

Efectos del cambio climático sobre pingüinos antárticos

A. Barbosa¹

(1) Departamento de Ecología Evolutiva; Museo Nacional de Ciencias Naturales; CSIC; c/ José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid, España

➤ Recibido el 22 de noviembre de 2010, aceptado el 7 de enero de 2011.

Barbosa, A. (2011). Efectos del cambio climático sobre pingüinos antárticos. *Ecosistemas* 20(1):33-41.

La península antártica es uno de los lugares del planeta donde más y más rápidamente están aumentando las temperaturas y por tanto donde se están produciendo notables cambios ambientales debidos al cambio climático. Ejemplos de estos cambios son la disminución del hielo marino, el descenso de la presencia de algas en este hielo y una reducción de la abundancia de krill. Como consecuencia, las poblaciones de pingüinos, en particular el pingüino de adelia y el pingüino barbijo están sufriendo un acusado descenso. En el presente artículo se profundiza en las consecuencias del cambio climático en la Antártida en los pingüinos con especial atención a los resultados obtenidos dentro del proyecto PINGUCLIM que trata de determinar dichos efectos en la fisiología de estas especies a través de la interacción parásito-hospedador.

Palabras clave: Antártida, cambio climático, fisiología, parásitos, península Antártica, pingüinos

Barbosa, A. (2011). Climate change effects on Antarctic penguins. *Ecosistemas* 20(1):33-41.

The Antarctic Peninsula is one of the places in the planet where more and faster the temperatures are increasing producing environmental changes due to the climate change. Some examples of these changes are the decrease in the sea-ice extent, the reduction of algae production, and then the reduction of the abundance of krill. As a consequence of these changes, penguin populations have suffered a decline, specially chinstrap and adelia species. The present paper address the consequences of the climate change in the Antarctic penguins emphasizing the results obtained within the PINGUCLIM project which studies such effects in the penguin physiology though host-parasite interaction.

Keywords: Antarctica, Antarctic Peninsula, climate change, parasites, penguins, physiology

Introducción

En las últimas décadas se ha detectado una tendencia al incremento de las temperaturas globales en el planeta. Según las conclusiones del Panel Intergubernamental sobre cambio Climático (IPCC) de las Naciones Unidas, este incremento se puede cifrar en un aumento de 0.65°C en los últimos 50 años con un incremento sustancial a partir de los años 80 (IPCC 2007). Una de las principales causas de este cambio en la tendencia de las temperaturas globales es el aumento de concentración de los gases de efecto invernadero, principalmente dióxido de carbono y metano. En el caso del incremento de dióxido de carbono, el aumento de concentración en la atmósfera coincide con el pleno desarrollo de la sociedad industrial. En el último informe publicado, el IPCC concluía que el calentamiento es inequívoco y que las concentraciones globales de dióxido de carbono se han incrementado desde 1750 por acción del hombre superando dichas concentraciones las de la era preindustrial. Es importante hacer notar que el cambio climático no es una cuestión exclusiva de nuestra época, el cambio del clima es consustancial a la historia del planeta y por tanto ha sucedido en diversas ocasiones y en todas las anteriores el hombre no estaba presente. Por lo tanto el hombre no es un factor necesario para que el clima cambie, no obstante en esta ocasión parece que su actividad si lo ha sido.

Por otra parte, la variación climática no es homogénea en todo el planeta. En la actualidad las zonas donde más y más rápidamente se está produciendo el incremento de temperatura es en las regiones polares, el Ártico y la Antártida. En el caso de la Antártida esta situación tampoco se da por igual en todo el continente siendo la península Antártica (**Fig. 1**) y en menor medida la zona oeste continental donde se está produciendo el mayor incremento (Steiq et al., 2009). Tomando como

referencia distintos lugares de la península antártica, los registros indican un incremento de 0.2°C por década en los últimos 100 años en las islas Orcadas, al norte de la península, 0.5°C en los últimos 50 años en el área de la base Vernadski de Ucrania, situada hacia la mitad de la península y de 0.4°C por década en los últimos 60 años en la zona de la base Esperanza de Argentina situada en la punta de la península en su costa este (Turner et al., 2009).

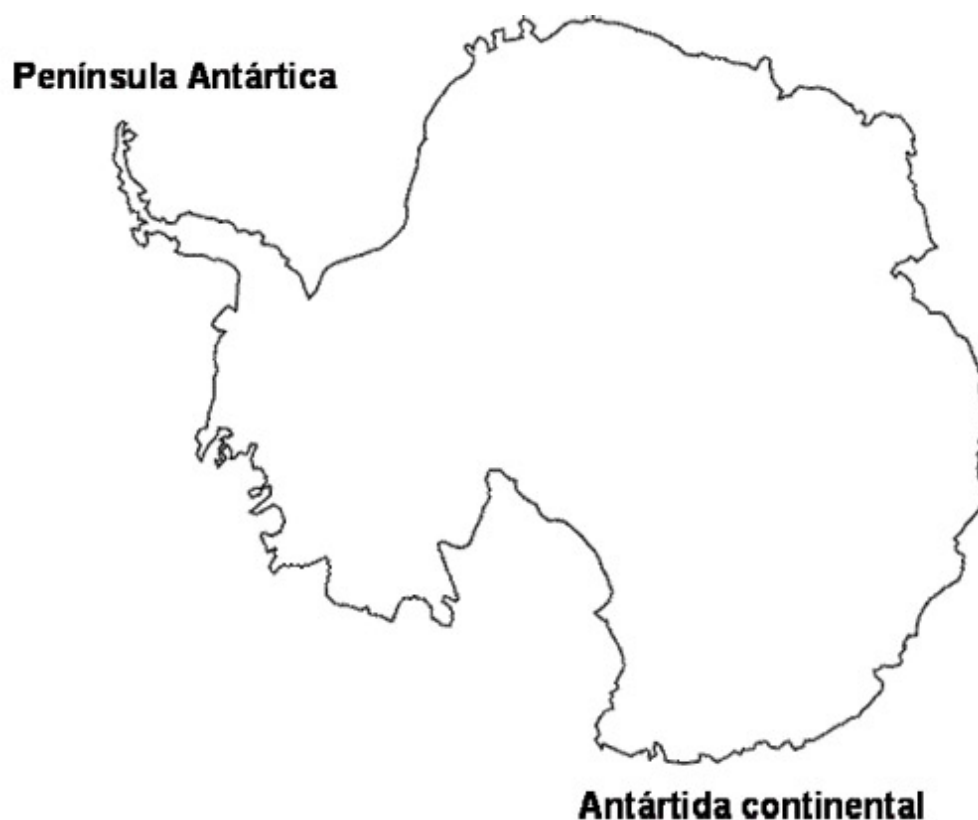


Figura 1. Mapa de la Antártida donde se muestra la localización de la península Antártica y la Antártida continental.

Uno de los cambios más importantes que se perciben como consecuencia de este incremento de temperaturas es el que se produce en el hielo. En la Antártida existen tres tipos de hielo: el hielo glaciar y que está formado por agua dulce, el hielo que forman las plataformas y grandes barreras también formado por agua dulce y por último el hielo marino consecuencia de la congelación del mar y la formación de una banquisa durante el invierno. En el caso de los glaciares, se ha constatado el retroceso en la península antártica de 244, lo que supone el 87% de los glaciares existentes. Solamente 32 glaciares están incrementado su masa (Turner et al., 2009). En el caso de las plataformas que circundan algunas zonas de la Antártida se están observando retrocesos y grandes fracturaciones, como ocurre en la de Larsen situada en la costa este y al norte de la península antártica y en la de Wilkins, localizada en la parte sur de la costa oeste de la península (Turner et al., 2009).

Existe una estrecha relación entre el incremento de temperaturas y los cambios del hielo marino que se forma durante el invierno austral. En el caso del área norte de la península antártica, datos recientes indican una reducción de la extensión de hielo marino durante los meses de diciembre y enero en el periodo (1978-1986) en comparación con el periodo (1998-2006) (Montes-Hugo et al., 2009). En este sentido la Antártida puede considerarse un paradigma para el estudio del cambio climático, ya que en su mayor parte se produce una tendencia al incremento de hielo marino a excepción de la zona del mar de Bellingshausen que está adyacente a la península Antártica (Turner et al. 2009). Otro de los cambios detectados con respecto al hielo marino en la península Antártica es la reducción del número de días con hielo marino durante el invierno debido a una formación más tardía del hielo y a un retroceso más temprano. Al mismo tiempo el grosor de dicho hielo es también menor (Stammerjohn et al., 2008). La reducción de la extensión y la duración del hielo en la costa oeste de la península antártica ha sido estimada en un 40% en los últimos 30 años (Smith y Stammerjohn, 2001). Estos cambios en las condiciones del hielo marino tienen profundas consecuencias en el ecosistema antártico. Aunque una vista de la banquisa en su superficie superior nos ofrece una imagen cegadoramente blanca y un panorama completamente desolador y desprovisto de signos de vida, en su superficie inferior la visión es completamente diferente con una variación de colorido que va desde el verdoso al marrón, fruto de la presencia de miles de algas unicelulares que crecen en los intersticios del hielo. Una disminución del hielo marino conlleva por tanto una reducción de la abundancia de estas algas como indican datos tomados por satélite en los que se observa una reducción de la producción de clorofila derivada de dichas algas (Montes-Hugo et al.

2009). Estas algas son las que sirven de base para la alimentación del krill antártico, de manera que se esperaría que existiera una relación entre la disminución de hielo marino, la reducción de la abundancia de algas y una reducción de la abundancia de krill. Efectivamente este es el caso. Atkinson et al., (2004) han mostrado que se ha producido una disminución de la abundancia de krill en los últimos 25 años y la relacionan con la disminución de hielo acontecido en el mismo periodo. Considerando la importancia del krill como la principal presa en la que se sustenta la red trófica en la Antártida es fácil suponer que la disminución de la abundancia de este crustáceo afectará a sus depredadores. Dependiendo de las características de cada especie, la respuesta de los depredadores a la reducción de su principal presa puede ser el cambio en la dieta en especies más generalistas, sin embargo en el caso de especies con una gran especialización trófica este cambio no será posible y por tanto acusarán más rápidamente una disminución de sus poblaciones. No obstante el cambio de dieta no está exento de consecuencias y el resultado puede ser también una reducción de la población como veremos más adelante. Existen ejemplos históricos de cómo cambios en el clima han provocado cambios en la dieta. A partir del análisis de restos de las presas consumidas por el pingüino de adelia contenidas en los sedimentos de guano de pingüineras relictas, se ha observado que durante la denominada “pequeña edad de hielo” en la época medieval la presa predominante era el krill. Sin embargo durante el periodo denominado “Periodo Templado Medieval” la presa predominante eran calamares (Emslie et al., 1998). Por tanto en base a estos datos en los que un cambio en el clima provoca un cambio en la dieta podríamos hacer una extrapolación de lo que podría estar ocurriendo en la actualidad debido al incremento de temperaturas.

Entre los principales depredadores de krill en el ecosistema antártico se encuentran los pingüinos que constituyen el 80% de la biomasa. En la península antártica habitan tres especies de pingüinos, el pingüino papua (*Pygoscelis papua*) (**Fig. 2**) de distribución fundamentalmente sub-antártica y que en la península se distribuye hasta la isla Petermann (65° 10' S 64° 10' W), el pingüino barbijo (*Pygoscelis antarctica*) (**Fig. 3**) cuyo principal núcleo de población se encuentra en la isla Sandwich del Sur y que al igual que el pingüino papua en la península se distribuye hasta la zona media de la península Antártica, y finalmente el pingüino de adelia (*Pygoscelis adeliae*) (**Fig. 4**) que se distribuye exclusivamente en la Antártida. Los efectos del cambio climático sobre estas tres especies son diferentes en función de las características ecológicas de cada una de ellas. En general, los efectos derivados de la disminución del krill están provocando una reducción de las poblaciones de pingüino de adelia y de pingüino barbijo, mientras que el pingüino papua no está sufriendo este declive e incluso en algunas zonas está incrementando sus poblaciones (Carlini et al., 2009, McClintock et al., 2008, Barbosa et al., comunicación personal).



Figura 2. Pingüino papua (*Pygoscelis papua*)



Figura 3. Pingüino barbijo (*Pygoscelis antarctica*)



Figura 4. Pingüino de adelia (*Pygoscelis adeliae*)

Una de las consecuencias del cambio climático es el desajuste de la dinámica temporal de los ciclos biológicos. En el caso de las aves el comienzo de la reproducción viene determinado por diferentes circunstancias ambientales tales como la coincidencia de la mayor abundancia de presas con el nacimiento de los pollos. Este es también el caso de los pingüinos que necesitan de una alta abundancia de krill para poder alimentar a sus crías. En el caso del pingüino de adelia se ha detectado un retraso de la fecha de puesta a lo largo de los últimos 30 años y este retraso está relacionado con la reducción de la extensión de hielo marino (Barbraud y Weimerskirch, 2006).

Además, existe un incremento de las precipitaciones de nieve en la península antártica como consecuencia del incremento de las temperaturas y la mayor evaporación producida. El momento en el que se produzcan estas precipitaciones es de vital importancia para el éxito reproductivo de los pingüinos. Si las nevadas son abundantes y tardías el impacto sobre la reproducción es muy negativo ya que provoca la inundación de los nidos y la pérdida de los huevos o de los pollos. Esta ha sido la causa del alto fracaso reproductor en las temporadas 2007-2008 y 2009-2010 (Barbosa datos sin publicar). Las predicciones indican que estas situaciones aumentarán su frecuencia pudiendo afectar negativamente a las poblaciones. Por otra parte las altas temperaturas pueden favorecer la desaparición temprana de la nieve permitiendo un adelanto del inicio de la reproducción. Esta parece ser la causa del adelanto en la fecha de puesta detectado en el pingüino barbijo en isla Decepción (Barbosa et al., comunicación personal).

Todos estos factores derivados del cambio climático están produciendo un declive en las poblaciones de pingüinos, especialmente en el caso del pingüino de adelia y del pingüino barbijo que son ampliamente dependientes del krill. En ambas especies se ha constatado una reducción de sus poblaciones tanto en las Shetlands del Sur (Sander et al., 2007; Carlini et al., 2009) como en la zona media de la península (McClintock et al., 2008). Sin embargo, el pingüino papua que tiene una dieta más variada en la que se incluyen peces y calamares es capaz de amortiguar los efectos de la disminución del krill de manera que no solo sus poblaciones no se ven afectadas sino que incluso están aumentando y en algunas zonas están colonizando nuevas áreas en el sur de su área de distribución (Lynch et al., 2008).

La constatación de los efectos del cambio climático en la dinámica de poblaciones de los pingüinos es amplia debido al seguimiento realizado de dichas poblaciones y los censos realizados desde hace 30 años en algunos casos, sin embargo los efectos sobre su fisiología son más complicados de establecer dada la carencia de datos históricos sobre este tipo de variables. El proyecto PINGUCLIM trata de rellenar este hueco en la investigación de los efectos del cambio climático. El objetivo principal del proyecto es el estudio de los efectos del cambio climático sobre la fisiología de las tres especies de pingüinos antárticos pygoscelidos: pingüino barbijo, pingüino papua y pingüino de adelia, en concreto sobre la respuesta inmunitaria y a través de la interacción entre los parásitos y los hospedadores. La importancia del estudio del efecto de los parásitos en los ambientes polares radica en su menor riqueza, diversidad y abundancia en estas áreas en comparación con otras zonas del planeta. Este patrón es típico en la distribución de prácticamente cualquier organismo. El incremento de temperatura está provocando un aumento del área de distribución hacia los polos de muchos organismos, y esto sucede igual con los parásitos y patógenos (Harwell et al., 2002). Este hecho produce que los hospedadores tengan que enfrentarse a nuevos parásitos poniendo a prueba la eficacia de su sistema inmunitario. Por otra parte, considerando que la infección por una parte de los parásitos, por ejemplo, gastrointestinales, se produce a través de la alimentación, los cambios de dieta que anteriormente hemos visto consecuencia del efecto del cambio climático sobre las presas provocarán también la exposición a nuevos parásitos con las consecuencias esperadas.

La información sobre la presencia de parásitos y enfermedades en la fauna antártica es escasa y fragmentaria. Parte de la información es antigua y obtenida en pocos lugares por lo que su generalización no es posible (Barbosa y Palacios, 2009). Es necesario por tanto obtener información básica de la presencia y la ausencia de parásitos y enfermedades en las aves antárticas y en concreto en los pingüinos para conocer lo que existe y lo que es nuevo. Una parte de los resultados del proyecto PINGUCLIM están dirigidos a resolver esta cuestión. En este sentido, se han obtenido resultados sobre la composición de la parasitofauna gastrointestinal en las tres especies de pingüinos estudiadas, los resultados indican como era esperable, una baja riqueza en el número de especies parásitas, fundamentalmente en el pingüino barbijo, dado su reducido espectro de dieta mientras que el pingüino papua muestra una mayor riqueza de especies consecuencia de su más amplio espectro de presas consumidas (Vidal et al., comunicación personal). La detección de estas especies de parásitos es muy difícil mediante el empleo de técnicas coprológicas tradicionales. Por ello se está trabajando en la elaboración de sondas moleculares que nos permitan la detección con fiabilidad de la presencia de las distintas especies de parásitos en las muestras estudiadas. Por el momento se ha procedido a secuenciar varias de las especies y en breve se harán las pruebas pertinentes para verificar el funcionamiento de las sondas (Zafrilla et al., comunicación personal). Asimismo se ha constatado la ausencia de diversas especies de protozoos tanto intestinales (*Cryptosporidium* sp., *Giardia* sp.) como sanguíneos (Merino et al., 1997; Palacios et al., 2010). Aunque la prevalencia de otros protozoos como las coccidias del género *Eimeria* sp. puede alcanzar al 9.4% de los pingüinos analizados (Barbosa et al., datos sin publicar).

Otro grupo de análisis han ido dirigidos a determinar la presencia de bacterias intestinales de las que se han encontrado primeras citas para varias especies o la presencia de anticuerpos frente a diferentes enfermedades.

Finalmente en lo que respecta a ectoparásitos y en concreto a las garrapatas, por primera vez hemos llevado a cabo un muestreo para determinar su presencia a lo largo de la península antártica. Los resultados indican que la presencia de garrapatas en las pingüineras es muy extendida, siendo más abundantes en el norte que en el sur donde parecen estar ausentes (Barbosa et al., 2011, en prensa).

Además de conocer la composición de la comunidad de parásitos presentes en los pingüinos antárticos es necesario saber cuales son los efectos que éstos producen en los hospedadores. En términos generales, los parásitos pueden producir costes directos a través de los recursos que secuestran a los hospedadores, pero también de forma indirecta a través de los recursos que los hospedadores deben dirigir para la activación del sistema inmunitario. Diversos estudios han mostrado efectos de los parásitos en la supervivencia de los hospedadores (Møller, 1997), en la cantidad y calidad de la descendencia (Clayton y Moore, 1997), condición física, expresión de caracteres sexuales secundarios (Hillgarth y Wingfield, 1997), comportamiento territorial y estatus social (Rau 1983). Por medio de una aproximación experimental con la aplicación de un tratamiento con medicamentos antiparasitarios nuestros resultados muestran que los parásitos gastrointestinales tienen un efecto negativo en el crecimiento de los pollos tanto de pingüino barbijo como de pingüino papua (Barbosa et al., comunicación personal).

Por otra parte es importante conocer el funcionamiento del sistema inmunitario para valorar los posibles cambios derivados del cambio climático. En este sentido hemos llevado a cabo estudios para determinar la respuesta inmunitaria durante una fase de gran importancia en los pingüinos como es la muda, en comparación con otra fase de alta demanda energética como es la reproducción. El presupuesto energético de los animales no es ilimitado y no todas las funciones fisiológicas pueden ser satisfechas al máximo al mismo tiempo. Por tanto pueden existir situaciones de compromiso en las que una actividad puede limitar la activación de otra. Es necesario conocer como los pingüinos son capaces de atender las posibles interacciones entre la reproducción, la muda y las necesidades inmunitarias. La muda en los pingüinos muestra una peculiaridad única entre las aves ya que al perder todas las plumas en un breve lapso de tiempo, un par de semanas, quedan imposibilitados para obtener alimento al no poder acceder al mar. Esto hace que en el periodo previo a la muda necesiten acumular una gran cantidad de grasas para poder hacer frente a sus demandas energéticas. Estas son bastante grandes debido a la necesidad de sintetizar una gran cantidad de proteínas para la formación de las plumas. Por otra parte la muda es un momento delicado en cuanto a la posibilidad de la aparición de infecciones debido a la alta capilarización para la formación de las nuevas plumas. Nuestros resultados indican por un lado que entre los dos estadios, reproductivo y muda, el primero es el más estresante y por tanto el más demandante desde el punto de vista energético. En segundo lugar los resultados indican que el sistema inmune muestra una respuesta compleja con marcadas diferencias entre la respuesta celular y la respuesta humoral, siendo la primera más baja durante la reproducción y la segunda más baja durante la muda. Estos resultados muestran que los diferentes componentes del sistema inmune sufren una situación de compromiso en función de la demanda energética necesaria para satisfacer las distintas necesidades (Barbosa et al., 2008).

La vida en la Antártida se caracteriza por las bajas temperaturas existentes lo cual implica que los animales deben realizar esfuerzos para mantener su temperatura de manera constante, es lo que se denomina termorregulación. Estos esfuerzos están también caracterizados por un determinado gasto energético que al igual que se ha indicado anteriormente puede interaccionar con las demandas de otro tipo como la respuesta inmune. En este sentido sería esperable que existieran situaciones de compromiso entre ambas funciones, de manera que los individuos que más invirtieran en termorregulación no fueran capaces de invertir en una respuesta inmunitaria más potente. Los resultados sin embargo no indican la existencia de dichos compromisos sino que los individuos con mayor capacidad de termorregulación son capaces de montar una respuesta inmune más potente. Esto podría significar que la termorregulación no es una actividad de gran demanda energética en el caso de los pingüinos (Belliure et al., comunicación personal).

Como se ha comentado anteriormente en la península antártica existen diferencias latitudinales en cuanto a la presencia y abundancia de parásitos lo cual condicionará la respuesta inmunitaria. Analizando la variación latitudinal de la respuesta inmune humoral hemos encontrado efectivamente dicha variación de forma general en las tres especies de pingüinos de manera que las poblaciones situadas más al norte muestran respuestas más altas que las situadas en el sur (Barbosa et al., 2007a).

Una de las cuestiones que pone de manifiesto cómo los cambios en la dieta derivados del cambio climático pueden afectar a la fisiología de las especies es la relación que parece existir entre el consumo de krill y los niveles de carotenos. En concreto la astaxantina en la sangre, de manera que por ejemplo el ayuno que se produce durante la muda afecta provoca una dramática desaparición de los carotenos en el torrente sanguíneo (Barbosa et al., comunicación personal). Esta variación en la abundancia y calidad del krill parece afectar también a la expresión de rasgos que potencialmente puede considerarse como caracteres sexuales secundarios como es el caso del color rojo-anaranjado del pico del pingüino papua (Cuervo et al., 2009). En este caso, la variación geográfica que se encuentra en diferentes poblaciones de esta especie parece depender de la mayor o menor presencia de krill y no del estrés ambiental (Barbosa et al., comunicación personal). Es por tanto esperable que la disminución del krill debido al cambio climático u otros factores como las pesquerías o la competencia con otros depredadores como las ballenas pueda afectar a los niveles de carotenos con consecuencias en la respuesta inmunitaria, en la capacidad de reducción del estrés oxidativo e incluso en los procesos de selección sexual.

Por otra parte, hay que comentar que la Antártida si bien puede considerarse como el último lugar prístino del planeta, esta sufriendo en las últimas décadas un incremento de visitas, por una parte de los propios científicos en un número de 4000 cada año y por otra parte de turistas en un número de 40000 al año (Tin et al., 2009). Esto podría estar provocando efectos en el

ecosistema, y por tanto en las poblaciones de pingüinos. En relación a este factor, hemos estudiado la presencia de metales pesados en las plumas de los pingüinos encontrando niveles altos, en algunos casos similares a los niveles encontrados en el ártico de algunos metales como el plomo o el cromo (Jerez et al. 2008). En algunos casos parece constatar que existe una relación entre malformaciones eritrocitarias y proteínas de estrés y los niveles de influencia humana (Barbosa et al. datos sin publicar, Barbosa et al. 2007b)

¿Cuál es el futuro? Si bien las poblaciones de pingüinos en la actualidad y a pesar de las reducciones ya comentadas son todavía abundantes, se han realizado estudios en los que utilizando las proyecciones derivadas de los informes del IPCC se ha estimado cual sería el impacto en sus poblaciones (Jenouvrier et al., 2009). Los resultados indican que si la temperatura aumentara 2°C la reducción de las poblaciones de las dos especies genuinamente antárticas como son el pingüino de Adelia y el pingüino emperador se reducirían en un 75%. A esta reducción habría que sumar el estado de salud en el que estarán los pingüinos considerando efectos subletales. Por lo tanto el panorama no parece demasiado alentador. Estos datos son los que hacen de los pingüinos unos excelentes centinelas del estado de salud del ecosistema antártico y de forma sutil pero cada vez más a voz en grito nos dan cuenta del grave deterioro ambiental que puede sufrir la Antártida, que para concluir, conviene recordar que es el motor climático del planeta tierra.

Agradecimientos

Los resultados mostrados en el presente artículo han sido obtenidos en los proyectos REN2001-5004, CGL2004-01348, POL205-05175 y CGL2007-60369 financiados por el Ministerio de Ciencia e Innovación. Estos resultados contribuyen al proyecto BIRDHEALTH del Año Polar Internacional. Quiero agradecer en primer lugar a los investigadores participantes en estos proyectos así como a los distintos integrantes de las dotaciones de la base antártica Gabriel de Castilla, el buque Las Palmas y de la base antártica argentina Jubany durante los años que hemos disfrutado de su hospitalidad y apoyo. Así mismo quiero expresar mi agradecimiento al Subprograma Nacional de Investigación Polar, al Comité Polar Español, al Instituto Antártico Argentino y muy especialmente a la Unidad de Tecnología Marina del CSIC.

Referencias

- Atkinson, A., Pakhomov, E., Rothery, P., Siegel, V. 2004. Long-term decrease in krill stocks and increase in salps within the Southern Ocean. *Nature* 432:100-103.
- Barbosa, A., Merino, S., Benzal, J., Martínez, J., García-Fraile, S. 2007a. Geographic variation in the immunoglobulin levels in pygoscelid penguins. *Polar Biology* 30: 219-225.
- Barbosa, A., Merino, S., Benzal, J., Martínez, J., García-Fraile, S. 2007b. Population variability in heat shock proteins among three Antarctic penguin species. *Polar Biology* 30: 1239-1244.
- Barbosa, A., Palacios, M.J., Valera, F. 2008. Immunological differences between reproduction and moulting status in the chinstrap penguin. En: *SCAR/IASC IPY Open Science Conference "Polar Research – Arctic and Antarctic perspectives in the International Polar Year". Abstract Volume* pp. 223. XXX SCAR Open Science Conference. San Petersburgo, Rusia. ISBN 978-5-98364-013-09
- Barbosa, A., Palacios, M.J. 2009. Health of Antarctic birds: A review of their parasites, pathogens and diseases. *Polar Biology* 32:1095-1115.
- Barbosa, A., Benzal, J., Vidal, V., D'Amico, V., Coria, N., Díaz, J., Molas, M., Palacios, M.J., Cuervo, J.J., Ortiz, J., Chitimia, L. 2011 (en prensa). Seabirds ticks (*Ixodes uriae*) distribution along the Antarctic Peninsula. *Polar Biology* 00:000-000.
- Barbraud, C., Weimerskirch, H. 2006. Antarctic birds breed later in response to climate change. *Proceedings of the National Academic of Sciences* 103:6248-6251.
- Carlini, A.R., Coria, N.R., Santos, M.M., Negrete, J., Juares, M.A., Daneri, G.A. 2009. Responses of *Pygoscelis adeliae* and *P. papua* populations to environmental changes at Isla 25 de Mayo (King George Island). *Polar Biology* 32:1427-1433.
- Clayton, D.H., Moore, J. 1997. *Host-parasite evolution: general principles and avian models*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Cuervo, J.J., Palacios, M.J., Barbosa, A. 2009. Beak colouration as a possible sexual ornament in gentoo penguins: sexual chromatism and relationship to body condition. *Polar Biology* 32:1305-1314.

Emslie, S.D., Fraser, W., Smith, R.C., Walker, W. 1998. Abandoned penguin colonies and environmental change in the Palmer Station area, Anvers Island, Antarctic Peninsula. *Antarctic Science* 10: 257-268.

Harwell, C.D., Mitchell, C.E., Ward, J.R., Altizer, S., Dobson, A.P., Ostfeld, R.S., Samuel, M.D. 2002. Climate warming and disease risk for terrestrial and marine biota. *Science* 296:2158-2163.

Hillgarth, N., Wingfield, J.C. 1997. Parasite-mediated sexual selection: endocrine aspects. En: Clayton D.H., Moore, J. (eds.). *Host-parasite evolution. General principles and avian models*, pp. 78–104. Oxford University Press, Oxford, UK.

IPCC 2007. Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the IPCC. En: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Margus, M., Averyt, K., Tignor, M.M.B., Miler, Jr. H.L. (eds.). *Cambridge Univeristy Press for the Intergovernmental Pannel of Climate Change*, Cambridge Univeristy Press, Cambridge, UK.

Jenouvrier, S., Caswell, H., Barbraud, C., Holland, M., Stroeve, J., Weimerskirch, H. 2009. Demographic models and IPCC climate projections predict the decline of a emperor penguin population. *Proceedings of the National Academic of Sciences* 106:1844-1847.

Jerez, S., Motas, M., Tortosa, M.M., Ortiz, J., Valera, F., Palacios, M.J., Benzal, J., De La Cruz, C., Cuervo, J., Martinez, A., Barbosa, A. 2008. Trace and toxic elements in three species of Antarctic penguins: A preliminary research. *Toxicology Letters* 180:S186.

Lynch, H.J., Fagan, W.F., Naveen, R. 2008. Population trends and reproductive success at a frequently visited penguin colony on the western Antarctic Peninsula. *Polar Biology* 33:493-503.

Merino, S., Barbosa, A., Moreno, J., Potti, J. 1997. Absence of haematozoa in a wild chinstrap penguin (*Pygoscelis antarctica*) population. *Polar Biology* 18:227-228.

McClintock, J., Ducklow, H., Fraser, W. (2008). Ecological responses to climate change on the Antarctic Peninsula. *American Scientist* 96:302-310.

Møller, A.P. 1997. Parasites and the evolution of host life history. En: Clayton, D., Moore, J. (eds.). *Host-Parasite Evolution: General Principles and Avian Models*, pp 105-127. Oxford University Press, Oxford, UK.

Montes-Hugo, M., Doney, S.C., Ducklow, H.W., Fraser, W., Martinson, D., Stammerjohn, S.E., Schofield, O. 2009. Recent changes in phytoplankton communities associated with rapid regional climate change along the western Antarctic Peninsula. *Science* 323:1470-1473.

Palacios, M.J., Barbosa, A., Pedraza-Díaz, S., Ortega-Mora, L.M., Valera, F., Cuervo, J.J., Benzal, J., De La Cruz, C. 2010. Apparent absence of *Cryptosporidium*, *Giardia* and *Toxoplasma gondii* in three species of penguins along the Antarctic Peninsula. *Antarctic Science* 22:265-270.

Rau, M.E. 1983. Establishment and maintenance of behavioural dominance in male mice infested with *Trichinella spiralis*. *Parasitology* 86:319-322.

Sander, M., Balbao, T.C., Costa, E.S., dos Santos, C.R., Petry, M.V. 2007. Decline of the breeding population of *Pygoscelis antarctica* and *Pygoscelis adeliae* on Penguin Island, South Shetlands, Antarctica. *Polar Biology* 30:651-654.

Smith, R.C., Stammerjohn, S.E. 2001. Variation on surface air temperature and sea ice extent in the western Antarctic Peninsula (WAP) region. *Annals of Glaciology* 33:493-500.

Stammerjohn, S.E., Martinson, D.G., Smith, R.C., Ianuzzi, R.A. 2008. Sea ice in the western Antarctic Peninsula region: Spatio-temporal variability from ecological and climate change perspectives. *Deep-Sea Research II* 55:2041-2058.

Steig, E.J., Schneider, D.P., Rutherford, R.D., Mann, M.E., Comiso, J.C., Shindell, D.T. 2009. Warming of the Antarctic ice-sheet surface since the 1957 International Geophysical Year. *Nature* 457:459-463.

Tin, T., Fleming Z.L., Hughes, K.A., Ainley, D.G., Convey, P., Moreno, C.A., Pfeiffer, S., Scott, J., Snape, I. 2009. Impacts of local human activities on the Antarctic environment. *Antarctic Science* 21:3-33.

Turner, J., Bindshadler, R., Convey, P., di Prisco, G., Fahrbach, E., Gutt, J., Hodgson, D., Mayewski, P., Summerhayes, C. 2009. *Antarctic climate change and the environment*. SCAR. Cambridge. UK