con África y Atlántico tropical no quedan reflejadas y se refleja, aunque menos intenso, el patrón tipo PSA1 de otoño y el brazo de anomalías negativas sobre el sur de Suramérica que vienen del Pacífico. Un rasgo no observado, sin embargo es el reforzamiento, altamente consistente, de estas anomalías en invierno y su tránsito a través del subcontinente americano hacia el Atlántico subtropical.

Los patrones que el modelo proyecta ante un cambio climático artificial quedan reflejados en los paneles inferiores de las figuras 1 y 2. En los otoños del año de generación del Niño ya se observa, aunque con una señal muy débil, la estructura de debilitamiento del Alta Subtropical, con anomalías, para todo el dominio, de menor intensidad en ambas estaciones. Se mantiene la extensión de las anomalías positivas hacia el este de Australia invierno, pero se pierde el debilitamiento de la Baja Subantártica, si bien esta región tiene una consistencia especialmente baja en los datos generados por el modelo.

4. CONCLUSIONES

A partir del método de composite se ha puesto la metodología para caracterizar el impacto de ENSO en el Hemisferio Sur observándose respuestas significativas a los eventos y siendo la mayor signatura durante el otoño e invierno del año en que se generan. Las regiones que muestran una mayor respuesta son el Pacífico Subtropical y las regiones tropicales de los océanos Atlántico e Índico y África. Para la simulación escenario del modelo analizado se debilita la señal de teleconexión y se reduce el área significativa en las zonas de mayor respuesta.

Puesto que estos resultados son dependientes del modelo, se está llevando a cabo el mismo tipo de análisis para otros modelos acoplados.

5. AGRADECIMIENTOS

El programa de financiación puente de la Universidad de Alcalá UAH GC2005/099 ha financiado en parte este trabajo.

6. REFERENCIAS

- ALEXANDER, M. A. *et al.* (2002). "The Atmospheric Bridge: the Influence of ENSO Teleconnections on Air-Sea Interaction Over the Global Oceans". *Journal of Climate*, 15(16), pp. 2205-2231.
- FOGT, R.L. y BROMWICH, D.H. (2005). "Decadal variability of the ENSO teleconnection to the South Pacific governed by coupling with the Antarctic Oscillation". *16th Conference on Climate Variability and Change*.
- HALPERT, M. S. y ROPELEWSKI, C. F. (1992). "Surface temperature patterns associated with the Southern Oscillation". *Journal of Climate*, 5, pp. 577-593.
- HANNOSCHOCH, G. y FRANKIGNOUL, C. (1985). "Multivariate statistical analysis of a sea surface temperature anomaly experiment with the GISS general circulation model". *J. Atmos. Sci.*, 42, pp. 1430-1450.
- JONES (1994). "Hemispheric surface air temperature variations: A reanalysis and an update to 1993". *Journal of climate*, 7, pp. 1794-1802.
- JONES *et al.* (1999). "Surface air temperature and its changes over the past 150 years". *Rev. Geophys.*, 37, pp. 1-18.
- KALNAY, E. *et al* (1996). "The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, pp. 437-471.
- KAROLY, D.J. (1989). "Southern Hemisphere Circulation Features Associated with El Niño-Southern Oscillation events". *Journal of Climate*, 2, pp. 1239-1252.
- KILADIS, G.N. y DÍAZ, H. F. (1989). "Global Climatic Anomalies Associated with Extremes in the Southern Oscillation". *Journal of Climate*, 2, pp.1069-1090.
- KISTLER, R. *et al* (2001). " The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: monthly means CD-ROM and documentation". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82, pp. 247-268.
- LIVEZEY, R. E. y CHEN, W. Y. (1983). "Statistical Field Significance and its Determination by Monte Carlo Techniques". *Monthly Weather Review*, 111, pp. 46-59.
- MASON, S. J. y GODDARD, L. (2001). "Probabilistic precipitation anomalies associated with ENSO". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82, pp. 619-638.
- MECHOSO, C.R. ; ROBERTSON, A.W. y CAZER-BOEZIO, G. (2003). "ENSO impacts on the South American climate: role of the Pacific South American Pattern". *Geophysical Research Abstracts*, 5, 04667.
- RASMUSSEN, E. M. y CARPENTER, T. H. (1982a). "Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with Southern Oscillation/El Niño". *Monthly Weather Review*, 110, pp. 354-384.
- ROECKNER, E. *et al* (1995): ENSO variability and atmospheric response in a global coupled ocean-atmosphere GCM, *Max Planck Institut für Meteorologie Report N° 170*, Hamburgo.
- ROPELEWSKI, C. F. y HALPERT, M. S. (1987). "Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/ Southern Oscillation". *Monthly Weather Review*, 115, pp. 1606-1626.
- ROPELEWSKI, C. F. y HALPERT, M. S. (1989). "Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation". *Journal of Climate*, 2, pp. 268-284
- VAN LOON, H., MADDEN, R. A., 1981: 'The Southern Oscillation, Part 1. Global associations with pressure and temperature in northern winter'. *Monthly Weather Review*, 109, pp. 1150-1162.
- TRENBERTH, K.E. y CARON, J.M. (2000). "The Southern Oscillation Revisited: Sea Level Pressures, Surface Temperatures, and Precipitation". *Journal of Climate*, 13, pp. 4358-4365.

TURNER, J. (2004). Review: "The El Niño-Southern Oscillation and Antarctica". *International Journal of Climatology*, 24, pp. 1-31.

VAN LOON, H. y MADDEN, R.A. (1981). "The Southern Oscillation, Part I: Global associations with pressure and temperature in the northern winter". *Monthly Weather Review*, 104, pp. 1354-1361.

VAN LOON, H. y ROGERS, J.C. (1981). "The Southern Oscillation, Part II: Association with changes in the middle troposphere in the northern winter". *Monthly Weather Review*, 109, pp. 1163-1168.

VAN LOON, H. y SHEA, D. (1985). "The Southern Oscillation. Part IV: The precursors south of 15°S to the extremes of the oscillation". *Monthly Weather Review*, 113, pp. 2063-2074.

WALKER, G. T. y BLISS, E. W. (1932). "World Weather. V". *Mem. R. Meteorol. Soc.* 4, pp. 53-84.