

VARIABILIDAD Y CAMBIOS EN EL CLIMA ANTÁRTICO: UN ANÁLISIS EXHAUSTIVO DE LA SERIE DE TEMPERATURA DE ORCADAS

Natalia Zazulie¹, Matilde Rusticucci^{1,2}, Susan Solomon³

¹Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEN, Universidad de Buenos Aires

²CONICET, Buenos Aires, Argentina

³Chemical Sciences Division, Earth System Research Laboratory, NOAA, Boulder, CO, USA

Email: nzazulie@at.fcen.uba.ar

RESUMEN

Antártida es una región clave desde el punto de vista del cambio climático. Existe evidencia de un importante calentamiento en la región de la península Antártica en las últimas décadas, así como un enfriamiento estacional en la alta meseta del este antártico. El objetivo del presente trabajo es conducir un análisis más detallado de la variabilidad y las tendencias del clima antártico utilizando la información disponible más completa. La única estación prácticamente completa del período instrumental del siglo XX es la estación Orcadas, Argentina, la cual nunca había sido publicada. Este trabajo analiza detalladamente las tendencias de la temperatura diaria de esta serie única en la región que abarca el período 1903-2008, analizando tanto los valores medios como los extremos. Además, el análisis de las tendencias diarias de Orcadas permite examinar el grado en el cual el cambio climático pudo haber alterado la evolución del ciclo estacional en Antártida.

ABSTRACT

Antarctica is a key region from the perspective of climate change. There is evidence for substantial warming in the region of the Antarctic peninsula in recent decades, as well as some seasonal cooling on the high plateau of East Antarctica. The goal of the present study is to conduct a more detailed analysis of both the variability and the trends in Antarctic climate, using the most comprehensive data available. The only nearly-complete 20th century instrumental record of Antarctic climate is from Orcadas, the Argentine station, which has never been published. This work analyses the detailed daily temperature trends from this unique dataset which covers the period 1903-2008. Both climate means and extremes are analyzed. In addition, analysis of the daily trends at Orcadas allows examination of the degree to which climate change may have altered the progression of the seasonal cycle in Antarctica.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas algunas regiones del oeste de Antártida han experimentado calentamientos muy importantes, mientras que en la región este de Antártida se registraron tendencias negativas en algunas estaciones (ver por ejemplo Comiso, 2000; Turner et al., 2005; Marshall et al., 2006, Marshall, 2007; Chapman and Walsh, 2007). Estas diferencias en las tendencias deben su origen a un aumento en los vientos del oeste que rodean el polo sur en décadas recientes, que se encontró a su vez que estaba asociado a la disminución del ozono estratosférico y el aumento de los gases de efecto invernadero (Thompson and Solomon, 2002; Gillett and Thompson, 2003; Marshall et al., 2004; Arblaster and Meehl, 2006; Cai and Cowan, 2007). Sin embargo, fue oportunamente cuestionado en la literatura si estos cambios en el clima y en los patrones de circulación podrían ser producto de la variabilidad natural

interna (Jones and Widmann, 2004; Fogt and Bromwich, 2006).

Un gran número de estaciones antárticas han realizado observaciones diarias y mensuales desde el Año Geofísico Internacional (IGY) en 1958, y muy pocas poseen registros que comienzan en la década del '40 con una variada consistencia y confiabilidad. Sólo existe una estación que cuenta con datos diarios de temperatura de superficie que abarca todo el período instrumental del siglo XX: la estación Argentina Orcadas ubicada en 60°44'S, 44°44'W. A pesar de ser la única estación que posee datos de este período y podría no representar completamente a la media a los largo del continente Antártico (Raper et al., 1984), ésta estación se ubica en la región que presentó importantes calentamientos en verano en las últimas décadas, como fue encontrado en Thompson and Solomon, 2002 (ver su figura 3). Además estos cambios observados se encuentran correlacionados con el Modo Anular del Hemisferio Sur (SAM) (Marshall, 2004; Visbeck, 2008). Se evidencia el rápido calentamiento observado en verano desde aproximadamente 1950 y el mismo excede ampliamente los valores de las tendencias globales de largo plazo.

Los cambios en los extremos diarios de temperatura son de especial importancia no sólo para la rama de la ciencia que estudia la física del clima, sino porque podrían tener impacto en un gran número de aspectos climáticos, como retroceso de glaciares, el hielo en mar y la cobertura de nieve, así como efectos ecológicos en la flora y fauna polar (Vaughan et al., 2001 y las referencias en este trabajo). En este trabajo exploramos, sobre este record único de datos diarios, cambios temporales y estacionales en las medias y extremos en el clima antártico desde principios del siglo XX.

2. DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS

En 1903, con la expedición "Scotia" se comenzaron a realizar mediciones diarias de temperatura en Orcadas (los datos más antiguos son comparados con otros registros de expediciones en Jones, 1990). Previo a 1950, se reportaban observaciones horarias y las medias diarias son el promedio sobre 24 observaciones, mientras que después de 1950 las medias diarias fueron construidas a través de las observaciones de temperatura máxima y temperatura mínima diaria $[(T_{max}+T_{min})/2]$. La compatibilidad de estas dos formas de calcular la media diaria en el análisis de tendencias fue mostrada en estudios previos (Karl et al., 1993). Además como la temperatura cambia muy poco a lo largo del día típico en Antártida debido a la insolación solar constante, y en particular en Orcadas debido a la influencia oceánica, el cambio es despreciable en esta estación.

En la figura 1 se muestra la ubicación de la estación Orcadas:

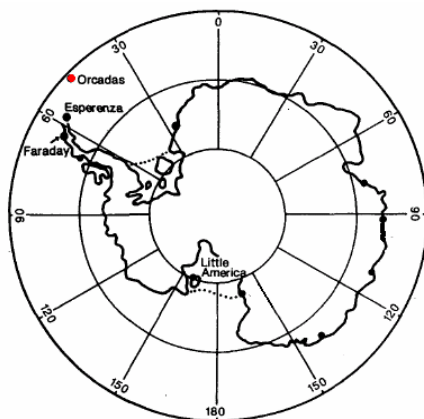


Figura 1: Ubicación de la estación Orcadas en rojo.

3. ONDA ANUAL EN DISTINTOS PERÍODOS

La figura 2 muestra el ciclo anual de temperatura diaria observada en Orcadas para cada uno de los 5 períodos de 20 años seleccionados. Se observa un fuerte calentamiento desde fines de la primavera hasta principios del otoño, Noviembre-Marzo, en particular desde la década del '80. La duración del período en el cual la temperatura se encuentra por encima de 0°C ha aumentado significativamente. Si bien la variabilidad en la estación más fría es importante, el período desde 1983 se muestra más cálido a lo largo de todo el año, incluyendo fines de otoño e invierno, Abril-Agosto (ver Tabla 1, más adelante).

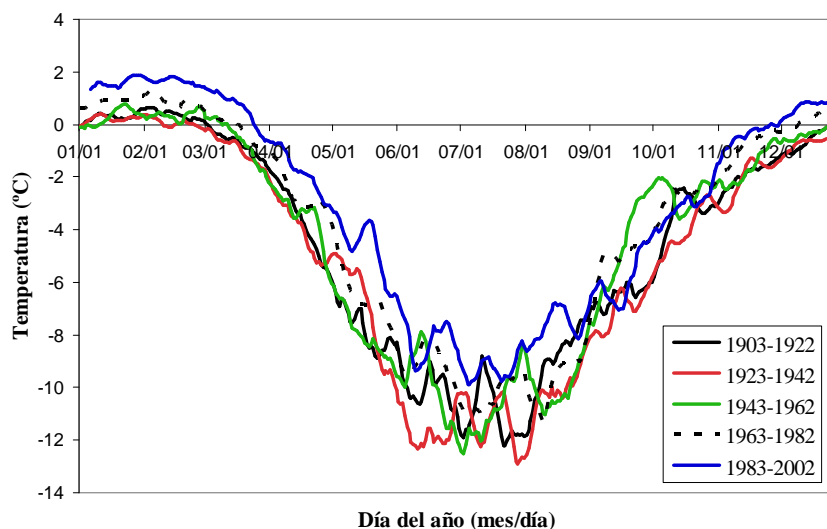


Figura 2. Onda anual media de temperatura en Orcadas sobre períodos de 20 años comenzando en 1903. Se aplicó un filtro de 10 días.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La disponibilidad de un siglo de mediciones diarias de temperatura permite estudiar las funciones de distribución de probabilidad observada en cada estación y sus cambios. Los cambios en los extremos de temperatura pueden ser más fácilmente detectados que los cambios en la media, y pueden además proveer más herramientas para entender los procesos climáticos como por ejemplo cambios en los patrones de circulación (Thompson and Wallace, 2001).

La figura 3 presenta las funciones de distribución de probabilidad (PDF) para las temperaturas diarias de verano (Dic-Ene-Feb) en Orcadas sobre períodos de 20 años comenzando en 1903. A pesar de que la forma de la distribución se ha mantenido aproximadamente constante, las temperaturas medias se han desplazado sistemáticamente en las últimas décadas, produciendo un gran cambio en la frecuencia de ocurrencia de eventos extremos fríos y cálidos. Por ejemplo, la figura muestra que temperaturas superiores a 4°C han aumentado regularmente su frecuencia y que, en períodos previos a 1980, estos valores prácticamente no eran observados. El importante calentamiento y la poca variabilidad en verano en Orcadas hace que los cambios sean fácilmente identificados en comparación con muchas otras localidades y esto resulta un factor motivante para el presente análisis.

El aumento de los vientos asociados con cambios en el SAM produjo que el clima de la península Antártica esté cada vez más dominado por condiciones marítimas cálidas y menos

influenciado por el aire frío del continente Antártico. El abrupto comienzo de los cambios sostenidos en verano en las décadas recientes se debe principalmente a la aparición del agujero de ozono.

En la figura 3 se observa que previo a 1970 se produjo un calentamiento en verano en algunos años, mientras que el cambio sostenido en el clima de verano en Antártica en las últimas décadas no tiene precedentes en el registro instrumental desde 1903, no sólo reflejado en los valores medios (ver Turner et al., 2005), sino también cambios en los extremos fríos y cálidos.

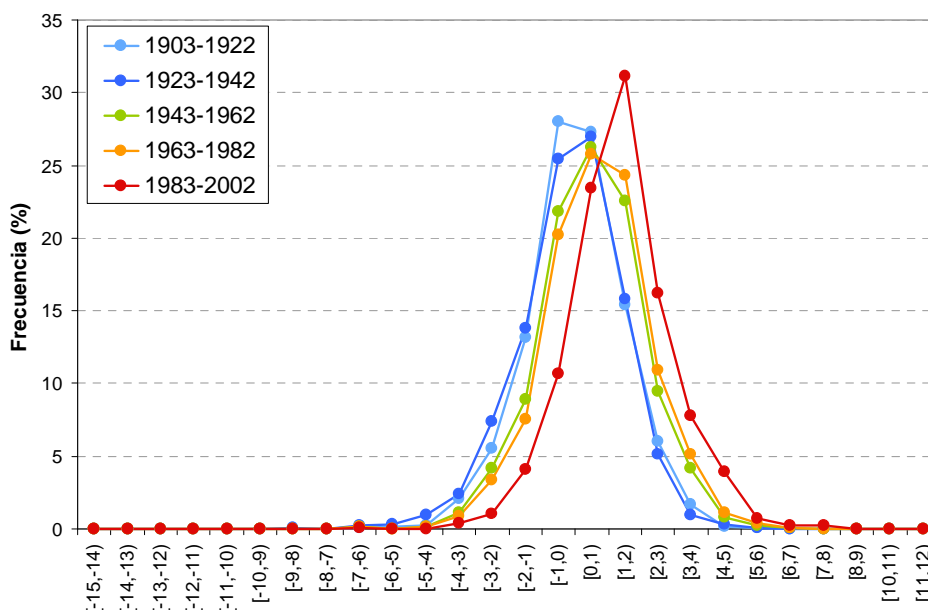


Figure 3. Distribución de frecuencias de las observaciones de temperatura diaria en verano (Dic-Ene-Feb) para cada período de 20 años comenzando en 1903. Se tomaron intervalos de 1°C.

En la figura 4 se presentan las PDFs de temperatura para las otras 3 estaciones, Septiembre-Noviembre (SON), Marzo-Mayo (MAM) y Junio-Agosto (JJA). La figura muestra que se ha producido un aumento en los extremos cálidos en Orcadas desde 1980, este aumento es similar al obtenido en DEF pero generalmente menor. A diferencia del verano, la estación de invierno tiene una distribución de temperatura fuertemente asimétrica. La gran cola de extremos fríos de invierno está relacionada con el flujo de aire frío desde el continente, mientras que el abrupto corte en los extremos cálidos está relacionado con la estabilidad térmica de las temperaturas marítimas sub-Antárticas cercanas al punto de congelamiento. Por consiguiente, la fuerte tendencia en los extremos fríos de invierno sugiere un decrecimiento en el flujo del sur. La figura 4 también muestra una reducción de los extremos fríos en otoño (MAM), acompañada de una clara disminución sistemática en la frecuencia de ocurrencia de los extremos más fríos en invierno por debajo de, por ejemplo, -15°C.

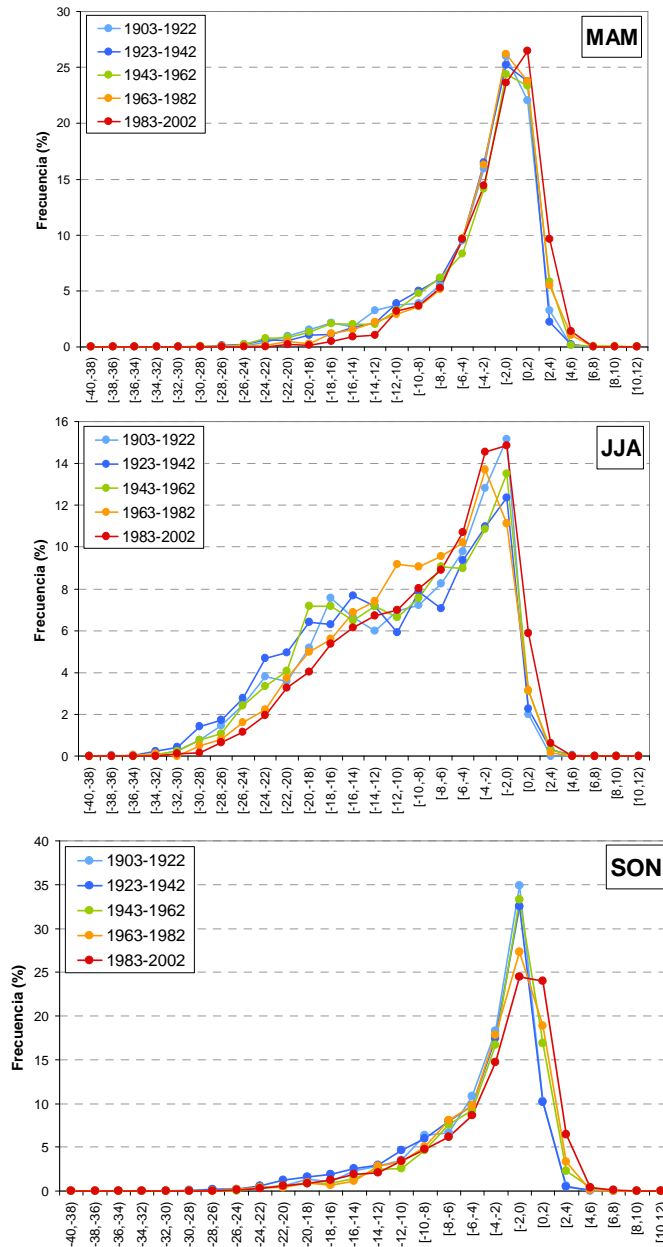


Figura 4. Distribución de frecuencias de las observaciones de temperatura diaria en otoño (Marzo-Abril-Mayo), invierno (Junio-Julio-Agosto) y primavera (Septiembre-October-Noviembre), para cada período de 20 años comenzando en 1903. Se tomaron intervalos de 2°C.

4. CONCLUSIONES

En la Tabla 1 se resumen los resultados por estación, mostrando tendencias en las medias estacionales a lo largo del año y en el 5 y 10% de los extremos de la distribución de datos diarios (P95 y P90 denotan el 5 y el 10% de los días más cálidos mientras que P5 y P10 corresponden al 5 y 10% de los días más fríos.) Estas tendencias son las más fuertes encontrados en todo el planeta en todo el siglo XX. El calentamiento total desde 1903 es de 2°C para las medias estacionales (comparable con valores en estudios previos como en Turner et al., 2005) y de hasta 5°C en los extremos fríos de otoño e invierno. Las tendencias

significativas con nivel de significancia 95% (2 sigma) fueron calculadas para las temperaturas medias de todas las estaciones del año para el período completo 1903-2007. También se encontraron tendencias significativas en los extremos fríos y cálidos para todo el siglo XX sobre casi todo el año, con excepción de las temperaturas más frías en primavera (SON). El calentamiento en invierno es más pronunciado en los extremos fríos mientras que los cambios en verano representan un corrimiento de la distribución, marcando diferencias en el carácter de los cambios climáticos entre las distintas estaciones.

Si se consideran solamente el período 1903-1950, no existe tendencia en Orcadas. Sin embargo, al considerar los datos estacionales para el período 1903-1970 se obtiene información adicional no disponible en el análisis de otras series anuales. Se obtuvieron tendencias significativas en los extremos fríos en invierno para el período 1903-1970, y en los extremos cálidos y las medias en verano y primavera. El cambio en los extremos fríos de invierno es marcado lo que sugiere un cambio en la circulación en esa estación. Esto implica que las tendencias significativas en el clima antártico ocurren demasiado temprano en el año, y demasiado temprano en el siglo XX para ser atribuidas a la disminución de ozono. Si bien la variabilidad interna de la atmósfera también debe ser considerada como causa de alguno de estos cambios (en particular en los cambios estacionales), la serie temporal de Orcadas muestra que el clima reciente en esta región es significativamente distinto al obtenido en cualquier otro período de 20 años anterior en todas las estaciones del año, sugiriendo una contribución del aumento de los gases de efecto invernadero.

Tabla 1. Tendencias (°C/30 años) de la temperatura observada en Orcadas para las distintas estaciones y para distintos períodos. Se indica la incertidumbre en 2 sigma. P95 y P90 representan el 5 y el 10% de los días más cálidos mientras que P5 y P10 representan los días más fríos de la distribución.

		1903-2007	2σ	1957-2007	2σ	1903-70	2σ
DJF	mean	0,53	0,12	0,59	0,32	0,30	0,25
	P95	0,64	0,14	0,75	0,39	0,34	0,26
	P90	0,58	0,12	0,68	0,33	0,32	0,23
	P10	0,57	0,15	0,64	0,46	0,37	0,30
	P5	0,62	0,18	0,70	0,54	0,39	0,37
MAM	mean	0,65	0,31	0,86	0,81	0,35	0,66
	P95	0,40	0,14	0,46	0,49	0,22	0,24
	P90	0,36	0,13	0,46	0,45	0,20	0,24
	P10	1,40	0,77	1,59	1,98	0,86	1,66
	P5	1,58	0,83	1,42	2,23	1,16	1,77
JJA	mean	0,68	0,45	1,04	1,17	0,42	0,96
	P95	0,26	0,16	0,56	0,47	0,14	0,33
	P90	0,26	0,20	0,65	0,52	0,12	0,43
	P10	1,07	0,58	0,44	1,66	1,24	1,14
	P5	1,00	0,60	0,42	1,83	1,22	1,08
SON	mean	0,52	0,27	-0,04	0,77	0,72	0,55
	P95	0,60	0,13	0,15	0,40	0,64	0,25
	P90	0,54	0,12	0,20	0,39	0,51	0,20
	P10	0,67	0,66	-0,77	1,77	1,40	1,40
	P5	0,70	0,75	-1,05	2,08	1,48	1,55

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por los proyectos UBA X170, PICT05 38273-ANPCYT y la colaboración internacional de Chemical Sciences Division (CSD) of the NOAA Earth System Research Laboratory (ERSL).

5. REFERENCIAS

- Arblaster, J. M., and G. A. Meehl, 2006: Contributions of external forcings to the Southern Annular Mode trends. *J. Clim.*, 19, 2896 – 2905.
- Cai, W., and T. Cowan, 2007: Trends in Southern Hemisphere circulation in IPCC AR4 models over 1950 – 99: Ozone depletion versus greenhouse forcing. *J. Clim.*, 20, 681 – 693.
- Chapman, W. L., and J. E. Walsh, 2007: A synthesis of Antarctic temperatures. *J. Clim.*, 20, 4096-4117.
- Comiso, J., 2000: Variability and Trends in Antarctic Surface Temperatures from In Situ and Satellite Infrared Measurements. *J. Clim.*, 13,1674-1696.
- Fogt, R., and D. H. Bromwich, 2006: Decadal variability of the ENSO teleconnection to the high-latitude south Pacific governed by coupling with the Southern Annular Mode. *J. Clim.*, 19, 979-997.
- Gillett, N, and D. W. J. Thompson, 2003: Simulation of recent Southern Hemisphere climate change. *Science*, 302, 273-275.
- Jones, J. and M. Widmann, 2004: Early peak in Antarctic oscillation index. *Nature*, 432, 290-291.
- Jones, P. D., 1990: Antarctic temperatures over the present century – a study of the early expedition record. *J. Clim.*, 3, 1193-1203.
- Karl, T. R., Jones, P. D., Knight, R. W., Kukla, G., Plummer, N., Razuvayev, V., Gallo, K. P., Lindsey, J., Charlson, R. J. and Peterson, T. C., 1993: A New Perspective on Recent Global Warming: Asymmetric Trends of Daily Maximum and Minimum Temperature. *Bull. of the Am. Met. Soc.*, 74, 1007-1023
- Marshall, G. J., P. A. Stott, J. Turner, W. M. Connelley, J. C. King, and T. A. Lachlan-Cope, 2004: Causes of exceptional atmospheric circulation changes in the southern hemisphere. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L14205, doi:10.1029/2004GL019952.
- Marshall, G.J., A. Orr, N.P.M. van Lipzig, and J.C. King, 2006: The Impact of a Changing Southern Hemisphere Annular Mode on Antarctic Peninsula Summer Temperatures. *J. Clim.*, 19, 5388–5404
- Marshall, G. J., 2007: Half-century seasonal relationships between the Southern Annular Mode and Antarctic temperatures. *Int. J. Clim.*, 27, 373–383.
- Monaghan AJ, Bromwich DH, and D. P. Schneider, 2008: Twentieth century Antarctic air temperature and snowfall simulations by IPCC climate models. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L070502, doi: 10.1029/2007GL032630.
- Raper, S. C. B., T. M. L. Wigley, P. R. Mayes, P. D. Jones, and M. J. Salinger, 1984: Variations in surface air temperatures. Part 3: the Antarctic, 1957-1982. *Monthly Weather Rev.*, 112, 1341-1353.
- Thompson, D. W. J. and J. M. Wallace, 2001: Regional climate impacts of the Northern Hemisphere annular mode. *Science*, 293, 85-89.
- Thompson D. W. J. and Solomon S.,2002: Interpretation of recent southern hemisphere climate change. *Science*, 296, 895-899
- Schneider, D. P., E. J. Steig, T. D. van Ommen, C. M. Bitz, D. A. Dixon, P. A. Mayewski, and J. M. Jones, 2006: Temperatures in Antarctica over the past two centuries. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L16707, doi:10.1029/ 2006GL02705.
- Turner, J., S. R. Colwell, G. J. Marshall, T. A. Lachlan-Cope, A. M. Carleton, P. D. Jones, V. Lagun, P. A. Reid, and S. Iagovkina, 2005: Antarctic climate change during the last 50 years. *Int. J. Clim.*, 25, 279-294.