

Ecología vegetal en la Antártida

L.G. Sancho¹, A. Pintado¹

(1) Departamento de Biología Vegetal II, Facultad de Farmacia, Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria, 28040-Madrid, España

➤ Recibido el 18 de noviembre de 2010, aceptado el 7 de enero de 2011.

Sancho, L.G., Pintado, A. (2011). Ecología vegetal en la Antártida. *Ecosistemas* 20(1):42-53.

A menudo se ha descrito la vida vegetal en la Antártida como extremadamente pobre y ecológicamente simple. Sin embargo, esto sólo es cierto si nos referimos a las localidades más inhóspitas de la Antártida continental. En la región conocida como Antártida marítima, costa occidental de la Península Antártica e islas adyacentes, la situación es bien distinta. El número de especies de líquenes supera las 350 y se han descrito más de 100 especies de musgos y hepáticas, aunque sólo existen dos plantas con flores. En el ámbito de la ecología vegetal, la cuestión fundamental que ha preocupado a los investigadores hasta ahora es si los líquenes y musgos de la Antártida presentan algún tipo de adaptación que les permita sobrevivir mejor que otras plantas en este medio. Un segundo aspecto de gran interés en la actualidad es determinar la capacidad de adaptación de la flora antártica ante el aumento de la radiación ultravioleta (UV) como consecuencia del agujero de ozono, y ante el calentamiento global. Los líquenes antárticos se han mostrado muy tolerantes a amplios periodos de frío y sequía y son capaces de mantener una fotosíntesis activa a temperatura por debajo del punto de congelación, sin embargo algunas de las especies estudiadas no son capaces de mantener tasas positivas de fotosíntesis si la temperatura sube dos o tres grados. Por otra parte, tanto musgos como líquenes se muestran muy resistentes a la radiación UV. Los líquenes y comunidades microbianas de los Valles Secos y Montañas Transantárticas no parecen limitados por la más dura combinación de frío, sequedad y radiación que se produce en nuestro planeta. Estas especies son excelentes candidatos para experimentos de astrobiología en el espacio exterior, con el fin de demostrar la capacidad de supervivencia de células complejas originadas en la Tierra a posibles transferencias interplanetarias.

Palabras clave: Ecosistemas terrestres antárticos, biodiversidad, líquenes, musgos, *Deschampsia antarctica*, *Colobanthus quitensis*, líquenes endolíticos, cambio climático.

Sancho, L.G., Pintado, A. (2011). Plant ecology in Antarctica. *Ecosistemas* 20(1):42-53.

Plant life in Antarctica has often been described as extremely poor and ecologically simple. However, this is really only true when we are referring to the most inhospitable localities of the continental Antarctica. In the region known as maritime Antarctica, which includes the west coast of the Antarctic Peninsula and adjacent islands, the situation is very different. The number of lichen species is above 350 and more than 100 species of mosses and hepatics have been described although only two flowering plants are present. One of the main questions that has always interested plant ecologists is whether Antarctic lichens and mosses possess some type of adaptation mechanism that allows them to survive better than other plants under such extreme conditions. A second area of interest at present is to determine the capacity of Antarctic plants to adapt to climate change, for example, to increasing UV radiation as a consequence of the ozone hole and to global warming. Both mosses and lichens have proven to be very resistant to UV radiation and appear able to adapt rapidly to this stress. Antarctic lichens are also very tolerant of long periods of cold and drought and can carry out active photosynthesis at temperatures below the freezing-point, which contrasts with some of the studied species being unable to reach positive carbon gain if the temperature rises only two or three degrees. The lichens and microbial communities of the Dry Valleys and Transantarctic Mountains do not seem to be limited by the most extreme combination of cold, dryness and radiation on our planet. These species are excellent candidates for astrobiology experiments in outer space in order to demonstrate the capacity of survival of complex cells, originating on the Earth, for possible interplanetary transfer.

Key words: Antarctic terrestrial ecosystems, biodiversity, lichens, mosses, *Deschampsia antarctica*, *Colobanthus quitensis*, endolithic lichens, climate change.

Introducción

La Antártida es un lugar apasionante para numerosos campos del conocimiento científico. Física, Geología, Meteorología, Geofísica, Glaciología, Biología, Oceanografía y Medicina, son algunas de las áreas en las que los países firmantes del Tratado Antártico desarrollan su actividad. En todos los casos la Antártida es un desafío científico que requiere el manejo de alta tecnología y la máxima cualificación de los investigadores. Algo así como la investigación espacial pero sin salir de casa. Las medidas de campo y las observaciones a largo plazo tanto en la Antártida continental como en su océano, son cruciales.

Nos permiten avanzar en nuestra comprensión de cambios globales en el pasado, en la evolución biológica y en los mecanismos de adaptación, en la física y en las consecuencias de las interacciones Sol-Tierra y en la tectónica y evolución de la corteza terrestre. Los datos obtenidos contribuyen en gran medida a la acción política y a la toma de decisiones sobre una firme base científica en temas cruciales como la protección medioambiental, la explotación de recursos naturales y el crecimiento sostenible a largo plazo. La Antártida es efectivamente un lugar remoto, pero muy relevante.

Dentro de este amplio abanico de actividades científicas, la ecología terrestre ocupa un espacio relativamente modesto. Hay que tener en cuenta que la vegetación de la Antártida queda restringida a los mínimos espacios libres de hielo, menos del 1% del territorio, y de ninguna manera puede compararse con la extensa tundra ártica de la que se alimenta una rica fauna en la que se incluyen grandes vertebrados. De hecho, la fauna terrestre antártica está reducida a unas pocas especies de insectos y ácaros, en consonancia con la muy baja productividad primaria de la vegetación. Sin embargo, la diversidad de la comunidad vegetal es mucho mayor de lo que cabría esperar. Hasta el momento se han descrito alrededor de 400 especies de hongos liquenizados (Øvstedal y Lewis Smith, 2001), algunas otras de macromicetes no liquenizados, más de 100 especies de musgos y hepáticas (Ochyra et al., 2008), abundantes colonias de algas y cianobacterias, además de las dos únicas plantas vasculares nativas de la Antártida.

La flora antártica: diversidad y patrones de distribución

En la Antártida la vida vegetal debe aprovechar los escasos afloramientos rocosos que aparecen principalmente en la costa o a lo largo de las Montañas Transantárticas. Los últimos reductos de vida vegetal se han descubierto a unos 86° de latitud sur y consisten en algunas especies de líquenes y un musgo. Sin embargo, la mayoría de los vegetales antárticos se concentran en zonas mucho menos extremas y relativamente templadas, fundamentalmente en la región denominada Antártida marítima, que comprende la costa noroccidental de la Península Antártica y las islas cercanas. Aquí la temperatura media durante el verano llega a superar en uno o dos grados el punto de congelación (**Tabla 1**) y llueve con relativa frecuencia. Los inviernos son fríos, naturalmente, pero no tanto como en regiones árticas de similar latitud. El paisaje es, sin embargo, típicamente antártico. La falta de calor en verano impide casi por completo el desarrollo de plantas vasculares y favorece la formación de enormes glaciares que se extienden hasta la costa. En los reducidos espacios que quedan libres de hielo se desarrollan las más diversas y abundantes comunidades vegetales de toda la Antártida. Pero esta zona ha sido también la preferida para la instalación de bases científicas, entre ellas las dos españolas situadas en Isla Livingston (Juan Carlos I) e Isla Decepción (Gabriel de Castilla), y últimamente para la realización de cruceros turísticos procedentes de los cercanos puertos de Argentina y Chile. En suma, una intensa actividad veraniega que puntualmente puede significar un importante impacto para la frágil tundra antártica.

	Nº de especies de plantas vasculares	Nº de especies de líquenes	Nº de especies de musgos	Máxima biomasa (g m ⁻²)	T media del mes más cálido (°C)	T media del mes más frío (°C)	Precipitación anual (mm)
Antártida marítima	2	> 350	> 90	1000 - 46000	+0.7 - +1.5	-8.5 - -9.5	380 - 600
Antártida continental	0	< 100	2-7	500 - 900	0 - -2.0	-15.1 - -39.3	10 - 250

Tabla 1. Diferencias bioclimáticas entre la Antártida marítima y la Antártida continental (T= Temperatura)

A pesar de la relativa templanza de la Antártida marítima, sólo dos especies de plantas vasculares, *Deschampsia antarctica* (Poaceae) y *Colobanthus quitensis* (Caryophyllaceae) han logrado establecerse (**Figs. 1 y 2**). Por el contrario, hasta 350 de las aproximadamente 400 especies de líquenes antárticos conocidos viven en esta zona, junto a la mayor parte del cerca del centenar de especies de musgos (Olech 2004). Suelo y roca aparecen con frecuencia completamente recubiertos por estos vegetales poiquilohídricos (**Fig. 3**). El húmedo ambiente oceánico les permite mantenerse hidratados y activos durante muchos días al año, lo que explica sus tasas de crecimiento relativamente elevadas a pesar de las bajas temperaturas. Cuando penetramos hacia el continente dos factores confluyen para dificultar de forma drástica la capacidad de supervivencia de la vegetación: la sequedad y el frío extremo (**Tabla1**). Grupos enteros de líquenes, como todos aquellos que forman simbiosis con cianobacterias, están por completo ausentes en la Antártida continental. Entre los briófitos el descenso en diversidad es igualmente drástico, con el amplio grupo de las hepáticas ausente en estas zonas continentales. Aquí, las localidades más ricas no superan el centenar de especies entre líquenes y musgos, aunque lo normal es que no lleguen ni a 50. La biomasa de estas comunidades es hasta 100 veces inferior a la de la Antártida marítima y además están muy

localizadas; la mayor parte de los afloramientos rocosos del continente antártico aparecen prácticamente desprovistos de cubierta vegetal (Green et al., 2007).



Fig. 1. *Deschampsia antarctica*, Isla Livingston. Escala=2 cm.



Fig. 2. *Colobanthus quitensis*, Isla Livingston. Escala=1 cm.



Fig. 3. Musgos y líquenes cubren por completo los roquedos y el suelo de los acantilados de Punta Elefante (Bahía Sur, Isla Livingston).

Durante un tiempo se pensó que la flora antártica, especialmente en lo que se refiere a los líquenes, estaba compuesta en su mayor parte (ca. 80%) por especies endémicas (Dodge, 1973). Hoy sabemos que la situación es justo la contraria. Un 55% de las especies de musgos y líquenes antárticos pueden encontrarse también en el Hemisferio Norte, bien en zonas polares o alpinas (flora bipolar), bien en ambientes diversos no necesariamente ligados al frío (flora cosmopolita). El 45% restante se reparte entre especies de distribución austral (comunes a los extremos continentales e islas del Hemisferio Sur) y especies propiamente antárticas, que no suponen mucho más del 20% sobre el total. Estas proporciones se mantienen tanto en la Antártida marítima como en la Antártida continental (**Fig. 4**).

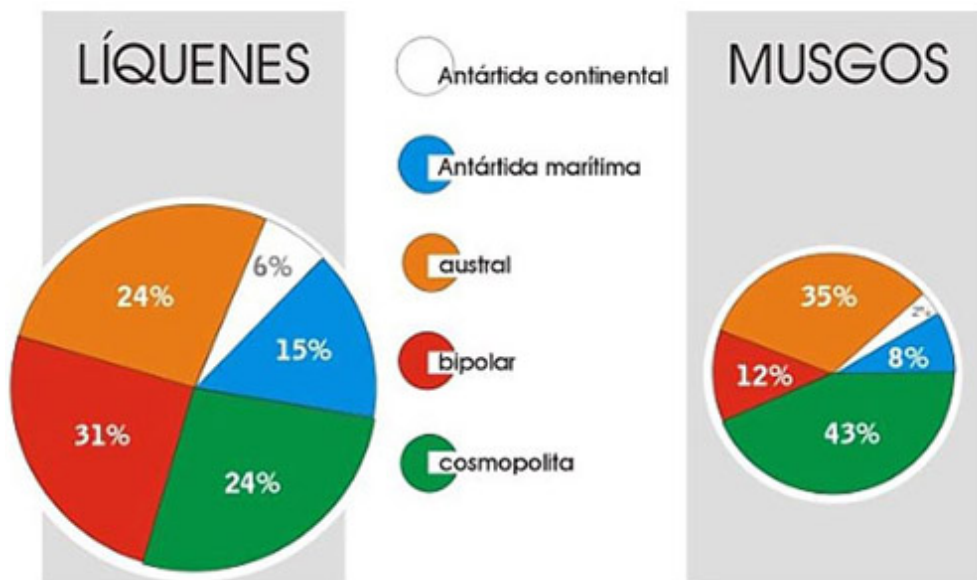


Fig. 4. Distribución porcentual de los contingentes florísticos para los musgos y líquenes antárticos.

La vida al límite

El continente antártico, ventoso, seco y muy frío, es sin duda una auténtica frontera para la vida, pero incluso en este ambiente, generalmente inhóspito, hay grados y matices. En el inmenso desierto helado se producen, a veces, sorprendentes

concentraciones de especies de líquenes y musgos en ciertos roquedos, con una extensión de tan solo algunos cientos de metros cuadrados. Son los denominados micro-oasis antárticos, un nombre muy adecuado, ya que su presencia depende fundamentalmente de la disponibilidad de agua líquida. Pero, ¿cómo obtener agua líquida cuando la temperatura del aire se mantiene varios grados bajo cero, incluso en verano? La respuesta está en la intensa radiación solar, reforzada en ciertas orientaciones por la radiación reflejada desde el mar helado (Pannewitz et al., 2003). Las laderas y acantilados costeros con exposición norte son las zonas adecuadas para que se produzcan micro-oasis. Durante el verano la radiación solar incide directamente durante más de doce horas, lo que da lugar a la lenta fusión de los frentes de nieve y la formación de escorrentías y riachuelos que funcionan durante algunas horas, para congelarse de nuevo cuando quedan sombreados (**Figs. 5 y 6**). En estas localidades musgos y líquenes compiten intensamente por el espacio, imponiéndose los musgos en los lugares con mayor disponibilidad de agua y los líquenes en los más secos. Por supuesto, se encuentran todo tipo de situaciones intermedias.



Fig. 5. Escorrentías efímeras en un roquedo de Botany Bay (Granite Harbour, Mar de Ross).



Fig. 6. Las tormentas de nieve de verano hidratan y activan los talos de *Usnea*, en Cabo Crozier (Isla Ross).

Los micro-oasis forman un collar de joyas vivas que circunda todo el continente antártico. Hay una región, sin embargo, en la que incluso estas mínimas fuentes de hidratación están ausentes. Se trata de los Valles Secos, la zona más inhóspita de la Antártida, donde la vida retrocede hasta rincones insospechados. La precipitación es aquí inferior a 50 mm anuales, similar a la del centro del Sahara, la temperatura nunca supera el punto de congelación y a pesar de ello, la humedad relativa se sitúa alrededor del 25%. La sequedad es tal, que el hielo de los glaciares que penetran en estos valles se sublima, creando frentes muy netos y estables colgados que sólo parcialmente ocupan los fondos de valle (**Fig. 7**). Nada parece ser capaz de sobrevivir en este desierto de polvo y rocas esculpidas por el viento. Algunos cadáveres de focas momificadas nos recuerdan que incluso los microorganismos descomponedores escasean (**Fig. 8**). Pero la vida, lejos de estar ausente, aparece por doquier, sólo que no se ve a simple vista.



Fig. 7. Vista de Taylor Valley en la región de los Valles Secos. Al pie de las montañas puede apreciarse la lengua terminal del Canada Glacier y la superficie congelada del Lago Fryxell.



Fig. 8. Cadáver momificado de foca cangrejera en Taylor Valley.

Para encontrarla es preciso romper las rocas de granito o arenisca y entonces descubrimos una capa verde a algunos milímetros por debajo de la superficie (**Fig. 9**). Son asociaciones simbióticas de algas, hongos y bacterias (líquenes s.l.) que forman una de las comunidades microbianas más extraordinarias de nuestro planeta. En el interior de las rocas las duras condiciones ambientales se atemperan, al menos durante los meses de verano. En este microhábitat la temperatura puede superar los 15°C en un día soleado, ligeras nevadas estivales actúan como fuente de humedad, que en los intersticios

rocosos se mantiene durante más tiempo y la estructura cristalina de estas rocas permite el paso de suficiente luz para la fotosíntesis hasta 1cm por debajo de la superficie. Un pequeño invernadero natural en el que de vez en cuando se consigue un ambiente muy adecuado para la actividad biológica (**Fig. 10**).

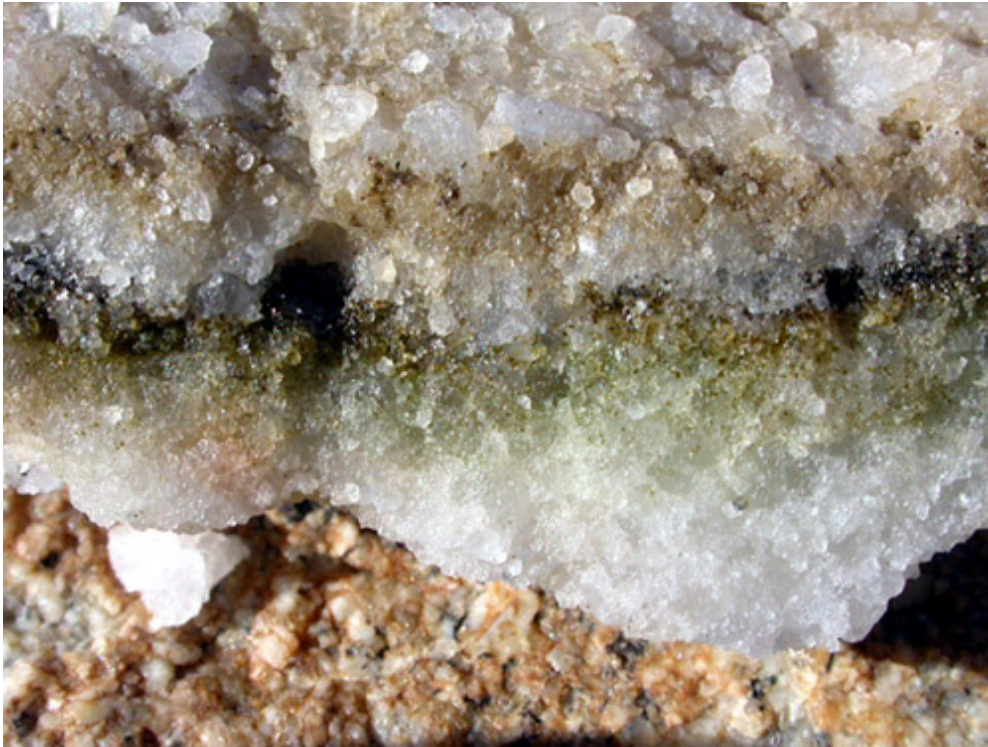


Fig. 9. Comunidades endolíticas en el interior de una roca cuarcítica de los Valles Secos.

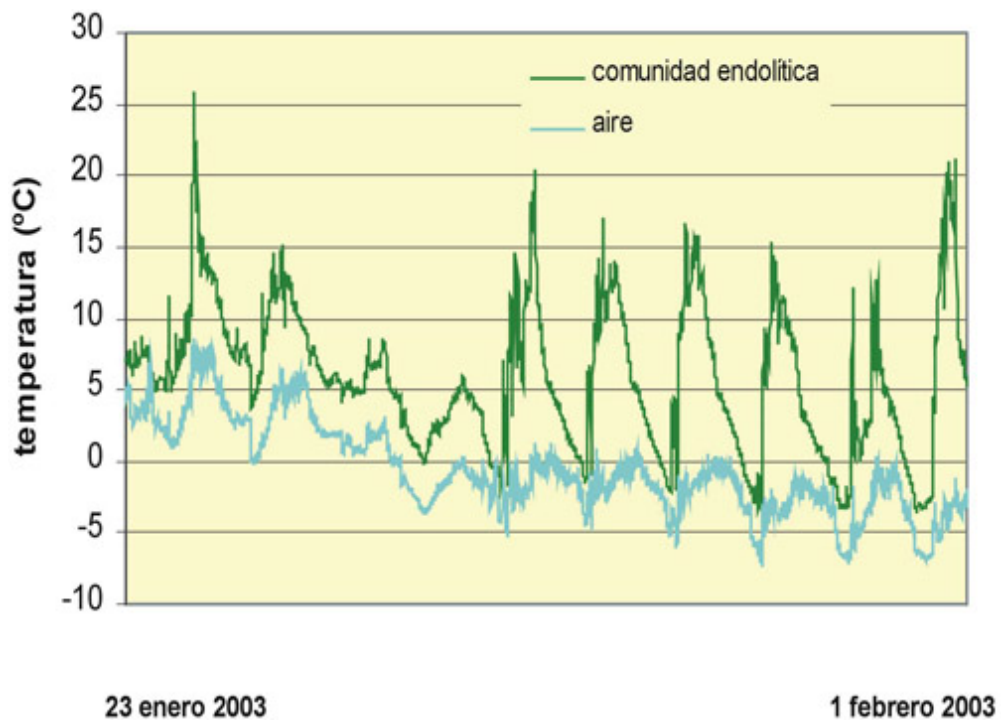


Fig. 10. Oscilación diurna de la temperatura del aire y de la comunidad endolítica a lo largo de nueve días en los Valles Secos (Taylor Valley, 77° S).

Los científicos empeñados en la búsqueda de vida en Marte se han inspirado en estos "líquenes" endolíticos para diseñar sus experimentos. Los astrobiólogos que intentan encontrar formas de vida terrestres capaces de resistir la exposición a las condiciones del espacio exterior, utilizan estos organismos extremófilos como objeto preferente para futuros vuelos espaciales (Sancho et al., 2007a). Los biólogos moleculares tratan de descubrir las secuencias genéticas relacionadas con su increíble resistencia a condiciones extremas.

En lo más profundo de las Montañas Transantárticas, a sólo unos centenares de kilómetros del Polo Sur, se encuentran las localidades más meridionales con vida vegetal de nuestro planeta. Los frentes de nieve en lenta fusión van hidratando brevemente las rocas, sobre las que se desarrollan unas 25 especies de líquenes y un musgo (*Grimmia* sp.). Muchas de ellas tienen una amplia distribución y es posible comparar el comportamiento fotosintético de poblaciones muy distantes. Según nuestros propios datos (Sancho et. al, en preparación) *Umbilicaria decussata* de Mount Kyffin (83° 45'S) (Fig. 11) muestra óptimos fotosintéticos a una temperatura similar (5-10°C) que la población de Isla Livingston (62°40'S), lo que descarta que exista adaptación de la simbiosis líquénica a las condiciones térmicas ambientales y más bien supone que las características microclimáticas de cada localidad atemperan los gradientes climáticos regionales.

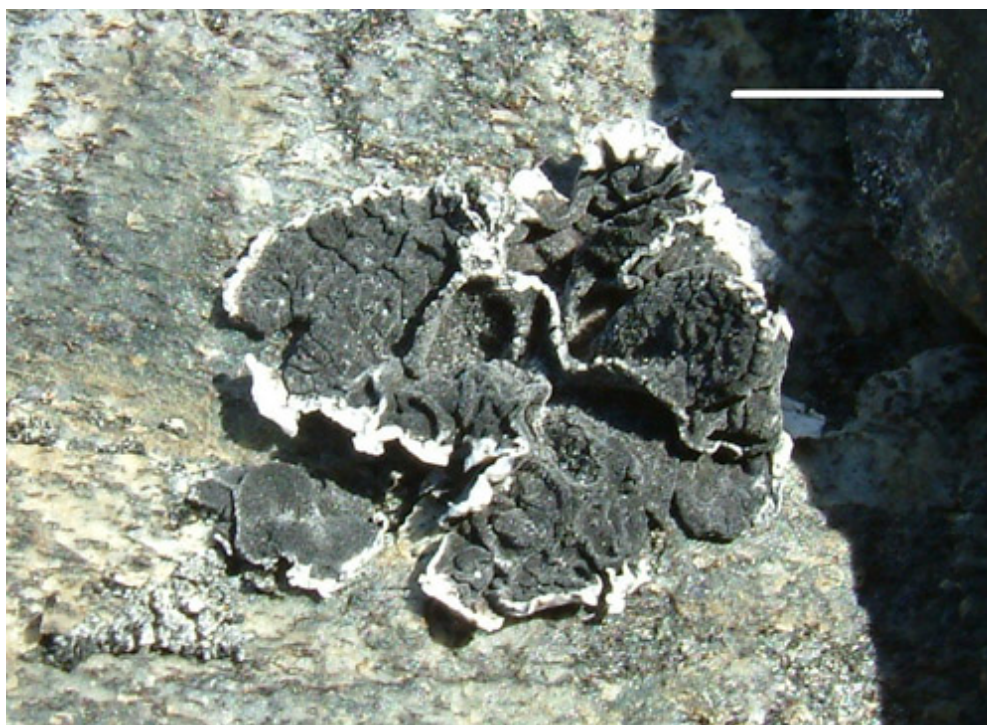


Fig. 11. *Umbilicaria decussata* fotografiada en una de las localidades más meridionales de su área de distribución mundial; Mount Kyffin, 83° 45' S. Escala=1 cm.

La Antártida y el calentamiento global

Una de las grandes cuestiones de la investigación en biología antártica es hasta qué punto sus especies podrán adaptarse al proceso de calentamiento global. No es algo fácil de responder. Cada una de los centenares de especies vegetales y animales antárticas reaccionará de una forma diferenciada, lo que hace imposible las generalizaciones. Por otro lado, la Antártida está planteando un auténtico reto para los modelos climáticos que prevén diversos escenarios de calentamiento global para distintas latitudes. Normalmente se considera que el aumento de temperatura será mucho más débil en la zona ecuatorial y máximo en las regiones polares. Las tendencias detectadas hasta ahora en otras partes del mundo confirmaban en parte este modelo, pero la Antártida parece haber quedado fuera de cualquier previsión. Amplias regiones de la Antártida continental no están experimentando un proceso significativo de calentamiento, como atestiguan los datos de más de 40 estaciones científicas con registros continuos de al menos 30 años. Incluso hay zonas, como los Valles Secos, en las que se ha detectado una tendencia al enfriamiento (Turner et al., 2009). Por el contrario, la Antártida marítima está sufriendo de lleno las consecuencias del cambio global con una tasa de calentamiento de la atmósfera de 0.2-0.4°C por década. ¿Es posible apreciar ya una respuesta en la vegetación o en el comportamiento de especies concretas acordes con esta mayor o menor incidencia del calentamiento global?

El efecto más llamativo del calentamiento global en la Antártida marítima es el acusado retroceso de los frentes glaciares. Pequeñas morrenas y considerables extensiones de suelo y roca están quedando al descubierto, disponibles para la

colonización vegetal. En estos auténticos laboratorios naturales es posible seguir con precisión todo el proceso de colonización e incluso medir la velocidad de crecimiento de las especies vegetales pioneras. Dado que la mayoría de estas especies consisten en líquenes cosmopolitas o bipolares los datos sobre su tasa anual de crecimiento en la Antártida pueden compararse con los procedentes de otras localidades del mundo. Los resultados obtenidos han sido, hasta cierto punto, una sorpresa. En esta región de la Antártida los líquenes pioneros muestran una de las más altas tasas de crecimiento de todo el mundo, con valores que oscilan entre 0.5 y 1 mm de incremento anual en diámetro (Sancho et al., 2007b). Este activo crecimiento incluso se ha acelerado en algunas especies durante la última década, cuando mayor ha sido el aumento de la temperatura (Sancho y Pintado, 2004).

Por el contrario, la única especie endémica de la que se disponen de largas series de datos sobre crecimiento y microclima (*Usnea aurantiacoatra*) muestra una relación inversa y casi lineal entre aumento de temperatura y aumento de biomasa (**Fig. 12**). Con los datos actuales podemos afirmar que un incremento de 2°C en la temperatura media anual supondrá una pérdida neta de carbono debido al aumento relativo de la respiración con respecto a la fotosíntesis (Schroeter et al., 2000). Esto significa que si esta especie, la más abundante en la Antártida marítima, no muestra una capacidad de aclimatación al calentamiento global, comenzará a desaparecer en 40 o 50 años.



Fig. 12. *Usnea aurantiacoatra*, uno de los líquenes más abundantes en la Antártida marítima (Isla Livingston). Escala=2 cm.

En cuanto a las dos únicas plantas vasculares que viven en esta zona (*Deschampsia antarctica* y *Collobanthus quitensis*), ya se ha detectado un importante incremento tanto en número de individuos, como en la extensión de sus poblaciones (Øvstedal y Lewis Smith, 2001). Además, nuevas colonias están apareciendo en varias localidades de la Península Antártica y en las Islas Shetland del Sur. Esta situación claramente expansiva es hasta ahora la respuesta más evidente de los ecosistemas terrestres de la Antártida marítima al calentamiento global. Ahora la cuestión es cuándo comenzarán a instalarse otras especies, en su mayoría procedentes de Tierra de Fuego o la Patagonia, cuyas semillas son relativamente frecuentes en suelo y turberas antárticas, pero que hasta ahora han sido incapaces de germinar.

El panorama en la Antártida continental es completamente distinto. Aquí el breve periodo de actividad metabólica y la ausencia de la más leve tendencia al calentamiento parecen estar relacionados con las bajas tasas de crecimiento en todos los líquenes estudiados. En los Valles Secos, talos de *Buellia frigida* observados durante 23 años muestran un aumento anual de diámetro de tan solo 0.01 mm, es decir, dos órdenes de magnitud por debajo de lo observado en la Antártida marítima (**Fig. 13**). Puesto que estos talos alcanzan con frecuencia un diámetro de 10 cm cabría deducir para ellos una edad de 10.000 años, si la tasa actual de crecimiento se hubiera mantenido durante toda su vida. Nos encontraríamos entonces ante uno de los organismos pluricelulares más longevos del mundo.



Fig. 13. *Buellia frigida*, Valles Secos. Escala=1 cm.

Los vegetales como bioindicadores del cambio climático

Como hemos visto más arriba, entre los líquenes que viven en la Antártida marítima y en la Antártida continental se han detectado diferencias de hasta dos órdenes de magnitud en la velocidad de crecimiento radial. En las Shetland del Sur (62° S) las especies del género *Buellia* estudiadas crecen 100 veces más deprisa que *Buellia frigida* observada en Los Valles Secos (77° S). La razón para tasas tan distintas de crecimiento en líquenes taxonómicamente muy próximos ha de buscarse en la influencia de las condiciones ambientales sobre la actividad fisiológica de los líquenes, especialmente en lo que respecta a la disponibilidad de agua líquida. La sequedad y el frío de los Valles Secos limitan fuertemente las posibilidades de alcanzar niveles elevados y mantenidos de fotosíntesis neta, por lo que los líquenes apenas obtienen carbohidratos suficientes para atender a su propio mantenimiento y a la reparación de los daños producidos en un ambiente hostil. La disponibilidad de agua líquida es, obviamente, mucho mayor en la Antártida marítima, tanto debido al aumento de la temperatura, como a las más abundantes precipitaciones, por lo que los líquenes obtienen suficientes fotosintatos para invertir en crecimiento, que en algunos casos, resulta de los más altos del mundo.

Una respuesta tan marcada a las distintas condiciones climáticas de la Antártida, permite confiar en los líquenes como excelentes bioindicadores de futuros cambios ambientales. Lo que necesitamos es obtener mucha más información sobre otras especies y otras localidades para que la base de partida sea lo más sólida y amplia posible. Afortunadamente los líquenes son muy longevos y los datos que estamos recopilando ahora podrán ser comparados con los que futuras generaciones de investigadores obtengan en las mismas localidades y con los mismos líquenes dentro de algunas décadas o incluso, porqué no, de algunos siglos.

Los musgos muestran una muy notable y rápida capacidad de adaptación a cambios ambientales, especialmente en lo que se refiere a variaciones en la temperatura y la radiación. Se ha demostrado con claridad como musgos que crecen en lugares sombríos desarrollan una alta protección frente a la radiación UV en tan solo una semana cuando son artificialmente expuestos al sol (Green et al., 2005). De esta forma, estos organismos parecen bien preadaptados al dramático aumento de radiación UV que se produce durante la periódica aparición del agujero de ozono en la primavera austral. Sin embargo, aún está por evaluar el coste metabólico que representa para los musgos su eficiente escudo anti-ultravioleta. En cualquier caso, las variaciones en el agujero de ozono y en la llegada de radiación UV tendrán su inmediata respuesta en los musgos antárticos que se muestran como los bioindicadores óptimos frente a esta variable ambiental.

El cambio climático, o si se prefiere un concepto más amplio, el cambio global, puede dar lugar también a situaciones inéditas para el ecosistema antártico. Concretamente, la implantación de especies vegetales foráneas, sobre todo aquellas procedentes de las cercanas regiones patagónica y fueguina de América del Sur, pero también otras de carácter más

cosmopolita, transportadas de manera no intencionada por los miles de turistas y científicos que cada verano visitan la Antártida. La Antártida, última frontera para la vida vegetal en nuestro planeta, será también el gran espejo que refleje las perturbaciones procedentes de otras regiones del mundo: Una gran oportunidad para la ciencia y un enorme desafío para la conservación.

Agradecimientos

Nuestras investigaciones en la Antártida en los últimos años han sido financiadas por los proyectos CGL2006-12179-C02, POL2006-08405 y CTM2009-12838-C04-01. Deseamos también agradecer especialmente a Antarctica New Zealand por su apoyo logístico a nuestro trabajo en los Valles Secos y en las Montañas Transantárticas.

Referencias

- Dodge, C.W. 1973. *Lichen Flora of the Antarctic Continent and Adjacent Islands*. Phoenix, Canaan, New Hampshire.
- Green, T.G.A., Schroeter, B., Sancho, L.G. 2007. Plant life in Antarctica. En: Pugnaire, F.I. (ed.). *Handbook of functional plant ecology*, pp: 389-434. Marcel Dekker Inc, New York, USA.
- Green, T.G.A., Kulle, D., Pannewitz, S., Sancho, L.G., Schroeter, B. 2005. UV-A protection in mosses growing in continental Antarctica. *Polar Biology* 28:822-827.
- Ochyra, R., Lewis Smith, R.I., Bednarek-Ochyra, H. 2008. *Illustrated moss flora of Antarctica*. 704 pp. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Olech, M. 2004. *Lichens of King George island, Antarctica*. 391 pp. The Institute of Botany of the Jagiellonian. University of Cracow. Poland
- Øvstedal, D.O., Lewis Smith, R.I. 2001. *Lichens of Antarctica and South Georgia. A guide to their identification and ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 411 pp.
- Pannewitz, S., Schlenz, M., Green, T.G.A., Sancho, L.G., Shroeter, B. 2003. Are lichens active under snow in continental Antarctica? *Oecologia* 135:30-38.
- Sancho, L.G., de la Torre, R., Horneck G., Ascaso, C., de los Rios, A., Pintado, A., Wierzchos, J., Schuster, M. 2007a. Lichens survive in space: results from the 2005 LICHENS experiment. *Astrobiology* 7:443-454.
- Sancho, L.G., Green, T.G.A., Pintado, A. 2007b. Slowest to fastest: Extreme range in lichen growth rates supports their use as an indicator of climate change in Antarctica. *Flora* 202:667-673.
- Sancho, L.G., Pintado, A. 2004. Evidence of high annual growth rate for Antarctic lichens. *Polar Biology* 27:312-319.
- Schroeter, B., Kappen, L., Schulz, F., Sancho, L.G. 2000. Seasonal variation in the carbon balance of lichens in the maritime Antarctic: long-term measurements of photosynthetic activity in *Usnea aurantiaco-atra*. En: Davison, W., Howard-Williams, C., Broady, P. (eds.) *Antarctic ecosystems: models for wider ecological Understanding*, pp 220-224. Caxton, Christchurch, New Zealand.
- Turner, J., Bindschadler, R., Convey, P., Di Prisco, G., Fahrbach, E., Gutt, J., Hodgson, D.A., Mayewski, P.A., Summerhayes, C.P. 2009. *Antarctic climate change and the environment*. 554 pp. Cambridge: Scientific Committee for Antarctic Research, UK.