

SALIDAS DEL ECHO-G DE CAMPOS DE TEMPERATURA Y VIENTO ZONAL EN 1000hPa SOBRE EL SUR DE SUDAMÉRICA PARA EL ÚLTIMO MILENIO

ECHO-G OUTPUTS OF THE 1000HPA ZONAL WIND AND TEMPERATURE FIELDS OVER SOUTHERN SOUTH AMERICA FOR THE LAST MILLENNIUM

Reinaldo A. Maenza ⁽¹⁾⁽²⁾, Rosa H. Compagnucci ⁽¹⁾⁽²⁾, Daniel Ariztegui ⁽³⁾

(1) Universidad de Buenos Aires, Facultad de ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, 2do. Piso, Pabellón II, Ciudad Universitaria CP C1428EHA - Ciudad de Buenos Aires, Argentina. E-mails: rmaenza@at.fcen.uba.ar ; rhc@at.fcen.uba.ar

(2) CONICET, Avenida Rivadavia 1917 - CP C1033AAJ - Ciudad de Buenos Aires, Argentina.

(3) Section of Earth and Environmental Sciences, University of Geneva, 1205 Geneva, Switzerland.

RESUMEN

Durante el último milenio han ocurrido importantes variaciones climáticas. Luego de la “Anomalía Climática Medieval” tuvo lugar un prolongado período de generalizadas condiciones frías llamado “Pequeña Edad de Hielo” seguido por el actual “Calentamiento Global”. Con el Modelo de Circulación General ECHO-G se produjeron escenarios transientes que simulan las anomalías mensuales del período 1000 a 1990 AD.

En este trabajo primeramente se analiza la capacidad del ECHO-G de reproducir los campos de temperatura y componente zonal del viento, ambos en el nivel de 1000hPa, en la región del cono sur de Sudamérica utilizando como referencia el re-análisis NCEP/NCAR para el período 1961-1990 testeando las diferencias de los valores medios y los desvíos estándar para la temperatura y la componente zonal del viento. En el centro norte del país el modelo ECHO-G simula temperaturas superiores a las del re-análisis NCEP-NCAR. Sin embargo, las diferencias entre el modelo y el re-análisis son menores en la Patagonia y particularmente despreciables en la región del Lago Cardiel. Por lo cual las simulaciones de los últimos 1000 años pueden ser utilizadas para analizar la variabilidad paleoclimática de esa región. Los patrones de anomalías para los Mínimos solares de Maünder y Dalton obtenidos con el ECHO-G respecto al período 1961-1990 resultan similares pero más intensos en el caso del Mínimo de Maünder.

Las láminas alternantes claras y oscuras (ritmitas anuales o varves) de los testigos sedimentarios del Lago Cardiel en Patagonia central han sido previamente interpretadas como el resultado de la intensidad de los vientos regionales. En el trabajo además se comparara los espesores de dichas láminas con los valores de la componente zonal del viento y la temperatura en 1000hPa para el período comprendido entre los años 1000 a 1990 AD. Las series filtradas con promedios móviles de 80 años, que realzarían el efecto del ciclo de Gleissberg y otras periodicidades solares de menor frecuencia, sugieren relación inversa principalmente entre la componente zonal del viento y los espesores de las láminas oscuras. Esta inferencia es confirmada mediante los espectros de ondas de coherencia entre ambas series. Este primer resultado indicaría que la serie de espesores de láminas oscuras podría ser utilizada como “proxy” dato de la intensidad de la componente zonal del viento sobre la Patagonia.

Palabras claves: MCG ECHO-G; NCEP-NCAR; Mínimo de Maünder, Mínimo de Dalton; Patagonia.

ABSTRACT

Important climatic variations have occurred during the last millennium. After the “Medieval Warming” period, a long period of cold conditions, called “Little Ice Age”, took place, being followed by the current “Global Warming”. Transient scenarios have been developed using the General Circulation Model ECHO-G to simulate the monthly anomalies for the period 1000-1990 AD.

Firstly, the research analyses the ability of ECHO-G model to reproduce the temperature and zonal wind component at 1000hPa over southern South America in the period 1961-1990 to contrast the outputs with the

NCEP/NCAR Reanalysis data. The difference of means and standard deviations has been tested for both temperature and zonal wind. In central-north Argentina, ECHO-G simulates higher temperatures than the NCEP/NCAR Reanalysis. However, the differences between model and reanalysis are smaller in the Patagonia region, especially close to the Cardiel Lake. Hence, extended simulations for the last millennium can be used to analyse paleoclimatic variations in such region. Although anomaly patterns between Maünder and Dalton solar Minimums are similar with respect to the 1960-1990 period, their amplitudes are higher for the Maünder Minimum.

The alternating light and dark laminae (annual rythmites or varves) from the Cardiel Lake sediments in central Patagonia were previously interpreted as the result of regional wind intensity variations. In this work their thickness time series has been compared with the local zonal wind component and temperature time series at 1000hPa in the period 1000 AD and 1990 AD. A centered 80-years moving average has been applied to these time series to enhance the effect of the Gleissberg solar cycle and other lower frequency periodicities. The results show a reverse relationship between the zonal wind component and the thickness of the dark laminae. Such an inference is confirmed employing Coherence Wavelet Spectrum between the time series. The latter indicates that the thickness of the dark laminae can be used as a proxy for the strengthening of the zonal wind component over Patagonia.

Keywords: GCM ECHO-G; NCEP-NCAR; Maünder Minimum; Dalton Minimum; Patagonia.

INTRODUCCIÓN

La identificación y comprensión de cambios climáticos ocurridos en el pasado permiten un mejor entendimiento de la variabilidad climática actual y futura del sistema climático y de los procesos involucrados. El período conocido como la Pequeña Edad de Hielo (aproximadamente entre los siglos XIV a XIX, PEH de ahora en más) es de particular interés ya que presenta algunas ventajas tales como: i) disponibilidad de datos meteorológicos históricos especialmente en el continente europeo; ii) existencia de diversidad de Proxy datos sobre el globo; iii) es un período previo a la Primera Revolución Industrial, con lo cual el impacto del efecto antropogénico debido a los gases de efecto invernadero sobre el sistema climático es considerado despreciable.

Una forma de analizar el clima y la circulación atmosférica del pasado es la utilización de Modelos de Circulación General (MCG). La mayoría de las investigaciones sobre la PEH se han focalizado principalmente en el intervalo llamado Mínimo de Maünder (~1645 a 1715, de aquí en más MM), caracterizado por un prolongado período de baja actividad solar con un mínimo número de manchas solares y gran actividad volcánica. Diversos MCG con distintas condiciones forzantes fueron empleados para obtener las simulaciones, tales como el GISS de NASA usado por Shindell y otros, (2001), el modelo 3-dimensional OAGCM por Fischer-Bruns y otros, (2002), el modelo acoplado ECHAM4-HOPE-G por Zorita y otros, (2004), el FUB-CMAM por Langematz y otros, (2005), el NCAR CSM versión 1.4 por Ammann y otros, (2007), el GISS Model-E por Field y otros, (2009), entre otros. Pero es de destacar que para estas simulaciones mayormente se analizaron las anomalías del Hemisferio Norte. Recientemente, Varma y otros, (2010) simularon el corrimiento de los oestes del Hemisferio Sur producido por el forzado solar propio del MM empleando el CCSM3. A su vez, Maenza y Compagnucci (2010) simularon las anomalías del MM respecto a las condiciones de las dos últimas décadas del siglo XX, utilizando el GISS Model-II considerando el forzado producido por el cambio en la irradiancia solar y de los gases invernadero. A pesar de las limitaciones del GISS Model-II entre las que se encuentra su baja resolución espacial, los resultados obtenidos para las anomalías de temperatura fueron congruentes con la información de los proxy datos para el cono sur de Sudamérica.

Por otra parte existen testigos sedimentarios del Lago Cardiel en Patagonia central compuestos de sedimentos finamente laminados con resolución anual (varves) los cuales proveen un proxy dato de alta resolución temporal para los últimos 1000 años (Gilli y otros, 2001; Markgraf y otros, 2003; Beres y otros, 2008). Los mismos consisten en láminas alternantes claras y oscuras (ritmitas anuales o varves) que han sido previamente interpretadas como el resultado de la intensidad de los vientos regionales (Gilli y otros, 2005; Ariztegui y otros, 2011). Los espesores de las láminas individuales - tanto claras como oscuras - fueron medidos y contados usando un método especialmente desarrollado para ese propósito (Ndiaye y otros, 2012). Ariztegui y otros (2011) propusieron la hipótesis de que las láminas oscuras se forman durante el verano como producto del transporte y deposición de sedimentos provenientes de afloramientos localizados al oeste del lago que son ricos en minerales de hierro otorgándole la coloración oscura a las láminas. Cuando la componente oeste del viento resulta intensificada los sedimentos son transportados fuera del área del lago hacia el este del mismo, por el contrario, cuando el viento zonal es más débil el material se deposita dentro del lago. Para los sedimentos claros la hipótesis de su formación no está todavía precisada.

Por lo tanto el objetivo principal del actual trabajo es analizar la relación entre las series climáticas de temperatura (T) y viento zonal (U) en 1000hPa simuladas por el GCM ECHO-G (ECHO-G) y las series de los testigos sedimentarios del Lago Cardiel en el período 1000-1990 AD. Para ello se evaluará primeramente la performance del modelo ECHO-G (Zorita y otros, 2003; von Storch y otros, 2009), confrontando las condiciones del clima presente (1961-90), provistas por la información del re-análisis NCEP/NCAR, y las condiciones simuladas por el ECHO-G. Una vez validado el modelo, se compararán los espesores de las láminas con los

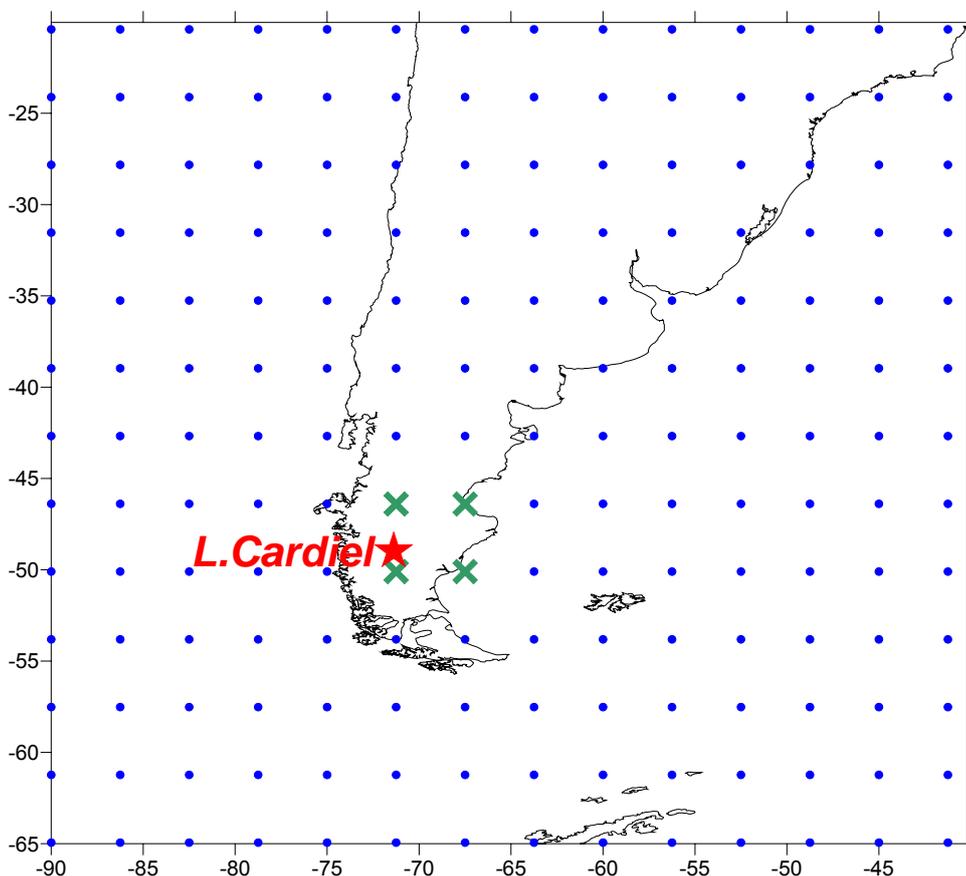
valores de T y U para el período comprendido entre los años 1000 a 1990 de nuestra era. Asimismo, a modo complementario, se examinará la capacidad del modelo para simular las anomalías climáticas del MM y del Mínimo de Dalton (~1790 a 1830, de aquí en más MD).

DATOS Y METODOLOGÍA

En el presente trabajo se utiliza la simulación transiente generada con el modelo acoplado ECHO-G. El mismo está conformado por el modelo atmosférico ECHAM4 cuya resolución horizontal aproximadamente es de $3,75^\circ \times 3,75^\circ$, y el modelo oceánico HOPE-G, con una resolución horizontal de $2,8^\circ \times 2,8^\circ$ (Legutke y Voss, 1999). El segundo cuenta con 19 niveles en la vertical, y su resolución horizontal es cada vez mayor desde los trópicos hacia el Ecuador, con resolución máxima de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ en la región más próxima del Ecuador (von Storch y otros, 2009).

La simulación comprende el periodo 1000 – 1990 y se tuvo en cuenta forzantes externos con cambios en el pasado tales como variaciones solares, concentraciones de gases traza de efecto invernadero y la actividad volcánica, mientras que no fueron considerados los aerosoles antropogénicos y los cambios de Ozono (von Storch y otros, 2009; González-Rouco y otros 2006). Más detalles sobre las características de dicha simulación se encuentran en von Storch y otros, 2009. Las anomalías de T y U simuladas por el ECHO-G, para los períodos de los mínimos de Maünder (MM: 1661-1690 AD) y Dalton (MD: 1791-1820) se calculan como las diferencias entre los valores medios de dichos períodos y el valor medio en el período 1961-1990. Se analizan las anomalías anuales (promedio teniendo en cuenta los 12 meses) y los semestres frío (Abril a Septiembre) y cálido (Octubre a Marzo).

Para determinar el nivel de ajuste de las simulaciones realizadas con el modelo ECHO-G en la región del Cono sur de Sudamérica, se comparan los campos mensuales modelados con los del re-análisis NCEP/NCAR (resolución horizontal de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$) en el período 1961 – 1990 para la región $20^\circ\text{S} - 65^\circ\text{S}$, $90^\circ\text{O} - 40^\circ\text{O}$. Dado que las resoluciones horizontales son diferentes, se realiza previamente una interpolación de los campos del NCEP/NCAR, llevándolos al reticulado correspondiente al del modelo ECHO-G (retícula T31 - 96 puntos longitudinales y 48 puntos meridionales). Las variables estudiadas son temperatura y viento zonal, ambos en el nivel de 1000hPa. Las pruebas de hipótesis de diferencia de varianzas con el estadístico F de Fisher (H_0 : las varianzas muestrales son similares) y de medias con el estadístico t de Student (H_0 : las medias muestrales son similares), siguiendo Canavos (1997), se aplican a las diferencias de campos medios entre reanálisis y simulaciones en el período 1961-1990 y de campos medios entre simulaciones para el MM y MD, correspondientes tanto para T como para U.



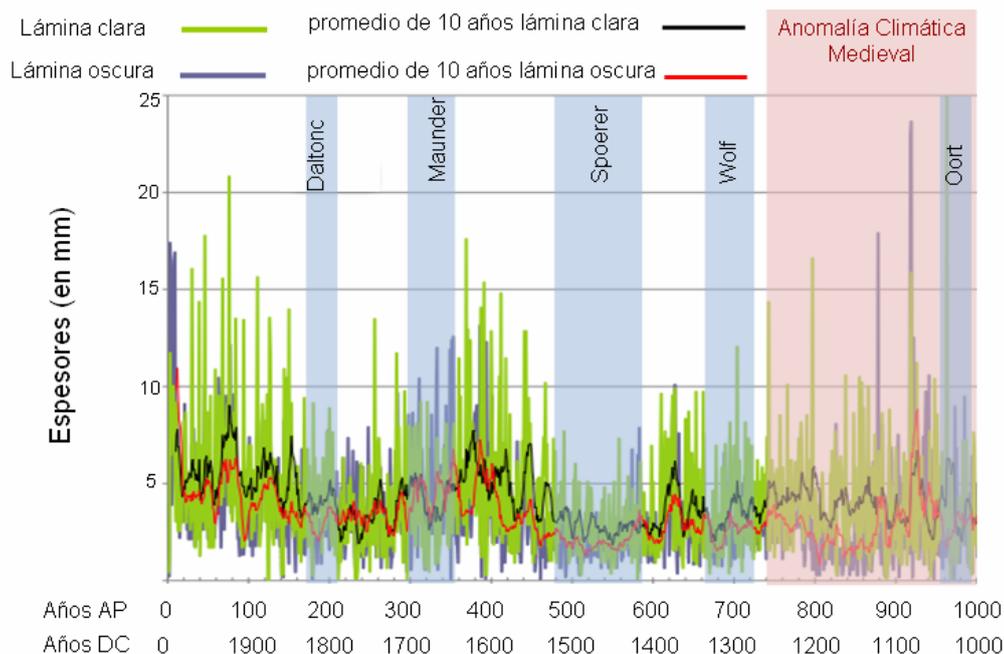


Figura 1. Mapa con el enrejado del ECHO-G mostrando la localización del Lago Cardiel (estrella) y los cuatro puntos de enrejado utilizados para el análisis regional de T y U (panel de arriba) y series de tiempo de las láminas claras y oscuras de los testigos de varves sedimentarios del Lago Cardiel (panel de abajo).

Figure 1. ECHO-G grid point map which shows the location of Cardiel Lake (star) and the four grid points used for regional analysis of T and U (upper panel) and time series of alternating light and dark laminae from the Cardiel Lake sediments (lower panel).

La serie de láminas alternantes claras y oscuras (ritmitas anuales o varves) de los testigos sedimentarios del Lago Cardiel a 49°S en Patagonia central (Fig. 1) proveen un proxy dato de alta resolución temporal para los últimos 1500 años. Dado que las simulaciones del ECHO-G cubren los últimos 1000 años, para ese período se contrastan las series de los valores de T y U medios anuales y semestrales, previa estandarización de las mismas, ya que las variables involucradas poseen diferentes órdenes de magnitud. Las series de las láminas de los sedimentos son contrastadas con la composición de las series temporales de T y U de cuatro puntos del enrejado del ECHO-G localizados al norte y sur de la región del Lago Cardiel (71,25°O-46,4°S; 71,25°O-50,1°S; 67,5°O-46,4°S; 67,5°O-50,1°S).

Las series son filtradas con un promedio móvil de 80 años para eliminar las altas frecuencias involucradas en la variabilidad y retener sólo las menores que podrían estar respondiendo a los ciclos solares de Gleissberg de ~80-100 años, de Vries (o Suess) de ~210 años (Braun y otros, 2005) y posibles variaciones seculares debidas al ciclo de Hallstatt de ~2300 años (Vasiliev y otros, 2002).

El método onditas de coherencia (en inglés: Wavelet Coherence WTC) se aplica a las series sin filtrar a fin de analizar la co-variabilidad, en todo el espacio tiempo-frecuencia, de las series de láminas claras (oscuras) con las series de composiciones medias estacionales de temperatura y componente zonal del ECHO-G. El análisis se realiza aplicando las wavelets Morlet (Torrence y Compo, 1998; Grinsted y otros, 2004) que consisten en una función exponencial compleja (para la formulación matemática ver apéndice de Berman et al, 2011). El análisis realza las frecuencias y las correspondientes fases relativas donde dos series temporales co-varían a pesar de que ambas tengan baja potencia en ciertas frecuencias específicas (Grinsted y otros, 2004). La opción utilizada para calcular la coherencia del sistema es a través de la relación señal/ruido $WTC_{s/n}$, definida por Velasco y otros (2010) y Pérez-Peraza y otros (2011):

$$WTC_{s/n} = \frac{WTC}{1 - WTC}$$

El nivel de significancia estadístico es estimado usando métodos Monte Carlo con ruido rojo para para el nivel de 95% (Torrence y Webster, 1999). El cono de influencia es mostrado como un suave sombreado en las $WTC_{s/n}$ de las correspondientes figuras. El espectro global de las wavelets es mostrado en el lado izquierdo de las figuras

tiempo-frecuencia de $WTC_{\frac{s}{n}}$, siendo un promedio de la potencia de cada frecuencia delimitando aquellas que están por encima o por debajo del nivel de ruido rojo. Una descripción detallada de esta metodología puede ser encontrada en Pérez-Peraza y otros (2011) y las referencias citadas allí.

RESULTADOS

ECHO-G versus re-análisis NCEP/NCAR en el período 1961-1990.

Los valores medios del período 1961-90 son tomados como referencia del clima actual. El campo de diferencias entre los valores simulados por el modelo ECHO-G y los valores del re-análisis NCEP/NCAR para la Temperatura en 1000hPa muestra anomalías positivas de temperatura sobre latitudes subtropicales, indicando sobreestimación para esa área por parte del modelo (Fig. 2, panel izquierdo). En cambio, sobre la región Patagónica se observan anomalías negativas en el centro-este y hacia el océano Atlántico y positivas en el centro-oeste y sur de Patagonia y hacia el Pacífico, con amplitudes cercanas a $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. En latitudes subpolares nuevamente existe una gran sobreestimación de la temperatura. Los valores del estadístico t de Student a dos colas para diferencia de medias muestrales ponen de manifiesto las diferencias significativas entre ambos grupos de datos, ya que sólo unos pocos valores para los puntos del reticulado rechazan la H_0 de igualdad de medias para $\alpha=0,1$ (valores menores que $t_c=|1,7|$). En cuanto a los puntos de grilla que rodean la ubicación del Lago Cardiel (Figura 1 panel izquierdo), los valores del estadístico t de Student son superiores al valor crítico $t_c=2$ (correspondiente a $\alpha=0,05$) salvo en el punto del extremo sudeste ($67,5^{\circ}\text{O} - 50,1^{\circ}\text{S}$), cuyo módulo es inferior a 1,7 ($\alpha=0,10$, Fig. 2, panel izquierdo), lo que impide el rechazo de la H_0 de igualdad de medias sólo en este último punto. Aún así, considerando que se trata del promedio anual de los últimos treinta años de una simulación transiente de 1000 años, puede considerarse que el ajuste de T en las inmediaciones del Lago Cardiel es bueno, dado que las diferencias de los valores medios simulados y los estimados por el reanálisis, en esos 4 puntos de retícula, son inferiores a $|0,5|^{\circ}\text{C}$. A su vez, la diferencia entre las varianzas simuladas y las del re-análisis (Fig. 2 panel derecho) presenta los mayores valores en altas latitudes. Para el nivel de significancia considerado, los valores del test F de Fisher indican que para casi todo el sector continental no se rechaza la H_0 de igualdad de varianzas muestrales, ya que los valores resultan inferiores al valor crítico del test ($F_c=1,62$ para $\alpha=0,10$). Por lo cual es posible suponer que el modelo reproduce razonablemente la variabilidad interanual de la temperatura media anual.

Las diferencias de medias de la componente zonal del viento (Fig. 3) resultan mínimas sobre la región de Patagonia y en una franja de la región central de Argentina. Los bajos valores del módulo de t de Student sugieren el no rechazo de la igualdad de medias para estas regiones. La hipótesis de igualdad de varianzas es no rechazada por el test en la región central y sur de Patagonia y para altas latitudes, mientras que las varianzas resultan significativamente diferentes en el norte de Patagonia y sobre el continente en latitudes menores a 35°S . En cuanto a los puntos del reticulado circundantes al Lago Cardiel, la simulación de U (Fig. 3) ajusta bien con el re-análisis dado que los valores del test F son inferiores a 1,85 ($\alpha=0,05$) en los cuatro puntos, incluso es inferior a 1,62 ($\alpha=0,10$) en el punto del extremo sudoeste ($71,25^{\circ}\text{O} - 50,1^{\circ}\text{S}$, Fig. 3, panel derecho) y los valores críticos del t de Student son considerablemente inferiores a 1,7 ($\alpha=0,10$) en los puntos noroeste y sudeste ($71,25^{\circ}\text{O} - 46,4^{\circ}\text{S}$; $67,5^{\circ}\text{O} - 50,1^{\circ}\text{S}$), inferior a 2 ($\alpha=0,05$) en el extremo noreste y mayor a 2 en el extremo sudoeste (Fig. 3 panel izquierdo), lo que indica que en tres de los cuatro puntos tanto la H_0 de igualdad de medias como la de igualdad de varianza no pueden ser rechazadas.

Escenarios de temperatura y componente zonal del viento para los Grandes Mínimos Solares de Maunder y Dalton.

En la Figura 4 se muestran las anomalías de T media anual (contornos) y su significancia para $\alpha=0,05$, obtenida siguiendo el test t de Student, para los períodos del MM y MD respecto al promedio 1961-90 a partir de las simulaciones del ECHO-G. Los patrones de anomalías para MM y MD son similares y presentan los mayores enfriamientos sobre la región continental de las provincias del centro oeste de Argentina. Es de destacar que es más intenso el enfriamiento para el MM lo cual coincide con la reconstrucción de la temperatura global y del Hemisferio Norte del último milenio (Moberg y otros, 2005; Loehle y McCulloch, 2008; Mann y otros, 2009; Ljungqvist, 2010; entre otros). Posiblemente esto se deba a que el MM fue más prolongado (mayor tiempo de enfriamiento por el forzante solar) y el brillo solar fue menos intenso (menor energía entrante al sistema climático). También se destaca que el modelo simula anomalías positivas en latitudes subpolares sobre los océanos Pacífico y el Atlántico sur, y las mismas se debilitan en el entorno de la península Antártica donde muestra anomalías positivas aunque menos intensas.

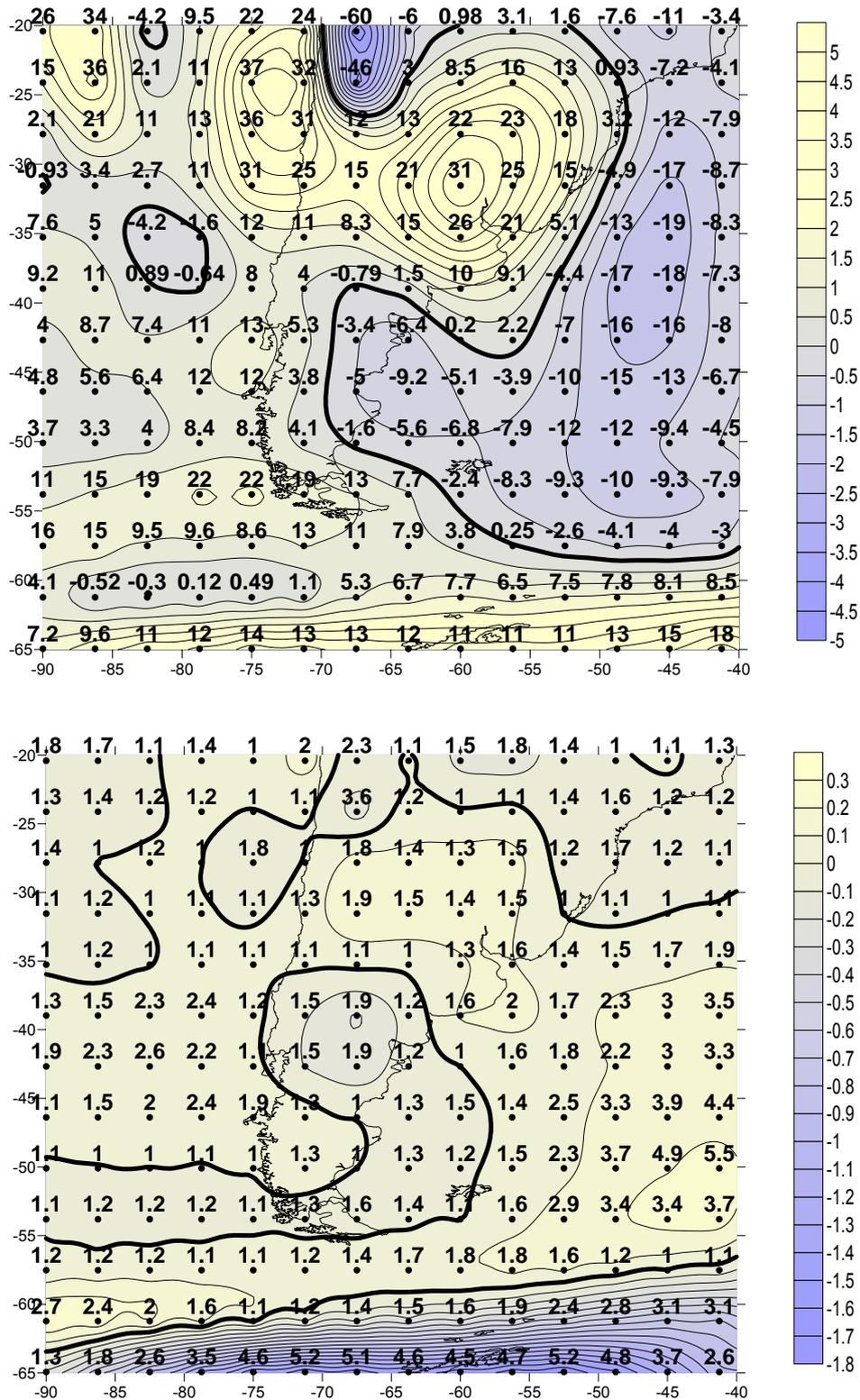


Figura 2. Diferencias de Temperatura (T) media anual entre las simulaciones del ECHO-G y valores del re-análisis NCEP/NCAR para el periodo 1961-90: a) panel superior: valores medios - con isolíneas cada 0,5 °C - y del t de Student - con valores en puntos de enrejado - (a dos colas con $\alpha=0,05$ $t_c=|2,0|$; $\alpha=0,10$ $t_c=|1,7|$); b) panel inferior: diferencia de varianzas -sombreado, con isolíneas cada 0,1- y valores de F de Fisher - en puntos de enrejado - ($\alpha=0,05$ - $F_c=1,85$; $\alpha=0,10$ - $F_c=1,62$). La línea sólida gruesa representa la isolínea de anomalía nula.

Figure 2. Annual mean temperature (T) differences between ECHO-G simulations and NCEP / NCAR reanalysis values for the period 1961-1990: a) Upper panel: mean values - contours every 0.5 °C - and critical Student t values - grid point values - (two-tailed t-test with $\alpha = 0.05$ $t_c = | 2.0 |$, $\alpha = 0.10$ $t_c = | 1.7 |$), b) lower panel: variance differences - shadings with contours every 0.1 - and Fisher F values - grid points - ($\alpha = 0.05$ - $F_c = 1.85$, $\alpha = 0.10$ - $F_c = 1.62$). The null anomalous value is denoted by a thick contour .

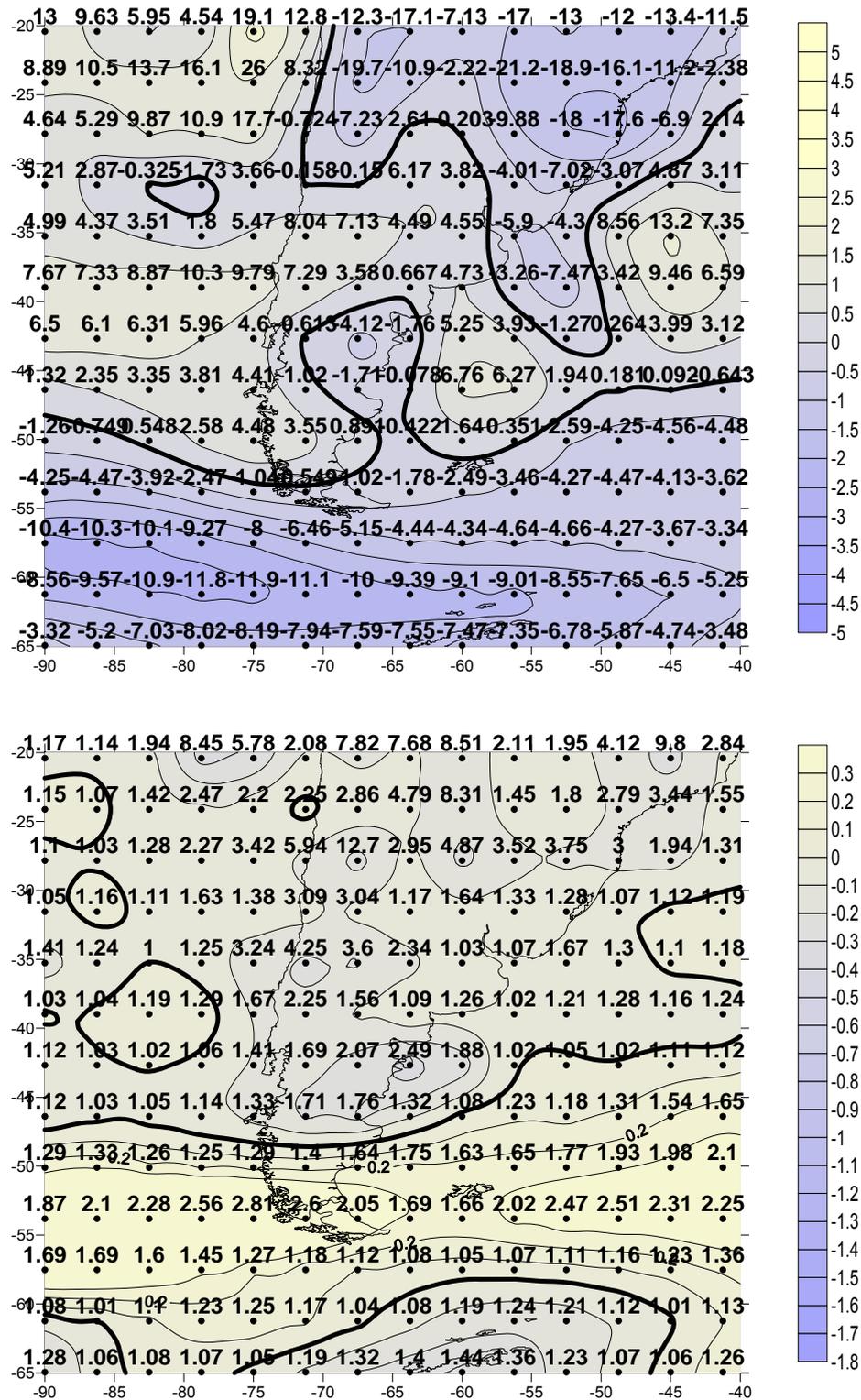


Figura 3. Diferencias de componente zonal del viento (U) medio anual entre las simulaciones del ECHO-G y valores del reanálisis NCEP/NCAR para el período 1961-90: a) panel superior: valores medios - sombreado, con isolíneas cada 0,5m/s - y del t de Student (a dos colas con $\alpha = 0,05$ $t_c = |2,0|$; $\alpha = 0,10$ $t_c = |1,7|$); b) panel inferior: diferencia de varianzas - sombreado, con isolíneas cada 0,1 - y valores de F de Fisher - en puntos de enrejado - ($\alpha = 0,05$ - $F_c = 1,85$; $\alpha = 0,10$ - $F_c = 1,62$). La línea sólida gruesa representa la isolínea de anomalía nula.

Figure 3. Annual mean zonal wind (U) differences between ECHO-G simulations and NCEP / NCAR reanalysis values for the period 1961-1990: a) Upper panel: mean values - contours every 0.5 m/s - and critical Student t values - grid point values - (two-tailed t-test with $\alpha = 0.05$ $t_c = |2.0|$, $\alpha = 0.10$ $t_c = |1.7|$), b) lower panel: variance differences -shaded, isolines every 0.1 - and Fisher F values - grid points - ($\alpha = 0.05$ - $F_c = 1.85$, $\alpha = 0.10$ - $F_c = 1.62$). The null anomalous value is denoted by a thick contour.

Las anomalías de T simuladas (contornos) para los semestres cálido y frío, y su significancia ($\alpha = 0,05$), son mostradas en las Figuras 5 y 6 respectivamente, para el MM y para el MD, observándose patrones similares al de las anomalías anuales. Los mayores enfriamientos aparecen durante el semestre cálido sobre el centro-oeste de Argentina donde llegan a valores menores a $-1,8^{\circ}\text{C}$ en el MM y $-1,6^{\circ}\text{C}$ en el MD. Durante el semestre frío (Fig. 6) los centros de anomalías negativas se hallan desplazados hacia menores latitudes. Sobre el continente en latitudes subtropicales-tropicales los valores alcanzan -1°C o aún menos.

En cuanto a la significancia de las anomalías, puede advertirse que el área de rechazo de la H_0 de igualdad de medias muestrales se reduce durante el semestre frío, dado que el enfriamiento durante éste es menos intenso. También se aprecia que los campos de significancia de los mínimos solares son muy similares en los distintos casos de estudio (anual, semestres frío y cálido), marcando las claras diferencias entre los períodos involucrados en las anomalías.

En las Figuras 7, 8 y 9 se muestran las anomalías de U media (contornos) y su significancia ($\alpha = 0,05$) para los períodos del MM y MD respecto al promedio 1961-90 a partir de las simulaciones del ECHO-G.

Las anomalías anuales de U (Fig. 7), muestran gran similitud entre el MM y el MD en cuanto a la forma del patrón, mientras que las anomalías más intensas se obtienen durante MM en los tres casos (anual, semestres frío y cálido). La componente U se fortalece en latitudes subtropicales al norte de 40°S con centros de mayor intensidad sobre la región de los océanos Pacífico y Atlántico sur y se debilita hacia el sur, con una amplitud mínima localizada sobre el Pasaje Drake. Este patrón de anomalías implica el desplazamiento hacia menores latitudes del flujo medio de los oestes. Nótese que a finales del siglo XX se ha observado el comportamiento opuesto al resultado anterior, tal cual se describe en el trabajo de Hu y Fu (2007) en el que encontraron evidencia de un corrimiento de los vientos oeste hacia mayores latitudes (entre 2° y $4,5^{\circ}$ de latitud en ambos hemisferios durante el otoño y verano) desde 1979 en los reanálisis ERA40 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), NCEP/NCAR y NCEP/DOE (National Center for Environmental Prediction/Department of Energy). Los autores realizaron finalmente una discusión cualitativa de la extensión de la circulación de Hadley, siguiendo los argumentos teóricos de Held y Hou (1980) y Held (2000), donde el ancho de la circulación de Hadley es afectado por la altura de la tropopausa, la diferencia de temperatura polo-ecuador y la temperatura de equilibrio radiativo media global, bajo supuestos de conservación del momento angular y equilibrio del viento térmico. Aún así, los autores sostienen que las relaciones entre la ampliación de la circulación de Hadley y estos factores deben ser cuantificados. También se encuentran los trabajos de Williams (2006) y Haigh y otros (2005), los cuales mostraron que un calentamiento estratosférico podría causar una disminución de la tropopausa y un desplazamiento hacia el ecuador de los chorros, lo que concuerda con los resultados obtenidos en este trabajo.

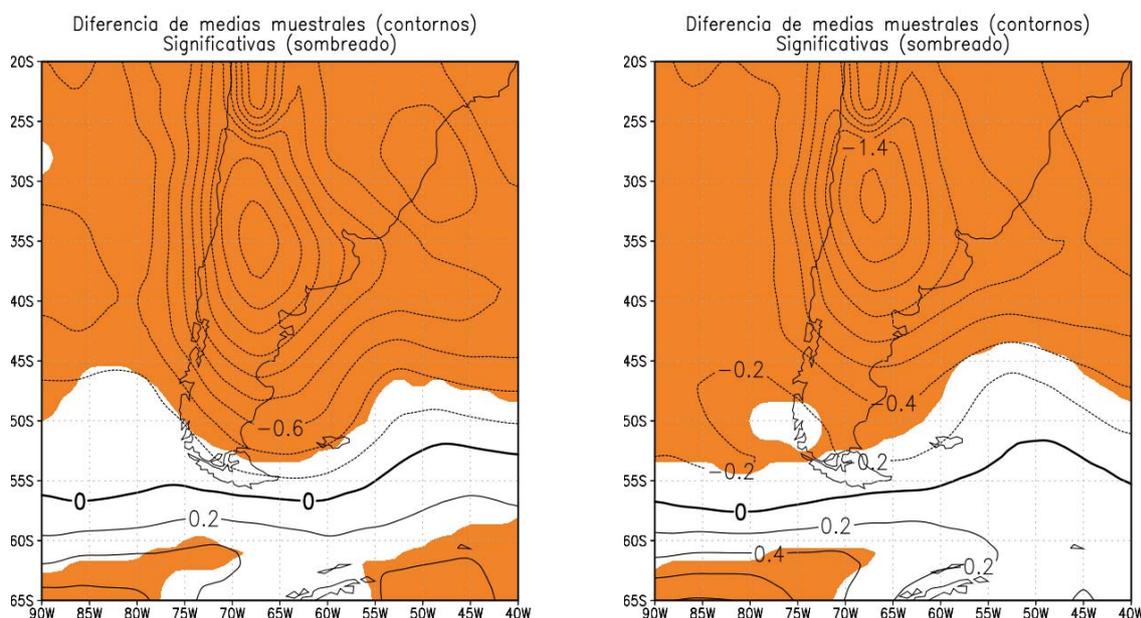


Figura 4. Anomalías de T media anual (contornos) del Mínimo de Maünder (izquierda) y del Mínimo de Dalton (derecha) respecto al período 1961-90. La línea sólida gruesa representa la isolínea de anomalía nula. Las regiones donde las medias muestrales son significativamente distintas para $\alpha = 0,05$, siguiendo el test t de Student, están sombreadas.

Figure 4. Annual mean temperature anomalies (contours) respect to the period 1961-1990 for Maunder Minimum (left panel) and Dalton Minimum (right panel). The null anomalous value is denoted by a thick contour. The shaded areas represent regions where the sample means are significantly different at $\alpha = 0.05$, according to the Student's t test.

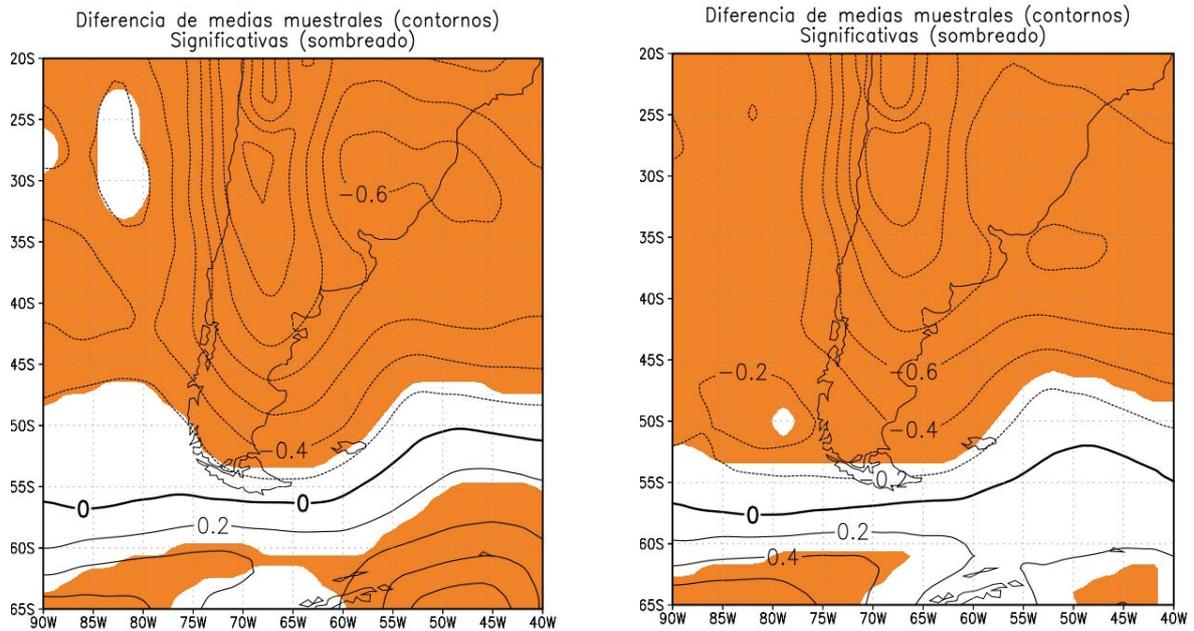


Figura 5. Anomalías de T media (contornos) del semestre cálido (Octubre-Marzo) del Mínimo de Maünder (izquierda) y del Mínimo de Dalton (derecha) respecto al período 1961-90 (isolíneas cada 0,2 °C). La línea sólida gruesa representa la isolínea de anomalía nula. Las regiones donde las medias muestrales son significativamente para $\alpha = 0,05$, siguiendo el test t de Student, están sombreadas.

Figure 5. Warm season (October-March) mean temperature anomalies (contours) for Maunder Minimum (left panel) and Dalton Minimum (right panel) respect to the period 1961-1990 (contours every 0.2 °C). The null anomalous value is denoted by a thick contour. The shaded areas represent regions where the sample means are significantly different at $\alpha = 0.05$, according to the Student's t test.

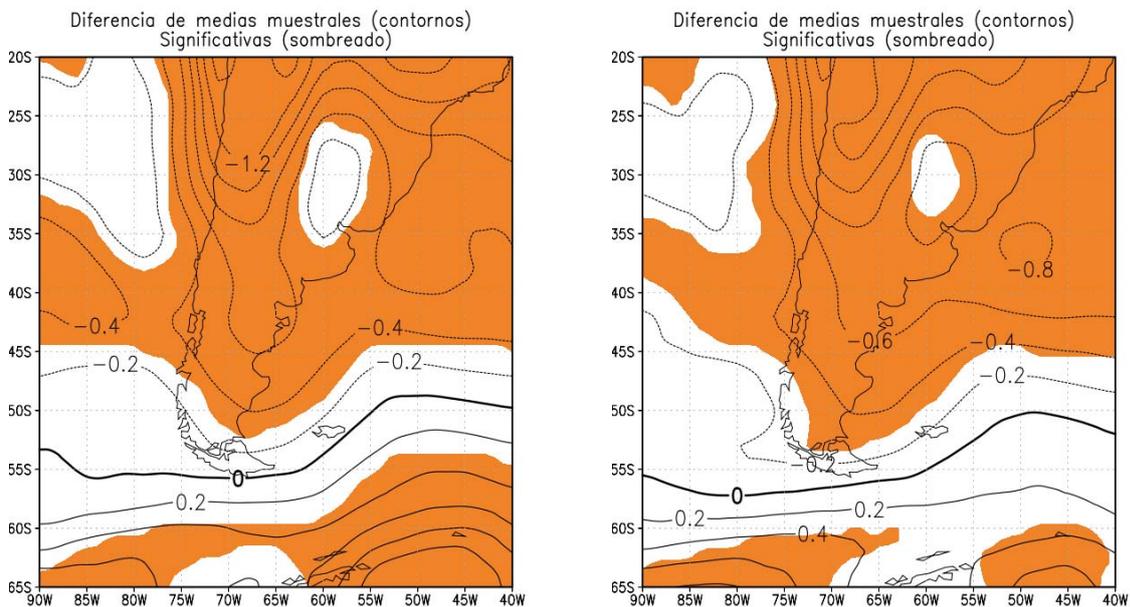


Figura 6. Anomalías de T media (contornos) del semestre frío (Abril-Septiembre) del Mínimo de Maünder (izquierda) y del Mínimo de Dalton (derecha) respecto al período 1961-90 (isolíneas cada 0,2 °C). La línea sólida gruesa representa la isolínea de anomalía nula. Las regiones donde las medias muestrales son significativamente distintas para $\alpha = 0,05$, siguiendo el test t de Student, están sombreadas.

Figure 6. Cold Season (April-September) mean temperature anomalies (contours) for Maunder Minimum (left panel) and Dalton Minimum (right panel) respect to the period 1961-1990 (contours every 0.2 °C). The null anomalous value is denoted by a thick contour. The shaded areas represent regions where the sample means are significantly different at $\alpha = 0.05$, according to the Student's t test.

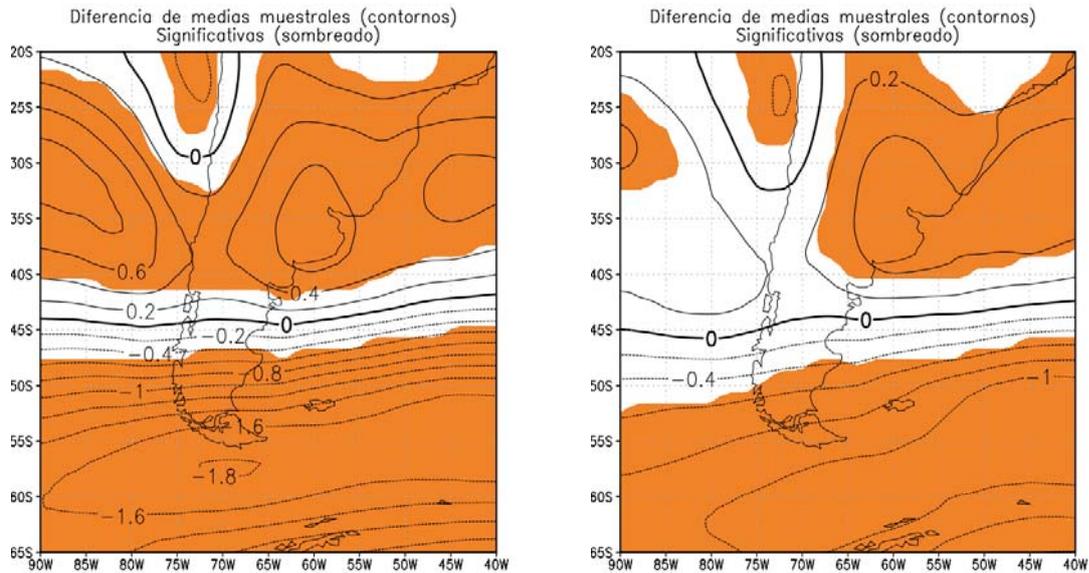


Figura 7. Anomalías de U media anual (contornos) del Mínimo de Maünder (izquierda) y del Mínimo de Dalton (derecha) respecto al período 1961-90 (isolíneas cada 0,3 m/s). La línea sólida gruesa representa la isolínea de anomalía nula. Las regiones donde las medias muestrales son significativamente distintas para $\alpha = 0,05$, siguiendo el test t de Student, están sombreadas.

Figure 7. Annual mean zonal wind anomalies (contours) for Maunder Minimum (left panel) and Dalton Minimum (right panel) respect to the period 1961-1990 (contours every 0.3 m/s). The null anomalous value is denoted by a thick contour. The shaded areas represent regions where the sample means are significantly different at $\alpha = 0.05$, according to the Student's t test.

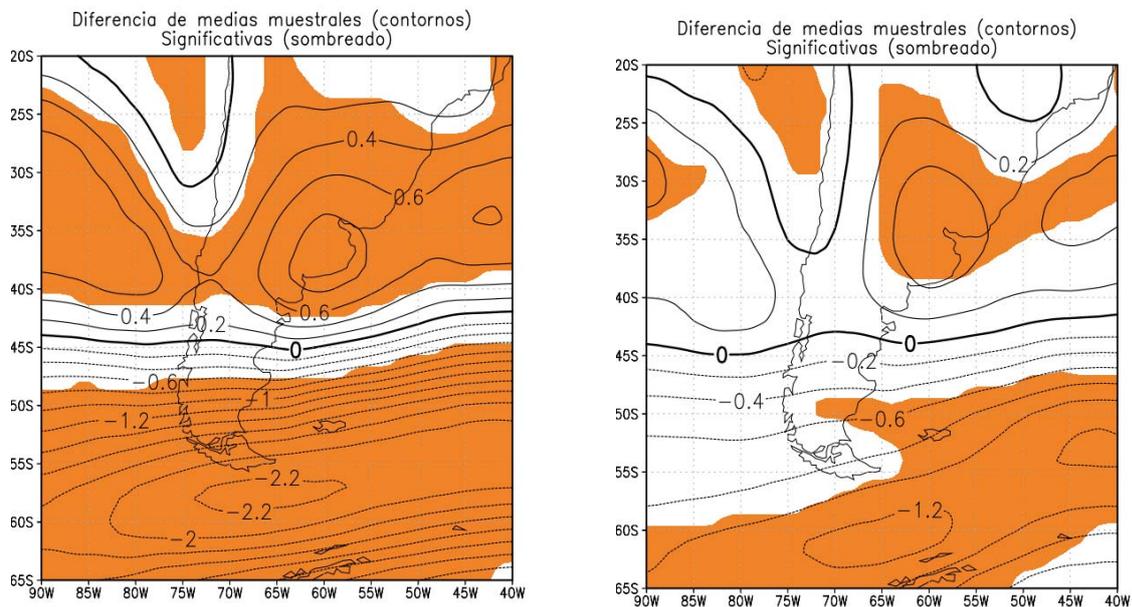


Figura 8. Anomalías de U media (contornos) del semestre cálido (Octubre-Marzo) del Mínimo de Maünder (izquierda) y del Mínimo de Dalton (derecha) respecto al período 1961-90 (isolíneas cada 0,3 m/s). La línea sólida gruesa representa la isolínea de anomalía nula. Las regiones donde las medias muestrales son significativamente distintas para $\alpha = 0,05$, siguiendo el test t de Student, están sombreadas.

Figure 8. Warm season (October-March) mean zonal wind anomalies (contours) for Maunder Minimum (left panel) and Dalton Minimum (right panel) respect to the period 1961-1990 (contours every 0.3 m/s). The null anomalous value is denoted by a thick contour. The shaded areas represent regions where the sample means are significantly different at $\alpha = 0.05$, according to the Student's t test.

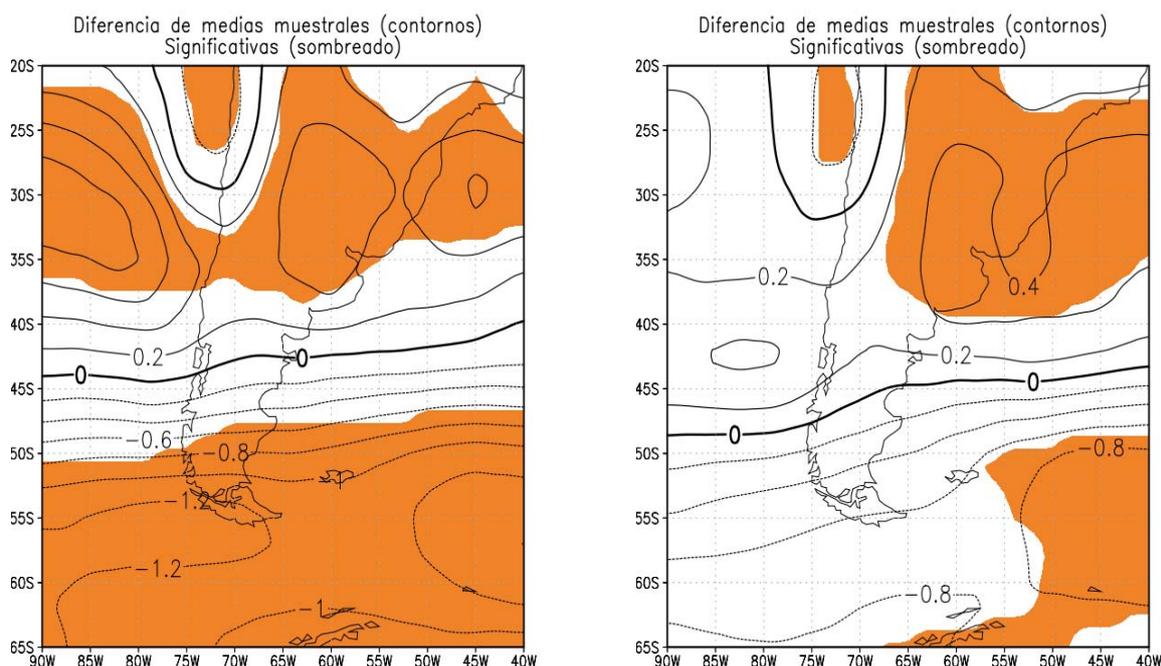


Figura 9. Anomalías de U media (contornos) del semestre frío (Abril-Septiembre) del Mínimo de Maünder (izquierda) y del Mínimo de Dalton (derecha) respecto al período 1961-90 (isolíneas cada 0,3 m/s). La línea sólida gruesa representa la isolínea de anomalía nula. Las regiones donde las medias muestrales son significativamente distintas para $\alpha = 0,05$, siguiendo el test t de Student, están sombreadas.

Figure 9. Cold season (April-September) mean zonal wind anomalies (contours) for Maunder Minimum (left panel) and Dalton Minimum (right panel) respect to the period 1961-1990 (contours every 0.3 m/s). The null anomalous value is denoted by a thick contour. The shaded areas represent regions where the sample means are significantly different at $\alpha = 0.05$, according to the Student's t test.

Durante el semestre cálido (Fig. 8), las anomalías de U son más intensas y es notorio el desplazamiento hacia menores latitudes de los oestes de latitudes medias. Para el semestre frío (Fig. 9) las anomalías son menores pero también implican el desplazamiento hacia menores latitudes de la componente zonal del sistema de vientos. Nuevamente, en los tres casos (anual, semestres frío y cálido), los centros de anomalías resultaron ser más intensos durante MM. En cuanto a la significancia de estas anomalías, la mayor área de rechazo de H_0 se obtiene durante el MM, dado que las anomalías son más intensas.

Series simuladas de Temperatura media y componente zonal del viento U versus las ritmitas anuales del Lago Cardiel

La variabilidad interanual de T y U en el entorno del Lago Cardiel (Fig. 1) estimada mediante el ECHO-G, se calcula como la composición de las simulaciones para los cuatro puntos de enrejado localizados sobre Patagonia al este de la Cordillera, tal que dos de ellos tienen latitudes algo menores y los otros dos algo mayores que las del Lago Cardiel.

Las series filtradas de láminas claras del Lago Cardiel (líneas rojas) son comparadas con las series filtradas de T media de los semestres fríos y cálidos en la Figura 10. Los mayores espesores claros a principios del siglo XVII son coincidentes con un gran y prolongado mínimo en las anomalías de T más destacado para el semestre cálido, que coincide con los años previos al MM, y también resulta inversa la relación previamente al 1200 AD. Fuera de esos períodos la correspondencia es directa especialmente desde 1800 a 1990 AD. Estos cambios implican que la potencial dependencia sería altamente no-estacionaria. Además, durante el semestre cálido parecería que la relación es más estrecha que durante el semestre frío. Durante el verano y en los períodos más cálidos del clima la sugerida relación directa podría implicar en la variación de los espesores la influencia del deshielo en regiones de aporte de agua a la cuenca del Lago Cardiel.

La relación de la T con los espesores de las láminas oscuras (Fig. 11) también resulta altamente no-estacionaria. Aún así, durante el semestre frío (Fig. 11a), previamente a 1200 AD y entre ~ 1550 y 1750 AD puede advertirse una relación inversa respecto de la variabilidad de las series de espesores de sedimentos oscuros, incluso mayor que la observada entre T y los sedimentos claros para el mismo semestre (Fig. 10a).

La relación entre la componente U del viento y los espesores de las láminas claras (Fig. 12) resulta no estacionaria, con comportamiento generalizadamente inverso a partir de ~ 1300 AD en el semestre frío y desde \sim

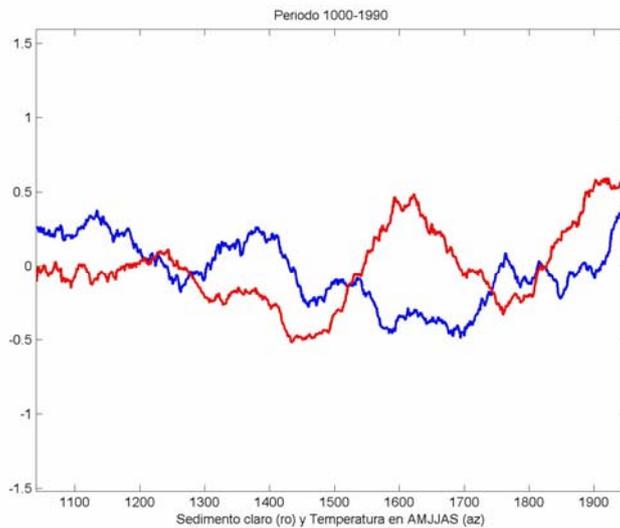
1200 AD para el cálido. Por otra parte la relación entre los espesores oscuros y U (Fig. 13) es claramente inversa en el semestre cálido luego del año ~ 1200 AD.

A fin de testear la significancia de las relaciones sugeridas a partir de las Figuras 10, 11, 12 y 13, se aplica el análisis de espectro de wavelets de coherencia a las series de laminaciones oscuras (Fig. 14) y claras (Fig. 15) versus la temperatura media y componente U zonal del viento semestral tomando los valores originales sin filtrar.

Los espectros de wavelets globales (panel izquierdo de cada figura individual) sugerirían relaciones significativas para ondas menores de aproximadamente a 32 años. Sin embargo, temporalmente estas relaciones muestran un carácter altamente no estables por ser esporádicamente significativas y además no lineal por su cambio en el signo (fase) de la relación, descritas por los vectores del gráfico. Las relaciones establemente significativas ocurren para las bajas frecuencias, aunque debido al largo de la serie, se mantienen dentro del cono de influencia los valores entre aproximadamente 1300 y 1700, período para el cual tendría mayor validez la afirmación anterior. La mayor co-variabilidad en baja frecuencia se presenta con la componente zonal del viento. Con la serie de láminas claras (Fig. 15 c, d) la fase resulta variable en el tiempo tanto en el semestre cálido como el frío. Para la serie de láminas oscuras (Fig. 14 c, d) el comportamiento es particularmente más estable marcando predominio de relación inversa con cierto desfase.

Este último resultado es consistente con la hipótesis previamente formulada por Ariztegui y otros (2011) cuyo modelo sedimentológico implica relación inversa entre el espesor de las láminas oscuras y la intensidad del viento zonal.

a)



b)

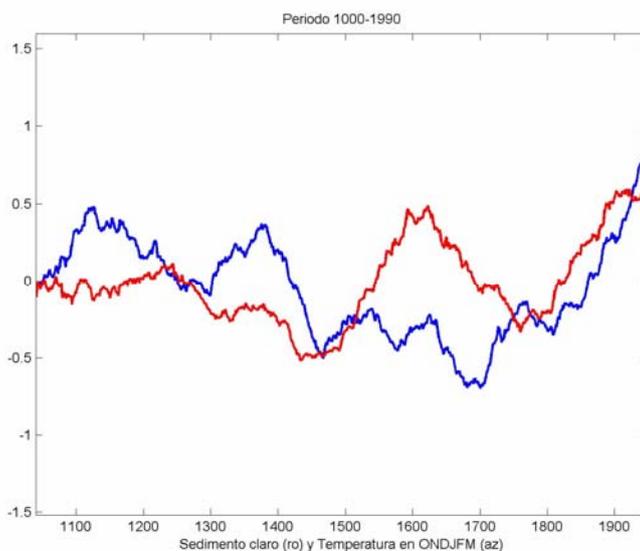
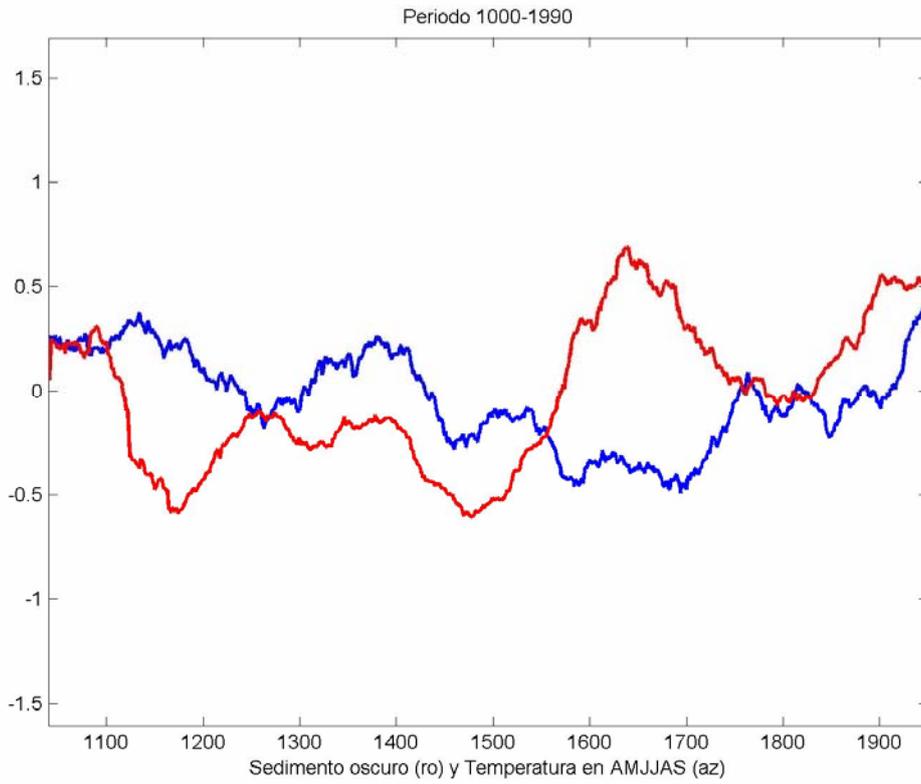


Figura 10. Series estandarizadas y filtradas con una media móvil de 80 años de los espesores de las láminas claras (línea roja) y temperatura media estacional simulada con el ECHO-G (línea azul) para los semestres, frío (a) y cálido (b).

Figure 10. Standardized and filtered (80-year moving average) series of the light laminae thicknesses (red curve) and simulated seasonal mean temperature (blue line) for cold (a) and warm (b) seasons.

a)



b)

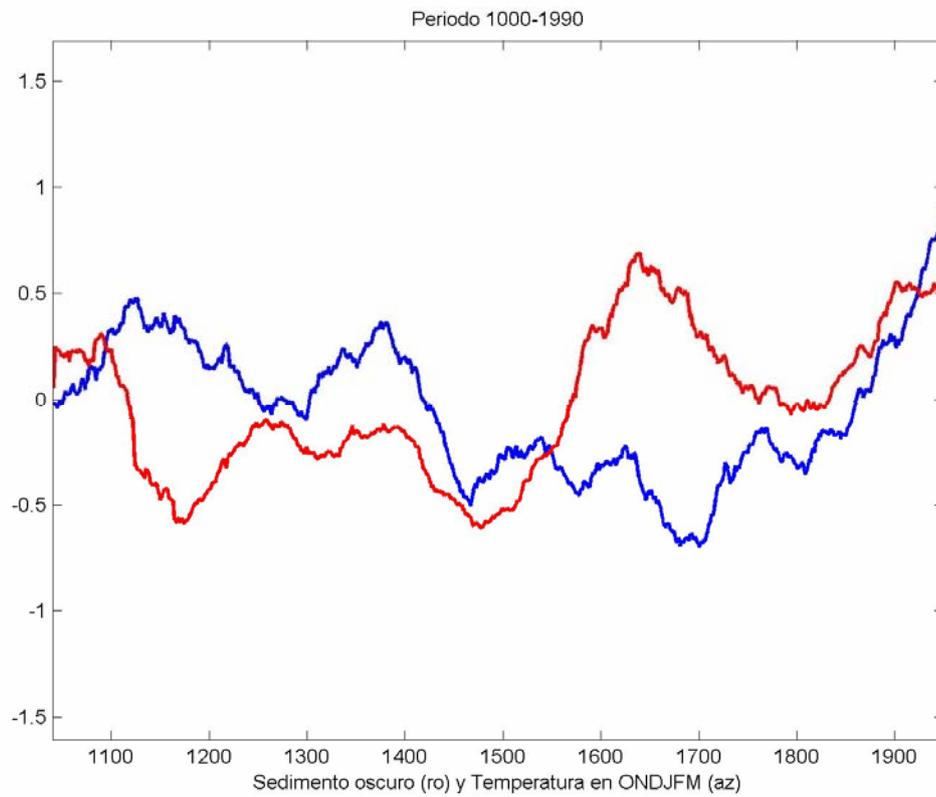
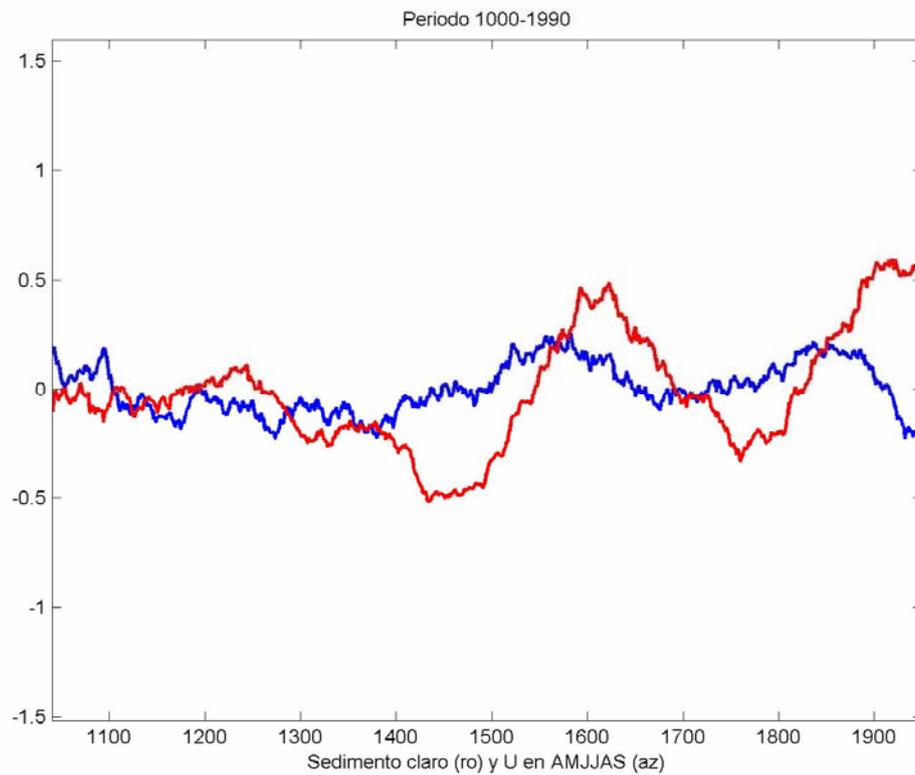


Figura 11. Series estandarizadas y filtradas con una media móvil de 80 años de los espesores de las láminas oscuras (línea roja) y temperatura media estacional simulada con el ECHO-G (línea azul) para los semestres, frío (a) y cálido (b).

Figure 11. Standardized and filtered (80-year moving average) series of the dark laminae thicknesses (red curve) and simulated seasonal mean temperature (blue line) for cold (a) and warm (b) seasons.

a)



b)

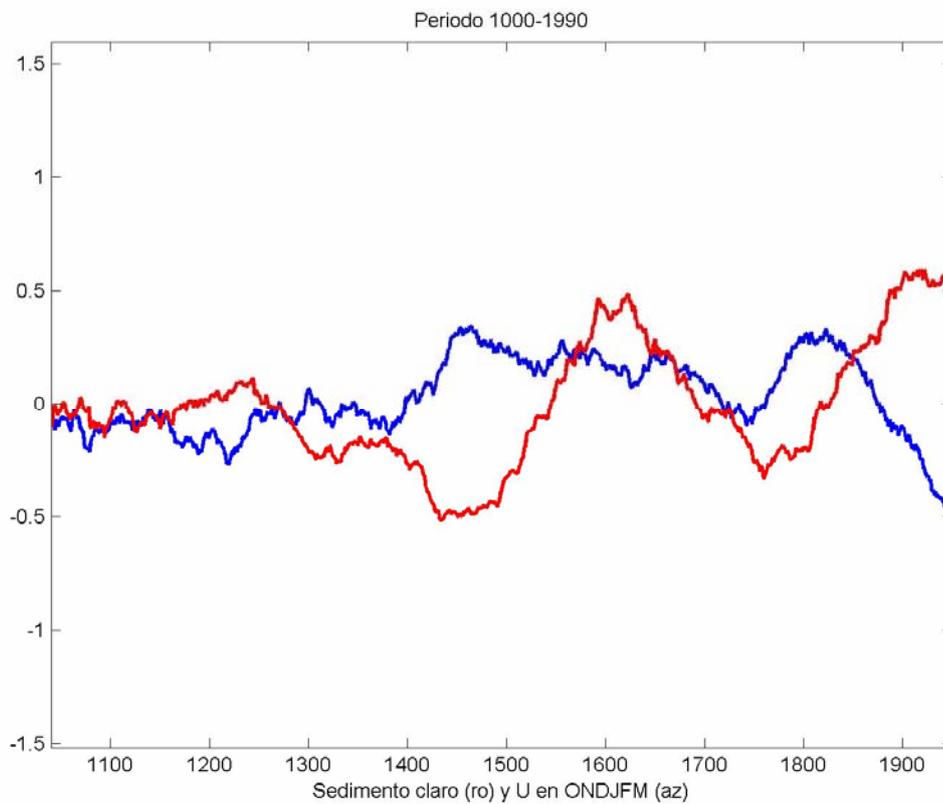
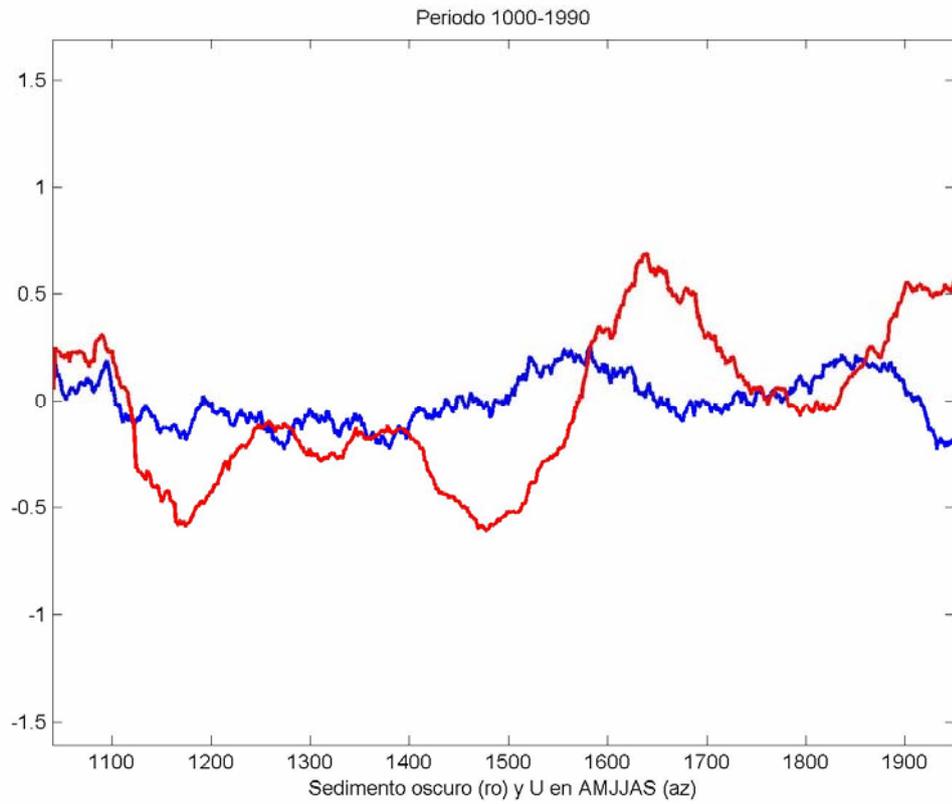


Figura 12. Series estandarizadas y filtradas con una media móvil de 80 años de los espesores de las láminas claras (línea roja) y componente zonal del viento, media estacional simulada con el ECHO-G (línea azul) para los semestres frío (a) y cálido (b).

Figure 12. Standardized and filtered (80-year moving average) series of the light laminae thicknesses (red curve) and simulated zonal wind seasonal mean (blue line) for cold (a) and warm (b) seasons.

a)



b)

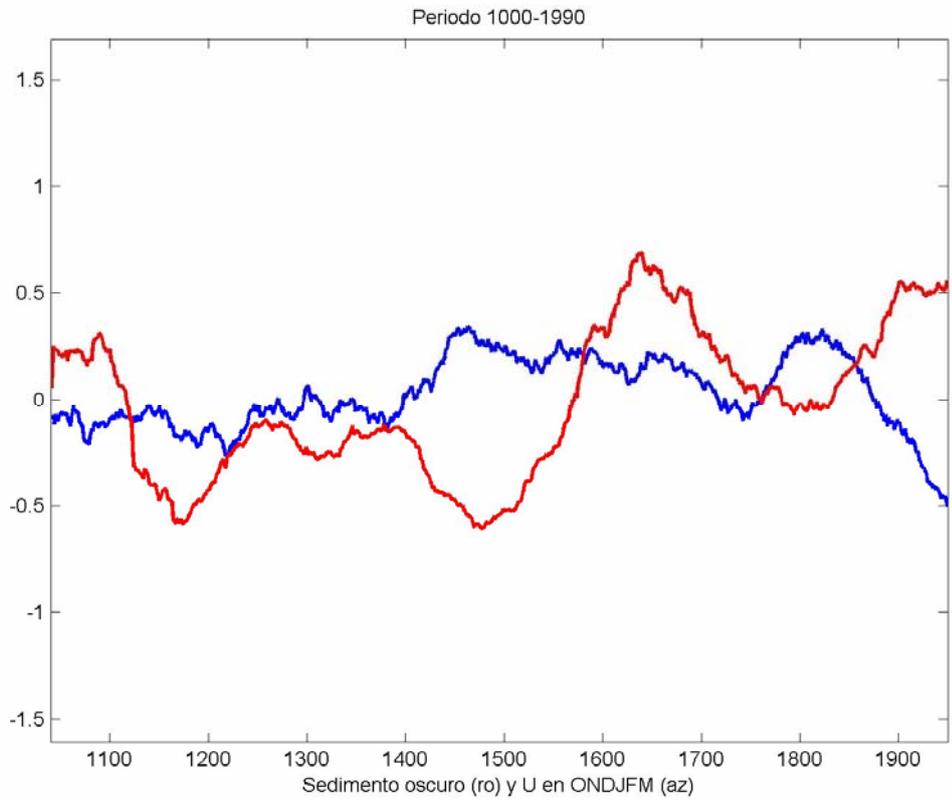


Figura 13. Series estandarizadas y filtradas con una media móvil de 80 años de los espesores de las láminas oscuras (línea roja) y componente zonal del viento, media estacional simulada con el ECHO-G (línea azul) para los semestres frío (a) y cálido (b).

Figure 13. Standardized and filtered (80-year moving average) series of the dark laminae thicknesses (red line) and simulated zonal wind seasonal mean (blue line) for cold (a) and warm (b) seasons.

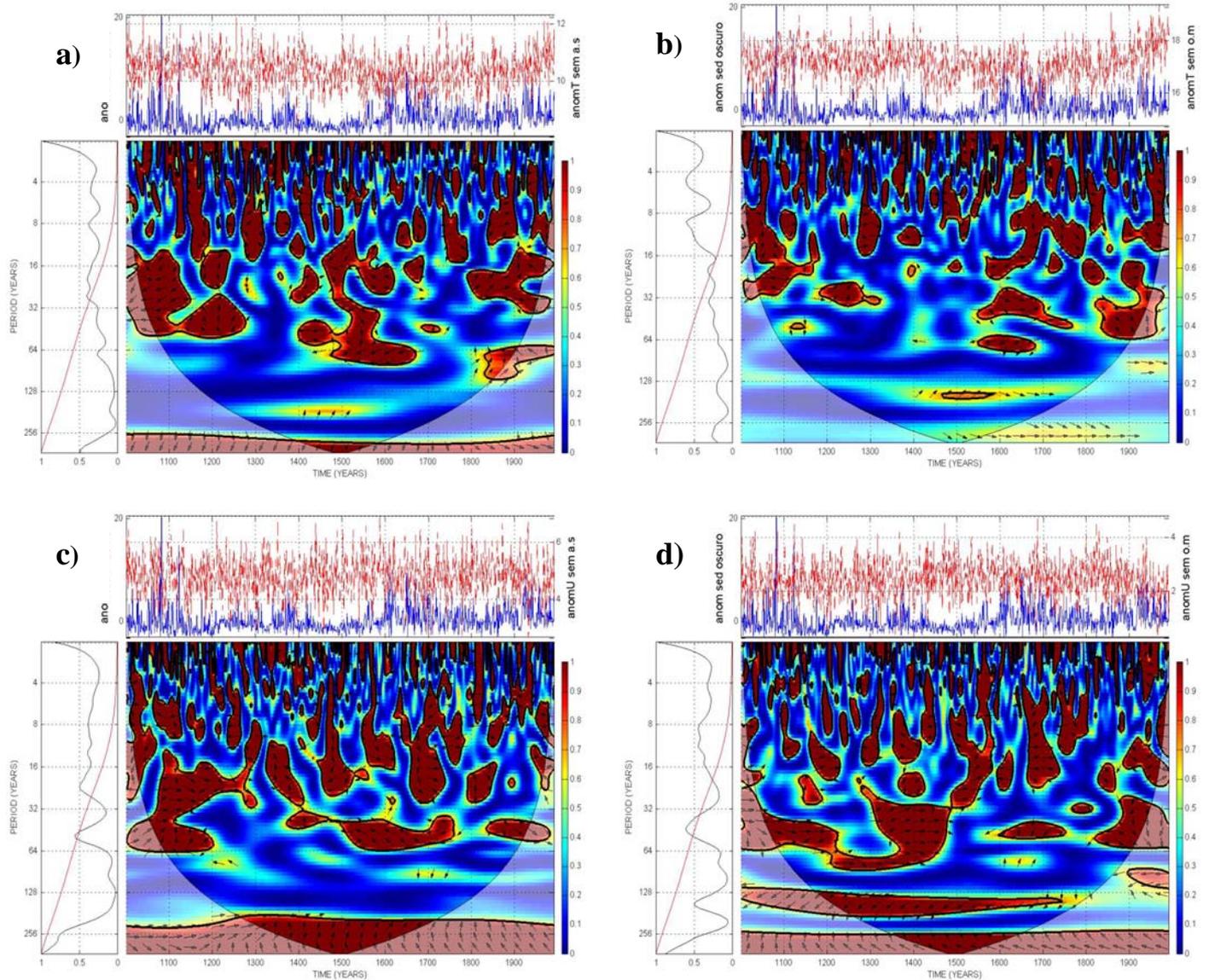


Figura 14. Espectros de Wavelets de Coherencia entre la serie de espesores oscuros y: a) Temperatura media del semestre de frío (A-S) y b) semestre cálido (O-M); c) U medio del semestre frío (A-S) y d) del semestre cálido (O-M). Los vectores indican el tipo de relación entre las variables (vectores hacia la derecha/izquierda/arriba o abajo indican relación directa/inversa/inexistente).

Figure 14. Coherence Wavelet Spectrum between the dark thickness series and: a) April-September seasonal mean temperature, b) October-March seasonal mean temperature, c) April-September seasonal mean zonal wind and d) October-March seasonal mean zonal wind. Vectors indicate the relationship type between the variables (vectors pointing to the right / left / upward or downward indicate direct / inverse / no relationship).

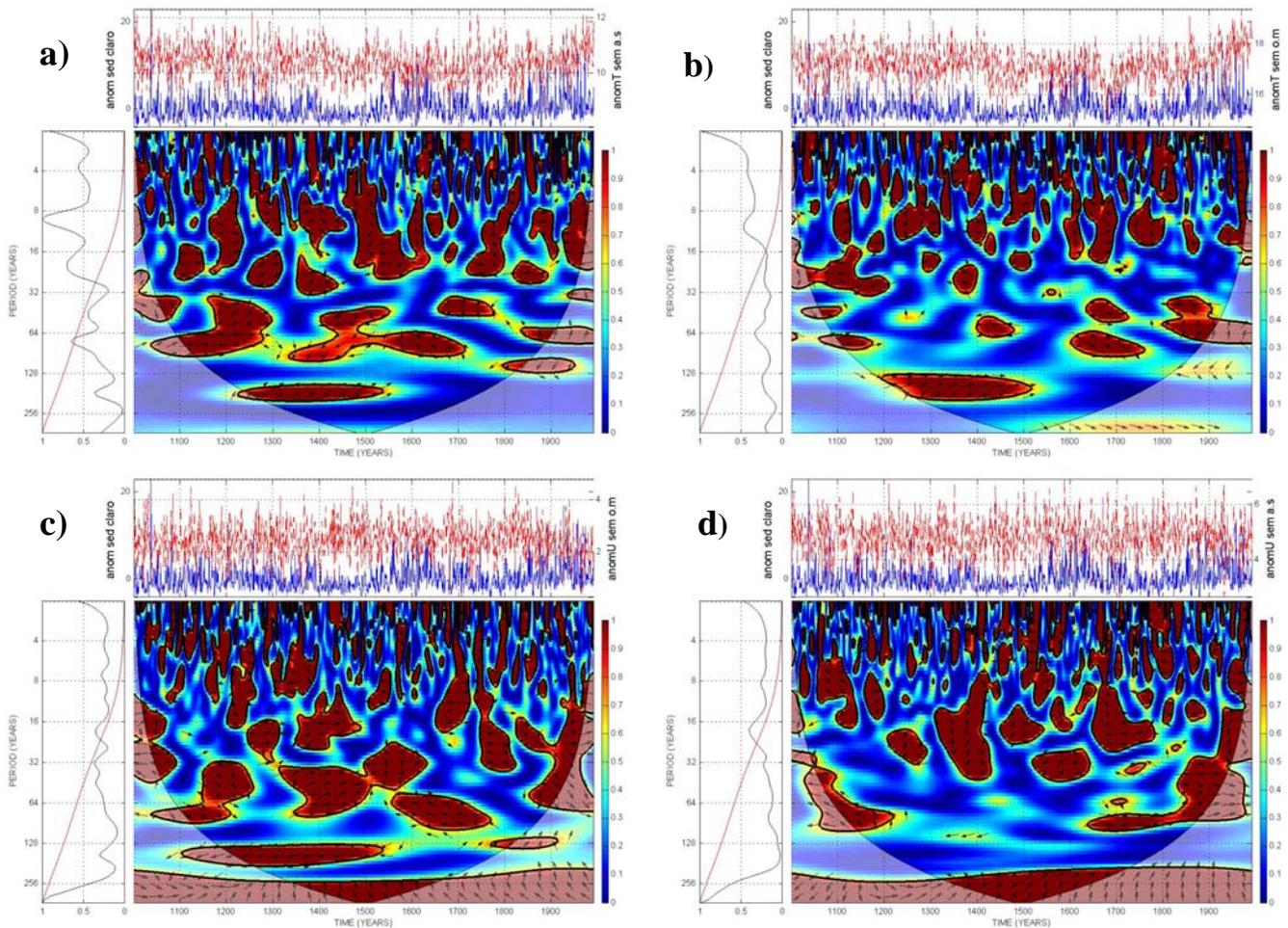


Figura 15. Espectros de Wavelets de Coherencia entre la serie de espesores claros y: a) Temperatura media del semestre de frío (A-S) y b) semestre cálido (O-M); c) U medio del semestre frío (A-S) y d) del semestre cálido (O-M).

Figure 15. Coherence Wavelet Spectrum between the dark thickness series and: a) April-September seasonal mean temperature, b) October-March seasonal mean temperature, c) April-September seasonal mean zonal wind and d) October-March seasonal mean zonal wind.

CONCLUSIONES

Los valores medios anuales y semestrales de temperatura y de la componente zonal del viento de 1000hPa, simulados con el ECHO-G (Zorita y otros, 2003; von Storch y otros, 2009) para el período 1961-90 resultan comparables a las obtenidas del re-análisis NCEP/NCAR sólo para la región central-sur de Patagonia. En latitudes subtropicales del cono sur de Sudamérica y en regiones subpolares el modelo sobreestima los valores de temperatura y subestima la intensidad de la componente zonal del viento. Por otra parte la varianzas de estas variables simuladas se ajustan razonablemente bien a las del re-análisis, en especial para la región de Patagonia.

Las anomalías de T y U medias, anuales y semestrales, simuladas por el ECHO-G para los mínimos solares con respecto al promedio del período 1961-90, tienen patrones similares pero más intensos para el MM que para el MD. Las anomalías de T son negativas sobre la región continental, y positivas sobre el sur del Océano Pacífico Sur, posiblemente debido entre otros factores a la incapacidad del modelo de resolver adecuadamente la discontinuidad entre la superficie con hielo y la superficie marítima libre de hielo. Tanto para MM como para MD, el semestre cálido presenta características similares pero con anomalías negativas más intensas que el semestre frío. Para este último las anomalías se desplazan, como era de esperarse, hacia menores latitudes. Estos resultados contradicen el comportamiento de las anomalías previamente simuladas con el GISS-Model II, las cuales mostraron mayor intensidad en el enfriamiento producido durante el semestre invernal (Maenza y Compagnucci, 2010), lo que demuestra en parte la gran dispersión que se obtiene en los resultados al trabajar con GCM. Parte de ello puede deberse a la pobre representación de la física en el GISS-Model II y su baja resolución espacial. Resultados más realísticos podrían obtenerse realizando un ensamble de múltiples simulaciones de un mismo experimento con diversos modelos.

Las anomalías de U muestran patrones similares para MM y MD con disminución de U en latitudes medias y subpolares centradas en la región del Pasaje de Drake. Por otra parte U aumenta en latitudes al norte de ~ 45°S y

presenta máximos sobre el Océano Pacífico y Atlántico sur centrados en 30°S y 35°S respectivamente. Este patrón de anomalías de U implica el desplazamiento hacia menores latitudes de la componente oeste del flujo que acompaña la disminución de la temperatura sobre la Argentina durante la ocurrencia de dichos mínimos solares. Al igual que para la T las anomalías de U resultan más intensas en el semestre cálido. Este comportamiento en los campos medios en estas latitudes es consistente con una atmósfera que se enfría.

La región de Patagonia central, para la cual el ECHO-G simula razonablemente bien la T y U de 1000hPa, cuenta con un Proxy dato de alta resolución temporal para los últimos 1000 años correspondiente a los testigos sedimentarios del Lago Cardiel (Gilli y otros, 2001; 2005; Markgraf y otros, 2003; Beres y otros, 2007). Las series de los espesores de las láminas claras y oscuras tanto como las de T y U simuladas, fueron filtradas con un promedio móvil de 80 años, el cual dejaría presente la potencial variabilidad debida a los ciclos solares de menor frecuencia tales como el ciclo de Gleissberg de ~80-100 años (Peristykh y Damon 2003), el de Vries (o Suess) de ~210 años (Suess 1980) o las variaciones seculares debidas al ciclo de Hallstatt de ~2300 años (Vasiliev y otros, 2002). La relación más estrecha se observa entre las series de U y la de láminas oscuras para el semestre cálido las cuales varían inversamente. Estos resultados son confirmados por el análisis de coherencia de wavelets entre las series de espesores y las variables climáticas. Resultan significativas las altas frecuencias (periodicidades menores a 16 años) para la relación con la componente zonal del viento, en especial para la serie de láminas oscuras. Previamente Ariztegui y otros (2011) propusieron que las láminas oscuras son producto del depósito de sedimentos ricos en hierro transportados por acción eólica sobre el espejo de agua del lago. La relación sería tal que las partículas tendrían mayor probabilidad de ser depositadas en el lago con U más débil, mientras que una intensa componente U arrastraría una proporción mayor de partículas hacia el este, con lo cual la lámina oscura de sedimento lacustre sería más delgada. La hipótesis resulta concordante con los resultados aquí obtenidos, a pesar de la implícita fuerte exigencia impuesta sobre los valores simulados por el experimento transiente realizado con el ECHO-G. Por lo tanto es posible considerar la serie de 1500 años de espesores de las láminas oscuras como un indicador de la intensidad de la componente oeste del viento en la región del Lago Cardiel.

Agradecimientos. Agradecemos a Eduardo Zorita por facilitarlos la información de las simulaciones realizadas con el ECHO-G en el "Max-Planck-Institute for Meteorology". Los testigos sedimentarios fueron obtenidos en el marco del proyecto PaLaTras financiado por la Fundación Suiza para la Investigación Científica (D. Ariztegui) y el proyecto PATO de la Fundación Nacional para la Investigación Científica de los Estados Unidos (V. Markgraf). Los autores agradecen a los científicos participantes en dichos proyectos por su invaluable ayuda en la obtención de los sedimentos. Agradecemos particularmente a Cristina Recasens de la Universidad de Ginebra, Suiza, quien realizó el conteo de varves a través del análisis de fotos de alta resolución. También se agradece al proyecto PID-UTN 1351 de la UTN. El presente trabajo fue realizado con el soporte de los proyectos PICT-2007-00438 de la AGENCIA-MINCYT, PIP 114-201001-00250 del CONICET, el UBACYT N°:20020100101049 de la UBA y el ARC/11/09 Proyecto bilateral del MINCYT (Argentina)- MEYS (República Checa).

REFERENCIAS

- Ammann, C.M., F. Joos, D. Schimel, B.L. Otto-Bliesner, and R. Tomas, 2007. Solar influence on climate during the past millennium: Results from transient simulations with the NCAR Climate System Model. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 104, 3713– 3718.
- Ariztegui D., R.H. Compagnucci, C. Recasens, A. Gilli, and R.A. Maenza, 2011. Wind variability over central eastern Patagonia during the last 1500 years. XVIII INQUA Congress: Quaternary sciences-the view from the mountains, 21-27 de Julio, Berna, Suiza.
- Beres M., A. Gilli, D. Ariztegui, and F. S. Anselmetti, 2008. The Lago Cardiel basin, Argentina (49°S). Origin and evolution revealed by high-resolution multi-channel seismic reflection studies. *Journal of South American Earth Sciences* 25, 74-85 (doi:10.1016/j.jsames.2007.08.001).
- Berman A.L., R. Compagnucci, y G. Silvestri, 2011. Análisis en tiempo-frecuencia de la conexión entre la atmósfera y el océano Pacífico tropical. *GEOACTA* 36, 167 – 175, ISSN 1852-7744.
- Braun, H; Christl, M; Rahmstorf, S; Ganopolski, A; Mangini, A; Kubatzki, C; Roth, K; Kromer, B , 2005. "Possible solar origin of the 1,470-year glacial climate cycle demonstrated in a coupled model". *Nature* 438 (7065): 208– 11.
- Canavos G.C., 1997. Probabilidad y Estadística - Aplicaciones y Métodos, Eds. Mc Graw Hill, pp 651.
- Field C.V., G.A. Schmidt, and D.T. Shindell, 2009. Interpreting 10Be changes during the Maunder Minimum. *J. Geophys. Res.*, pp 114, D02113, doi:10.1029/2008JD010578.
- Fischer-Bruns, I., U. Cubasch, H. von Storch, E. Zorita, F. González-Rouco, and J. Luterbacher, 2002. Modelling the Late Maunder Minimum with a 3-dimensional OAGCM. *CLIVAR Exchanges*, 7: 59-61. International CLIVAR Project Office, Southampton, UK, ISSN No. 1026-0471.
- Gilli, A., F. S. Anselmetti, D. Ariztegui, P. J. Bradbury, K. R. Kelts, V. Markgraf, and J. A. McKenzie, 2001. Tracking abrupt climate change in the Southern Hemisphere: A seismic stratigraphic analysis of Lago Cardiel, Argentina (49°S). *Terra Nova* 13, 443-448.

- Gilli, A., D. Ariztegui, F. S. Anselmetti, J. A. McKenzie, V. Markgraf, I. Hajdas, and R. D. McCulloch, 2005. Mid-Holocene strengthening of the southern westerlies in South America – Sedimentological evidences from Lago Cardiel, Argentina (49°S). *Global and Planetary Change* 49, 75-93.
- Gonzalez-Rouco F., H. Beltrami, E. Zorita, and H. von Storch, 2006. Simulation and inversion of borehole temperature profiles in simulated climates: Spatial distribution and surface coupling. *Geophys. Res. Letters* 33, L01703.
- Grinsted, A., J. C. Moore, and S. Jevrejeva, 2004. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes Geophys.* 11(5/6), 561– 566.
- Haight, J. D., M. Blackburn, and R. Day (2005), The response of tropospheric circulation to perturbations in lower-stratospheric temperature, *J. Clim.*, 18, 3672– 3685.
- Held, I. M. and Hou, A. Y.: Nonlinear axially symmetric circulations in a nearly inviscid atmosphere, *J. Atmos. Sci.*, 37, 515–533, 1980.
- Held, I. M.: The general circulation of the atmosphere. Proc. Program in Geophysical Fluid Dynamics. Woods Hole Oceanographic Institution, Wood Hole, MA. <http://gfd.whoi.edu/proceedings/2000/PDFvol2000.html>, 2000.
- Hu Y. and Fu Q., 2005. Observed poleward expansion of the Hadley circulation since 1979. *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 5229-5236, 2007.
- Langematz U., A. Claußnitzer, K. Matthes, and M. Kunze, 2005. The climate during the Maunder Minimum: A Simulation with the Freie Universität Berlin Climate Middle Atmosphere Model (FUB-CMAM). *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 67, 55-69.
- Legutke, S., and R. Voss, 1999: The Hamburg Atmosphere-Ocean Coupled Circulation Model. DKRZ Technical Report No. 18, Deutsches KlimaRechenZentrum, Hamburg, Germany, pp 61.
- Ljungqvist, F. C. , 2010. A new reconstruction of temperature variability in the extra-tropical Northern Hemisphere during the last two millennia, *Geogr. Ann.*, 92A, 339–351.
- Loehle, C. and J.H. McCulloch, 2008. Correction to: A 2000-year global temperature reconstruction based on non-treering proxies. *Energy & Environment* 19(1): 93-100.
- Maenza R.A. y R.H. Compagnucci, 2010. Simulación de la Pequeña Edad de Hielo usando el modelo EdGCM, *GEOACTA*, 35:2,78-91.
- Mann, M.E., Z. Zhang, S. Rutherford, R.S. Bradley, M.K. Hughes, D. Shindell, C. Ammann, G. Faluvegi, and F. Ni, 2009. Global signatures and dynamical origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly. *Science* 326: 1256-1260.
- Markgraf, V., P. J. Bradbury, A. Schwalb, S. Burns, C. Stern, D. Ariztegui, A. Gilli, F. S. Anselmetti, S. Stine, and N. Maidana, 2003. Reconstructing Holocene limnological and paleoenvironmental changes in Patagonia : Paleoclimatic history of Lago Cardiel, Argentina (49°S). *The Holocene* 13/3, 597-607.
- Moberg A, D.M. Sonechkin, K. Holmgren, N.M. Datsenko, and W. Karlén, 2005: Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy data. *Nature* 433: 613-617.
- Ndiaye, M., E. Davaud, D. Ariztegui, and M. Fall, 2012. A Semi Automated Method for Laminated Sediments Analysis. *International Journal of Geosciences* 3, 206-210 (doi:10.4236/ijg.2012. 31023).
- Pérez-Peraza, J., V. Velasco Herrera and I. Libin, 2011. Influence of Cosmophysical Phenomena and African Dust on Hurricanes Genesis. *Recent Hurricane Research - Climate, Dynamics, and Societal Impacts*. Edited by Anthony Lupo, ISBN 978-953-307-238-8, 616 pages, Publisher: InTech. DOI: 10.5772/592.
- Peristykh, A. N. and P. E. Damon (2003), Persistence of the Gleissberg 88-year solar cycle over the last 12,000years: Evidence from cosmogenic isotopes, *J. Geophys. Res.*, 108(A1), 1003, doi:10.1029/2002JA009390.
- Shindell, D.T., G.A. Schmidt, M.E. Mann, D. Rind, and A. Waple, 2001. Solar forcing of regional climate change during the Maunder Minimum. *Science*, 294, 2149-2152.
- Suess, H.E., 1980, "The radiocarbon record in tree rings of the last 8000 years", *Radiocarbon*, 22, 200–209.
- Torrence, C. and G. Compo, 1998. A practical guide to wavelet analysis, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 79, 61-78.
- Torrence, C. and P. Webster, 1999. Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system. *J. Clim.* 12, 2679-2690.
- Varma V., M. Prange, F. Lamy, U. Merkel, and M. Schulz, 2010. Solar-forced shifts of the Southern Hemisphere Westerlies during the late Holocen, *Clim. Past Discuss.*, 6, 369–384, 2010 www.clim-past-discuss.net/6/369/2010.
- Vasiliev, S.S. and V.A. Dergachev, 2002. The 2400-year cycle in atmospheric radiocarbon concentration: bispectrum of 14C data over the last 8000 years. *Annales Geophysicae* 20, 115–120.
- Velasco, V. M., J. Pérez-Peraza, G. H. Velasco, and L. Luna González, 2010. African Dust Influence on Atlantic Hurricane Activity and the Peculiar Behaviour of Category 5 Hurricanes. arXiv:1003.4769v1 [physics.ao-ph].
- von Storch, H., E. Zorita, and F. Gonzalez-Rouco, 2009. Relationships between global mean sea-level and global mean temperature and heat-flux in a climate simulation of the past millennium. *Ocean Dynamics* 58:227–236.
- Williams, G. P. (2006), Circulation sensitivity to tropopause height, *J. Atmos. Sci.*, 63, 1954– 1961.
- Zorita, E., F. González-Rouco and S. Legutke, 2003. Testing the Mann et al. (1998) Approach to Paleoclimate Reconstructions in the Context of a 1000-Yr Control Simulation with the ECHO-G Coupled Climate Model . *Journal of Climate* 16,1378-1390.

Zorita E., H. von Storch, F. Gonzalez-Rouco, U. Cubasch, J. Luterbacher, S. Legutke, I. Fischer-Bruns and U. Schlese, 2004. Climate evolution in the last five centuries simulated by an atmosphere-ocean model: global temperatures, the North Atlantic Oscillation and the Late Maunder Minimum. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 13, No. 4, 271-289.

Recibido: 21-02-2013
Aceptado: 09-08-2013