

## ANÁLISIS EN TIEMPO-FRECUENCIA DE LA CONEXIÓN ENTRE LA ATMÓSFERA Y EL OCÉANO PACÍFICO TROPICAL

*Ana Laura Berman*<sup>1</sup>, *Rosa Compagnucci*<sup>1</sup>, *Gabriel Silvestri*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> DCAO/FCEN-Universidad de Buenos Aires (UBA) y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Int. Guiraldes 2160, Ciudad Universitaria, C1428EGA, Buenos Aires, Argentina. E-mails: alberman@at.fcen.uba.ar ; rhc@at.fcen.uba.ar

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA)/CONICET-UBA. Int. Guiraldes 2160, Ciudad Universitaria, C1428EGA, Buenos Aires, Argentina. E-mail: gabriels@cima.fcen.uba.ar

### RESUMEN

En este trabajo son exploradas las relaciones entre el Índice de Oscilación Sur (SOI) y la temperatura de la superficie del mar (TSM) tanto del Pacífico tropical como de la región subtropical del Pacífico Sur para las diferentes bandas del espacio de tiempo-frecuencia mediante la transformada de ondeleta (transformada wavelet). En el Pacífico tropical central, los resultados muestran que el conocido sistema acoplado El Niño-Oscilación Sur (ENOS) caracterizado por simultáneas anomalías positivas (negativas) del SOI y negativas (positivas) de la TSM ocurre en todo el espacio de frecuencias. Sin embargo, estas relaciones significativas con el SOI se interrumpen en el océano tropical oeste en oscilaciones alrededor de 8 años cerca del destacado cambio climático de 1976/77. En las periodicidades más largas, el SOI tiene una débil relación con las áreas del océano tropical oeste y no tiene conexión con las regiones del este. Los índices de TSM subtropical exhiben relaciones complejas con el SOI. Estas son significativas pero no estacionarias con la TSM de la región del oeste, con la región central son detectadas solo estrechas conexiones en específicas periodicidades y en la región este prácticamente desaparecen. El análisis de series reconstruidas para periodos pre-instrumental revela que las esporádicas desconexiones entre el SOI y el Pacífico tropical fueron comunes durante los últimos siglos.

**Palabras clave:** Índice de Oscilación Sur, eventos El Niño, temperatura superficial del océano Pacífico

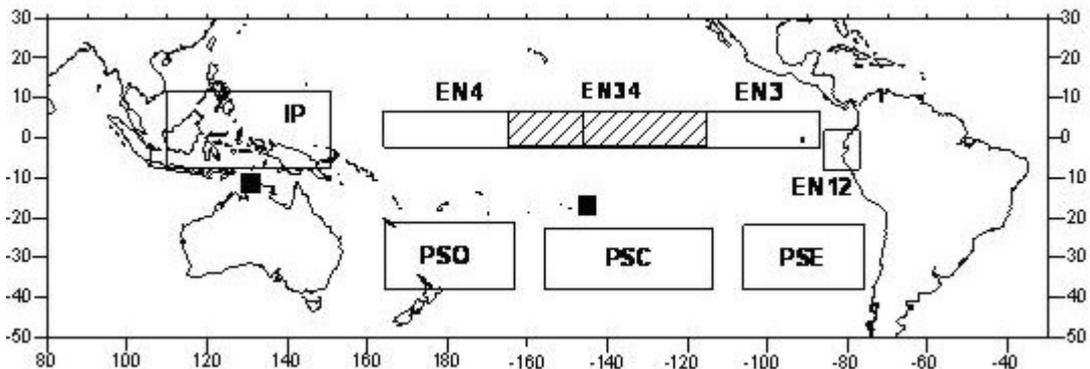
### ABSTRACT

Relations between the Southern Oscillation Index (SOI) and the sea surface temperature (SST) in the tropical and subtropical South Pacific are explored in this paper for different bands of the time-frequency space using the wavelet transform. In the tropical central Pacific, results show that the widely know coupled system El Niño-Southern Oscillation (ENSO) characterized by simultaneous positive (negative) SOI anomalies and negative (positive) SST anomalies occurs in the entire range of frequency. However, these significant links with the SOI are interrupted in the western tropical ocean in oscillations around 8 yrs near the extensively described 1976/77 climate shift. In the largest periodicities, the SOI has a weak relation with the western tropical areas and it does not have connection with the eastern regions. The indexes of subtropical SST exhibit complex relationships with the SOI. The links are significant but non-stationary with the western regions, close connections only occur in specific periodicities in the central areas and they vanish to the east. The analysis performed for reconstructed series for pre-instrumental times reveals that the sporadic disconnections between the SOI and the tropical Pacific were usual during the last centuries.

**Keywords:** Southern Oscillations Index, El Niño events, Pacific Ocean surface temperature

## INTRODUCCIÓN

En los pioneros trabajos de Sir Charles Todd publicados en Australia a fines de los 1880s y Walker (1910, 1923) y Walker y Bliss (1932) se describe la llamada Oscilación Sur (OS) consistente en cambios de gran escala de la presión atmosférica que fueron relacionadas por los autores con la variación de la lluvia tropical. Actualmente, el Índice de Oscilación del Sur, más comúnmente conocido como Southern Oscillation Index (SOI) por su denominación en inglés (Troup 1965), es definido como la diferencia entre la presión en superficie medida en las estaciones meteorológicas de Tahiti (Polinesia Francesa, 17.68°S - 149.68°W) y Darwin (Australia, 12.48°S - 130.98°E) las cuales representan condiciones atmosféricas al este y oeste del océano Pacífico tropical (Figura 1).



**Figura 1.** Regiones oceánicas consideradas en el análisis. Los puntos negros en el Pacífico central y norte de Australia localizan las estaciones Tahiti y Darwin, respectivamente.

Aunque tanto la variabilidad de la temperatura de la superficie del mar (TSM) del Pacífico tropical, conocida como El Niño y la oscilación atmosférica fueran fenómenos conocidos, fue hasta fines de los 1960s que Bjerknes (1966, 1969) encontró el vínculo entre ambos. En efecto, fuertes anomalías negativas (positivas) del SOI suelen asociarse con importantes anomalías positivas (negativas) de la TSM en el centro y este del Pacífico tropical. Esta conexión entre la variabilidad atmosférica y oceánica configura los ampliamente descritos eventos El Niño-Oscilación del Sur (de aquí en más ENSO de acuerdo a la denominación en inglés El Niño–Southern Oscillation) en los cuales los eventos El Niño/La Niña corresponden a la componente oceánica y el SOI a la atmosférica (Rasmusson y Carpenter, 1982).

Los procesos físicos asociados con esta estrecha interacción entre la atmósfera y el océano han sido descritos por numerosos trabajos (Gu y Philander, 1997; Federov y Philander, 2000). Sin embargo, hay evidencias de que el SOI y el Pacífico tropical pueden no estar en estricta oposición de fase tal como se detectó alrededor del cambio climático de 1976/77 (Trenberth, 1989). Esto motiva nuestro interés en analizar las relaciones estadísticas entre el SOI y la TSM del Pacífico Sur en todo el espacio tiempo-frecuencia. Nuestro objetivo también es estudiar la variación de tales relaciones a través del tiempo a fin de aportar nueva información sobre las características de este acoplamiento atmósfera-océano que tiene particular impacto en la variabilidad climática de gran parte del planeta (Bjerknes, 1969; Diaz et al., 2001) y en particular sobre Sudamérica (Garreaud et al., 2009).

## **DATOS Y METODOLOGÍA**

El índice SOI fue extraído del Climate Prediction Center (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices>) y la TSM corresponde a las anomalías mensuales del Hadley Centre SST data set (HadSST2; Rainer et al., 2006). El periodo analizado con estos datos es 1950-2010 siendo el periodo instrumental mas apropiado para realizar este estudio dado que previo a la década de 1950 los datos de TSM presentan importantes discontinuidades producidas por cambios en el sistema de medición (Thompson et al., 2008).

Se consideraron ocho índices de TSM definidos a partir de regiones específicas del océano Pacífico. En latitudes tropicales, una región en el extremo oeste que abarca el Indico-Pacífico (IP) y las típicas regiones El Niño 4 (EN4), 3.4 (EN3.4), 3 (EN3) y 1+2 (EN1+2) mientras que en latitudes subtropicales las áreas en el oeste (PSO), centro (PSC) y este (PSE) del Pacífico (Figura 1).

Dado que la mayor parte de los proxy datos (valores inferidos de las variables climáticas mediante registros de variables dependientes del clima) poseen resolución anual, el estudio fue realizado considerando promedios anuales de los valores mensuales del SOI y de las anomalías de TSM. También fueron analizadas las reconstrucciones mediante proxy datos del SOI para el periodo 1706-1977 realizada por Stahle *et al.* (1998) y de la TSM del Pacífico tropical en los últimos 700 años hecha por Cook *et al.* (2008) obtenidas del NOAA Paleoclimatology Program [www.ncdc.noaa.gov/paleo](http://www.ncdc.noaa.gov/paleo).

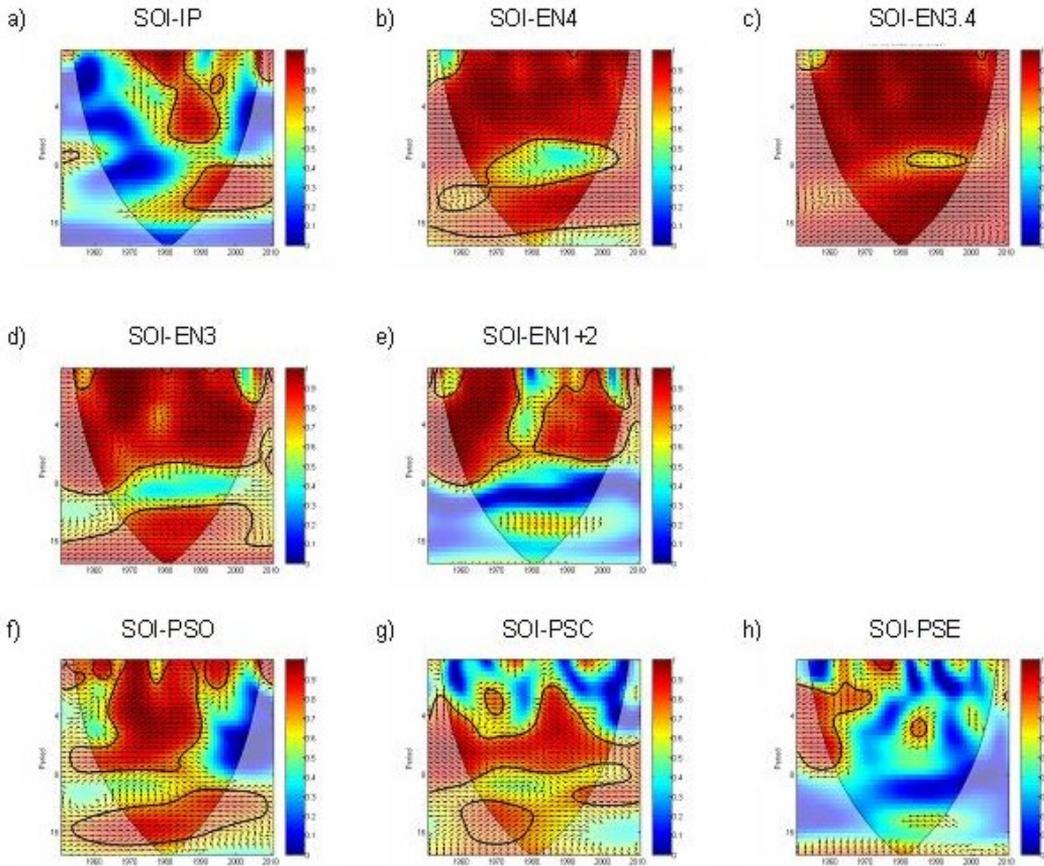
El análisis de Transformada Wavelet de Coherencia (en inglés Wavelet Transform Coherency: WTC) es una excelente herramienta matemática para el objetivo propuesto ya que permite definir regiones en el espacio de tiempo-frecuencia donde dos series tienen relaciones significativas describiendo no solo las oscilaciones comunes sino también su evolución en el tiempo (Torrence y Compo, 1998; Torrence y Webster, 1999). El trabajo de Grinsted *et al.* (2004) y el de Velasco y Mendoza (2008) describen detalladamente los conceptos matemáticos involucrados en el análisis WTC. En el Apéndice se incluye un resumen de los mismos y el software desarrollado para realizar los cálculos correspondientes está disponible en <http://www.pol.ac.uk/home/research/waveletcoherence>.

Los aspectos más importantes de la interpretación de los resultados obtenidos con esta metodología pueden resumirse como sigue. Las Wavelets de Coherencia son una medida de la covarianza entre dos series en el espacio de tiempo-frecuencia. Cuando el WTC es igual a 1 significa que hay una estrecha covariabilidad entre las series involucradas sugiriendo una sincronización entre ambas en el tiempo. Si el WTC es pequeño entonces las series no tienen ninguna semejanza en su comportamiento o, en otras palabras, no hay evidencias de un comportamiento sincronizado entre ellas. Esta metodología también proporciona información sobre el posible defasaje en el tiempo entre las series analizadas el cual es mostrado gráficamente en términos de vectores. En las figuras que se mostrarán en este trabajo, vectores horizontales hacia la derecha (izquierda) describen relaciones en fase (anti-fase) mientras que vectores no estrictamente horizontales indican relaciones desfasadas en el tiempo.

## **RESULTADOS**

El análisis WTC realizado entre el SOI y la TSM del océano Pacífico tropical-subtropical muestra diferentes características para cada región oceánica. En efecto, la correspondencia en la zona oeste del Pacífico tropical (o región tropical Indico-Pacífico) tienen relaciones significativas y en fase, que implican altos (bajos) valores del SOI ocurriendo

simultáneamente con anomalías calientes (frías) en el océano, entre aproximadamente 1970 y 1990 en oscilaciones menores a 6 años y desde 1990 en oscilaciones de 8-16 años (Figura 2a).



**Figura 2.** Wavelet de Coherencia entre el SOI y la TSM de las regiones seleccionadas en el Pacífico tropical-subtropical. Las regiones significativas al 95% están limitas por la curva negra. Los vectores indican la relación de fase entre las series (ver el texto para más detalles).

En la región centro-oeste del Pacífico llamada Niño 4 (EN4) se detecta relaciones significativas en gran parte del espacio de periodicidades. Este acoplamiento está en anti-fase indicando que altos (bajos) valores del SOI ocurren simultáneamente con anomalías frías (calientes) en el océano (Figura 2b). Sin embargo, una clara desconexión entre estas series es observada entre las décadas de 1970 y 1990 en oscilaciones alrededor de 8 años. Este desacople comienza cerca del ampliamente investigado cambio climático de 1976/77 (Nitta y Yamada, 1989; Trenberth 1990; Zhang et al., 1997) cuando algunas características de El Niño cambiaron (Wang, 1995), estableciéndose nuevamente en el siglo veintiuno. También se observa poca sincronización antes de 1970 para oscilaciones de 12-16 años y en las periodicidades más largas durante todo el período analizado.

Para la región del Océano Pacífico central, Niño3.4 (EN3.4), las relaciones con el SOI resultan significativas y en anti-fase o casi en anti-fase en todo el espectro de frecuencia excepto en una estrecha banda alrededor de las periodicidades de 8 años entre 1980 y 2000, aproximadamente (Figura 2c). Hacia el este, en la región llamada Niño 3 (EN3), la relación entre la TSM y el SOI resulta estrecha en anti-fase o casi en anti-fase en dos regiones bien definidas del espacio de periodicidades correspondientes a oscilaciones menores a 6 años y mayores a 12 años, habiendo una clara desconexión en la banda de variabilidad alrededor de 8 años (Figura 2d).

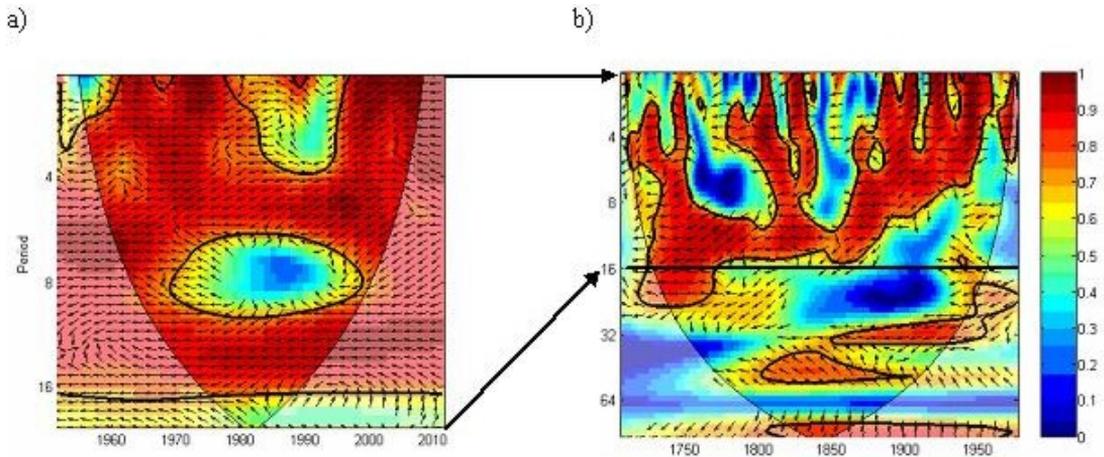
En el océano Pacífico ecuatorial del este, Niño 1+2 (EN1+2), la relación con el SOI sólo es significativa para oscilaciones menores a 8 años siendo estas conexiones casi en fase. Sin embargo, es de notar que se interrumpen para los años en el entorno a 1980 (Figura 2e).

A la luz de los resultados mostrados, resulta claro que el SOI tiene diferentes relaciones con cada una de las regiones del océano tropical. Por lo tanto, el índice atmosférico y la TSM pueden relacionarse de manera diferente con algunas variables climáticas para las cuales el efecto relevante es el comportamiento de la circulación atmosférica más que la variabilidad de la TSM del Pacífico tropical. Esto ocurre, por ejemplo con la precipitación en el centro de Chile. En efecto, Compagnucci y Vargas (1998) demostraron que la precipitación en Santiago de Chile tiene una relación más estrecha con el SOI que con la TSM del Pacífico tropical.

En el océano Pacífico subtropical las relaciones con el SOI exhiben patrones más complejos. La región oeste (PSO) muestra estrechas relaciones en oscilaciones menores a 8 años entre las décadas de 1960 y 1980 y en una banda alrededor de 16 años durante gran parte de los años analizados (Figura 2f). Estas relaciones describen un comportamiento en fase o casi en fase entre el SOI y la TSM. Lo mismo ocurre en la región central del océano Pacífico subtropical (PSC) en el cual son significativas las relaciones para periodicidades de 6-8 años durante gran parte de los años analizados (Figura 2g).

Es de destacar que la variabilidad de la TSM en el este del Pacífico subtropical (PSE) está claramente desconectada de la variabilidad atmosférica representada por el SOI dado que solo durante las décadas de 1950 y 1960 se detectan relaciones significativas entre estas series en parte del espectro de variabilidad (Figura 2h).

Es de especial interés introducir también el análisis para el trimestre del verano austral (trimestre diciembre-enero-febrero) dado que para esta estación del año se encuentran disponibles las reconstrucciones del SOI y de TSM del Pacífico tropical de los últimos siglos (ver sección 2). Si bien la TSM del Pacífico tropical ha sido reconstruida desde el año 1300, el SOI está disponible únicamente desde 1706 permitiendo analizar las características del acople atmósfera-océano sólo en los últimos 300 años. Particularmente para la región EN4, durante el verano la relación tiempo-frecuencia entre el SOI y la TSM durante el período instrumental 1950-2010 (Figura 3a), resulta similar a la obtenida previamente para los promedios anuales (Figura 2b). En efecto, los resultados de los promedios de verano muestran relaciones en anti-fase en todo el espectro de variabilidad interrumpidas durante las décadas de 1970 a 1990 en oscilaciones alrededor de 8 años. La diferencia más evidente entre las relaciones en escala anual y de verano es la desconexión durante las décadas de 1980 y 1990 en oscilaciones menores a 4 años claramente detectada en el verano y que no se manifiestan en el análisis con resolución anual. Por su parte, las relaciones entre las series reconstruidas del SOI y TSM en EN4 durante el período 1706-1977 se muestran en la Figura 3b. Las relaciones significativas en anti-fase o casi en anti-fase que ocurren para oscilaciones



**Figura 3.** Como Figura 2 para las relaciones SOI-EN4 del verano austral (DEF) considerando el registro instrumental en 1950-2010 (izquierda) y las series reconstruidas en 1706-1977 (derecha). Ver el texto para más detalles.

menores a 16 años tienen un carácter altamente no estacionario. Es decir, estas series mostrarían un comportamiento sincronizado sólo esporádicamente a lo largo de los últimos tres siglos, alternando con un comportamiento altamente desfasado o totalmente desconectado. En otras palabras, la fuerte desconexión detectada entre el SOI y la TSM del Océano Pacífico ecuatorial durante el periodo instrumental en 1976/77 no describe un fenómeno inédito sino que parecería ser una característica que ocurrió con recurrencia de aproximadamente 100 años durante el periodo pre-instrumental.

La mayor extensión de las series reconstruidas proporciona una resolución de bandas de menor frecuencia respecto a las obtenidas para las series del periodo instrumental. Esta ampliación en la Figura 3b permite analizar las periodicidades decadales. Ellas se encuentran centradas en ondas de aproximadamente 50 años significativas entre 1800 y 1900 y en ondas mayores que 70 años significativas desde 1800 hasta fines de la década de 1970. Estas relaciones significativas podrían estar asociadas a la influencia de la Oscilación Decadal del Pacífico (Pacific Decadal Oscillation en inglés, Mantua et al., 1997) sobre el El Niño reflejándose también en el SOI. Otro factor que hay que tener en cuenta en las inferencias a partir de este análisis es la posible falta de fidelidad del proxy dato usado tanto para reconstruir la serie de EN4 como el SOI.

## CONCLUSIONES

En este trabajo fueron exploradas las relaciones entre el índice atmosférico SOI y la TSM del océano Pacífico tropical y subtropical. El estudio se focalizó en las conexiones entre promedios anuales de estas series analizando todo el espacio de tiempo-frecuencia e investigando la evolución de su significancia durante los últimos sesenta años.

Los resultados muestran que el ampliamente estudiado acoplamiento entre la componente atmosférica representada por el SOI y la TSM del Pacífico tropical central (región EN3.4) caracterizado por simultáneas anomalías positivas (negativas) del SOI y negativas (positivas) de la TSM ocurren en casi todo el espacio de variabilidad. Sin embargo, esta estrecha relación se interrumpe en oscilaciones alrededor de 8 años en la región oeste del Pacífico

tropical (región EN4) cerca del cambio climático de 1976/77, años en los que previos trabajos demuestran que el SOI y el Pacífico tropical no estuvieron en estricta oposición de fase.

En áreas más restringidas del espacio de frecuencias son observadas las relaciones entre el SOI y las regiones oceánicas definidas al oeste y este del Pacífico tropical y en latitudes subtropicales. El análisis de los índices reconstruidos para el SOI y la TSM del Pacífico tropical en los últimos 300 años revela que la desconexión entre estas series, ocurrida durante el período instrumental en 1976/1977, más que ser un comportamiento anómalo propio de las últimas décadas podría haber ocurrido reiterativamente cada aproximadamente 100 años durante los últimos siglos. En otras palabras, la variabilidad atmosférica y oceánica en el Pacífico tropical muestran períodos de tiempo (décadas o más años) en los cuales están fuertemente sincronizadas alternando con períodos de claro desacople entre ellas.

La particular relación entre la atmósfera y cada una de las regiones oceánicas consideradas sugiere que es necesario cautela con el uso indistinto del SOI o de la TSM del océano Pacífico tropical para relacionar los eventos ENSO con circulación atmosférica y variabilidad climática en regiones remotas. Estos resultados mostrarían que el SOI está estrechamente relacionado en todo el espectro de variabilidad con la TSM sólo en la región EN3.4 y que además hay períodos, aunque breves, de clara desconexión. Por ello, debería tenerse especial cuidado al analizar la influencia ejercida por los eventos ENSO sobre variables climáticas para las cuales el efecto relevante es el comportamiento de la circulación atmosférica más que la variabilidad de la TSM del Pacífico ecuatorial. En particular, en estudios paleoclimáticos se podría arribar a conclusiones diferentes si se considera el SOI en lugar de la TSM, especialmente en los períodos de disloque atmósfera-océano.

Dado que las características de la atmósfera y el océano en regiones tropicales y subtropicales del océano Pacífico varían a lo largo del año, en el futuro se estudiarán estas relaciones en escala estacional como complemento de este primer análisis focalizado en los promedios anuales.

## APÉNDICE

La transformada Wavelet de Coherencia entre dos series de tiempo X e Y se define como:

$$(C(a, \tau))^2 = \frac{|W_{XY}(a, \tau)|^2}{W_{XX}(a, \tau) W_{YY}(a, \tau)}$$

donde

$$W_X(a, \tau) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int X(t) \Psi[(t - \tau)/a] dt$$

$$W_{XY}(a, \tau) = (1/a) \int_{-At}^{+At} W_X(a, \tau + t) W_Y(a, \tau + t) dt$$

$$\Psi_0(t) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0 t} e^{-(1/2)t^2}$$

siendo  $a$  y  $\tau$  parámetros de escala y  $\omega_0$  generalmente considerada igual a 1.

Los valores de la coherencia están limitados entre 0 y 1, esto es:  $0 \leq ((C(a, \tau))^2 \leq 1$ .

Siguiendo las siglas en inglés, en este trabajo la coherencia  $C^2$  será identificada como WTC.

## **Agradecimientos**

Este trabajo fue financiado por los proyectos UBACYT N°:20020100101049, AGENCIA-MINCYT PICT-2007-00438, CONICET PIP(2011-2013) 201001-00250

## **REFERENCIAS**

- Bjerknes, J., 1966. A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature. *Tellus*, 18: 820-829.
- Bjerknes, J., 1969. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Mon. Wea. Rev.* 97:163–172.
- Compagnucci, R. y W. Vargas, 1998. Interannual variability of Cuyo Rivers Streamflow in Argentinean Andean Mountains and ENSO events. *Int. J. Climatol.* 18, 1593-1609.
- Cook, E., R. D'Arrigo y K. Anchukaitis, 2008. ENSO Reconstructions from Long Tree-Ring Chronologies: Unifying the Differences? In *Workshop on ENSO reconstructions for the past 500 years*, edited by H. F. Diaz, MEDIAS-FRANCE/METEO-FRANCE/NOAA, Moorea, French Polynesia,
- Diaz, H., M. Hoerling y J. Eischeid, 2001. ENSO variability, teleconnections and climate change. *Int. J. Climatol.* 21, 1845–1862.
- Federov, A. y S. Philander, 2000. Is El Niño changing? *Science*, 288(5473): 1997-2002.
- Garreaud, R., M. Vuille, R. Compagnucci y J. Marengo, 2009. Present-day South American Climate. (*Palaeo3*): *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281, 3-4: 180-195.
- Grinsted, A, J. Moore y S. Jevrejeva, 2004. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes Geophys* 11(5/6): 561-566.
- Gu, D. y S. Philander, 1997. Interdecadal climate fluctuations that depend on exchanges between the tropics and extratropics. *Science*, 275:805–807.
- Mantua, N., S. Hare, Y. Zhang, J. Wallace y R. Francis, 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 78: 1069–1079.
- Nitta, T. y S. Yamada, 1989. Recent warming of tropical sea surface temperature and its relationship to the Northern Hemisphere circulation. *J. Meteor. Soc. Jpn.* 67: 375–383.
- Rayner, N., P. Brohan, D. Parker, C. Folland, J. Kennedy, M. Vanicek, T. Ansell y S. Tett, 2006. Improved analyses of changes and uncertainties in sea surface temperature measured in situ since the mid-nineteenth century: the HadSST2 data set. *J Clim.* 19: 446-469.
- Rasmusson, E. y T. Carpenter, 1982. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Mon. Wea. Rev.* 110: 354-384.
- Stahle, D., R. D'Arrigo, P. Krusic, M. Cleaveland, E. Cook, R. Allan, J. Cole, R. Dunbar, M. Therrell, D. Gay, M. Moore, M. Stokes, B. Burns, J. Villanueva-Diaz y L. Thompson, 1998. Experimental dendroclimatic reconstruction of the Southern Oscillation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 79: 2137-2152.
- Thompson, D., J. Kennedy, J. Wallace y P. Jones, 2008. A large discontinuity in the mid-twentieth century in observed global-mean surface temperature. *Nature*, 453(29), doi:10.1038/nature06982.

- Torrence, C. y G. Compo, 1998. A practical guide to wavelet analysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 79: 61-78.
- Torrence, C. y P. Webster, 1999. Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system. *J. Clim.* 12: 2679-2690.
- Trenberth, K., 1989. Toga and atmospheric processes. In *Understanding Climate Change*, Geoph. Monogr. 52. IUGG vol. 7, A. Berger, R. Dickinson and J. Kidson, eds. 117-125.
- Trenberth, K., 1990. Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 71: 988-993.
- Troup, A., 1965. The "southern oscillation". *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 91: 490-506.
- Velasco, V. y B. Mendoza, 2008. Assessing the relationship between solar activity and some large scale climatic phenomena. *Adv. Space Res.* 42: 866-878.
- Walker, G., 1910. On the meteorological evidence for supposed changes of climate in India. *Memoirs of the India Meteorological Department*, XXI, Part 1, 21 pp.
- Walker, G., 1923. Correlation in seasonal variation of weather. Part VIII: A preliminar study of world weather. *Memoirs of the India Meteorological Department*, 24: 75-131.
- Walker, G. y E. Bliss, 1932. *World Weather V Memoirs of Royal Meteorological Society*, 4: 53-84.
- Wang, B., 1995. Interdecadal changes in El Niño onset in the last four decades. *J. Clim.* 8: 267-285.
- Zhang, Y., J. Wallace y D. Battisti, 1997. ENSO-like interdecadal variability: 1900-93. *J. Clim.* 10:1004-1020.

Recibido: 24 de abril de 2011

Aceptado: 14 de septiembre de 2011