

PALEOCLIMATIC AND GLACIOLOGICAL EVIDENCE OF REGIONAL CLIMATE CHANGE

EVIDENCIA PALEO-CLIMÁTICA Y GLACIOLÓGICA DEL CAMBIO CLIMÁTICO REGIONAL

Carlos Cárdenas^{1,3} & Stefan Kraus²

RESUMEN

El siguiente manuscrito presenta un resumen de la sesión denominada “Evidencia Paleo-Climática y Glaciológica del Cambio Climático regional”, la que fue moderada por el Dr.- Ing. Carlos Cárdenas de la Universidad de Magallanes, asociado al Centro de Estudios del Cuaternario y el Dr. Stefan Kraus del Instituto Antártico Chileno. En primer lugar, los moderadores realizaron una breve presentación del estado del arte de la temática para posteriormente presentar a los oradores de la sesión, los cuales fueron: El Dr. Patricio Moreno con su presentación denominada “*Respuesta de la biota patagónica y el sistema glacial a cambios paleoclimáticos ocurridos desde el último máximo glacial*”, el Dr. Andrés Rivera con su presentación “*Cambios glaciares recientes en el sur de Chile y la Península Antártica*”, y el Dr. Jefferson Simoes con su presentación “*Variabilidad Climática en la Antártica Marítima: Explorando las relaciones con el sub-trópico*”. Finalmente se realizó una mesa redonda donde se debatieron preguntas y se establecieron algunos precedentes. En general, la sesión mostró una introducción al clima del pasado y el presente en la región junto a su historia glacial, dando una idea del significado del avance y/o retroceso de los glaciares, los cambios de nivel de los lagos y la migración de la vegetación y otras especies.

Palabras clave: Paleoclima, sistema glacial, variabilidad climática.

¹ Dirección de Programas Antárticos y Subantárticos, Universidad de Magallanes, Casilla 113-D, Punta Arenas, Chile.

² Instituto Antártico Chileno (INACH), Plaza Muñoz Gamero 1055, Punta Arenas, Chile.

³ Centro de Estudios del Cuaternario, Casilla 113-D, Punta Arenas, Chile.

ABSTRACT

The following article presents a summary of the session on “Paleoclimatic and Glaciological Evidence of Regional Climate Change”, which was chaired by Dr.-Ing. Carlos Cárdenas from the Universidad de Magallanes (associated to the Quaternary Research Center, CEQUA), and Dr. Stefan Kraus from the Chilean Antarctic Institute (INACH). The chairmen first gave a brief presentation on the state of the art of the topic, then giving the word to the invited session speakers: Dr. Patricio Moreno with his presentation titled “Response of Patagonian biota and glacial systems to the paleoclimatic changes since Last Glacial Maximum”, Dr. Andrés Rivera with his presentation “Recent glacier changes in Southern Chile and in the Antarctic Peninsula”, and Dr. Jefferson Simoes with his presentation “Climatic variability in the maritime Antarctic: exploring links with the subtropics”. Finally, a round table was held where questions around the session topic were discussed. This session was targeted towards an introduction to past and present climate in the region including its glacial history giving also insight into the meaning of glacier advances and retreats, lake level changes and the migration of vegetation and other species.

Key words: Paleoclimatic, glacier system, climatic variability.

INTRODUCCIÓN

La sesión de Paleoclima y Glaciología fue moderada por el Dr.-Ing Carlos Cárdenas de la Dirección de Programas Antárticos y Subantárticos de la Universidad de Magallanes (UMAG), asociado al Centro de Estudios del Cuaternario (CEQUA) y el Dr. Stefan Kraus del Instituto Antártico Chileno (INACH). La sesión comenzó con una revisión general del estado del arte para posteriormente presentar a los oradores.

Como introducción al tema de la sesión los moderadores expusieron en forma general los conocimientos en relación a las evidencias del cambio climático en la región resaltando los cambios que ya ha sufrido nuestro planeta en el pasado haciendo notar que algunos cambios han sido ciclicos y otros abruptos y que además el clima ha sido más cálido en tiempos pasados y que a pesar de eso actualmente estamos viviendo una nueva era del hielo.

Se mostraron las evidencias de la influencia antropogénica desde la revolución industrial a través

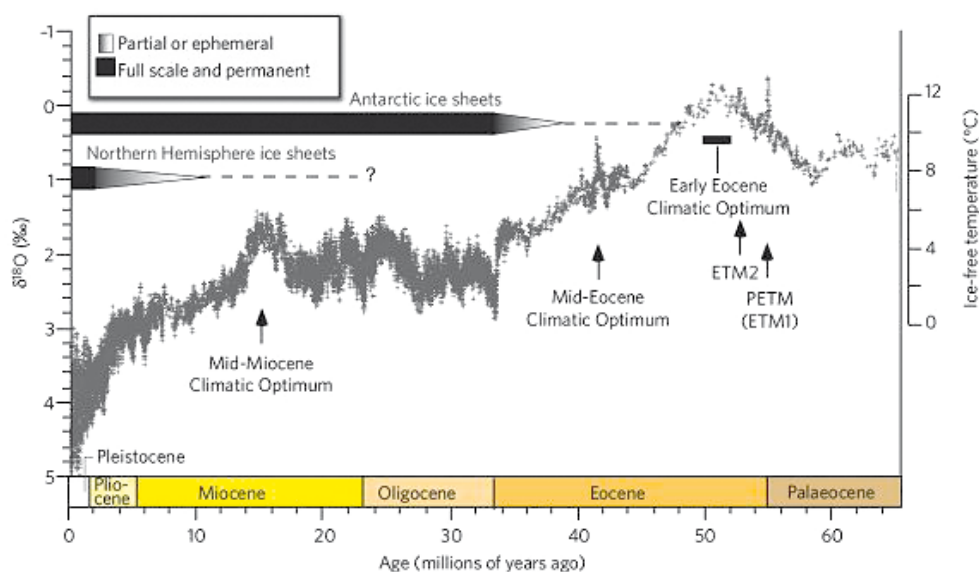


Fig. 1. Variación de temperaturas globales durante el Cenozoico como reflejado por la isotopía de oxígeno (Zachos *et al.* 2008).

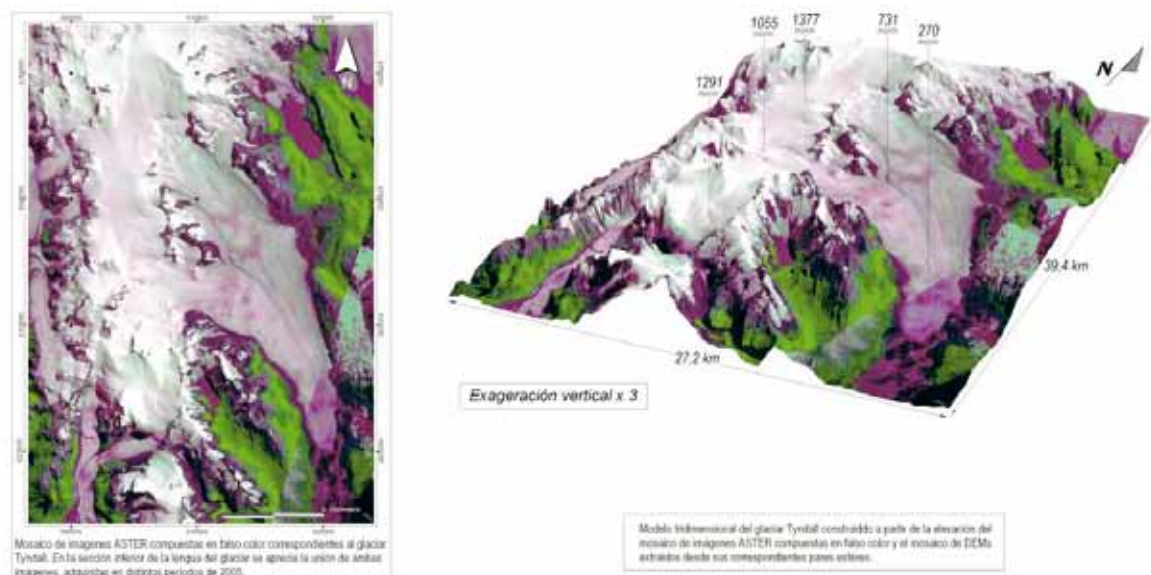


Fig. 2. Informe técnico DGA S.I.T. N 168 (2008, DGA).

del aumento de las emisiones de dióxido de carbono y a través del tiempo en complemento con los cambios a nivel global de temperatura, nivel medio del hielo marino y la cubierta de nieve del hemisferio norte entre el año 1850 hasta el año 2000. Se mostraban además los principales componentes de los patrones de circulación atmosférica estacional en sudamerica y la zonificación latitudinal de la vegetación de acuerdo a su gradiente climático. Los glaciares reaccionan directamente a las variaciones climáticas por ello el retroceso que han experimentado los glaciares de patagonia puede ser representado a través del retroceso que ha experimentado el glaciar Tyndall ubicado en el Parque Nacional Torres del Paine entre los años 1990 al 2007 y su caracterización física permite entender en forma general lo que sucede a un nivel global. De otra forma el retroceso glaciar ha permitido encontrar fosiles sobre la roca que alguna vez fue fondo subglaciar, el caso de un Ichthyosaurus en el área aledaña al glaciar Tyndall es una clara muestra del impacto de las variaciones climatológicas que suceden en este laboratorio natural.

PRESENTACIONES

En esta sesión participaron el Dr. Patricio Moreno, del Instituto de Ecología y Biodiversidad de la Universidad de Chile con el tema “*Respuesta de*

la biota patagónica y el sistema glaciar a cambios paleoclimáticos ocurridos desde el último máximo glaciar”; el Dr. Andrés Rivera, del Centro de Estudios Científicos con el tema “*Cambios glaciares recientes en el sur del Chile y la Península Antártica*” y el Prof. Dr. Jefferson Simoes, Director del Brazilian Institute of Cryospheric Sciences con el tema “*Variabilidad Climática en la Antartica Marítima: Explorando las relaciones con el sub-trópico*”.

1. Patricio Moreno

Esta presentación destacó el rol único de la Patagonia como tierra firme más austral fuera de Antártica, tomando en cuenta la Cordillera de los Andes y el establecimiento de los gradientes climáticos y vegetales más pronunciados en dirección Oeste - Este. El clima actual está influenciado por procesos originando en latitudes altas y tropicales, destacando más el Southern Annual Mode (SAM) y El Niño Southern Oscillation (ENSO). Un rol fundamental juegan los Southern Hemisphere Westerlies (SWH), vientos del oeste que controlan los regimenes de humedad en los latitudes medianas y subtropicales del hemisferio sur, además la circulación oceánica a niveles hemisferios y globales. La Patagonia ofrece ventajas importantes respecto a la investigación del paleoclima porque representa la única tierra firme

cruzando el campo de los SWH casi completamente, incluyendo la zona de velocidad de viento y precipitación máxima (~ 50° Sur).

Uno de los objetivos de esta presentación era demostrar la importancia de investigaciones paleoecológicas de lagos y turberas con el fin de reconstruir cambios de distribución geográfica, composición y abundancia de especies de plantas. Resultados de tal estudios no solamente rinden conocimiento sobre la estructura de vegetación y cambios climáticos en múltiples escalas de tiempo, si no también conocimiento sobre la sensibilidad/vulnerabilidad de ecosistemas de plantas.

La presentación demostraba resultados de nuevas investigaciones paleoecológicas de alta resolución en el noroeste y suroeste de la Patagonia.

2. Andrés Rivera

El tema de esta presentación eran los glaciares de Chile Austral y de la Península Antártica y el impacto del calentamiento atmosférico sobre ellos. Se presentaron resultados de las investigaciones realizados por el Centro de Estudios Científicos a través de mediciones directas de glaciares, recolección de datos apoyado por medios aéreos y análisis de imágenes satelitales. El trabajo de terreno se enfocó en el Campo de Hielo Sur (Patagonia), especialmente los glaciares de la región de O'Higgins, glaciares del lado occidental del Campo de Hielo Sur, y en los alrededores del Parque Nacional Torres del Paine. Otras herramientas utilizadas, se aplicó un nuevo sistema de mapeo laser desarrollado por CECS, junto con un nuevo sistema radar aerotransportado para medir hielo templado. En la Península Antártica, se hicieron campañas de terreno en Isla Adelaide y Glaciar Fleming con el fin de medir espesores de hielo, velocidades y condiciones meteorológicas locales. Reconocimientos aerotransportados fueron realizados a lo largo de la Península Antártica y se utilizaron imágenes satelitales para el levantamiento topográfico de glaciares, definiendo sus bordes que derivaran en modelos digitales de elevación, determinar variaciones glaciales y durante décadas recientes también caracterizar grietas superficiales y otras características glaciales.

La presentación sobre todo destacó el primer inventario completo de glaciares en la región al sur del Estrecho de Magallanes, y algunos campos

de hielo menores más al norte. En el área de la Península Antártica, se utilizaron imágenes satelitales para establecer cambios de extensión de la plataforma de hielo Wordie, y variaciones glaciales en Isla Adelaide.

Entre los resultados más importantes cuentan:

- Mediciones de precipitación en alturas bajas en Patagonia Occidental demuestran una tendencia secular de disminución. Al otro lado, al menos una de las estaciones más australes (Evangelistas, 52.4°S, nivel del mar) registró un fuerte aumento de la precipitación al menos desde los años 80. Las temperaturas del lado occidental de la Patagonia subieron en un promedio de 0.5° C durante los 40 años pasados durante invierno igual como verano. Como resultado de estos cambios, glaciares sufrieron un retroceso general y adelgazamiento, especialmente en el noroeste y suroeste del Campo de Hielo Sur. A pesar de todos estos retrocesos, el glaciar Pío XI aún permanece en una posición máxima del Holoceno, gracias a un avance observado hasta Septiembre 2009. En el Parque Nacional Torres del Paine, todos los glaciares están sufriendo retrocesos significantes.

- El primer inventario de glaciares al sur del Estrecho de Magallanes incluyendo Tierra del Fuego, Isla Santa Inés, Monte Sarmiento e Isla Hoste se logró a través de análisis de imágenes satelitales. Existe un total de 1681 glaciares cubriendo 3289 km². La observación de un retroceso dramático de glaciares hecho más hacia el norte también aplica en esta región, en algunos casos llegando a un extremo de hasta 13.6 km durante los 90 años pasados (Glaciar Marinelli). Existen otros glaciares que aún parecen estable comparado con sus primeros registros históricos, pero solamente dos glaciares cuentan con un avance durante la década pasada.

- Calentamiento regional causó el retroceso y ultimamente el colapso de la plataforma de hielo Wordie en la Península Antártica. Glaciares alimentando esta plataforma de hielo (entre ellos el glaciar Fleming) luego de su colapso aceleraron y disminuyeron sus espesores. El Glaciar Fleming aumentó su velocidad por un 40-50% desde 1974. Su espesor sigue disminuyendo a tazas de -4.1 ± 0.25 m por año.

3. Jefferson Simoes

La presentación del Dr. Jefferson estuvo enfocada en presentar la variabilidad Climática en la Antártica Marítima y su relación con el sub-trópico, por ello la presentación comienza con una introducción general de las influencias antártica sobre Sudamerica destacando la circulación atmosférica desde un punto de vista general entre ambos continentes, como así también el estudio de las señales recientes de cambios medioambientales en el oceano antártico, analizando el impacto de la circulación meridional entre la Península Antártica y el sureste de América del Sur por medio de la entrada de masas de aire frío o las emisiones de la quema de biomasa. Para finalizar con el ejemplo del Plateau Detroit como lugar donde se podría observar las señales y teleconexiones antes mencionada.

En referencia a las influencias de la circulación atmosférica, esta se extiende junto con el hielo marino hacia los mares del sur, de hecho se muestra la penetración de las masas de aire frío producidas en invierno y originadas en el sector del mar de Amundsen-Bellinghshausen, que son capaces de llegar a la parte sur de la selva amazónica.

Como señal de cambio medioambiental reciente en el oceano antártico se muestra la media anual de temperatura en diferentes estaciones a lo largo de la Península Antártica, donde se visualiza el incremento de temperatura hacia el sureste. Otro ejemplo presentado es el incremento de la temperatura media anual en Isla Rey Jorge entre los años 1947 al 2002 mostrando un aumento de 2.1 °C a diferencia del aumento entre 1947 y 1995 de 1,1 °C. Estos aumentos de temperatura pueden explicar la desintegración de las distintas plataformas ubicadas a lo largo de la Península como por ejemplo las plataformas de Ross y Larsen.

Por otro lado la forma de explicar la variabilidad climática hemisférica es por medio del Southern Annual Mode (SAM) en donde es descrito como la gradiente de presión desde el meridiano 40° al 65° Sur.

Por otro lado el informe del IPCC del año 2007 muestra una tendencia positiva del SAM a partir de los años 60, el cual es confirmado por trabajos realizados el 2003 como también el año 2006. La explicación recae en los fuertes vientos del oeste, los cuales favorecen la advención de las

masas de aire más cálidas provenientes del sur del Océano Pacífico sumado con el debilitamiento de la capa de Ozono. Por lo tanto esto podría explicar el incremento en promedio de la temperatura atmosférica en la Península Antártica y parte de América del Sur.

En cuanto a la circulación meridional entre la Península Antártica y el sureste de América del Sur esta presenta dos factores preponderantes, una es la inclusión de aire frío con origen en los centros de baja presión del Mar de Weddell y por otro lado las emisiones por quema de biomasa.

Se explica que existen 2 patrones de circulación meridional en la baja troposfera entre el norte de la Península Antártica y Sudamerica los cuales tienen lugar en todas las estaciones del año. El sistema de baja presión del mar de Weddell inyecta aire frío a nivel superficial en la latitud norte causando la declinación de la temperatura a 10°C y precipitación en áreas tropicales al sureste y este de Sudamerica.

En dirección opuesta, flujos avanzan hacia el sur partiendo del centro de Sudamerica hasta alcanzar el norte de la Península Antártica bajo crestas de altas presiones causando el incremento de la temperatura en 10°C o más.

En resumen existe un único fenómeno meteorológico: El aire Antártico desde altas altitudes en el mar de Weddell alcanza el Sur del sureste de Brasil, cubriendo sobre los 60° de latitud (~ 7000 km) fluyendo de sur a norte aproximadamente a 50 km/h. Existe un marcado efecto en la temperatura y la precipitación principalmente en la región costera de Brasil y el sureste de Sudamerica. El número y persistencia de tales casos definen la intensidad del verano y el invierno en el sur y sureste de Brasil. El fenómeno no es considerado para el pronóstico y además esta sin descripción en la literatura.

Como conclusiones en el ámbito climático el verano y el invierno en el sur y sureste de Brasil es definido por el número e intensidad de las masas de aire del mar de Weddell penetrando sobre sudamerica.

- esto es acompañado por las variaciones de hielo marino en el sur del océano,
- es reflejado en las variaciones de SAM,
- pero es erróneamente considerado en modelos numéricos climáticos de Sudamerica.

En cuanto a las emisiones por quemaduras de biomasa existe un sistema frontal en el paso Drake

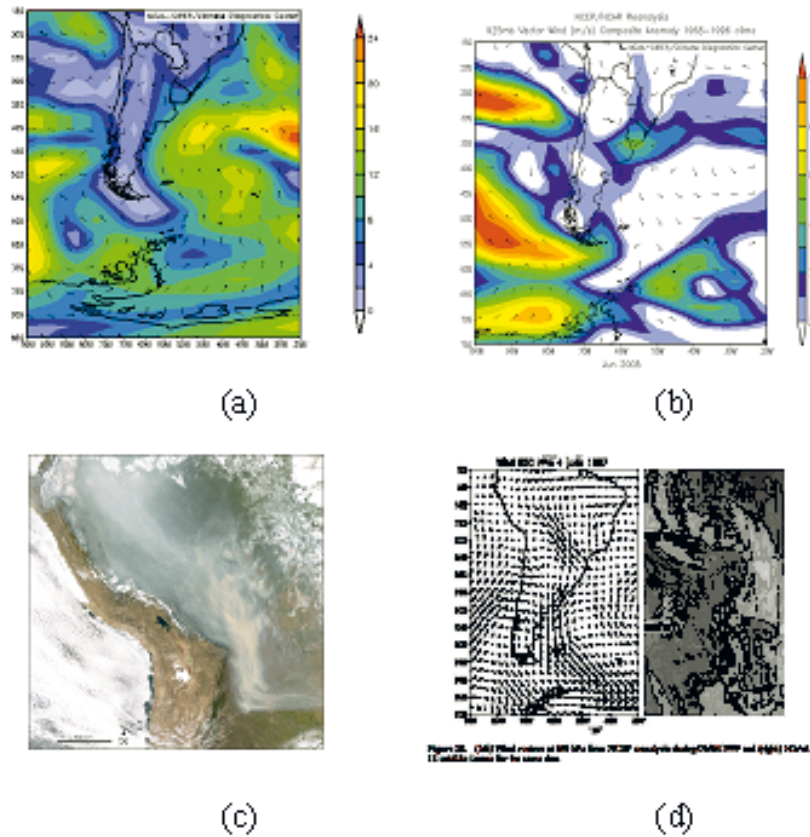


Fig. 3. a.- Circulación desde el Mar de Weddell hacia Brasil. b.- Anomalia mensual evento frío de sur a norte . c.- Humo como consecuencia de la quema de vegetación superficial (Imagen AQUA/MODIS). d.- Medición de carbon negro y su patron de circulación (NOAA). (Las imagenes pertenecen a la presentación de Jefferson Simoes).

que produce vientos superficiales NW y N que transportan Radon desde sudamerica a la Península Antártica como así lo demuestra una publicación.

Otros ejemplos de emisiones son la pluma producida por un incendio forestal o la quema superficial de vegetación. Mediciones de carbon negro y patrones circulantes corroboran el transporte de contaminantes hacia Antártica.

Finalmente se presenta la posibilidad de extraer un testigo de hielo en el Plateau Detroit con el objetivo de observar las señales y teleconexiones entre la Península Antártica y Sudamerica.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección de Programas Antárticos y Subantárticos (DPA) de la Universidad de Magallanes por el apoyo prestado en la realización de este

evento como así también a la Dirección de Servicios Informáticos y su equipo técnico de la unidad de Servicios Tecnológicos y Comunicaciones (T.I.C.). Este proyecto fue financiado por el Programa de Financiamiento Basal de CONICYT, 2010 (PFB-23, 2010).

LITERATURA CITADA

- Cárdenas, C.A. 2006. *Hochauflösende Radargeräte zur Untersuchung oberflächenaher Bodenschichten für geophysikalische und glaziologische Anwendung*. Editorial Cuvillier Verlag Göttingen, 85 pp.
- Cullather, R.I. & D.H. Bromwich 1996. Interannual variations in Antarctic precipitation related to El Niño-Southern Oscillation, *Journal of Geophysical Research*, 101: 109-118

- Dirección General de Aguas 2008. *Estimaciones de volúmenes de hielo mediante sistemas de radar para usos Glaciológicos en el Norte Chico y zona central de Chile y mediciones Glaciológicas en el Glaciar Tyndall, Campo de Hielo Sur*, Editorial Dirección General de Aguas, SIT. 168, 95pp
- Dirección General de Aguas. 2009. *RADIO Eco-Sondaje en la cuenca del Rio Maipo y mediciones Glaciológicas en el Glaciar Tyndal, Campo de Hielo Sur*, Editorial Dirección General de Aguas, SIT. 204, 95pp
- Huffman, F.E. 1993. Marx Generator for Ice Frequency Ice Radar System. *Geological Sciences*, Ohio State University Columbus OH USA.
- IPCC. 2007, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Fourth Assesment Report: *Climate Change*.
- Turner, J., S.R. Colwell, G.J. Marshall, T.A. Lachlan-Cope, A.M. Carleton, P.D. Jones, V. Lagun, P.A. Reid & S. Iagivkina 2005. Antarctic climate change during the las 50 years, *International Journal of Climatology*, 25: 279-294
- Vaughan, D.G., G.J. Marschall, W.M. Connolley, C. Parkinson, R. Mulvaney, D.A. Hodgson, J.C. King, C.J. Pudsey & J. Turner 2003. Recent Rapid Regional Climate Warming on the Antarctic Peninsula, *Climate Change*, 60: 243-274
- Zachos, J.C., G.R. Dickens & R.E. Zeebe 2008. An early Cenozoic perspective on greenhouse warming and carbon-cycle dynamics. *Nature*, 451: 279-283 (<http://www.nature.com/nature/journal/v451/n7176/full/nature06588.html>).

