

VARIABILIDAD DE PERTUBACIONES ESPACIALES Y TEMPORALES DE 500hPa PARA SISTEMAS TROPICALES Y EXTRATROPICALES DE SUDAMERICA

Adrián Yuchecheñ¹, Susana Bischoff² y Pablo Canziani¹

¹ Programa de Estudio de Procesos Atmosféricos en el Cambio Global (PEPACG), Pontificia Universidad Católica Argentina (UCA). (CONICET). E-mail: aey@uca.edu.ar

² Dep. de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Fac. de Ciencias Exactas y Naturales, Univ. de Buenos Aires

RESUMEN

En este trabajo se estudia la variabilidad espacial y temporal de los campos de circulación a través de un análisis de anomalías mensuales del nivel de 500 hPa. En particular, se analizan las anomalías extremas en la región tropical y extratropical de Sudamérica oriental, y su comportamiento regional con relación al cambio climático. Se presenta también un análisis de vientos relacionados con eventos extremos, y de saltos climáticos en cada una de las estaciones.

Para este estudio se utilizan radiosondeos de Argentina (Córdoba, SACO; y Ezeiza, SAEZ) y sur de Brasil (Galeão, SBGL), cubriendo el período enero 1973-abril 2006. Ambas estaciones argentinas representan la región extratropical, mientras que la estación brasilera representa la región tropical. La variable utilizada es la altura geopotencial de 500 hPa y la metodología consiste en la aplicación de métodos estadísticos básicos, análisis de Fourier, y de clúster para la clasificación de los campos de circulación. Para detectar saltos climáticos se utiliza el test de Yamamoto.

La presencia de un dipolo ubicado al sur de 30° S caracteriza a la primera componente principal en relación con la presencia de anomalías mensuales extremas en la altura de 500 hPa para cada una de las estaciones analizadas. En general, eventos extremos negativos (positivos) están relacionados con mayor (menor) frecuencia e intensidad de oestes. Además, las series de anomalías presentan un salto climático en la década del '80 para SACO y SBGL, mientras que la serie de SAEZ no presenta cambio alguno.

Palabras clave: anomalías mensuales 500 hPa, altura geopotencial, eventos extremos, saltos climáticos, Sudamérica

ABSTRACT

Spatial and temporal variability of circulation patterns associated to extreme 500 hPa geopotential height anomalies are studied. Particularly, extreme anomalies in the tropical and extratropical region of southeastern South America are analyzed, as well as its regional behaviour related to climatic change. Wind analyses related to extreme events and climatic jumps analysis are also presented.

Rawinsondes from Argentina (Córdoba and Ezeiza) and southern Brazil (Galeão) covering the period January 1973–April 2006 are used. Both argentine stations represent the mid-latitude region, while the Brazilian one represents the tropical region. The variable used is the 500 hPa geopotential height, and the methodology consists in basic statistical methods, Fourier analysis, and a cluster analysis to classify the circulation patterns. Yamamoto test is used to detect climatic jumps.

The main feature for the first principal component is the presence of a dipole located south of 30° S. The first principal component is highly related to the presence of extreme 500 hPa geopotential height monthly anomalies at each station. Negative (positive) extreme events are in general related to higher

(lower) frequency and intensity of westerlies. Moreover, the series of anomalies present a climatic jump in the eighties for SACO and SBGL, but not for SAEZ.

INTRODUCCION

Ya sea en escala diaria, mensual, o anual, las anomalías extremas para los distintos niveles en la atmósfera aportan valiosa información de los campos de circulación en relación con los sistemas semipermanentes y migratorios. En particular, el nivel de 500 hPa ha sido ampliamente estudiado (Blackmon, 1976; Trenberth, 1979; Horel, 1985; Kidson, 1988) puesto que es un referente de la atmósfera media. El objetivo del presente trabajo es obtener una clasificación de los campos de circulación en 500 hPa asociados a eventos extremos de anomalías de altura geopotencial para el mismo nivel por el método de componentes principales, para una estación tropical y dos subtropicales ubicadas en Sudamérica oriental, y analizar la ocurrencia de saltos climáticos en las series de anomalías mensuales de altura de 500 hPa.

Algunos antecedentes de estudios en la troposfera relacionados con el objetivo aquí propuesto se pueden encontrar en Yuchechechen *et al.* (2006), en el que se presenta un análisis de eventos extremos de anomalías para el nivel de 850 hPa en las mismas tres estaciones estudiadas en este trabajo. Tres resultados importantes pueden extraerse del mencionado trabajo: (a) Para el nivel de 850 hPa la onda anual (semianual) domina las latitudes tropicales (extratropicales); (b) La primera componente principal del campo de circulación asociado a eventos extremos de anomalías negativas en 850 hPa está siempre caracterizada por la presencia de un dipolo de orientación zonal Pacífico-Atlántico al sur de 35° S, el cual se alterna según la estación de referencia; (c) A partir de 1990 existe un aumento (decremento) de eventos extremos positivos (negativos) en Galeão. Si bien en 850

hPa hay evidencias de saltos climáticos, en el mencionado trabajo no se presenta una verificación estadística acerca de la existencia de tales saltos. En comunicaciones personales, sin embargo, otros autores han revelado que dicho cambio ha sido detectado en diversas variables atmosféricas.

DATOS Y METODOLOGIA

La altura geopotencial del nivel de 500 hPa fue obtenida a partir de radiosondeos tomados en las estaciones Galeão (SBGL) ($\varphi=22^{\circ}48'$ S, $\lambda=43^{\circ}15'$ O), Córdoba (SACO) ($\varphi=31^{\circ}19'$ S, $\lambda=64^{\circ}13'$ O) y Ezeiza (SAEZ) ($\varphi=34^{\circ}49'$ S, $\lambda=58^{\circ}32'$ O). Los mencionados radiosondeos se encuentran disponibles en la página web del Department of Atmospheric Science, College of Engineering, University of Wyoming (<http://weather.uwyo.edu/>) y son de dominio público. En todos los casos los datos cubren el período enero 1973–abril 2006.

Se calcularon los valores medios mensuales climáticos de la altura del nivel de 500 hPa para el período completo en cada una de las estaciones (Fig. 1). Hay un 2 % de datos faltantes en SAEZ y aproximadamente un 3 % en SBGL y un 9 % en SACO. A los valores medios climáticos se les aplicó un análisis armónico (Jenkins and Watts, 1968). Los resultados son que predomina el primer armónico (onda anual) en las tres estaciones, con un 79 % de varianza explicada en SBGL, un 96 % en SACO y un 95 % en SAEZ. El segundo armónico (onda semianual) llega casi al 17% de varianza explicada en SBGL, y en las estaciones restantes explica una varianza mucho menor.

En este trabajo se establece que un armónico es significativo cuando su varianza explicada es mayor o igual que 10% de la

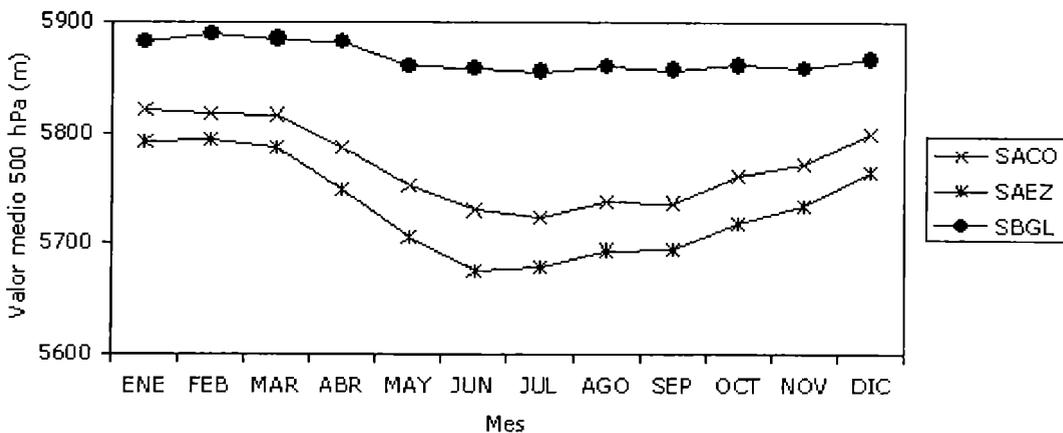


Figura 1. Valores medios mensuales climáticos de altura geopotencial para el nivel de 500 hPa.

varianza total. En consecuencia, el primer armónico será significativo para las tres estaciones. Además, en SBGL también será significativo el segundo armónico. El cálculo de anomalías se lleva a cabo en dos partes: combinación de armónicos significativos y obtención de valores medios mensuales. Una vez calculados los valores medios mensuales para cada estación, las anomalías mensuales se obtienen como la desviación de éstos respecto de la combinación de armónicos significativos. La Figura 2 muestra las series de anomalías en las tres estaciones.

El uso de anomalías mensuales elimina la variación asociada a la onda anual y permite hacer una única clasificación para todos los meses por medio de quintiles. Dado que el objetivo de estudio es analizar las anomalías extremas de altura geopotencial en 500 hPa, prestaremos especial atención a los quintiles primero y último.

El área de estudio está comprendida entre los 10° y 60° S y los 20° y 120° O. De la base de datos de reanálisis del NCEP/NCAR (Kalnay *et al.*, 1996) se obtienen los campos de anomalías mensuales que corresponden a los meses extremos. Los campos se analizan separadamente para cada uno de los extremos por el Método de Componentes Principales dentro del área de estudio y para cada una de

las estaciones. Utilizaremos el Método de Componentes Principales en modo T, haciendo uso de la matriz de correlación como matriz de entrada de los datos (Green *et al.*, 1978, Richman, 1986, Salles *et al.*, 2001). En Richman (1986) puede encontrarse el desarrollo matemático y las propiedades que fundamentan la aplicación de esta metodología.

RESULTADOS

Llamamos “conjunto extremo” a cada conjunto de meses clasificados como extremos según el método de quintiles. Así, se tendrán dos conjuntos extremos para cada estación: positivo, que incluye las máximas anomalías de altura geopotencial de 500 hPa, y negativo, que incluye las anomalías mínimas. La Tabla 1 muestra la varianza explicada por cada componente principal (principal component, PC) hasta la quinta para cada uno de los conjuntos extremos, como así también la suma de varianzas de cada una de ellas, en cada una de las estaciones. Dado que el método ordena los autovalores en forma decreciente y la varianza es proporcional al autovalor (Wilks, 2006), se tiene la seguridad de que cuanto mayor sea el orden de cada PC menor será la varianza explicada por ella. De esta forma, las PCs de orden superior al quinto

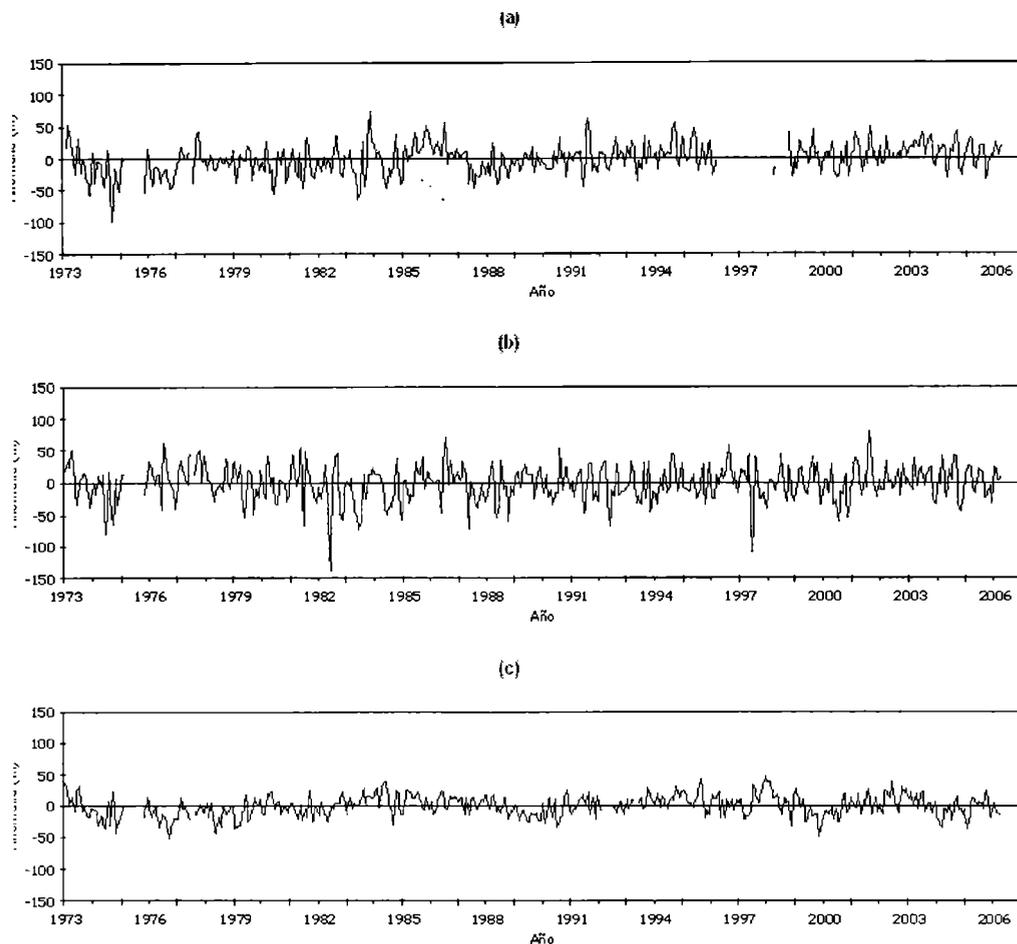


Figura 2. Series de anomalías de altura geopotencial de 500 hPa para (a) SACO, (b) SAEZ, (c) SBGL.

tienen varianzas explicadas menores que las de la PC5.

La varianza total explicada por las primeras cinco componentes principales supera en todos casos el 80 %. Las mayores diferencias de varianza explicada se tienen en SACO para la PC1: en el primer quintil se explica un 10 % más que en el último. La Figura 3 muestra la PC1 extraída del conjunto extremo negativo para las tres estaciones. En los tres casos puede observarse la presencia de un dipolo al sur de 35° S. Para el caso de SBGL, es interesante la presencia de un centro intenso ubicado sobre la costa sur de Brasil. Hasta el

momento no puede hablarse de centros ciclónicos o anticiclónicos puesto que las componentes principales no brindan tal información. La asociación entre las PCs y los campos reales viene dada por los *loadings*.

La Figura 4 muestra los campos (reales) que mejor correlación tienen en valor absoluto con la PC1. Según la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 1992) se define *bloqueo* como la “acción que durante periodos de cierta duración produce interrupciones meridianas de la corriente zonal normal de la circulación general en las latitudes medias”. Asimismo, también WMO (1992) define

Tabla 1. Varianza explicada (%) por cada PC para cada uno de los quintiles, en cada una de las estaciones.

Estación	SBGL		SACO		SAEZ	
	1	5	1	5	1	5
PC1	30.82	32.54	33.11	23.75	30.38	25.39
PC2	18.80	17.68	17.41	20.39	17.64	20.07
PC3	12.48	14.30	13.72	16.00	15.41	15.76
PC4	11.27	10.07	10.43	13.65	9.76	11.01
PC5	9.37	8.45	6.97	8.66	6.95	9.19
Var. Exp.	82.74	83.04	81.64	82.46	80.13	81.42

anticiclón de bloqueo como “anticiclón de las latitudes medias que se mueve con lentitud y que en el mapa sinóptico da la impresión de ser un obstáculo que bloquea la marcha normal, hacia el este, de las depresiones migratorias extratropicales”. Claramente, la situación que corresponde a julio de 1989 describe un bloqueo en el Atlántico Sur: un sistema de altas presiones con su centro ubicado sobre las Islas Georgias del Sur. Lejenäs (1984) y Trenberth y Mo (1985) establecen que una de las principales áreas de bloqueo se ubica en el sudeste de Sudamérica (Canziani *et al.*, 2002). Para octubre de 1991 no hay bloqueos presentes, pero sí puede apreciarse la presencia de cuatro

sistemas de distinto signo ubicados de forma tal que describen una situación similar a la de un *collado* sobre el centro de Argentina. WMO (1992) define *collado* como “región, de forma similar a una silla de montar, en que hay una presión casi uniforme. Está limitada por dos depresiones y dos anticiclones situados de manera alternada, formando una cruz”. La situación para octubre de 1973 también presenta un collado, aunque los signos de los sistemas están invertidos respecto de los de octubre de 1991, y nuevamente está presente un bloqueo en el Atlántico Sur, aunque más intenso que el de julio de 1989. Además, su centro se encuentra desplazado ligeramente hacia el sudoeste. Asimismo, los gradientes meridionales son más intensos.

La Figura 5 muestra el campo medio climático de anomalías mensuales para cada mes del año, en la región de análisis. Para su confección se utilizó la base de datos de reanálisis del NCEP/NCAR (Kalnay *et al.*, 1996). El campo medio climático de anomalías está calculado para el período enero 1973-abril 2006 y el campo climático medio (campo e referencia para la obtención de las anomalías)

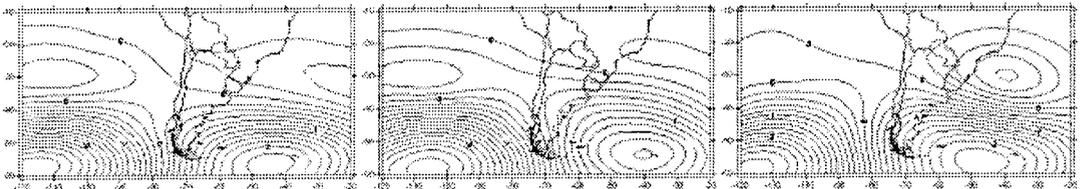


Figura 3. PC1 extraída del conjunto extremo negativo para SACO (izquierda), SAEZ (centro), y SBGL (derecha).

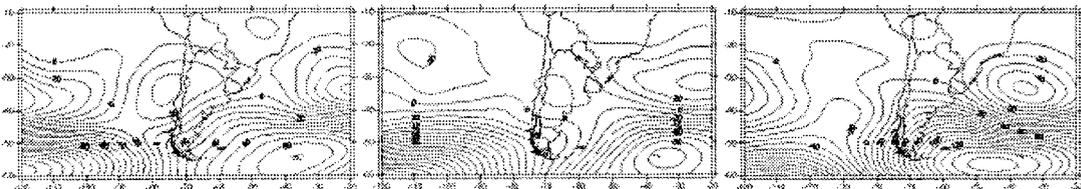


Figura 4. Campo de anomalías medias mensuales de máxima correlación con la PC1 extraída del conjunto extremo negativo: SACO, julio de 1989 (izquierda); SAEZ, octubre de 1991 (centro); SBGL, octubre de 1973 (derecha). El valor del loading es de 0.93 para (a), -0.93 para (b) y -0.92 para (c).

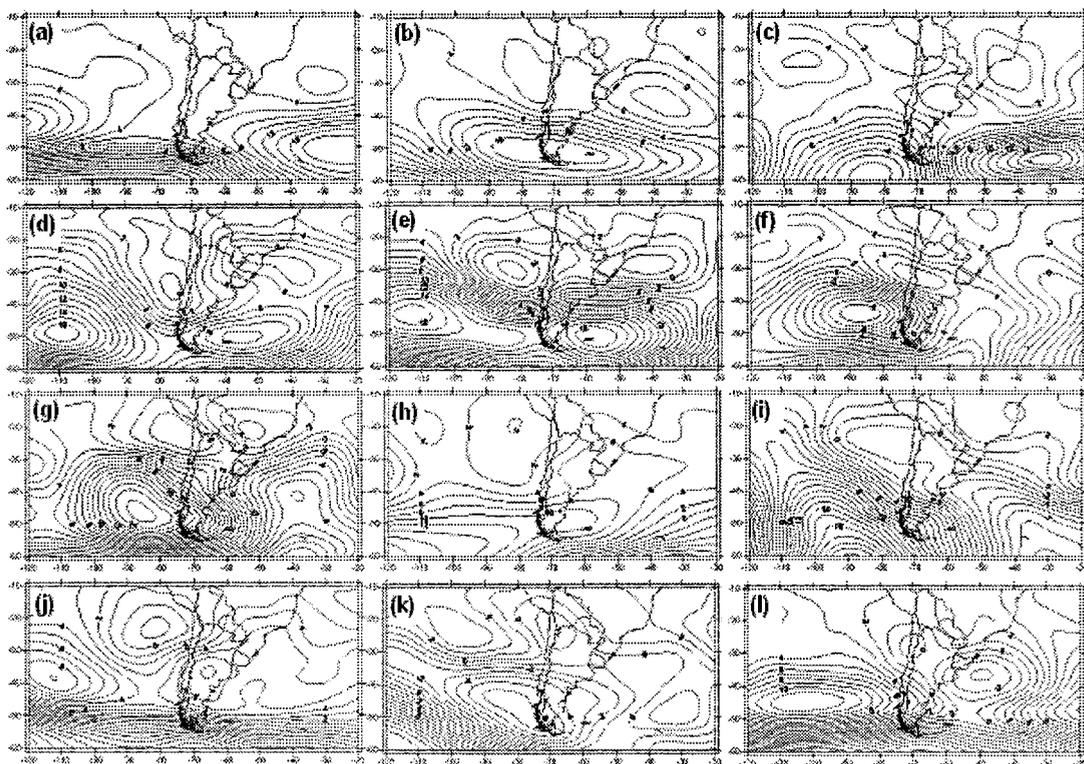


Figura 5. Campo medio climático de anomalías mensuales de altura de 500 hPa en la región de análisis para: (a) enero; (b) febrero; (c) marzo; (d) abril; (e) mayo; (f) junio; (g) julio; (h) agosto; (i) septiembre; (j) octubre; (k) noviembre; (l) diciembre. El campo medio climático de anomalías mensuales está calculado para el período enero 1973 - abril 2006; las anomalías están calculadas en base a los campos medios climáticos mensuales para el período enero 1968 - diciembre 1996.

comprende el período enero 1968-diciembre 1996.

En la Figura 5g se aprecia que, climáticamente, se sitúa sobre el Océano Atlántico una vaguada con eje norte-sur en el mes de julio. Asimismo, hay presente un centro de actividad anticiclónica sobre el Pacífico Sur. La Figura 5g adopta un patrón muy similar al patrón que adoptan los sistemas anticiclónicos al cruzar los Andes hacia el este. En la posición ocupada por el centro anticiclónico en la Figura 5g aparece un collado en la Figura 4a.

Para octubre (Fig. 5j) el campo climático de anomalías mensuales muestra un débil centro anticiclónico ubicado al norte de la Patagonia. Sobre el Pacífico pueden observarse también dos sistemas: uno con actividad

anticiclónica más al oeste, y otro con débil actividad ciclónica hacia el noroeste. Para los campos asociados a la PC1, la zona de flujo casi zonal ubicada entre los 50° y 60° S ha sido reemplazada por un dipolo (Fig. 4b y c). Sin embargo, la orientación del dipolo es opuesta para cada caso. Se adopta aquí la convención de que la orientación zonal es positiva cuando se ubica un anticiclón sobre el Pacífico. De esta manera, la orientación del dipolo para octubre de 1991 (1973) es positiva (negativa).

La Figura 6 muestra la PC1 extraída del conjunto extremo positivo para cada una de las estaciones, y la Figura 7 muestra los campos de anomalías mensuales que mejor asociación tienen con ella.

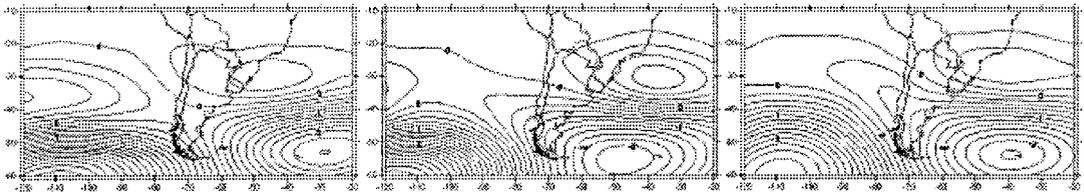


Figura 6. Ídem Figura 3 para el conjunto extremo positivo.

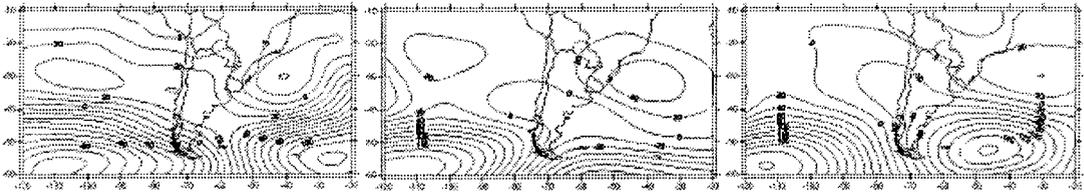


Figura 7. Campo de anomalías medias mensuales de máxima correlación con la PC1 extraída del conjunto extremo positivo: SACO, abril de 2006 (izquierda), SAEZ, abril de 1973 (centro), y SBGL, abril de 1990 (derecha). El valor del loading es de -0.93 (izquierda), 0.91 (centro) y 0.97 (derecha).

Un dipolo sigue presente al sur de 35° S. En los tres casos, la PC1 está asociada con el campo de anomalías mensuales de abril: 2006 (SACO), 1973 (SAEZ) y 1990 (SBGL). La orientación del dipolo es negativa, negativa, y positiva, respectivamente. La climatología de las anomalías para abril (Fig. 5d) muestra que al sur de 35° S no hay dipolo, sino que se ubica sobre cada océano un centro anticiclónico.

ANÁLISIS DE VIENTOS PARA EVENTOS EXTREMOS

Para los casos extremos analizados se estudió también el comportamiento del viento. Las Figuras 8a, 9a y 10a muestran la rosa de los vientos para 500 hPa en SACO, SAEZ y SBGL, respectivamente. Naturalmente, en 500 hPa la mayor frecuencia corresponde a vientos del oeste, tanto para los eventos extremos como para los valores medios. En general, para eventos extremos negativos (positivos) puede observarse una mayor (menor) frecuencia de oestes en las tres estaciones. Adicionalmente, en SAEZ los vientos del tercer (cuarto) cuadrante tienen frecuencias mayores (menores) que la media. Esta característica

también se presenta en SACO aunque es menos evidente, y en SBGL sólo para el cuarto cuadrante.

Al analizar las intensidades de viento en SACO (Fig. 8b) se encuentra que, en general, eventos extremos negativos (positivos) se asocian con vientos más (menos) intensos. Esto último es particularmente cierto para las situaciones en las que el viento sopla con componente este: en los pocos casos observados las intensidades son considerables en todas las direcciones, salvo ESE y NNE.

La Figura 9b muestra las intensidades para SAEZ. Nuevamente, en general eventos extremos negativos (positivos) se relacionan con intensidades mayores (menores) a la media, aunque la distribución de intensidades es mucho más regular, con máximos para vientos de componente oeste.

En SBGL (Fig. 10b) puede verse que tanto eventos extremos positivos como negativos poseen intensidades por debajo de la media, siendo las que corresponden a los eventos negativos las menores.

La rosa de los vientos en SBGL muestra que para los eventos extremos negativos (positivos) la frecuencia de vientos con

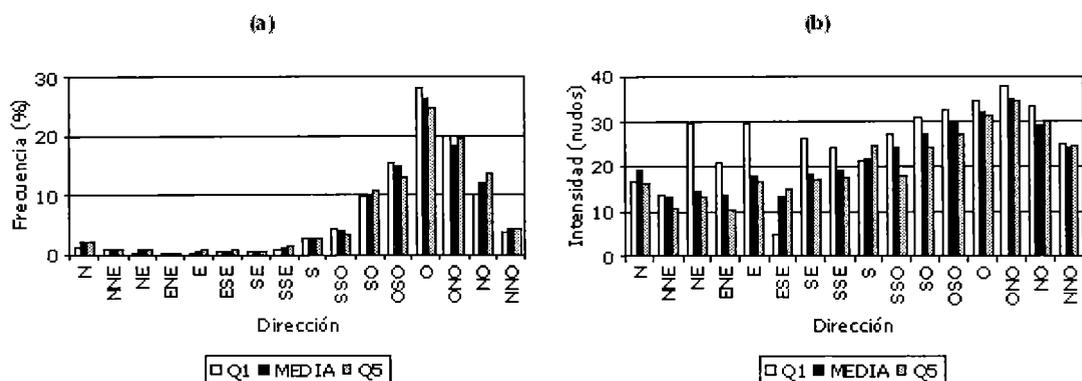


Figura 8. Frecuencia relativa e intensidad del viento en función de la dirección para ambos conjuntos extremos en SACO. Q1 (Q5) se refiere al conjunto extremo negativo (positivo). Se muestra también el valor medio para cada una de las variables: (a) Frecuencia relativa, (b) Intensidad.

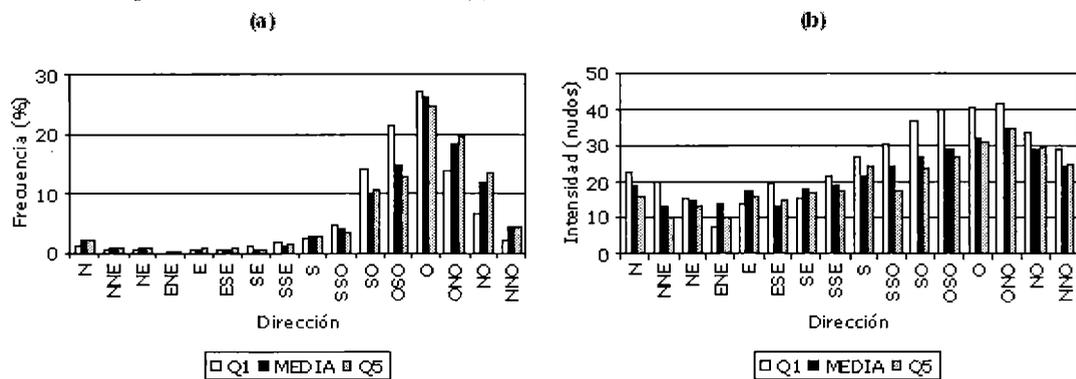


Figura 9. Ídem Figura 8 para SAEZ.

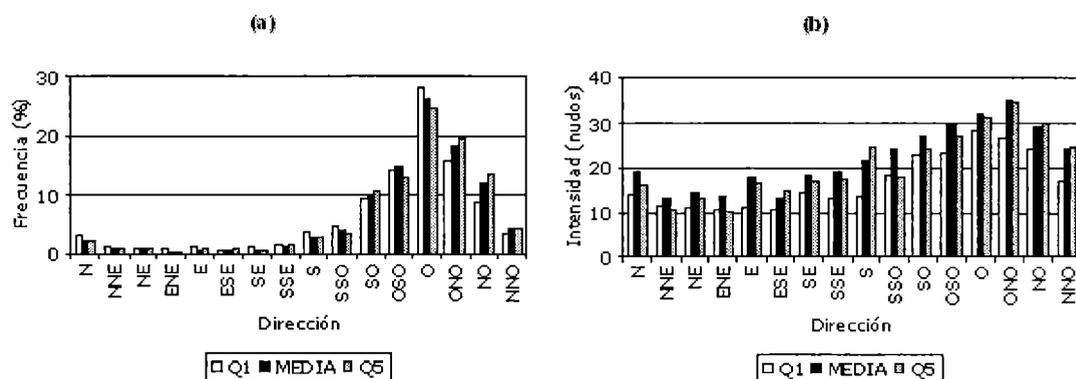


Figura 10. Ídem Figura 8 para SBGL.

componente del oeste es mayor (menor) que la media. Para SAEZ, se observa el mismo comportamiento aunque restringido al tercer cuadrante. En cuanto a la intensidad, los vientos con componente oeste poseen valores

mayores (menores) a la media para los eventos extremos negativos (positivos) en SBGL. Nuevamente, SAEZ tiene el mismo comportamiento que SBGL pero mayormente dentro del tercer cuadrante.

VARIABILIDAD INTERMENSUAL

Con el objeto de estudiar la variabilidad intermensual de los campos de circulación extremos se confeccionaron tablas que muestran la distribución de la mejor relación entre los campos medios reales y las cinco primeras componentes principales, considerando las situaciones en las que el valor del loading supera 0.7. La Tabla 2a muestra los meses extremos negativos en SACO asociados a cada una de las componentes. El número indica la PC y entre paréntesis se indica el signo del loading. Una cruz indica que la correlación entre el campo mensual de anomalías dentro de la región de interés y cada una de las primeras cinco componentes principales no es significativo. Si no hay datos para el mes, o éste no pertenece al conjunto extremo analizado, aparece un blanco. Puede verse que los meses extremos negativos se concentran en mayor medida hasta aproximadamente mediados de los '80, como así también que hay un predominio de las componentes de orden superior en la primera mitad del período.

La Tabla 2b muestra los meses extremos positivos en SACO y la asociación de cada uno de ellos con cada PC. En este caso, los meses extremos positivos se concentran mayormente en la última mitad del período y las componentes de orden superior parecen ser importantes desde mediados de la década del '80 en adelante.

La Tabla 3a muestra la asociación de cada uno de los meses del conjunto extremo negativo en SAEZ con las primeras cinco componentes principales. En ella puede observarse una menor concentración de meses extremos negativos en los primeros meses del año. Sin embargo, no se presenta el comportamiento observado en SACO y todas las componentes parecen tener una distribución homogénea en el tiempo.

En la Tabla 3b se presentan las asociaciones de los meses del conjunto extremo positivo en SAEZ con cada una de las primeras cinco componentes principales extraídas para ese conjunto. En este caso se observa una mayor concentración de los meses extremos positivos hacia la última mitad del período de estudio. Sin embargo y al igual que en la tabla anterior, el comportamiento visto en SACO no se presenta.

Para el conjunto extremo negativo en SBGL, la Tabla 4a presenta las asociaciones de los meses que lo componen con cada una de las primeras cinco PCs extraídas. Se presenta aquí el mismo comportamiento de SACO, con mayor densidad de extremos en los primeros años del período. Asimismo, hay una mayor presencia de componentes de orden superior antes del año 1983.

Se concluye el análisis de la distribución temporal de las componentes con la Tabla 4b, que muestra las asociaciones de los meses del conjunto extremo positivo en SBGL con las primeras cinco PCs extraídas. En este caso se observa el caso opuesto al de la Tabla 4a, pues hay una mayor densidad de meses extremos positivos a partir de 1983.

Además de la distribución temporal de meses extremos y de sus componentes asociadas, se computó la cantidad de loadings significativos para las Tablas 2, 3 y 4 efectuando discriminación por signo. La Tabla 5 muestra estos resultados: en cada par ordenado se muestra la cantidad de casos con loadings positivos y negativos, respectivamente.

Se dice que una determinada PC tiene un comportamiento de *flip-flop* cuando el signo del loading fluctúa. Según la Tabla 5, la PC1 tiene flip-flop en ambos conjuntos extremos y para las tres estaciones. Lo mismo ocurre con la PC2, a excepción del conjunto extremo negativo en SAEZ, el cual está bien definido. También puede observarse que a medida que el orden de la PC aumenta, el comportamiento de flip-flop se desvanece. Estadísticamente

Tabla 2a. Asociación de cada uno de los meses del conjunto extremo negativo en SACO con las primeras cinco componentes principales extraídas.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973						2(+)		1(+)		1(+)	X	X
1974		X				1(+)			X		X	X
1975								1(-)			1(-)	
1976		1(+)			X	X	1(-)		X	4(-)	4(-)	X
1977								X				
1978												
1979		1(+)							3(+)			
1980		X		X		X					X	X
1981				X		2(-)				X	3(+)	
1982						1(+)				1(-)	1(-)	
1983					X	X	3(+)		X			
1984						2(-)		2(-)				2(-)
1985	1(+)											
1986												
1987					2(-)		1(-)	X	1(-)	X		X
1988		X			2(-)	4(+)			2(-)	X	X	
1989			1(+)						X			
1990											X	
1991						1(-)						X
1992					1(-)							
1993					X							
1994												
1995							1(-)					
1996	3(+)											
1997												
1998			X									
1999											1(+)	
2000						X	X				X	
2001					X							
2002												
2003												
2004						2(-)					X	
2005									1(+)			
2006												

hablando, la mayor incerteza se tiene presente en el conjunto extremo negativo para SACO, pues la mitad de los casos tienen loadings positivos y la otra mitad, negativos. Esto significa que no puede hallarse una relación entre las anomalías mensuales de altura geopotencial de 500 hPa y los campos de

circulación asociados a la PC1, pues existen dos configuraciones que tienen la misma probabilidad de ocurrencia. Tales configuraciones responden a la ubicación del dipolo presente al sur de 35° S, pero con distinto signo.

Tabla 2b. Ídem Tabla 2a pero para el conjunto extremo positivo.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973			X	1(+)			X					
1974												
1975												
1976												
1977									X	X		
1978												
1979							X					
1980			X									
1981								X				
1982								1(+)	X			
1983								X			1(-)	4(+)
1984	X									X		
1985		4(+)				2(-)				2(-)	X	X
1986	2(+)			X			X					
1987												
1988			X									
1989												
1990								X				
1991								X	X			
1992								X				
1993	X		3(-)					X		X		
1994			X					1(-)	X			X
1995				1(-)	4(+)	X		X			3(+)	4(+)
1996												
1997												
1998										X		
1999		2(+)	X					X				
2000				X						X		
2001		2(+)	2(+)					5(+)				1(-)
2002			1(+)							X		
2003	2(+)		X	X	3(+)	3(-)			X	X		
2004			X					X	2(+)			
2005		2(-)	X			X	2(-)	X				
2006	1(-)			1(-)								

SALTOS CLIMATICOS EN LA DECADA DEL '80

Es casi evidente de la Tabla 2 que a fines de los años '80 ha tenido lugar un cambio significativo en las anomalías en SACO. Sin embargo, no alcanza con mencionar que se visualiza tal cambio y se necesita aplicar un test estadístico. En Yamamoto *et al.* (1986, 1987) se desarrolló una técnica para detectar saltos climáticos en base a la confección de un cociente entre señal y ruido (S/N). Cuando el valor del estadístico supera a la unidad el método detecta un salto climático. La Figura 11 muestra el cociente S/N, resultante de aplicar el test a las series de anomalías, con

una ventana de 30 meses y con un nivel de confianza del 95%. En SAEZ (Fig. 11b) no se detecta cambio alguno, pero en SACO (Fig. 11a) hay dos períodos temporales en los cuales S/N supera a la unidad. En tales períodos los valores máximos se alcanzan para febrero de 1977 y abril de 1987. Además, diciembre de 1995 es un punto aislado en el que también el valor de S/N es superior a 1. Sin embargo, el valor del estadístico en el caso de abril 1987 es superior a los otros dos.

El caso de SBGL (Fig. 11c) es particular, porque hay varios períodos temporales en los que S/N es mayor a 1. Pueden contabilizarse de la Figura 11c un total de ocho intervalos temporales en los cuales ocurre esto. Dado que

Tabla 3a. Ídem Tabla 2a para SAEZ

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973						X					X	X
1974						X			X		1(-)	
1975												
1976						1(-)						X
1977												
1978				2(+)								
1979					X				3(+)		X	
1980						X	X				X	
1981						2(+)						X
1982		3(+)			1(+)	X				1(-)	1(-)	
1983				2(+)	X	1(-)	3(+)		X			
1984					1(-)	X	X	2(+)				2(+)
1985			X									
1986					1(-)							
1987					2(+)			X	1(-)			X
1988					2(+)	X				X		
1989									X			
1990			3(+)		X							
1991		1(+)				1(-)	1(-)			1(-)		X
1992					1(-)							
1993					X		X		1(-)		1(+)	
1994	X	X										
1995						X				X		
1996	3(+)	3(+)										
1997						4(+)			1(-)	X		1(-)
1998									X			4(-)
1999											1(+)	X
2000					2(+)	X	X				1(-)	
2001												
2002												
2003												3(+)
2004					2(+)					X	X	
2005									X			1(-)
2006												

no se esperan ocho saltos climáticos en un período de tiempo tan corto, las razones deben buscarse por otro lado. Gaffen (1994) menciona distintas causas que pueden provocar discontinuidades e inhomogeneidades en los registros de temperatura obtenidos de radiosondeos. Por ejemplo, esto puede deberse a cambios en los sensores, cambios en la corrección por radiación, e incluso cambios en la longitud del hilo que une el globo con el instrumento. En el mencionado trabajo se llega a la conclusión de que las discontinuidades en los datos de temperatura provistos por los radiosondeos tienen una escala temporal de 10 años, aunque también se menciona que hay estaciones con

una escala temporal mucho menor. No hay razón para creer que las mencionadas discontinuidades en temperatura no aparezcan también en otras variables, como en altura geopotencial. De esta forma, el valor de S/N para SBGL estaría reflejando no solamente la presencia de saltos climáticos, sino también la presencia de otro tipo de discontinuidades e inhomogeneidades inducidas por las causas mencionadas.

A fines de la década del '70 tuvo lugar en el Pacífico un salto climático con consecuencias a nivel global que han sido bien documentadas (ej., Nitta y Yamada, 1989; Millar *et al.*, 1994; Zhang *et al.*, 1997; Chavez *et al.*, 2003; Hartmann y Wendler, 2005;

Tabla 3b. Ídem Tabla 2b para SAEZ

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973		X	X	1(+)								
1974												
1975												
1976	1(+)						1(+)	X				
1977		X	X			X			1(+)	X		2(-)
1978									1(-)			
1979	1(-)		1(-)									
1980			X									
1981	X	2(+)		X	X		X	X				
1982				X				X	X			
1983												4(+)
1984										X		
1985						2(-)			1(-)			
1986							X		X			
1987		3(-)	X									
1988			X				X					
1989					X						X	X
1990										X		
1991								X	X			
1992		1(+)	X					5(+)	1(-)			
1993			3(-)					X		2(-)		
1994								1(-)	X			X
1995								X	X			4(+)
1996					1(-)			X	1(-)			
1997					2(-)		X	3(-)				
1998						1(-)	2(+)			X		
1999			X					2(-)		X		
2000				X								
2001		2(+)	2(+)					X				
2002			1(+)							X		
2003			4(+)			3(-)				X		
2004			X					X	1(+)			
2005		X	X									
2006	1(-)											

Huang *et al.*, 2005) y es importante mencionar que el test aplicado lo detecta en SACO. Sin embargo, en SAEZ el valor de S/N no supera la unidad en ningún caso. El test de Yamamoto aplicado a las series intermensuales de anomalías sugiere que un salto climático ha tenido lugar en SACO a comienzos de 1987, al menos en 500 hPa. En concordancia con lo que se observa en la Tabla 3, no hay saltos registrados para SAEZ en 500 hPa. Especial cuidado debe tenerse al obtener conclusiones sobre los resultados mostrados para SBGL. Por las razones antes expuestas no puede afirmarse que haya tenido lugar un salto climático en esta estación, aunque la similitud entre las Tablas 2 y 4 podría sugerir que de

haber tenido lugar un salto climático, el mismo ocurrió entre fines de 1982 y principios de 1983. Justamente dentro de este período tuvo lugar la gran erupción del volcán El Chichón (1982). Este acontecimiento también debe ser tenido en cuenta debido a sus efectos a nivel global (Robock y Matson, 1983). Algunos aspectos de la relación entre las erupciones volcánicas y el clima pueden encontrarse en Robock (2000). Es importante mencionar que el salto climático que tuvo lugar en SACO es simultáneo al evento El Niño 1986/7, y que el potencial cambio mencionado en SBGL (que, no obstante, se aprecia claramente en las Tablas 4a y b) coincide exactamente con el evento El Niño 1982/3. En este sentido, la

Tabla 4a. Ídem Tabla 2a para SBGL

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973											X	
1974			X	X	X	1(-)		X		X	X	X
1975											1(+)	
1976		1(-)			4(-)	X	1(+)	X	X	4(-)	X	X
1977	X					2(+)						
1978		X		X	1(-)	3(+)	X		1(-)			
1979	1(-)	1(-)	1(-)				X	X				
1980												
1981				X		2(-)		1(+)		X		
1982	1(-)			X	1(-)							
1983												
1984								2(-)	X			
1985												
1986												
1987												
1988										5(-)		
1989			1(-)			X	1(-)		X		X	2(+)
1990		2(-)			X		1(-)	X	X			
1991											X	
1992												
1993												
1994												
1995										1(-)		
1996					X		2(-)					
1997			X	X	4(-)							
1998											3(+)	
1999					X	1(-)		X			1(-)	X
2000	X				X		X	1(+)				
2001												
2002												
2003												
2004	X	2(-)	X				X					
2005		X									X	2(-)
2006												

variabilidad intermensual de las anomalías mensuales de altura geopotencial de 500 hPa en SAEZ no se vería afectada por eventos El Niño.

CONCLUSIONES

La presencia de un dipolo al sur de 35° S, con un sistema ubicado en el Pacífico y otro en el Atlántico, son una característica dominante para la presencia de anomalías extremas en la altura geopotencial de 500 hPa en las tres estaciones analizadas. Sin embargo, la configuración del dipolo depende de la estación analizada. Teniendo en cuenta los resultados de la Tabla 5, puede concluirse que el primer (último) quintil de anomalías en

SAEZ (SBGL) está relacionado con una orientación positiva del dipolo. Por otro lado, el primer quintil de anomalías en SBGL está relacionado con situaciones de bloqueo en el Atlántico Sur. Nada puede concluirse para SACO en ambos quintiles porque las frecuencias de situaciones con dipolos de orientación negativa y positiva son iguales para el primer quintil, o muy similares para el último. Lo mismo sucede para SAEZ en el último quintil.

Con respecto al análisis de vientos, en general sucede que los eventos extremos negativos (positivos) están relacionados con mayor (menor) frecuencia de oestes, como así también más (menos) intensos.

Tabla 4b. Ídem Tabla 2b para SBGL

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973	X	X				X	1(-)					
1974									X			
1975								1(+)				
1976												
1977												
1978												
1979						X						
1980			X	X	1(-)							
1981									1(+)			
1982											1(+)	
1983								X		5(+)	1(-)	
1984	X	2(+)		X	1(+)	X				X	X	
1985		4(+)	1(+)	2(+)			X					
1986					1(+)	2(+)			X		1(+)	
1987				2(+)			1(+)					
1988	1(+)			1(+)					X			
1989												
1990				1(+)							2(+)	
1991						1(+)		X				X
1992												
1993										X	X	
1994		3(+)		X						1(+)	1(-)	3(-)
1995	X	2(-)					1(+)	1(+)	X			
1996	X			X								
1997							X	X		X	X	1(+)
1998	X	2(-)	X		2(-)							
1999	3(+)											
2000										X		
2001				1(+)				X				
2002			1(+)	X		1(+)				2(+)	1(+)	X
2003		2(+)		2(-)		X	3(+)					
2004									X			
2005										X		
2006												

En relación a las Tablas 2, 3 y 4 y a la variabilidad intermensual de anomalías de 500 hPa, se muestra que ha tenido lugar un salto climático en SACO a fines de la década del '80 y se menciona la posibilidad de que un salto climático haya tenido lugar en SBGL a comienzos de la misma década. Ambos saltos ocurren en simultaneidad con la presencia de

eventos El Niño muy intensos. Sin embargo, no hay saltos detectados en la serie de SAEZ, por lo que se infiere que los eventos El Niño no afectan a la variabilidad intermensual de anomalías de 500 hPa en SAEZ.

Tabla 5. Cantidad de eventos con valores positivos y negativos de los loadings

Estación	SACO		SAEZ		SBGL	
	1	5	1	5	1	5
PC1	(10,10)	(3,5)	(4,17)	(7,10)	(4,15)	(20,4)
PC2	(1,8)	(6,4)	(9,0)	(4,5)	(2,6)	(7,4)
PC3	(4,0)	(2,2)	(7,0)	(0,4)	(2,0)	(3,1)
PC4	(1,2)	(4,0)	(1,1)	(3,0)	(0,3)	(1,0)
PC5	(0,0)	(1,0)	(0,0)	(1,0)	(0,1)	(1,0)

Agradecimientos. Los autores desean expresar su agradecimiento a los proyectos UBACyT-X095, CONICET PIP2004-5276 y PICT2004-26094. Adrián Yuchechen extiende su gratitud hacia el CONICET por haberle otorgado la Beca de Doctorado, beca bajo la cual fue desarrollado el presente estudio, y hacia la Pontificia Universidad Católica Argentina Santa María de los Buenos Aires, por brindarle su lugar de trabajo

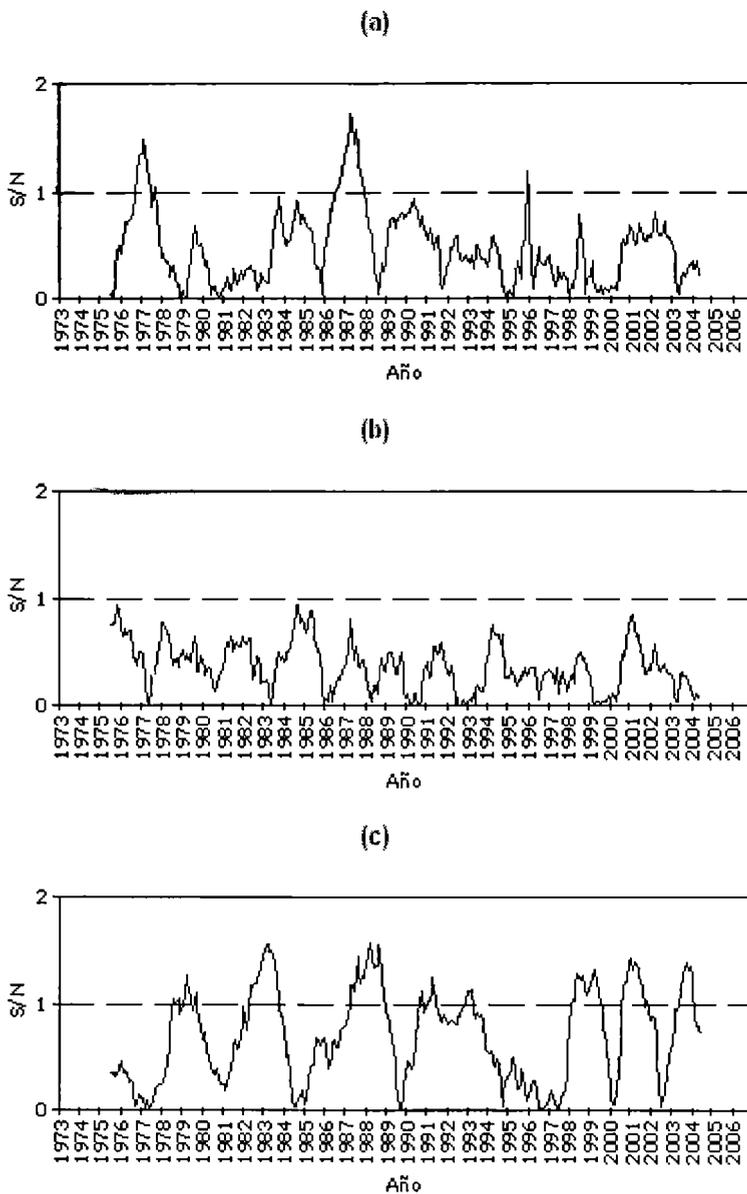


Figura 11. Cociente S/N para las anomalías en (a) SACO, (b) SAEZ y (c) SBGL, calculado con una ventana de 30 meses y un nivel de confianza del 95%. Tabla 1. Varianza explicada (%) por cada PC para cada uno de los quintiles, en cada una de las estaciones.

REFERENCIAS

Blackmon, M. L. 1976. A Climatological Spectral Study of the 500 mb Geopotential Height of the Northern Hemisphere, *J. Atmos. Sci.*, 33, 1607-1623

Canziani, P. O., R. H. Compagnucci, S. A. Bischoff, and W. E. Legnani. 2002. A study of impacts of tropospheric synoptic processes on the genesis and evolution of extreme total ozone anomalies over southern South America, *J. Geophys. Res.*, 107 (D24), 4741, doi: 10.1029/2001JD000965

- Chavez, F. P., J. Ryan, S. E. Lluch-Cota and M. Niquen Carranza. 2003. From Anchovies to Sardines and Back: Multidecadal Change in the Pacific Ocean, *Science*, 299, 217-221
- Gaffen, D. J. 1994. Temporal inhomogeneities in radiosonde temperature records, *J. Geophys. Res.*, 99 (D2), 3667-3676
- Green, P. E. 1978. *Analyzing Multivariate Data*, The Dryden Press, Hinsdale, IL, USA, 519 pp.
- Hartmann, B. and G. Wendler. 2005: The Significance of the 1976 Pacific Climate Shift in the Climatology of Alaska, *J. Climate*, 18 (22), 4824-4839
- Horel, J. D. 1985. Persistence of the 500 mb Height Field during Northern Hemisphere Winter, *Mon. Wea. Rev.*, 113, 2030-2042
- Huang, H. P., R. Seager, and Y. Kushnir. 2005. The 1976/7 transition in precipitation over the Americas and the influence of tropical sea surface temperature, *Climate Dynamics*, 24 (7-8), 721-740
- Jenkins, G. M. and D. G. Watts. 1968. *Spectral Analysis and Its Applications*, Holden-Day, San Francisco, CA, USA, 275 pp.
- Kalnay, E. and coautores. 1996. The NCEP/NCAR Reanalysis 40-year Project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471
- Kidson, J. W. 1988. Interannual Variations in the Southern Hemisphere Circulation, *J. Climate*, 1(12), 1177-1198
- Lejenäs, H. 1984. Characteristics of Southern Hemisphere blocking as determined from a time series of observational data, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 110, 967-979
- Miller, A., D. Cayan, T. Barnett, N. Graham and J. Oberhuber. 1994. The 1976-77 climate shift of the Pacific Ocean, *Oceanography*, 7, 21-26
- Nitta, T. and S. Yamada. 1989. Recent warming of tropical sea surface temperature and its relationship to the Northern Hemisphere circulation, *J. Meteor. Soc. Japan*, 67, 187-193
- Richman, M. B. 1986. Rotation of principal components, *J. Climatol.*, 6, 3, 293-335
- Robock, A., y Matson, M., 1983: Circumglobal transport of the El Chichón volcanic dust cloud, *Science*, 221, 195-197
- Robock, A. 2000. Volcanic Eruptions and Climate, *Rev. Geophys.*, 38(2), 191-220, doi:10.1029/1998RG000054
- Salles, M. A., P. O. Canziani, and R. H. Compagnucci. 2001. The spatial and temporal behaviour of the lower stratospheric temperature over the Southern Hemisphere: the MSU view. Part II: spatial behaviour, *Int. J. Climatol.*, 21 (4), 439-454
- Trenberth, K. E. 1979. Interannual Variability of the 500 mb Zonal Mean Flow in the Southern Hemisphere, *Mon. Wea. Rev.*, 107, 1515-1524
- Trenberth, K. E and K. C. Mo, 1985: Blocking in the Southern Hemisphere, *Mon. Wea. Rev.*, 113, 3-21
- Wilks, D. S. 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Second Edition, Academic Press, Burlington, MA, USA, 627 pp.
- World Meteorological Organization (WMO). 1992. *International Meteorological Vocabulary*, Secretariat of the World Meteorological Organization, N182, Geneva, Switzerland, 784 pp.
- Yamamoto, R., T. Iwashima and N. K. Sanga. 1986. An Análisis of Climatic Jump, *J. Met. Soc. Japan*, 64 (2), 273-280
- Yamamoto, R., T. Iwashima and N. K. Sanga. 1987. Detection of the Climatic Jumps, Presented at XIX IUGG General Assembly, Vancouver, Canada
- Yuchechen, A. E., S. A. Bischoff and P. O. Canziani. 2006. Spatial and Temporal Perturbations Variability in Tropical and Extratropical Systems in South America; Proceedings of the 8th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography (8ICSHMO), Foz do Iguacu, São José dos Campos: INPE, 2006; Poster, p. 1635-1646, CD-ROM, ISBN 85-17-00023-4
- Zhang, Y., J. M. Wallace and D. S. Battisti. 1997. ENSO-like Interdecadal Variability: 1900-93, *J. Climate*, 10(5), 1004-1020