

PROYECTO LIMNOPOLAR ECOSISTEMAS ACUÁTICOS ANTÁRTICOS NO MARINOS COMO SENSORES DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Texto: **Manuel Toro**

Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.

Antonio Quesada

Departamento de Biología. Universidad Autónoma de Madrid.

El último Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007) confirma que el calentamiento del sistema climático terrestre es un hecho inequívoco. Durante el último siglo se ha observado un evidente incremento en las temperaturas medias globales del aire y océanos, la fusión generalizada de las masas de hielo y nieve, así como el aumento progresivo del nivel medio del mar, siendo muy probablemente la causa principal de ello, la mayor concentración de gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera. En los últimos 50 años, el calentamiento global ha alcanzado una media de 0,13 (0,10-0,16) °C por década, duplicando casi la media de los últimos 100 años.

Una gran mayoría de los modelos predictivos del cambio climático apuntan a una amplificación de la señal del calentamiento y aumento de las precipitaciones en las regiones de elevadas latitudes, probablemente debido a mecanismos de "feedback", donde juegan un importante papel la variación de la cubierta de hielo y nieve, y por tanto el albedo, la estabilidad de la baja troposfera y la dinámica del permafrost (Pienitz et al., 2004); de aquí el gran interés reciente en el estudio y seguimiento de los cambios climáticos o globales y sus efectos en las regiones polares.

En el continente antártico, los registros de temperaturas recogidos durante las últimas décadas en una

serie de estaciones meteorológicas representativas de todo el continente, muestran que el proceso de cambio climático presenta una mayor complejidad espacial que en el resto del planeta. La región de la Península Antártica, especialmente su costa occidental, sujeta a frecuentes llegadas de ciclones saturados más cálidos procedentes del oeste, es una de las regiones del planeta donde se ha registrado uno de los mayores aumentos de temperatura en los últimos 40-50 años (Quayle et al., 2002). No obstante, los mecanismos causantes de este rápido calentamiento zonal son aún inciertos y difíciles de predecir en cuanto a su evolución futura, pudiendo ser una conjunción de factores oceanográficos, atmosféricos, o de la interacción entre ambos con los hielos. A este respecto, ya existen datos documentales en esta región de impactos sobre la flora terrestre, la duración estacional de la cubierta de nieve, la ecología de los lagos, la distribución de los pingüinos, la distribución de las plataformas de hielo, el espesor de los glaciares, o la duración de la banquisa (Vaughan et al., 2005). Por el contrario, la evolución de las condiciones climáticas son mucho más irregulares en otros sectores antárticos, con datos incluso que muestran un enfriamiento reciente en la zona continental central (Turner et al., 2005).

La localización de ecosistemas prístinos, no afectados directamente por las actividades humanas que se



Muestreando el lago Limnopolar sobre la cubierta de hielo.

han presentes en la mayor parte de la superficie terrestre (agricultura, industria, deforestación, regulaciones hídricas, especies introducidas, etcétera), ofrece una oportunidad única de estudiar su respuesta a procesos de cambios a escala global o planetaria. Con este fin, los ecosistemas acuáticos juegan un importante papel en los estudios de cambios globales por la sensibilidad y vulnerabilidad de sus comunidades y procesos biológicos. Es por ello que la mayoría de los estudios existentes de tendencias y cambios climáticos o ambientales a largo plazo, tanto de origen natural como humano, han sido desarrollados por investigadores en ecosistemas acuáticos remotos de carácter alpino o polar (Quayle et al., 2002; Livingstone, 2005).

Los lagos ubicados en latitudes polares, al estar su estado térmico medio muy próximo al punto de congelación, funcionan como detectores precoces de cambios

climáticos, ya que pequeñas variaciones en la dinámica y duración de sus cubiertas de nieve y hielo, pueden afectar de forma notable a todas sus variables ecológicas. Se han observado respuestas significativas en la biota y en los niveles de nutrientes presentes en algunos lagos de las Islas Shetland del Sur (Península Antártica) en relación con los procesos de deglaciación y con la disminución de la duración de la cubierta de nieve y hielo en estos lagos (Quayle et al., 2002). Además, como en otras latitudes, los lagos antárticos actúan como integradores de los cambios que ocurren en los diferentes hábitats de la cuenca de drenaje, y pueden por tanto evidenciar cambios que tienen lugar a nivel de paisaje (Quesada et al., 2007).

Cabe esperar por tanto, que los cambios producidos en los patrones estacionales de la precipitación y temperatura (frecuencia, duración y ocurrencia) van a alterar los proce-

sos hidrológicos de los ecosistemas acuáticos y sus cuencas (escorrentía, dinámica del permafrost, hidrología de la cubierta de nieve), afectando a su vez a la composición de las comunidades de organismos, sus ciclos reproductivos, sus relaciones interespecíficas y la productividad global del ecosistema.

LIMNOPOLAR es un proyecto interdisciplinario financiado dentro del Plan Nacional de I+D+i cuyo objetivo principal es investigar la sensibilidad de estos ecosistemas acuáticos antárticos no marinos ante el cambio climático, mediante el estudio de sus componentes bióticos y abióticos, y sus relaciones con las variables ambientales o climáticas. La principal zona de desarrollo del proyecto se localiza en la Península Byers (Isla Livingston, islas Shetland del Sur, Antártida), una de las áreas limnológicas más interesantes de la región de la Península Antártica por la gran diversidad ecológica de cuerpos de agua existentes.



Atravesando la cubierta de hielo de un lago en la Península Byers.

LA PENÍNSULA DE BYERS

La Península Byers, con una superficie de unos 60 km², se localiza en el extremo oeste de la Isla Livingston (latitud 62°40'00" S, longitud 61°00'00" W), en el archipiélago de las islas Shetland del Sur. Prácticamente inalterada por la mano del hombre, es una de las pocas zonas no cubierta por los hielos, tanto en el archipiélago como en el resto de la Península Antártica, aunque se halle cubierta por la nieve durante al menos 8 ó 9 meses al año. Se halla sometida a un clima antártico marítimo, menos extremo que en la región continental, con temperaturas medias en verano en torno a 0-3 °C y máximas de 6 °C, y medias invernales de -10 °C con mínimas raramente inferiores a -30 °C. La precipitación en la zona es mucho mayor que en la Antártida Continental, estimándose medias anuales entre los 700-1.000 mm (Bañón, 2001).

En su mayoría repartidos por la meseta central de la península, se localizan más de 60 lagos, numero-

sas lagunas o zonas húmedas, así como una compleja red de drenaje fluvial, constituyendo la zona de mayor importancia limnológica de las Shetland del Sur y, probablemente, de toda la región de la Península Antártica. El lago más profundo es Midge Lake, con una profundidad máxima de 9 m y una superficie de 5 ha. A las características típicas como su bajo grado de mineralización, o la escasa entrada de nutrientes procedentes de sus cuencas de recepción, se le une la relativa sencillez de sus redes tróficas y comunidades biológicas, en las que la riqueza o diversidad de organismos presenta valores más bajos en comparación con ecosistemas de otras latitudes. De notable interés es la presencia de dos especies de quironómidos (insectos dípteros), forma animal no marina más evolucionada de la antártida, cuyo desarrollo larval se produce en los ambientes acuáticos: *Parochlus steinenii*, el único insecto alado nativo de la Antártida, y Belgica antarctica, especie desprovista de alas en su fase adulta, y endémico de

la Antártida con una distribución muy restringida. Ambas especies tienen una gran relevancia desde el punto de vista biogeográfico, en lo que respecta a su dispersión y colonización de nuevos ambientes en relación con las variables climáticas.

A estos valores limnológicos, hay que sumarle otras peculiaridades que hacen de este enclave un lugar de enorme interés para la ciencia y la conservación antártica. Desde el punto de vista faunístico, existe una importante población reproductora de elefantes marinos del Sur (*Mirounga leonina*), pequeños núcleos de cría de lobos marinos antárticos (*Arctocephalus gazella*), así como colonias de cría de aves como los pingüinos Papua (*Pygoscelis papua*) y Barbijo (*P. antarctica*), charrán antártico (*Sterna vittata*), petreles gigantes del Sur (*Macronectes giganteus*), petreles de Wilson (*Oceanites oceanicus*), o la paloma antártica (*Chionis alba*), entre otras especies. En la Península de Byers también se dan cita las dos únicas especies de plantas nativas fanerógamas de toda la An-



Camino de los lagos en la Península Byers.

tártida, *Deschampsia antarctica* y *Colobanthus quitensis*, junto a una muy diversa e interesante comunidad de musgos (unas 30 especies determinadas) y líquenes (más de 50 especies citadas).

Los aspectos geológicos de esta zona justifican de igual forma su singularidad, con un relieve dominado por rocas volcánicas y sedimentarias (Jurásico Superior al Cretácico Inferior) y modelado por procesos de periglaciario (López-Martínez et al. 1996), con presencia de estratos fosilíferos de enorme interés para los estudios paleoclimáticos en la Antártida. El permafrost se halla presente en la mayor parte de la Península de Byers, y su capa activa superficial, de naturaleza principalmente mineral, presenta una dinámica de fusión-congelación anual que condiciona gran parte de los procesos hidrológicos y geoquímicos de las cuencas fluviales y lacustres.

Finalmente, hay que mencionar el valor arqueológico de las costas de la Península de Byers, donde se localiza una de las mayores con-

centraciones de restos históricos de refugios de balleneros y cazadores de focas, y de naufragios de expediciones, con diversos materiales y artefactos antiguos de gran valor histórico.

Bajo el auspicio del Scientific Committee for Antarctic Research (SCAR Internacional) y del marco del Tratado Antártico (1959), todos estos valores ecológicos, geológicos e históricos, motivaron la inclusión de la Península Byers en 1966 en el registro de Áreas Especialmente Protegidas de la Antártida (Specially Protected Area, SPA Nº 10), incluyéndose posteriormente en 1975, en el catálogo de Sitios de Especial Interés Científico (Site of Special Scientific Interest, SSSI Nº 6), redefiniéndose sus límites geográficos definitivos en 1991.

DESARROLLO DEL PROYECTO LIMNOPOLAR

La primera campaña del Proyecto Limnopolar se llevó a cabo en el invierno austral 2001-2002, iniciándose

con la instalación del "Campamento Byers", en la zona oeste de South Beaches, en la Península Byers. Es una infraestructura de carácter no permanente, dependiente de la Base Antártica Española Juan Carlos I, y que consta de dos igloos de fibra de vidrio (uno laboratorio y otro de habitabilidad y cocina), además de tiendas de campaña individuales para alojamiento de los investigadores. El transporte del personal y material científico y logístico se realiza habitualmente en el Buque Las Palmas (perteneciente a la Armada Española y destinado a las campañas polares) desde las ciudades de Usuahia (Argentina) o Punta Arenas (Chile), cruzando el Estrecho del Drake, y desembarcando en la Península de Byers mediante embarcaciones Zodiac. Desde el inicio del proyecto se han llevado a cabo 4 campañas completas y una estancias de corta duración para mantenimiento de los equipos, todas ellas financiadas por el Plan Nacional de I+D+i (Proyectos REN2000-0435-ANT y CGL2005-06549-CO2-01/ANT). Participan en el



Campamento del Proyecto Limnopolar en la Península Byers.

proyecto más de 20 investigadores nacionales, pertenecientes a las siguientes instituciones: Universidad Autónoma de Madrid, Universidad de Valencia, Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, Instituto Nacional de Meteorología, y la Universidad de Castilla-la Mancha. También colaboran en el proyecto otros investigadores de universidades extranjeras: Université Laval (Canadá), University of Tasmania (Australia), University of Salzburgo (Austria) o la University of Liege (Bélgica).

LIMNOPOLAR I : 2001-2004

En la primera fase del proyecto se han caracterizado en detalle algunos de los numerosos ecosistemas acuáticos de la Península Byers, incluyendo lagos, arroyos y otras zonas húmedas, determinándose sus características físicas, químicas y biológicas (Toro et al., 2006). Se ha iniciado el seguimiento de forma continua de las variables meteorológicas del área de los lagos, mediante una estación alimentada por un módulo solar fotovoltaico y

baterías de gel, para poder describir como las condiciones ambientales influyen y determinan las características biológicas y ecológicas de los diferentes ecosistemas acuáticos. La gran diversidad de ambientes acuáticos estudiados, ha abarcado desde masas de agua ultra-oligotróficas hasta lagunas costeras con mayor salinidad procedente de los aerosoles marinos, o mayor concentración de nutrientes originados en las colonias de cría de aves o mamíferos marinos.

La mayoría de los cuerpos de agua caracterizados son poco profundos (1-5 m de profundidad máxima) o someros, y en ellos se ha constatado que las comunidades biológicas bentónicas (propias del sustrato de fondo y litoral) adquieren una gran importancia. Habitualmente están estructuradas en forma de tapetes bacterianos dominados por cianobacterias, siendo dominantes las formas filamentosas del grupo de *Oscillatoria* (Fernández-Valiente y col., 2007), aunque las algas diatomeas son también muy abundantes.

En el lecho de algunos lagos se han observado alfombras de una especie de musgo acuático (*Drepanocladus longifolius*), constituyendo de esta forma la mayor parte de la producción primaria generada en los lagos. Las especies faunísticas encontradas se limitan a microinvertebrados bentónicos y planctónicos. Destacan por su mayor talla tres especies de crustáceos: un copépodo (*Boeckella poppei*), un anostráceo (*Branchinecta gainii*) y un cladóceros bentónico (*Macrotrix ciliata*), citado este último por primera vez en la Antártida. Además, se ha confirmado la presencia de los dos únicos insectos dípteros antárticos ya mencionados anteriormente, del grupo de los quironómidos, cuya distribución y dispersión en relación con sus preferencias de hábitat y condiciones ambientales, constituye uno de los interrogantes ecológicos aún por resolver en esta región de la Península Antártica. También se han determinado una especie de oligoqueto, varios nemátodos, tardígrados y rotíferos, así como un nutrido número de protistas



Campamento del Proyecto.

aún sin determinar del grupo de los nanoflagelados y ciliados, lo que indicaría una gran relevancia de las redes tróficas microbianas en estos ambientes.

LIMNOPOLAR II: 2006-2009

En la segunda fase del proyecto se están definiendo e investigando con mayor detalle algunos de los procesos ecológicos y ciclos biológicos de las especies más características de los sistemas estudiados, así como su respuesta a los cambios ambientales a pequeña y mediana escala temporal. A gran escala, los estudios paleolimnológicos llevados a cabo en algunos de los lagos están permitiendo reconstruir la evolución climática en el pasado, mediante el análisis de los restos subfósiles de organismos acuáticos presentes en los sedimentos de estos lagos, como son: algas diatomeas y crisófitas, quironómidos, o cladóceros.

La relevancia del bucle microbiano en los lagos antárticos está acaaparando gran parte de los esfuerzos en la investigación en esta segunda

fase. Constituye probablemente una importante ruta de tránsito energético en estos lagos y sus interrelaciones contribuyen en gran medida a estructurar la comunidad y el funcionamiento del ecosistema. En este tipo de ambientes se considera que cualquier factor ambiental tanto biótico como abiótico que pueda afectar al bucle microbiano puede alterar de forma crítica el equilibrio trófico del ecosistema. Es por ello que su estudio se está enfocando tanto desde una perspectiva observacional, como desde una aproximación experimental en campo que, en ocasiones, incluye la manipulación de algunos de los factores que a priori se consideran más relevantes, tales como la estructura de la red trófica, la abundancia relativa de los organismos principales que la constituyen, y la disponibilidad de recursos. También se está abordando el estudio de la posible influencia de los virus como factor regulador de determinadas poblaciones de organismos acuáticos y su actividad en relación con las condiciones ambientales.

Para lograr un seguimiento más detallado de la respuesta de los lagos y sus comunidades y procesos biológicos a las fluctuaciones de las variables climáticas, está previsto instalar en la siguiente campaña polar (2007-2008) un Sistema Autónomo de Monitorización y Muestreo Limnológico en uno de los lagos más representativos de la Península Byers, bautizado con el nombre del proyecto: el lago Limnopolar. Este sistema comprende dos unidades tomamuestras programables que permitirán obtener muestras de agua para análisis químicos y biológicos, durante los meses invernales en los que la presencia de investigadores no es posible; también incluye dos sondas multiparamétricas con diversos sensores que controlarán una serie de variables limnológicas (profundidad, pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, radiación P.A.R. y clorofila). Estas unidades estarán conectadas por satélite con el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX en Madrid, desde donde será posible controlar el funciona-

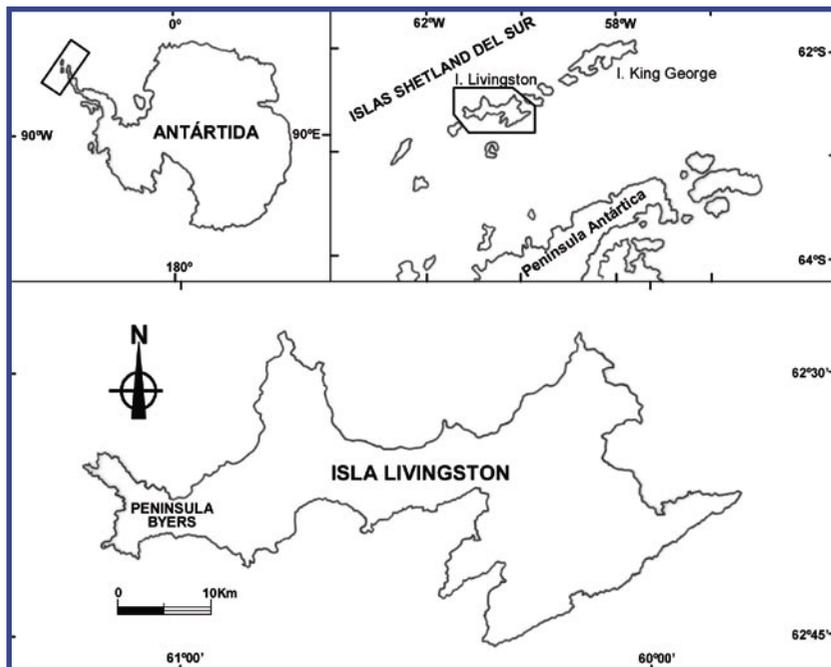


Figura 1.

miento del sistema, obtener información sobre las diferentes variables controladas, y adoptar decisiones en tiempo real respecto a la frecuencia y oportunidad de los muestreos en la columna de agua del lago. Con el fin de comprobar el funcionamiento del sistema bajo condiciones de temperatura, nieve y cubierta de hielo del lago lo más próximas a las que podrán encontrarse en la Península de Byers, este sistema ha sido ensayado previamente en una laguna de alta montaña de la Sierra de Guadarrama, gracias a la colaboración del personal del Parque Natural de la Cumbre, Circo y Lagunas de Peñalara (Consejería de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid).

LOS LAGOS COMO SENSORES DE CAMBIOS CLIMÁTICOS

La paleolimnología es la ciencia que estudia el registro sedimentario de los lagos. Estos sedimentos son el archivo donde poder consultar y descifrar la historia reciente del clima y de las condiciones ambientales en la región de la Península Antártica durante el Holoceno. Hechos como las erupciones volcánicas ocurridas en la vecina isla de Decepción, donde se localiza actualmente la Base Antártica Española Gabriel de Castilla, han quedado registrados en el sedimento de los lagos de la Península de Byers en forma de finos estratos de cenizas volcánicas.

Los lagos de la Península Byers tienen una antigüedad relativamente escasa. La cronología del proceso de deglaciación se ha obtenido a partir de dataciones de las capas más profundas de los sedimentos en algunos lagos (López-Martínez et al. 1996) y muestra una rápida retirada de los hielos iniciada hace 4.500 años, con la mayoría de las zonas de la Península descubiertas de hielo hace unos 4.000 años. No obstante, algunos lagos ubicados en zonas resguardadas o cercanas al borde de los hielos actuales presentan una antigüedad mucho menor, en torno a los 400-500 años.

En la reconstrucción de la evolución del clima en el pasado y la respuesta de los ecosistemas acuáticos, se parte del conocimiento de los óptimos ecológicos y ambientales de cada especie, gracias a los estudios llevados a cabo de sus hábitats y distribución actual en la zona. Para ello, se descifra la composición de las comunidades biológicas en cada estrato del sedimento, a partir de los restos subfósiles de las especies y de sus densidades. La cronología del testigo se está realizando mediante análisis radiométricos con ^{14}C y otros isótopos. Posteriormente, es uno de los objetivos del proyecto el desarrollar un modelo predictivo de la respuesta de los ecosistemas de agua dulce antárticos ante escenarios de cambio climático potenciales en el futuro, así como seleccionar aquellas especies o procesos biológicos más sensibles o vulnerables a estos cambios, constituyendo una batería de sensores biológicos de cambios climáticos.

AÑO POLAR INTERNACIONAL

España participa en el Año Polar Internacional 2007-2008 a través de un Comité Nacional, habiéndose aprobado varios proyectos de grupos de investigación, entre los que se encuentra el Proyecto Limnopol. El objetivo es establecer la Península Byers (Isla Livingston) como zona antártica de referencia internacional para ecosiste-

mas terrestres, de agua dulce, y costeros. Durante al menos una campaña polar, se desplazarán un número elevado de científicos de todo el mundo a la Península Byers para trabajar juntos sobre el terreno de manera multidisciplinar, creándose una atmósfera científica incomparable de intercambio y debate. Todos los subproyectos que

participarán en el programa en Península Byers estarán enmarcados dentro de los siguientes temas: cambio climático global, radiación UV y disminución de la capa de ozono, biodiversidad antártica e interacciones entre organismos, impacto medioambiental realizado por científicos o turistas, y estudios paleoecológicos.



Obtención de una muestra de agua de un lago bajo el hielo.

BIBLIOGRAFÍA

- ❖ BAÑÓN, M. 2001. *Observaciones meteorológicas en la Base Antártica Española Juan Carlos I. Monografía A-151. Instituto Nacional de Meteorología, Ministerio Medio Ambiente. Madrid. 135 pags.*
- ❖ FERNÁNDEZ-VALIENTE, E., CAMACHO, A., ROCHERA, C., RICO, E., VINCENT, W.F. Y QUESADA, A. 2007. *Community structure and physiological characterization of microbial mats in Byers Peninsula, Livingston Island (South Shetland Islands, Antarctica). FEMS Microbiol. Ecol., 59: 377-385.*
- ❖ IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 18 pags.*
- ❖ LÓPEZ-MARTÍNEZ J., M.R.A. THOMSON & J.W. THOMSON (Eds). 1996. *Geomorphological map of Byers Peninsula, Livingston Island. BAS GEOMAP Series, Sheet 5-A. British Antarctic Survey. Cambridge. 65 pags.*
- ❖ LIVINGSTONE, D. M. 2005. *Anthropogenic influences on the environmental status of remote mountain lakes. Aquatic Science, 67: 221-223.*
- ❖ PIENITZ, R., DOUGLAS, M.S.V. & SMOL, J.P. 2004. *Long-term environmental change in Arctic and Antarctic lakes. Develop. Paleoenvirom. Res., Vol. 8. Springer. The Netherlands. 562 pags.*
- ❖ QUAYLE, W.C., LL.S. PECK, H. PEAT, J. C. ELLIS-EVANS, P.R. HARRIGAN. 2002. *Extreme responses to climate change in Antarctic lakes. Science, 295: 645.*
- ❖ QUESADA, A., VINCENT, W.F., KAUP, E., HOBBI, J.E., LAURION, I., PIENITZ, R., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J., AND DURÁN, J.J. 2007. *Landscape control of high latitude lakes in a changing climate. En: Trends in Antarctic terrestrial and limnetic ecosystems. D.M. Bergstrom, P. Convey, A.H.L. Huiskes (Eds.). Springer. Doordrecht. Holanda*
- ❖ TORO, M., A. CAMACHO, C. COCHERA, E. RICO, M. BAÑÓN, E. FERNÁNDEZ-VALIENTE, E. MARCO, A. JUSTEL, M.C. AVENDAÑO, Y. ARIOSA, W.F. VINCENT & A. QUESADA. 2006. *Limnological characteristics of the freshwater ecosystems of Byers Peninsula, Livingston Island, in maritime Antarctica. Polar Biology, DOI 10.1007/s00300-006-0223-5.*
- ❖ TURNER, J., S.R. COLWELL, G.J. MARSHALL & T.A. LACHLAN-COPE, A.M. CARLETON, P.D. JONES, V. LAGUN, P.A. REID & S. IAGOVKINA. 2005. *Antarctic climate change during the last 50 years. Int. J. Climatol. 25: 279-294.*
- ❖ VAUGHAN, D.G., G.J. MARSHALL, W.M. CONNOLLEY, C. PARKINSON, R. MULVANEY, D.A. HODGSON, J.C. KING, C.J. PUDSEY & JOHN TURNER. 2003. *Recent rapid regional climate warming on the Antarctic Peninsula. Climatic Change, 60: 243-274.*