

DOSSIER

INVESTIGAR EN LA ANTÁRTIDA

En momentos en los que algunos sectores de la política y también de la sociedad ponen en cuestión la utilidad de la ciencia básica, amenazando a los diversos organismos e instituciones que sostienen el desarrollo científico y tecnológico en toda la nación, Desde la Patagonia propone a sus lectores este interesante dossier sobre investigaciones que se desarrollan en la vasta región antártica.

Coordinado por Cecilia Fourés y Mónica de Torres Curth

Muchos de los trabajos que se llevan a cabo en la Antártida Argentina son poco conocidos fuera del ámbito específico de la disciplina a la que pertenecen y nos pareció más que oportuno acercar a nuestros lectores una muestra de ellos para divulgar los singulares aportes científicos que se realizan en esta región recóndita de nuestro país (y del planeta). Empezamos con una entrevista al actual director del Instituto Antártico Argentino (IAA) -organismo científico en el cual estas investigaciones se desarrollan-, quien nos cuenta sobre todo el espectro de trabajos que se llevan a cabo, y la importancia de los mismos, no solo para el desarrollo de la ciencia de nuestro país, sino a nivel internacional. También nuestro entrevistado nos brinda detalles sobre las formas en que estos estudios se organizan.

La investigación en la Antártida, que se enfoca en todo el continente, tiene, en palabras del director del IAA, programas en las diferentes áreas de las ciencias. De cada una de esas áreas se seleccionó un artículo para dar una muestra del amplio espectro de lo que allí se investiga. Por un lado, en el área de las Ciencias Físicoquímicas e investigaciones ambientales Carolina Matula, Gabriela Campana, Dolores Deregibus y María Liliana Quartino, en el artículo que titulan “Una mirada a través de las macroalgas: ingenieras de un ecosistema marino antártico”, nos acercan al mundo de las macroalgas, organismos que desempeñan un papel fundamental en la producción de oxígeno y en la absorción de dióxido de carbono de la atmósfera, lo que contribuiría a regular el clima global. En el marco de las Ciencias Geológicas, en su artículo titulado “Larsen B, un retrato del calentamiento”, Liliana Margonari, Sebastián Marinsek y Juan Manuel Lirio se preguntan de qué forma afecta el cambio climático al continente antártico, donde se encuentra la mayor reserva glaciar y por ende la mayor reserva de agua dulce del planeta. En el área de las Ciencias Sociales, Pablo Fontana y Laura Dopchiz, en su artículo “Forestación Antártica”, cuentan una historia poco conocida sobre un proyecto argentino de introducción

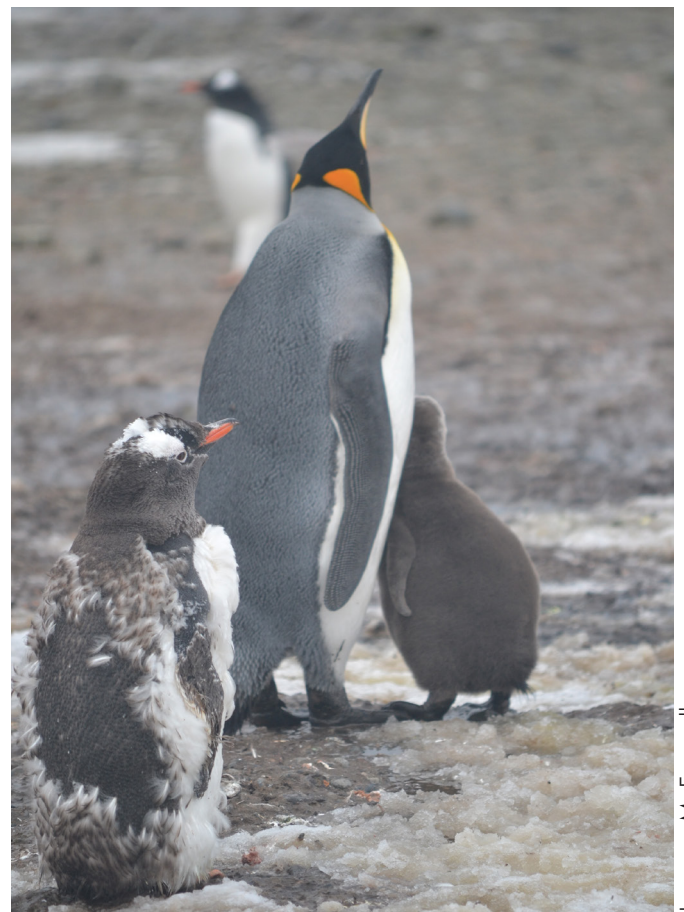


Imagen: M. Fasonella.

de árboles patagónicos en el continente antártico durante la década de 1950. Finalmente, en relación a las Ciencias de la Vida, presentamos un artículo “Entre humanos y aves”, cuyos autores son Carla Di Fonzo y Martín Ansaldo, quienes estudian el impacto de las acciones humanas en la salud de las poblaciones de pingüinos, a través estudio de la bioquímica sanguínea y del equilibrio entre los compuestos oxidantes y antioxidantes.

Estos artículos constituyen -usando una metáfora relacionada con el ambiente que nos ocupa- “la punta del iceberg” del vasto espectro de investigaciones que se desarrollan en el extenso territorio antártico. Invitamos a nuestros lectores a disfrutar de ellos.

DOSSIER

INVESTIGAR EN LA ANTÁRTIDA

ENTREVISTA A WALTER MAC CORMACK

Walter Mac Cormack es actualmente el director del Instituto Antártico Argentino. Para conocer más a fondo las características de este lugar único, Desde la Patagonia conversó con él.

Por Cecilia Fourés y Mónica de Torres Curth

Desde La Patagonia (DLP): Para que nuestros lectores te conozcan, contanos cuál es tu formación y a qué te dedicás dentro de la ciencia.

Walter Mac Cormack (WMC): Soy biólogo y me especialicé en microbiología y biotecnología; la microbiología como parte del estudio de la biodiversidad microbiana y la biotecnología como la posibilidad de estudiar y aprovechar las adaptaciones de los microorganismos, especialmente de aquellos que viven en ambientes extremos y que por ende tienen mucho interés, más allá de lo académico, en el campo de la microbiología industrial y la biotecnología. Actualmente, y desde hace cuatro años, ocupó el cargo de director en el Instituto Antártico.

DLP: ¿Qué es el Instituto Antártico Argentino?

WMC: El Instituto Antártico es un instituto de investigación científica, de hecho, es el primer instituto del mundo que se creó con el objetivo de hacer ciencia antártica. Se creó en el año 1951, este año ya cumplimos 72 años! Su foco de investigación es todo un continente y tiene programas en las diferentes áreas de las ciencias. Por un lado, las ciencias biológicas en todas sus manifestaciones desde la microbiología hasta los predadores tope, pasando por las macroalgas, el fitoplancton, el zooplancton, las aves, etc. Por otro lado, las ciencias geológicas, también en su amplio espectro, desde la paleontología y la geología estructural a la dinámica de los glaciares y los hielos marinos. Además, las ciencias ambientales, la química ambiental, la oceanografía, la física de la atmósfera y finalmente un área de ciencias sociales, porque el Instituto Antártico también se ocupa del acervo histórico, de todo lo que son monumentos naturales y lo relacionado con derivados de la actividad del hombre, en esa historia tan rica que tiene la Argentina en la Antártida, que es probablemente la historia más extensa en todo el mundo. Porque en 1904 Argentina obtuvo lo que fue un observatorio meteorológico que luego se transformó en la Base Orcadas -que aún hoy continúa- y desde entonces tenemos presencia continua todos los años. El año que viene se cumplen



Imagen: gentileza de W. Mac Cormack.

Walter Mac Cormack.

120 años de presencia ininterrumpida de Argentina en la Antártida, fundamentalmente haciendo investigación. De toda la actividad antártica del país, que tiene varias aristas y muchos perfiles, el Instituto es el encargado de la ciencia. Es parte del Consejo Interinstitucional de Ciencia y Técnica y, como tal, forma recursos humanos calificados en ciencia antártica y, además, es el encargado por ley de coordinar toda la actividad científica en la Antártida. Por eso tenemos colaboraciones con muchas instituciones: diferentes institutos de investigación y Universidades como la del Comahue, del Sur, de Tierra del Fuego, de Córdoba, de La Plata y de Buenos Aires, entre otras. Este es un poco el panorama general de lo que es el instituto y cuál es su misión.

DLP: Cuando se habla de bases en la Antártida, se suele pensar que se trata de bases militares ¿es así?

WMC: Sí, la historia antártica está un poco teñida también de lo militar, fundamentalmente porque la logística de traslado de personal y de carga hacia y desde la Antártida está manejada inevitablemente por las fuerzas. Tanto la Fuerza Aérea, mediante los Hércules y los helicópteros, la Marina en todo lo que es el traslado: rom-

DOSSIER



Imagen: gentileza de W. Mac Cormack.

Vista del exterior del laboratorio interdisciplinario de la Base Antártica Esperanza. Este laboratorio, junto con otros dos ubicados en las bases Orcadas y San Martín y dos pequeños refugios, fueron construidos recientemente mediante un convenio entre los ministerios de Relaciones Exteriores y Culto, Defensa y Ciencia, Tecnología e Innovación.

pehuelos, traslados de carga en general y de personal; y el Ejército también, porque administra algunas de las bases. Actualmente la coordinación de las actividades de las Fuerzas en Antártida está concentrada en lo que se denomina Comando Conjunto Antártico. La Argentina tiene ya siete bases permanentes: Belgrano, San Martín, Orcadas, Esperanza, Carlini, Marambio y, hoy por hoy, ya podemos considerar a Petrel como una base permanente más. Hay un proyecto actual de puesta en valor de esa base que estaba desactivada y que tiene la ventaja de tener una pista de aviación, alternativa a Marambio, que permitirá un trabajo mucho más fluido de intercambio con el continente. Marambio tiene una serie de inconvenientes climáticos y topográficos: está en una meseta a trecientos metros de altura y tiene un clima complicado, de manera que toda la descarga hay que hacerla por helicóptero porque es imposible bajar la carga con lancha, debido a la ubicación de la base sobre la meseta. De manera que es complicada desde el punto de vista logístico. Por lo que, de alguna manera, Petrel aliviana o soluciona un poco ese aspecto. También hay algunas bases sólo de verano, que se abren cuando algún grupo de investigación lo requiere: Cámara, Decepción, Primavera, Melchior, Brown y Matienzo.

DLP: Supimos que se están haciendo algunos nuevos laboratorios en las bases de la Antártida, ¿es así?

10 WMC: Una de las dificultades que encuentran los grupos de investigación se relaciona con las comodidades desde el punto de vista científico. Hay algunas bases

que tienen una buena infraestructura, por ejemplo, la base Carlini, que tiene un laboratorio bien equipado donde uno puede ir a hacer bastante más que tomar una muestra y guardarla para trabajar en el continente. Se puede ir ahí a procesarla y trabajarla. Por ejemplo, si uno trabaja en microbiología puede hacer ahí el cultivo de los microorganismos o aislar el ADN para hacer estudios de secuenciación. Pero el resto de las bases tiene capacidades más limitadas. Para algunos grupos de investigación es suficiente la parte logística, por ejemplo, los geólogos van a campamentos cerca de Marambio, y quizás no requieren un laboratorio con grandes equipamientos, pero muchas áreas de la biología sí lo requieren. Así que de alguna manera las bases no eran equivalentes en cuanto su capacidad para albergar actividades científicas. Hace un par de años se puso en marcha un programa del Ministerio de Ciencia que se llama Construir Ciencia. En la primera convocatoria, con el Comando Conjunto Antártico que es del Ministerio de Defensa, nos presentamos con la propuesta de la construcción de tres laboratorios en tres de las bases permanentes para mejorar la posibilidad de hacer ciencia en la Antártida. Fuimos beneficiados por este programa como muchos grupos de distintas instituciones. Esta financiación permitió concretar la construcción de los laboratorios que se encuentran en las bases Esperanza, San Martín y Orcadas. También se construyeron dos refugios pequeños que son de apoyo a grupos puntuales de investigación pero que en vez de ir a regiones donde realmente el campamento es riesgoso, van a poder tener un lugar con un poco más de comodidad, tanto para su actividad de trabajo como para poder pernoctar y pasar una temporada ahí. Así que esa primera etapa del programa Construir Ciencia, para nosotros está prácticamente finalizada y realmente ha mejorado mucho las condiciones. Ahora hay que equiparlos, es otra etapa, pero ya disponemos del recinto para poder trabajar de otra manera.

DLP: Los científicos que integran los grupos de investigación, ¿viven allá, o van y vienen al continente?

WMC: La campaña antártica -que es la actividad científica y logística- tendríamos que dividirla en dos grandes etapas. Una es la campaña de verano, que es el período del año donde hay mayor actividad porque las condiciones climáticas y del terreno lo permiten mucho más. Numerosos grupos de investigación van en esa campaña que se extiende -días más, días menos- desde principios o mediados de diciembre hasta fin de marzo o principios de abril; más o menos unos tres meses o un poquito más. En ese período hay una enorme actividad científica de todos los grupos. Pero después está

DOSSIER

la campaña de invierno: hay investigadores -no tantos- que van por todo el año. Van en una temporada de verano y se quedan trabajando hasta la siguiente. En todas las bases permanentes, el Instituto tiene invernan-tes que trabajan en laboratorios interdisciplinarios.

DLP: Aproximadamente ¿qué volumen de gente se mueve ahí?

WMC: Hablando solo de científicos y técnicos, aproximadamente son 200, dependiendo de la campaña. A eso hay que sumarle todo lo que significa lo logístico: las tripulaciones de los buques y de los aviones, más las dotaciones. Cada base tiene una dotación que pasa el año y eso también suma unas cuantas personas por base. Pero los científicos y técnicos, puedo aproximar un número que supera un poco las 200 personas. La mayor parte de ellos va a la campaña de verano, y una parte minoritaria se queda durante todo el año hasta el verano siguiente.

DLP: ¿Por qué es importante la investigación en la Antártida?

WMC: Esta es una pregunta que puede tener diferentes respuestas... Como biólogo y como científico puedo transmitirles que la Antártida es un lugar único de investigación. Es un lugar aún hoy poco explorado. De manera que por el lado académico hay un enorme campo de conocimiento que está todavía virgen allí y eso es válido en menor o mayor medida para prácticamente todas las áreas del conocimiento. A eso le sumo que, además de lo académico, existe en esa biodiversidad, una enorme cantidad de conocimientos por encontrar que pueden llegar a darnos nuevos productos y nuevas actividades que quizás mejoren la vida de todos los habitantes del país y del mundo ¿no? Yo siempre juego con un ejemplo de otros ambientes extremos, y que me parece bastante visual, que es el relacionado con los extremófilos de altas temperaturas o termófilos. Hace ya unos 50 de años que un microbiólogo aisló una bacteria que la llamó *Thermus aquaticus* de Yellowstone: una bacteria que crece y vive feliz a 80°C, aunque a uno le parezca mentira. Unos años después alguien aisló de esa bacteria, una enzima como parte de un estudio básico y académico, la taq polimerasa, o sea una enzima que polimeriza ADN. Pero con la particularidad de que esa enzima, como viene de ese bichito, sorprendentemente trabaja a 80°C sin problemas, cuando cualquier polimerasa de otro organismo que vive a temperaturas moderadas se desorganiza y pierde su actividad biológica a esa temperatura. En esta enzima se basa lo que hoy llamamos Reacción en Cadena de la Polimerasa o PCR que se ha mencionado tanto en los últimos tiem-

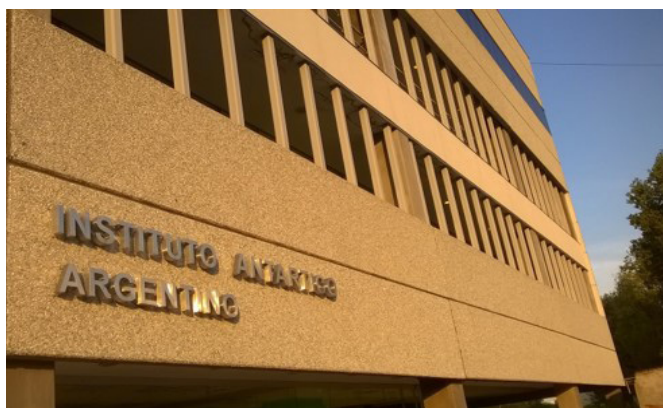


Imagen: gentileza de W. Mac Cormack.

El Instituto Antártico Argentino, fundado el 17 de abril de 1951, fue el primer instituto científico del mundo creado exclusivamente para realizar investigación científica en las Antártida.

pos, entre otras cosas, porque nos permitió identificar al COVID y nos permite identificar a la gripe aviar, que es un problema muy grave también. Además es una técnica de investigación y de diagnóstico médico que mueve miles de millones de dólares. Este es un ejemplo de las cosas que pueden ocurrir saliendo de la investigación básica y encontrando propiedades que pueden ser aplicadas y tener un gran interés para toda la humanidad. Así que eso también es parte del por qué investigar en la Antártida. Permítanme sumar a eso el aspecto político y diplomático, que no es menor. La Argentina –más allá de que tiene un reclamo soberano sobre una región de la Antártida–, es uno de los 12 países miembros firmantes originales del Tratado Antártico, que establece que la Antártida es una región dedicada a la paz y a la ciencia. Así que también por eso es muy importante desarrollar investigación científica en la Antártida.

DLP: Esto significa que hay interacción entre investigadores de otros países también ¿verdad?

WMC: ¡Sí!, yo mencionaba recién que son 200 los investigadores que se mueven por campaña. Si vos ves el Plan Anual Antártico, que es un documento que todos los años presenta el Estado Nacional con todas las actividades científicas y logísticas que se van a realizar el año próximo, ahí hay planeados 54 o 55 proyectos de investigación con 88 grupos de trabajo (porque algunos proyectos requieren más de un grupo de trabajo en diferentes sitios de Antártida). Todo eso no lo podría realizar el staff de investigadores del Instituto Antártico solo, más allá de que la endogamia no es buena en ningún instituto de investigación. De manera que hay una enorme cooperación, con muchas instituciones nacionales como el INTA, el INTI, el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), el Instituto Geográfico Nacional, el Servicio de Hidrografía Naval, un montón de univer-

DOSSIER

Imagen: gentileza de W. Mac Cormack.



El Rompehielos ARA Almirante Irizar realiza todos los años la Campaña Antártica, transportando a los científicos y dotaciones a las distintas bases y refugios, así como gran parte de la carga necesaria para su normal funcionamiento.

sidades y además, obviamente, hay cooperación con grupos del exterior, la mayor parte de ellos sostenidos por proyectos de cooperación en conjunto, con muchos países. Una de las características de la Antártida es que se trata de un lugar donde converge el mundo. La base Carlini tiene a unos pocos kilómetros la base de Corea, al lado de ella la de Uruguay; a unos poquitos kilómetros la de China, la de Rusia y la de Chile, y cruzando un glaciar está la de Polonia. O sea que uno tiene una interacción como si el mundo se hubiera achicado a una pequeña región y eso también lleva a una más fácil interacción científica, y por ende se generan muchas actividades en cooperación que quizás podrían ser más difíciles de generar en otros ámbitos. De hecho, la base Carlini tuvo durante 30 años la particularidad de tener un laboratorio conjunto en su territorio, se llamó el laboratorio Dallman y estuvo manejado en cooperación por Alemania y Argentina. Es uno de los pocos ejemplos donde no solo hay grupos que cooperan, sino un laboratorio conjunto en una de las bases, así que Alemania es uno de los países con los que más trabajamos porque tienen una investigación polar también muy fuerte. Pero son más de 20 los países con los cuales tenemos proyectos en desarrollo.

DLP: Esto necesita, obviamente, del aporte del Estado. La inversión del Estado, ¿ha seguido siempre el mismo curso o, al contrario, ha habido períodos de mucha inversión y otros de desinversión?

WMC: Es una pregunta también con montón de respuestas diferentes ¿no? Conocemos lo que es nuestro país históricamente y los vaivenes económicos. Yo tengo 38 años en la ciencia y esos vaivenes han existido siempre. Es cierto que hay etapas de nuestra historia institu-

cional en las que fuimos más perjudicados –o menos beneficiados– y es cierto porque las políticas del apoyo a la ciencia han oscilado mucho y lamentablemente no hay una política de Estado que permita que, independientemente de los gobiernos y de los colores de los gobernantes, haya un apoyo a una política de Estado científica más o menos consistente. Así que sí, hay una oscilación. Corresponde mencionar que en este último periodo, el Ministerio de Ciencia ha apoyado mucho a los investigadores, a los institutos de investigación y lo que les mencioné de los laboratorios en esas tres bases es un ejemplo de ello. Hacía varias décadas que Argentina no construía laboratorios nuevos en la Antártida. Ahora hay además un proyecto similar del Ministerio de Ciencia que se llama Equipar Ciencia y bajo ese proyecto es que estamos en camino de equipar estos laboratorios. Porque tampoco es sencillo y es muy costoso equipar los laboratorios. Así que creo que corresponde mencionar que transcurrimos uno de los períodos donde la investigación en general y en el caso del Instituto en particular, han sido beneficiados con un apoyo importante. Me permito indicar que el Instituto Antártico es la pata científica de una estructura y depende de la Dirección Nacional del Antártico, que es una dependencia de Cancillería, o sea que dependemos del Ministerio de Relaciones Exteriores, justamente por esa cosa tan particular de que no solo es investigación científica sino que la misma debe estar orientada también a los intereses de la nación. Como investigadores eso tiene sus pros y sus contras, depender no solo del Ministerio de Ciencia o del Conicet o de una universidad o ser un ente descentralizado de ciencia, sino depender de un ministerio como el Ministerio de Relaciones Exteriores.

DOSSIER

DLP: ¿Podrías mencionar algunas de las líneas prioritarias de investigación que se desarrollan en el Instituto?

WMC: Como les decía, más allá de que tenemos la misión de desarrollar ciencia en todas las áreas, obviamente las líneas prioritarias están determinadas tanto por los intereses del propio país y del Estado como por lo que representan las líneas de investigación relevantes a nivel científico e internacional. Porque también el Instituto por un lado asesora a todos los estamentos de discusión política y diplomática que tienen relación con la Antártida, fundamentalmente de las reuniones consultivas del Tratado Antártico, donde se toman las decisiones que después deben aplicarse en el área antártica, por debajo del Paralelo 60°. Pero también, por ejemplo, forma parte del Comité Científico de Investigación Antártica (SCAR por sus siglas en inglés, *Scientific Committee on Antarctic Research*) que es el gran estamento internacional del área científica. Las líneas de investigación también tienen prioridades a nivel internacional desde el punto de vista científico, así que de alguna manera compatibilizamos esos dos mundos. Por un lado, una de las líneas prioritarias es el estudio de las conexiones entre la Antártida y el continente Sudamericano porque eso tiene implicancias no solo geológicas o biológicas, sino que esos resultados, que apoyan la continuidad entre ambas regiones, refuerzan la posición del país en cuanto al reclamo de ese territorio. También es prioridad el estudio de la biodiversidad de los diferentes ecosistemas antárticos, la biodiversidad presente y también la del pasado, la paleontología, esto es, cuál era la biodiversidad en otras épocas, o sea que se estudia la biodiversidad en el amplio sentido de la palabra. Por ejemplo, en Antártida hay una diversidad microbiana muy poco conocida que hoy puede explorarse con herramientas mucho más poderosas como son las de la biología molecular. Antes solo se conocían las bacterias que crecían en un medio de cultivo, hoy se sabe que solo un uno por ciento crece en cultivo, o sea que el otro 99% solo puede ser conocido a partir de la posibilidad de tener su información genética y de secuenciarla. Obviamente, otro de los grandes temas que es transversal a todo el Instituto, es el cambio climático y sus efectos. Esto también abarca estudios de los grupos de geología, grupos de biología de las más diversas áreas, gente que estudia la atmósfera y el clima espacial, gente que estudia las corrientes, la oceanografía, etc. El cambio climático es uno de los temas más prioritarios a nivel mundial. Otra de las líneas prioritarias es la conservación del medioambiente, y por ende el monitoreo de la presencia de moléculas contaminantes, así como la posibilidad de biorremediar las áreas afectadas aprovechando la actividad de los microorganismos locales, ya

que no se puede introducir ningún organismo alóctono en la Antártida. Pero sí se puede estudiar la posibilidad de utilizar los microorganismos locales para degradar, por ejemplo, los hidrocarburos, una de las principales fuentes de contaminación en la Antártida. Actualmente también, los micro y los nano plásticos constituyen otro problema global que preocupa mucho al área científica. Por otro lado, en el área de las ciencias sociales, el rescate y la puesta en valor de la memoria antártica en el amplio sentido: en cuanto a todo el registro fílmico, periodístico y también en cuanto al mantenimiento de los sitios históricos de Argentina en la Antártida. Por último, otra de las líneas prioritarias se relaciona en la conservación de los recursos vivos marinos y en ese sentido el instituto hace estudios que aportan y asesoran al Consejo de Protección Ambiental que se desarrolla paralelamente a las reuniones del Tratado Antártico o a la Convención para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos. Así que ese asesoramiento y también la creación de áreas marinas protegidas, constituye una de las líneas prioritarias del Instituto. También, agregó que hoy el Instituto está desarrollando un convenio con la Organización Internacional de Energía Atómica para usos pacíficos. Este organismo está muy interesado en que el Instituto sea uno de los nodos que permita identificar –y de alguna manera palear– el problema de los nano y micro plásticos en la Antártida. Y uno podrá pensar qué tendrá que ver la Organización de Energía Atómica Internacional (ya que el Tratado también prohíbe toda actividad de energía nuclear en la Antártida en lo que respecta a lo que es bélico), pero existen metodologías basadas en isótopos estables que permiten la identificación de una manera muy precisa del tipo de micro y nano plástico que estamos detectando y de ahí en adelante, permiten la posibilidad de tomar medidas para palear ese problema en los mares, que es mundial.

DLP: Uno se imagina la Antártida como un ambiente de hielo y agua, ¿cuáles son los ecosistemas a los que te referís?

WMC: En realidad cuando uno dice agua, aun en la Antártida, pueden diferenciarse varios ecosistemas. Uno de ellos es el ecosistema costero, por ejemplo, en el que se desarrolla el trabajo sobre macroalgas que integra la actividades del IAA. Otro es el ecosistema marino de profundidades mayores, o sea, aquellos que están más lejos de las masas de tierra y tienen particularidades y diversidad completamente diferentes. Con el hielo pasa lo mismo. Hace poquito hubo una noticia bastante confusa acerca del desprendimiento de un glaciar del tamaño de la Argentina. En realidad, era hielo marino,

DOSSIER

Imagen: gentileza de W. Mac Cormack.



La Base Científica Carlini es una de las más activas de nuestro país, especialmente en lo referente a las investigaciones científicas del área de las ciencias biológicas. Se encuentra en la Isla 25 de Mayo, archipiélago de las Shetland del Sur.

hielo marino es el que se genera por congelamiento del mar sobre el seno de agua de mar, que es diferente al hielo glaciar, que es el hielo que está por sobre la tierra y que va fluyendo hacía al mar. No es que estén absolutamente desligados unos de los otros, pero son sistemas muy diferentes. Pensando en el agua solamente, algunos cuerpos de agua de la Antártida, fundamentalmente en el norte de la península, durante el verano se liberan de hielo y se generan lagos y lagunas. Por ejemplo, la base Carlini toma el agua para beber de una laguna que está en estado líquido durante el verano y que en el invierno se congela arriba y abajo no. Por suerte tienen una fuente permanente de agua potable, de agua dulce. Bueno, en esa laguna hay un ecosistema absolutamente diferente a lo que son las aguas marinas costeras. Asimismo, se estudia el ecosistema terrestre, fundamentalmente en el norte de la península, donde hay dos plantas vasculares, solo dos plantitas vasculares muy pequeñas, pero las hay... y una gran variedad de musgos y líquenes también. Un ecosistema muy diferente. Así que hay muchos ecosistemas distintos que son objeto de estudio en la Antártida.

DLP: Nos queda agradecerle por tu tiempo e invitarte a cerrar la nota con lo que gustes.

WMC: Quiero agradecer a ustedes por la inquietud de publicar los trabajos de la gente del Instituto, porque la divulgación para nosotros es muy importante también. Porque lo que no se conoce no se valora y si no se valora, tampoco tiene mucho sentido el trabajo que hacen todos los años los investigadores del Instituto. El trabajo que hacemos no empieza en el campo, o al recibir algo en el laboratorio, sino que nuestras investigaciones

tienen un trabajo muy grande de preparación. Ir a la campaña antártica implica una gran organización, tanto a nivel de la institución como también de los investigadores y los grupos, que tienen que pensar en todo el material, no pueden olvidarse de nada porque no hay posibilidad de ir a comprar algo a un lado. Eso sumado a que a veces es difícil de conseguir los fondos para poder subvencionarlo. Así que apenas termina una campaña, ya se está planeando la próxima precampaña. Nosotros llamamos precampaña a la actividad que se realiza antes de la campaña de verano y tiene que ver, por ejemplo, con la biología de especies que arriban para su ciclo reproductivo ahora en septiembre, de manera que van antes de diciembre, los lobos marinos, los elefantes marinos, muchas de las aves, los pingüinos... y los investigadores ya están saliendo para allá, siendo que la campaña anterior terminó hace muy poquito, a fin de abril... Entonces prácticamente estamos bajando del barco a fines de abril y ya estamos pensando en los invernantes nuevos... Es un trabajo muy arduo, por eso es bueno que se conozca y se valore, no solo por el trabajo, sino por la gente del IAA y de otras instituciones.

DLP: Muchísimas gracias.

DOSSIER

LA ANTÁRTIDA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

UNA MIRADA A TRAVÉS DE LAS MACROALGAS

Una lupa sumergida bajo los mares antárticos, recopilando y compartiendo el conocimiento sobre las macroalgas.

Carolina V. Matula, Gabriela L. Campana, Dolores Deregibus y María Liliana Quartino

Debajo de la inmensidad blanca y los extensos campos de hielo, las profundidades del mar antártico albergan una variedad de vida adaptada a las condiciones más extremas. En este paisaje submarino, organismos únicos han evolucionado para sobrevivir en un ambiente singular, desde formas de vida microscópicas hasta grandes mamíferos marinos. Como componentes fundamentales de los ecosistemas antárticos costeros se encuentran las macroalgas, organismos que viven asociados al fondo del mar.

Este artículo procura compartir información sobre las macroalgas, dando una mirada bajo la lupa sumergida en los mares antárticos, la cual fue recopilada a través del conocimiento generado por más de tres generaciones de científicas argentinas especializadas en ficología antártica.

Palabras clave: algas marinas, Antártida, cambio climático, ecosistemas marinos, líneas de investigación.

Carolina Verónica Matula¹

Lic. en Ciencias Biológicas
ucv@mrecic.gov.ar

Gabriela Laura Campana^{1,2}

Dra. en Ciencias Naturales
gwc@mrecic.gov.ar

Dolores Deregibus^{1,3}

Dra. en Ciencias Biológicas
ddu@mrecic.gov.ar

María Liliana Quartino¹

Dra. en Ciencias Biológicas
qum@mrecic.gov.ar

¹Departamento de Biología Costera. Instituto Antártico Argentino.

²Departamento de Ciencias Básicas. Universidad Nacional de Luján.

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Recibido: 01/09/2023. Aceptado: 14/11/2023.

El ecosistema marino antártico

La Antártida alberga una gran diversidad, biomasa y riqueza de flora y fauna. La mayoría de la vida antártica sucede en el mar, salvo algunos pocos organismos que han logrado conquistar el ambiente terrestre, tales como invertebrados, musgos, algunos líquenes y hongos, y solo dos representantes de las plantas vasculares (que viven exclusivamente en la Antártida): *Deschampsia antarctica* y *Colobantus quitensis*. El resto de los organismos viven asociados al mar y algunos solo se acercan a tierra en el verano austral para su reproducción.

Los organismos antárticos llevan un largo período de adaptación desde que el continente quedó aislado y las condiciones ambientales fueron cambiando de forma paulatina. Específicamente, la temperatura de la atmósfera se fue enfriando cada vez más, favoreciendo la formación de glaciares y las masas de agua fueron perdiendo temperatura, convirtiéndose en gélidas hasta como se las conoce hoy en día. Esto último, condujo a que los organismos que viven en la Antártida estén especialmente adaptados a vivir bajo estas condiciones extremas. Un porcentaje alto de estos organismos se encuentran exclusivamente en esta región, marcando un alto grado de endemismo en este continente.

La región antártica posee una marcada estacionalidad lumínica, con muchas horas de luz durante el verano austral, y de oscuridad en el invierno. Las bajas temperaturas, entre otros factores, conducen a la formación del hielo marino, que fluctúa año a año dependiendo de los vientos y de fenómenos como el ENOS y SAM (ver Glosario). Muchos organismos se han adaptado a estas condiciones hasta el punto de que su ciclo de vida depende del hielo marino, como por ejemplo algunos mamíferos marinos que se reproducen sobre ellos, o el kril que necesita del hielo marino en etapas fundamentales de su ciclo de vida.

En los últimos años el aumento de la temperatura ha tenido un marcado impacto sobre la criósfera (ver Glosario), causando una disminución del hielo marino y derretimiento de los glaciares. Esto, a su vez, ha generado nuevas áreas disponibles para ser colonizadas

DOSSIER



Imagen: E. Mohr.

Figura 1. Macroalgas e invertebrados en un ecosistema marino bentónico antártico.

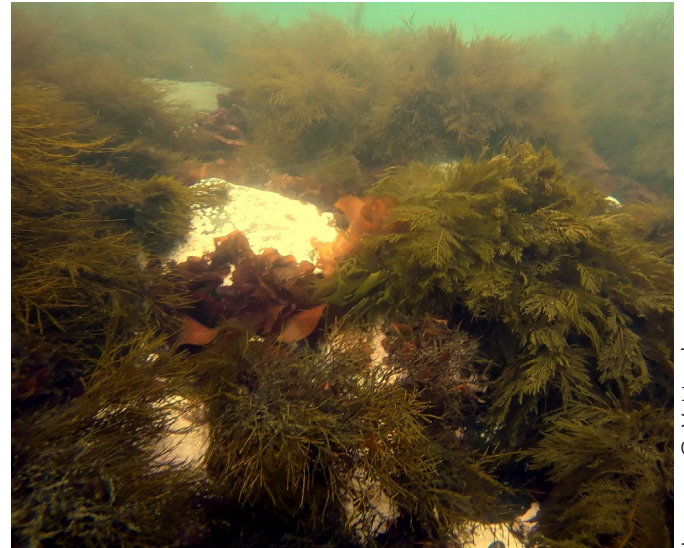


Imagen: C. V. Matula.

Figura 2. Macroalgas antárticas en el fondo marino.

por organismos que habitan el fondo marino como por ejemplo macroalgas e invertebrados (ver Figura 1). La colonización bentónica (ver Glosario) conduce a un aumento de la captación de carbono atmosférico y una retroalimentación negativa al proceso de cambio climático. El secuestro de carbono (ver Glosario) es una de las contribuciones más importantes que brindan los ecosistemas marinos, ya que estos pueden tomar el carbono atmosférico, fijarlo a través de la producción primaria y almacenarlo en la biomasa de los organismos. Los sistemas marinos poseen una alta eficiencia en la captura y retención de carbono, y se conocen como "sistemas de carbono azul". Los más conocidos son los de manglares, marismas y pastos marinos. Estas estructuras vegetales no solo fijan grandes cantidades de carbono, sino que también estabilizan los fondos blandos en los que se desarrollan, favoreciendo el secuestro de carbono por largos períodos de tiempo en el sedimento. Recientemente se ha propuesto que las áreas costeras en donde se desarrollan grandes bosques de macroalgas deberían también ser considerados sistemas de carbono azul ya que fijan enormes cantidades de carbono. En este aspecto, también las macroalgas antárticas se presentan como un desafío interesante para ser estudiadas.

Ingenieras y guardianas del ecosistema

Las macroalgas son organismos fotosintéticos que, gracias a sus pigmentos, transforman la energía lumínica en energía química. Se distribuyen desde el supramareal (ver Glosario) hasta profundidades que pueden llegar hasta los 50 metros dependiendo de la penetra-

ción de la luz. Pueden estar adheridas al sustrato, como rocas o fondos marinos, o flotar libremente en el agua. Estos organismos son multicelulares y tienen la capacidad de alcanzar tamaños lo suficientemente grandes como para ser visibles a simple vista. Las macroalgas desempeñan un papel fundamental en los ecosistemas marinos, ya que son una fuente importante de alimento. Además, tienen un rol importante en la producción de oxígeno y en la absorción de dióxido de carbono de la atmósfera, lo que contribuiría a regular el clima global.

Las macroalgas son auténticas ingenieras del ecosistema marino (ver Figura 2). Su presencia crea y modifica hábitats submarinos, y provee refugio y protección a una gran variedad de organismos como peces, crustáceos y moluscos. Las macroalgas se encuentran en diversos hábitats marinos, desde aguas tropicales hasta regiones frías como la Antártida. Más de 40 millones de años es el tiempo que han tenido las macroalgas antárticas para adaptarse a la marcada estacionalidad lumínica presente en esta región. Por ello, han conseguido adecuarse al particular fotoperiodo antártico, con extensas horas de luz durante los meses de verano y largas horas de oscuridad en el invierno, requisito fundamental para completar sus ciclos de vida. Además, es importante recordar que las bajas temperaturas también juegan un papel esencial al regular su reproducción y crecimiento.

En Argentina, las primeras colecciones de macroalgas antárticas fueron realizadas por la especialista en algas marinas Lic. Carmen Pujals, quien fuera una de las cuatro investigadoras que participaron de la Primera Expedición de mujeres a la Antártida en 1968. Carmen fue una reconocida ficóloga, especialista en taxonomía

DOSSIER

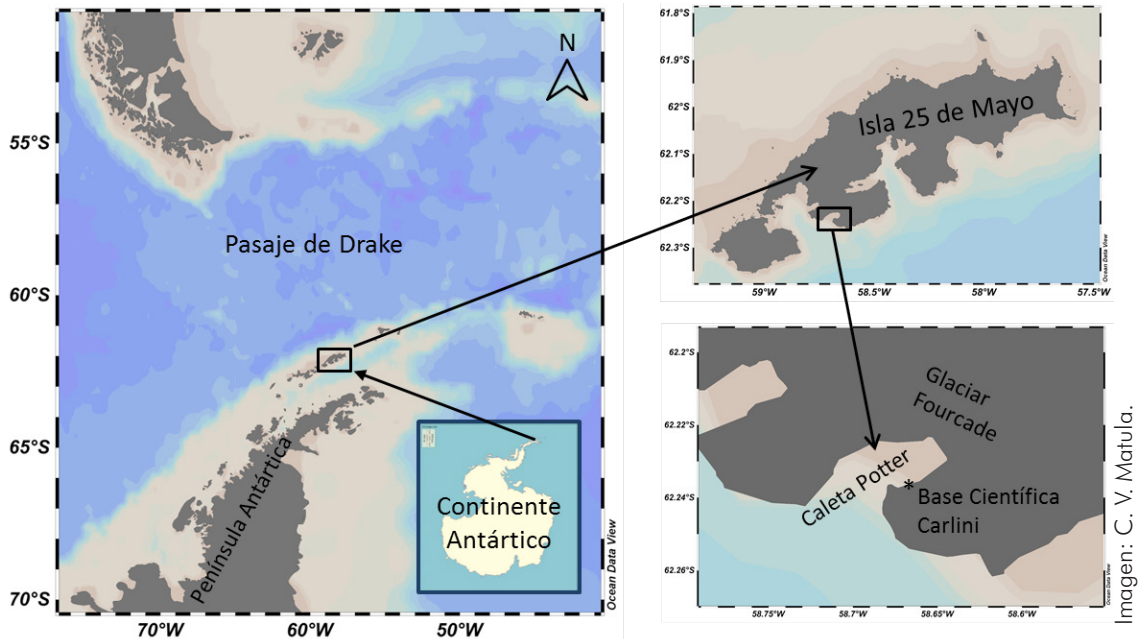


Figura 3. Ubicación de Caleta Potter, isla 25 de Mayo (King George Island), archipiélago Shetland del Sur ubicado al noroeste de la península Antártica. Se señala la ubicación de la Base Carlini (abajo derecha).

de algas rojas (Rhodophyta) que desarrolló sus investigaciones por más de 45 años en el Laboratorio de Fisiología Marina del Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia. En aquella campaña antártica de 1968, Carmen Pujals realizó una completa colección de algas marinas antárticas de la Base Melchior, que se encuentra conservada en el Herbario del Museo Argentino de Ciencias Naturales en Buenos Aires.

Veinte años más tarde de aquella icónica campaña antártica de 1968, se inició la primera línea de investigación en macroalgas antárticas en el Instituto Antártico Argentino (IAA) con el objeto de realizar los primeros estudios en algas marinas bentónicas en la Base Científica Carlini (Ex Jubany) (ver Figura 3). Desde aquel momento quedó configurado el grupo de investigación Macroalgas antárticas del IAA.

Desafíos y respuestas al cambio global

La perfecta adaptación de las macroalgas antárticas a la marcada estacionalidad lumínica y bajas temperaturas, actualmente se encuentra perturbada por los fenómenos asociados al cambio global tales como el incremento de radiación ultravioleta B (UV-B) producto del adelgazamiento de la capa de ozono y procesos relacionados con el aumento de la temperatura de la región. Por un lado, las macroalgas antárticas son muy sensibles a la exposición de la radiación ultravioleta B (la franja del espectro de luz comprendida entre 280 y 315 nm). Si bien han desarrollado mecanismos de pro-

tección frente a la UV mediante la producción de sustancias que la absorben y mecanismos de reparación de daños al ADN, la UV-B puede provocar daños en el material genético, y afecta procesos básicos como su capacidad para realizar fotosíntesis y para su crecimiento. A nivel molecular y fisiológico, los efectos negativos de la radiación ultravioleta pueden afectar la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. En este sentido, se ha propuesto que el patrón general de zonación de las macroalgas antárticas refleja la sensibilidad de las especies a la radiación ultravioleta, siendo las especies más sensibles las que habitan a mayores profundidades. Las observaciones satelitales dan indicios de que las pérdidas de ozono son menores desde fines de la década del '90. Sin embargo, el agujero de ozono continúa ocurriendo cada primavera sobre la Antártida, y los modelos proyectan que la recuperación del ozono a los niveles anteriores a 1980, no ocurrirá hasta después de la mitad de este siglo.

A su vez, Antártida es una de las zonas más afectadas por el marcado aumento de la temperatura atmosférica, lo que ha desencadenado en esta región una serie de procesos tales como el retroceso de los glaciares, el aumento de disturbios de hielo (ver Glosario), la disminución de la extensión del hielo marino, el aumento de la temperatura superficial del mar y la formación de nuevas áreas libres de hielo, estos últimos, espacios submarinos disponibles para ser colonizados por organismos bentónicos. El aumento de la frecuencia de

DOSSIER



Imagen: E. Ruiz Barlett.

Figura 4. Colecta de macroalgas en el intermareal antártico. Se observan grandes témpanos en el mar.

perturbaciones de hielo presenta un desafío adicional: si bien el retroceso de los glaciares abre nuevas áreas para la colonización bentónica, estos sitios se encuentran afectados por una serie de disturbios generados por el hielo. Los témpanos y escombros (ver Figura 4), en contacto con el fondo marino, pueden causar daños importantes raspando y removiendo las macroalgas. A su vez, las zonas cercanas a los glaciares se encuentran afectadas por el agua de deshielo ricas en sedimentos de origen terrestre. La presencia de estas partículas en el mar disminuye la penetración de la luz, componente imprescindible para estos organismos fotosintéticos. Se ha observado que algunas especies de macroalgas se han adaptado a vivir en ambientes con poca luz, modificando su profundidad óptima de crecimiento (ver Glosario). Es decir, especies que en aguas transparentes y limpias de sedimento viven a mayor profundidad, en aguas más turbias viven a menor profundidad en busca de más intensidad de luz, y terminan compitiendo por el espacio con especies de aguas más someras.

Otra de las consecuencias del cambio global es el incremento de los gases del efecto invernadero. El aumento del dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera ha generado un aumento en la acidificación de los océanos, hecho que compromete el desarrollo y supervivencia de muchas especies. En la última década se ha puesto foco en el estudio del ciclo del carbono (fijación, almacenamiento y secuestro), surgiendo el concepto de "carbono azul". En este contexto, las macroalgas no solo juegan un rol esencial como fijadoras del CO_2 sino que también en el almacenamiento del carbono en su biomasa y el posterior secuestro en los fitodetritos (ver Glosario) presentes en el sedimento. De esa manera cobra importancia el estudio de la diversidad, biomasa y producción primaria de las macroalgas antárticas.



Imagen: C. V. Matula.

Figura 5. Base Científica Carlini a orillas de la Caleta Potter. Al fondo se observa el Glaciar Fourcade.

Caleta Potter: un laboratorio natural

El oeste de la Península Antártica es una de las áreas del planeta que ha registrado un rápido calentamiento, con un aumento de unos $2,5\text{ }^\circ\text{C}$ en los últimos 60 años, mientras que la media global ha sido de unos $0,6\text{ }^\circ\text{C}$. Las islas Shetland del Sur, ubicadas al noroeste de la Península también se encuentran notablemente afectadas por el aumento de la temperatura.

En Caleta Potter (Isla 25 de Mayo, Shetland del Sur) donde se encuentra la Base Científica Carlini (ver Figura 5), se ha observado un marcado retroceso del glaciar Fourcade que rodea dicha caleta, dejando al descubierto áreas rocosas, potencialmente aptas para ser colonizadas por macroalgas. Allí, el grupo de investigación Macroalgas Antárticas del Instituto Antártico Argentino lleva adelante diferentes estudios a fin de describir y cuantificar el efecto sobre la comunidad de macroalgas de las perturbaciones asociadas al retroceso glaciario. Las primeras observaciones mostraron una notable presencia de algas en aquellos sitios donde antes no se encontraban presentes, e inclusive, fueron registradas creciendo en sitios altamente disturbados próximos al glaciar. Caleta Potter, con su ecosistema en constante transformación, funciona como un laboratorio natural invaluable que permite investigar cómo las macroalgas enfrentan los desafíos del cambio climático.

Llevar adelante investigaciones en la Antártida presenta una serie de desafíos, donde el clima hostil rige el ritmo de las actividades de campo. Los estudios biológicos asociados al fondo marino requieren de salidas con botes neumáticos tipo Zodiac y personal especializado para desarrollar las tareas de buceo y navegación.

Dentro de las líneas de investigación que se desarrollan en Caleta Potter se encuentra la medición de

DOSSIER

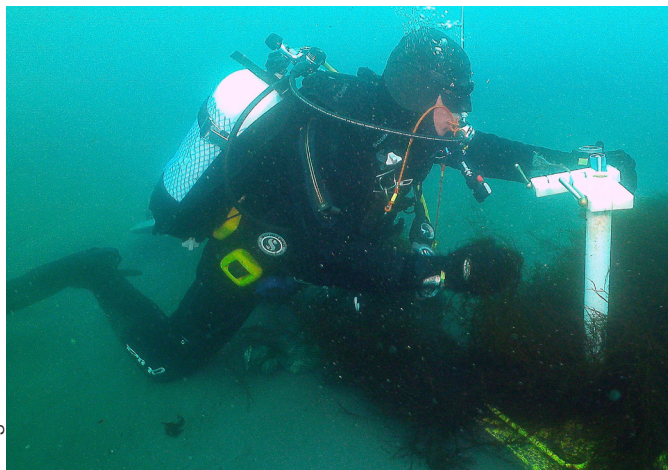


Imagen: E. Mohr.

Figura 6. Buzo realizando el control del sensor de luz subacuático en Caleta Potter.



Imagen: C. V. Matula.

Figura 7. Muestreo subacuático de diversidad y biomasa de macroalgas.

variables ambientales en la columna de agua. Entre las variables que se registran se encuentra la luz fotosintéticamente activa (ver Glosario), fundamental para que las macroalgas puedan realizar fotosíntesis, y así crecer y sobrevivir (ver Figura 6).

Asimismo, se está llevando a cabo un estudio sobre el efecto de disturbio de hielo, que ocurre como consecuencia de la abrasión de los témpanos contra el fondo marino, aumentando también la mortalidad de los organismos bentónicos. El disturbio causado por el hielo es una de las fuerzas de la naturaleza más destructivas que experimentan las comunidades bentónicas, y su impacto se considera entre los cinco disturbios más extremos que impactan en los ecosistemas del planeta.

Para caracterizar los ecosistemas costeros antárticos en términos de diversidad y biomasa de macroalgas se realizan muestreos submareales en distintos sitios de Caleta Potter con distinta influencia glaciaria, dependiendo de la cercanía al glaciar. Para ello se realizan transectas perpendiculares a la línea de costa y a distintas profundidades, donde se colectan todos los ejemplares de macroalgas presentes en un metro cuadrado (ver Figura 7). Luego, las muestras son llevadas al laboratorio para su procesamiento. Allí, los ejemplares se pesan para calcular su biomasa y se procede a la identificación taxonómica. Para ello se utilizan técnicas tradicionales en base a la morfología y estructuras reproductivas y se realizan cortes histológicos a mano alzada seleccionando principalmente las partes jóvenes y fértiles de las algas. Para completar la correcta identificación se realizan análisis moleculares. Con los datos obtenidos se estudia la composición taxonómica de las macroalgas, así como su diversidad, distribución y fenología (ver Glosario). Esta información permite efectuar comparaciones con los estudios realizados hace 30

años, logrando así tener una perspectiva del ecosistema costero antártico a pequeña escala, frente a este nuevo escenario de cambio climático.

Como hemos mencionado, las macroalgas se desarrollan sobre sustratos rocosos en el fondo marino. Para estudiar cómo ocupan el espacio nuevo en condiciones naturales, y particularmente, en sitios afectados por el cambio climático (por ejemplo, próximos a un glaciar en retroceso), se han realizado experimentos subacuáticos que consisten en la instalación de sustratos artificiales sobre los que se desarrollan las comunidades. Estos sustratos son monitoreados en el tiempo y nos permiten describir a las comunidades de macroalgas desde etapas muy iniciales de su desarrollo. Estos estudios demostraron que el espacio es rápidamente ocupado por macroalgas y por pequeñas algas unicelulares llamadas diatomeas. Si bien se desarrollaron estas comunidades, el mayor grado de estrés y disturbio causado por la influencia del glaciar determina la presencia de un menor número de especies de macroalgas y una tendencia hacia la disminución de la diversidad en el tiempo.

A su vez, el uso de sustratos artificiales para el estudio de las macroalgas permite la obtención de pequeños "jardines experimentales" que pueden ser trasladados al laboratorio para el desarrollo de ensayos con condiciones controladas de luz y temperatura (ver Figura 8).

Una mirada al futuro

Los resultados son claros: las macroalgas muestran una notable capacidad de respuesta a los cambios ambientales. El cambio climático es uno de los desafíos más apremiantes que enfrenta nuestro planeta en la actualidad, y sus efectos se sienten incluso en los rincones más remotos de la Tierra. La historia de las macroalgas antárticas trasciende las fronteras de esta región remota

DOSSIER

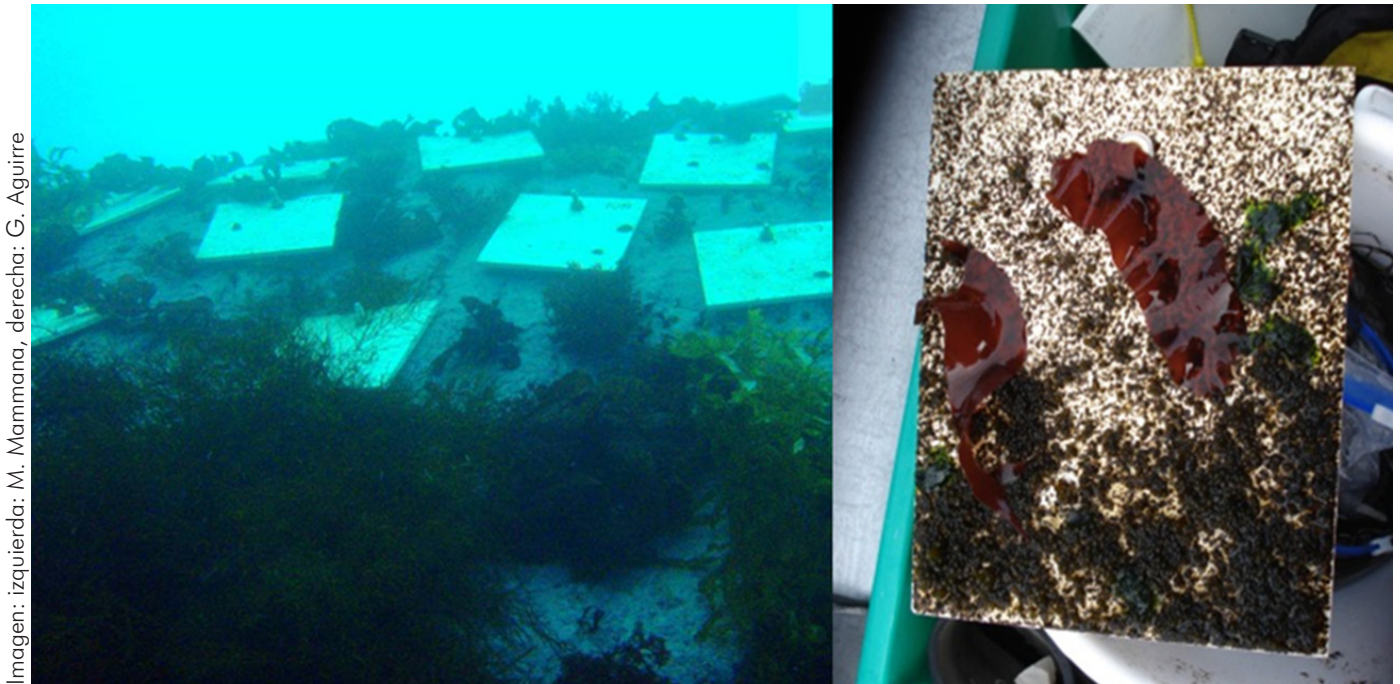


Imagen: izquierda: M. Mammama, derecha: G. Aguirre

Figura 8. Experimento submareal de cuatro años de duración para el estudio de la colonización de las macroalgas, sobre sustrato artificial. Vista subacuática (izquierda) y placa colonizada por macroalgas (derecha).

y aporta valiosos conocimientos para enfrentar los desafíos del cambio climático a nivel global.

La información y el conocimiento sobre las funciones e importancia de las macroalgas en los ecosistemas costeros antárticos, han incrementado en las últimas décadas. Se espera que sirvan de base para promover futuros estudios relacionados a la taxonomía, fisiología y ecología de las macroalgas antárticas, que tienen un rol central para el sostenimiento de la red trófica costera (ver Glosario).

A su vez, estos estudios buscan ser una herramienta fundamental para la toma de decisiones en espacios de conservación y manejo de los ecosistemas de esta región única en el mundo. Estos estudios indican que los efectos del cambio climático continúan estresando e impactando los ecosistemas costeros en la Península Antártica. Este hecho destaca la relevancia de proteger los ecosistemas de la Península, reforzando la importancia de la adopción de la propuesta del Área Marina Protegida de Dominio 1 (AMPD1) (CCAMLR-41/34) bajo estos escenarios de cambios ambientales y de aumento de la actividad humana en dicha región.

A medida que exploramos las profundidades del océano en la Antártida y desentrañamos los misterios de las macroalgas, observamos cómo la vida marina es capaz de adaptarse y enfrentar los desafíos más adversos. Las macroalgas antárticas, ingenieras y guardianas del ecosistema marino, nos muestran su capacidad de adaptación y resiliencia en un ambiente en constante evolución.

Todas las imágenes que ilustran el presente trabajo fueron tomadas para el grupo de investigación Macroalgas Antárticas y pertenecen al Instituto Antártico Argentino. Las investigaciones desarrolladas por este grupo de investigación se encuentran actualmente financiadas por el PICT 2021-0501 y por la Dirección Nacional del Antártico.

Glosario

Bentónica: zona del fondo marino o de cuerpos de agua, como lagos y ríos, donde los organismos viven en o cerca del lecho o sustrato.

Críósfera: parte del sistema climático de la Tierra que incluye las precipitaciones sólidas, la nieve, el hielo marino, el hielo de lagos y ríos, los icebergs, los glaciares y casquetes de hielo, los mantos y plataformas de hielo, el *permafrost* y el suelo estacionalmente congelado, de forma estacional o permanente.

Disturbio de hielo: alteración que ocurre como consecuencia del impacto de los témpanos contra el fondo marino.

ENOS: El Niño Oscilación Sur (o ENSO por su denominación en inglés *El Niño Southern Oscillation*), fenómeno de origen climático con oscilación de parámetros meteorológicos que sucede en el Océano Pacífico y repercute en el resto del planeta.

Fenología: estudio de las reacciones de los organismos vivos, frente a los cambios estacionales y climáticos

DOSSIER

en su medio ambiente. Los cambios estacionales incluyen variaciones en la duración de los días y la luz del sol, precipitaciones, temperatura y otros factores determinantes de la vida y su desarrollo.

Fitodetritos: restos de macroalgas que se acumulan y degradan en el fondo marino.

Luz fotosintéticamente activa: rango de longitudes de onda capaces de producir actividad fotosintética en las plantas y algas.

Profundidad óptima de crecimiento: las distintas especies de algas tienen preferencias no solo por el sustrato, sino también por la profundidad a la cual viven, que está estrechamente relacionada con la intensidad lumínica necesaria y la penetración de la luz en el agua. Este concepto alude a la profundidad donde el crecimiento es máximo.

Red trófica: también llamada "red alimentaria" es una representación de las relaciones alimentarias en un ecosistema y señala "quién se come a quién" en una comunidad.

SAM: acrónimo de *Southern Annular Mode* (Modo Anular del Sur). Se trata de un fenómeno que involucra variación en la presión atmosférica de la Antártida y genera cambios en la circulación de los vientos.

Secuestro de carbono: (o extracción de dióxido de carbono, CDR) es la captura o retirada a largo plazo de dióxido de carbono de la atmósfera, por ejemplo cuando el carbono queda retenido en los sedimentos en el fondo del mar.

Supramareal: zona que se encuentra en las costas sobre la línea más alta de marea y que es salpicada periódicamente por el *spray* marino, pero que nunca queda sumergida por el mar.

Resumen

Bajo el mar antártico se esconde una vida única adaptada a condiciones extremas de temperatura y luz. Las macroalgas antárticas desempeñan un papel fundamental en la producción de oxígeno y en la absorción de dióxido de carbono de la atmósfera, contribuyendo a regular el clima global. Estas importantes productoras primarias son auténticas ingenieras del ecosistema marino, crean y modifican los hábitats y proveen refugio y protección a una variedad de organismos marinos. Se presentan aquí las diferentes líneas de investigación desarrolladas en Caleta Potter, un ecosistema marino antártico costero seriamente afectado por los fenómenos asociados al cambio global.

Para ampliar este tema

Asociación Argentina de Ficología. (2020). Ciclo de charlas virtuales Algas en la Antártida. Parte 1. "Pasado, presente y "futuro" del fitoplancton en una zona costera antártica" por I. R. Schloss, (min. 5:11); "Macroalgas en un ecosistema costero antártico. Consecuencias del cambio climático" por, M. L. Quartino (min. 39:23) y "Trabajo de una científica invernante en la base Carlini", por J. Fogel (min. 1:14:34). [[Disponibles en Internet](#)].

Asociación Argentina de Ficología. Ciclo de charlas virtuales "Algas en la Antártida". Parte 2. (2020). "Procesos sucesionales e interacciones biológicas en comunidades de algas marinas bentónicas antárticas afectadas por fenómenos asociados al cambio global" por G. Campana, (min. 3:09); "La productividad primaria en el contexto del cambio climático" por D. Deregibus, (min. 33:37); "Efecto del aumento de la temperatura en *Desmarestia menziesii*, un alga parca endémica de la Antártida" por C. Matula, (min. 54:41); y "Composición de los fitodetritos y balance de carbono en un ecosistema costero antártico" por F. Bessega (min. 1:29:06). [[Disponibles en Internet](#)].

Gomez, I. y Huovinen, P. (2020). *Antarctic Seaweeds: Diversity, Adaptation and Ecosystem Services*. Cham, Suiza: Springer.

Laboratorio Antártida - Episodio 16: MACROALGAS (2021). [[Disponible en Internet](#)].

Quartino, M.L., Campana G.L. y Deregibus D. (2022). *Las macroalgas en el ecosistema marino costero. La ciencia de la ecología: un curso avanzado*. F. R. Momo (Ed.). Buenos Aires: Dunken.

Wiencke, C. y Clayton M.N. (2002). *Antarctic Seaweeds. Synopses of the Antarctic Benthos*, 9. Ruggell, Lichtenstein: A.R.G. Gantner Verlag K.G.

DOSSIER

ANTÁRTIDA Y CAMBIO CLIMÁTICO

LARSEN B, RETRATO DEL CALENTAMIENTO

En la bahía Larsen B, noreste de la Península Antártica, desembocan numerosos glaciares de descarga, que son importantes reservas de agua dulce... ¿Cómo les está afectando el cambio climático?

Liliana S. Margonari, Sebastián Marinsek y Juan M. Lirio

El continente antártico es el más frío, ventoso y seco de los continentes. La Península Antártica (ver Figura 1) se sitúa en el sector oriental de la Antártida y posee una extensión que ronda los 1.300 km desde el sur del paralelo 60° sur hasta casi el paralelo 80° sur, a lo largo de la cual corre un sistema montañoso que alcanza los 5.000 m de altura sobre el nivel del mar y hospeda una extensa capa de hielo.

Desde las zonas más altas del cordón montañoso de la Península fluyen pendiente abajo distintas masas de hielo (glaciares, ver Glosario), encontrándose tanto glaciares de descarga que terminan en tierra como glaciares que terminan en el mar. Los glaciares de descarga del noreste de la Península Antártica lo hacen al Mar de Weddell, mar que durante gran parte del año se encuentra parcialmente congelado dadas las bajas temperaturas que se registran en esta región durante los inviernos. En la bahía Larsen A, los frentes glaciares se encontraban en contacto con lo que se conoce

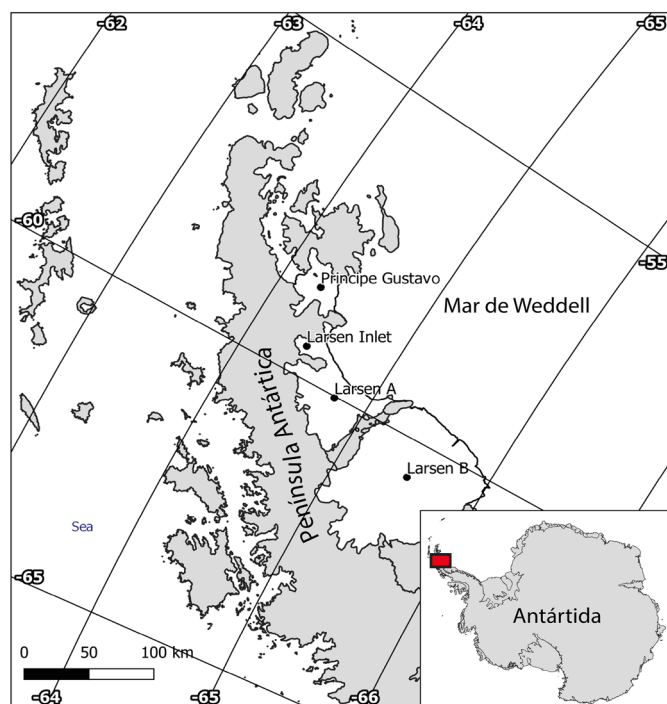


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio, bahía Larsen B, Península Antártica.

Imagen: gentileza de los autores.

Palabras clave: barreras de hielo, calentamiento global, glaciares, hielo marino, Península Antártica.

Liliana S Margonari^{1, 2, 3}

Lic. en Cs. Geológicas

lilo.margonari@gmail.com

Sebastián Marinsek¹

Dr. en Ingeniería

smarinsek@dna.gov.ar

Juan Manuel Lirio¹

Dr. en Cs. Geológicas

liriojm@gmail.com

¹Instituto Antártico Argentino (IAA), Buenos Aires.

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

³Dto. de Geología, FCEyN, Universidad de Buenos Aires (UBA).

Recibido: 01/09/2023. Aceptado: 14/11/2023.

como una “barrera de hielo” hasta 1995 y en la bahía Larsen B, hasta 2002.

Estas barreras son grandes masas de hielo flotante en el mar, formadas y alimentadas por el flujo del hielo glaciar continental que desciende desde el interior del continente hacia el océano, y son alimentadas por las precipitaciones níveas que ocurren sobre ellas. Dada su ubicación y morfología suelen ser ambientes muy importantes para los ecosistemas marinos locales. En los últimos treinta años, tres de las cuatro barreras de hielo más importantes de la península colapsaron, es decir, se fragmentaron y derritieron en el océano. La barrera de hielo más septentrional, Príncipe Gustavo, se desintegró en el año 1995, al igual que la barrera de hielo Larsen A. En el año 2002, la barrera de hielo Larsen B se desintegró parcialmente, dejando un pequeño remanente al sur. Es importante destacar que, a diferencia de los glaciares, la desintegración de las barreras de hielo, al estar en equilibrio hidrostático

DOSSIER

(ver Glosario) con el mar, no impactan en el nivel relativo del mar. Es decir que si se derriten al estar flotando no aumenta el nivel del mar. Pero su fragmentación implica un aumento en la velocidad de descarga de los glaciares al océano, dado que los glaciares detrás de las barreras de hielo, al desaparecer ellas, pierden la contención que tenían en su frente lo que impacta en el aumento del nivel del mar. Se ha observado que, a lo largo de las bahías Larsen A, Larsen B y Príncipe Gustavo, posterior a la fragmentación de las barreras de hielo, los glaciares allí situados entraron en un acelerado y constante retroceso.

Cambios en los glaciares de Larsen B

El colapso abrupto y casi completo de la barrera de hielo de la bahía Larsen B en 2002, dejó una bahía abierta. Desde ese año hasta 2011, los glaciares situados en esta nueva bahía retrocedieron pronunciadamente. Pero desde el verano de 2012 hasta el verano de 2022 los glaciares se encontraron en un constante avance. Luego, a principios de 2022, de nuevo los glaciares retrocedieron abruptamente.

El hielo marino (ver Glosario), a diferencia de las barreras que se forman por el flujo de hielo glaciar continental aportado hacia el mar y que se acumula en las costas, es formado por el congelamiento directo del agua marina y que, a lo largo de los años, si permanece estable, se hace cada vez más grueso. Durante el primer período mencionado, 2002-2012, la condición del hielo marino en la bahía Larsen B, formado luego de la ruptura de la barrera de hielo, fue muy variable, lo que coincidió con una tendencia general al retroceso de los glaciares allí situados. Durante los siguientes diez años, es decir de 2012 a 2022, los glaciares se encontraron en etapa de crecimiento. Este avance glaciar coincidió con la formación y permanencia de hielo marino en la bahía Larsen B. Luego, en el verano de 2022, el hielo marino viejo que se encontraba en la bahía Larsen B (formado hacía diez años y nunca fragmentado durante la década 2012-2022), se desintegró abruptamente, lo que condujo a un desequilibrio de los glaciares de descarga que estaban allí contenidos, y causó un retroceso acelerado y generalizado de todos ellos. Si bien después de este evento, durante el invierno de 2022 se regeneró nuevamente el hielo marino, y los frentes se vieron estabilizados durante ese invierno austral, dicha estabilidad no fue constante a lo largo del año, y en el verano de 2023, los glaciares nuevamente entraron en un retroceso acelerado, lo que también coincidió con escasez de hielo marino en la bahía Larsen B para dicho momento. En la Figura 2 se puede ver el cambio neto

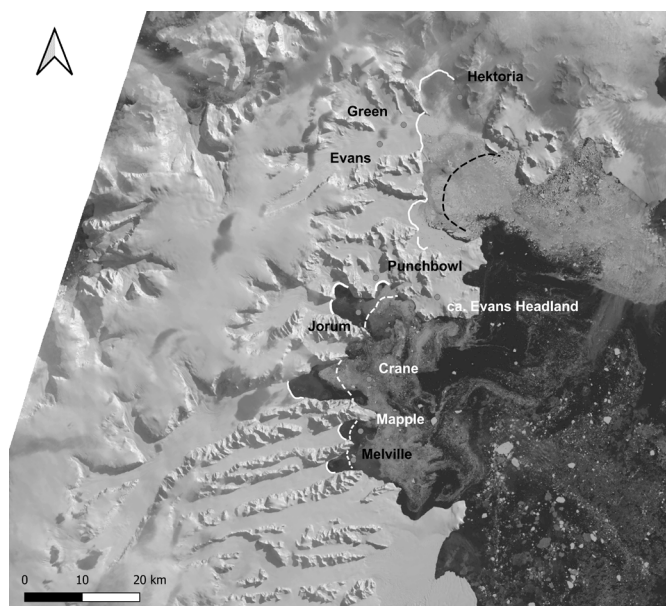


Imagen: gentileza de los autores.

Figura 2. Cambios en la posición de los frentes glaciares situados en la bahía Larsen B, Península Antártica, observados entre diciembre 2002 (línea punteada blanca) y marzo 2023 (línea continua blanca).

de la posición de los frentes glaciares situados en la bahía Larsen B, entre 2002 y 2023.

Dadas las condiciones de hielo marino y el avance/estabilidad o el retroceso/inestabilidad de los glaciares, se definieron los tres períodos de la siguiente manera: 12/2002-03/2011, 03/2011-12/2021, 01/2022-03/2023 (ver Tabla 1).

Se destaca que, durante el verano de 2023, la mayoría de los glaciares que desembocan en la bahía Larsen B han experimentado su máximo retroceso desde que la barrera de hielo se desintegró en el año 2002.

Cambios en la temperatura

En 2021, el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) informó que las actividades antropogénicas (ver Glosario), principalmente a través de las emisiones de gases de efecto invernadero, causaron un inequívoco aumento de la temperatura global de la superficie de 1,1 °C promedio entre 2011 y 2020 en comparación con el promedio del período 1850-1900. Hay que tener en cuenta que las barreras de hielo, el hielo marino y los glaciares son muy susceptibles al aumento de temperatura superficial del aire y que, con el calentamiento global, la Península Antártica también se está calentando. Para la Península Antártica ya a principios de la década del 2000 se hablaba de un calentamiento atmosférico de 3,5 °C para el pasado siglo, el cual fue induciendo una retracción del ambiente glaciar.

DOSSIER

Tabla 1. Detalle de los cambios en la posición de los frentes glaciarios situados en la bahía Larsen B, para los tres periodos que fueron diferenciados por la condición de hielo marino (2002-2012: hielo marino variable; 2012-2022: hielo marino estable y 2022-2023: hielo marino fragmentado). El glaciar Jorum posee 2 lenguas (ver figura 2), razón por la que se definieron los 2 valores.

Glaciar	Retroceso (km) 2002-2012	Avance (km) 2012-12/2021	Retroceso (km) 01/2022-03/2023	Año de Máximo Retroceso
Melville	4	1,18	1,1	2012
Mapple	1,7	0,83	1,14	2023
Crane	9,7	11,17	9,9	2005
Jorum	7,4	1,4	4,2-1,75	2023
Punchbowl	6,6	0,5	0,5	2023
Green-Evans	10,3	14,5	17,53	2023
Hektoría	10,3	12,7	18,8	2023

Si bien la dinámica glaciaria está condicionada por diversos factores (tipo y morfología del glaciar, topografía circundante, etc.), el derretimiento, técnicamente denominado "ablación" (ver Glosario), es el resultado de la energía neta suministrada a la superficie del glaciar, la cual depende de numerosas variables como la temperatura, el albedo (ver Glosario), el viento, etc. Pero se ha determinado que la ablación glaciaria está altamente relacionada con temperaturas del aire elevadas. Entonces, para entender la ablación de los glaciares se puede utilizar el método de "Días de Grado Positivo" (conocido como *Positive Degree Days*, PDD, por sus siglas en inglés ver Glosario). Este método, a diferencia de otros, solo requiere conocer la temperatura diaria del aire. Este parámetro se usa para calcular la suma de las temperaturas positivas diarias (temperatura diaria promedio por encima de los 0 °C, punto de fusión del hielo, temperatura generalmente superada solamente durante los veranos antárticos), medidas durante un año (para glaciología se usan los llamados "años hidrológicos", en el hemisferio

sur estos comienzan en marzo y terminan en febrero del año siguiente, momento en el cual termina la temporada de ablación glaciaria austral). El dato de temperatura es sencillo de obtener, no solo porque a lo largo de la Península Antártica hay un elevado número de estaciones meteorológicas, sino porque actualmente es posible obtener datos de temperatura superficial *in situ* de forma remota, para cualquier sector de Antártida, a partir de fuentes de datos satelitales. En nuestro caso usamos los datos de re-análisis meteorológico ERA5, de temperatura medida a dos metros de la superficie, provistas por el Centro Europeo para Pronósticos Meteorológicos a Medio Plazo. Estos datos fueron comparados con los datos de temperatura de la estación meteorológica de la base argentina Marambio, provistas por el Servicio Meteorológico Nacional.

Según diversos autores, el derretimiento de la superficie de los glaciares se correlaciona linealmente con la suma de los Días de Grado Positivo (ΣPDD), multiplicada por un factor de proporcionalidad que depen-

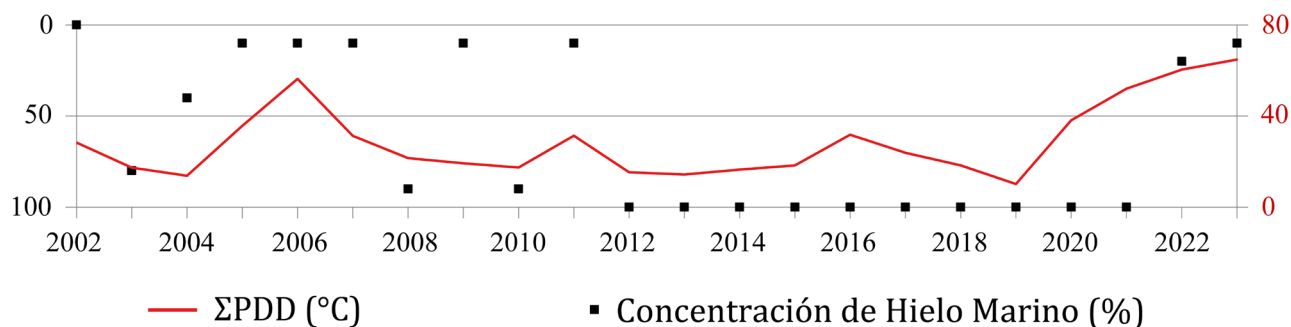


Figura 3. Cambios de 0 a 100% en la concentración de hielo marino (puntos) superpuestos con los cambios de temperatura positiva acumulada (línea) en las últimas dos décadas en la bahía Larsen B, Península Antártica.

DOSSIER

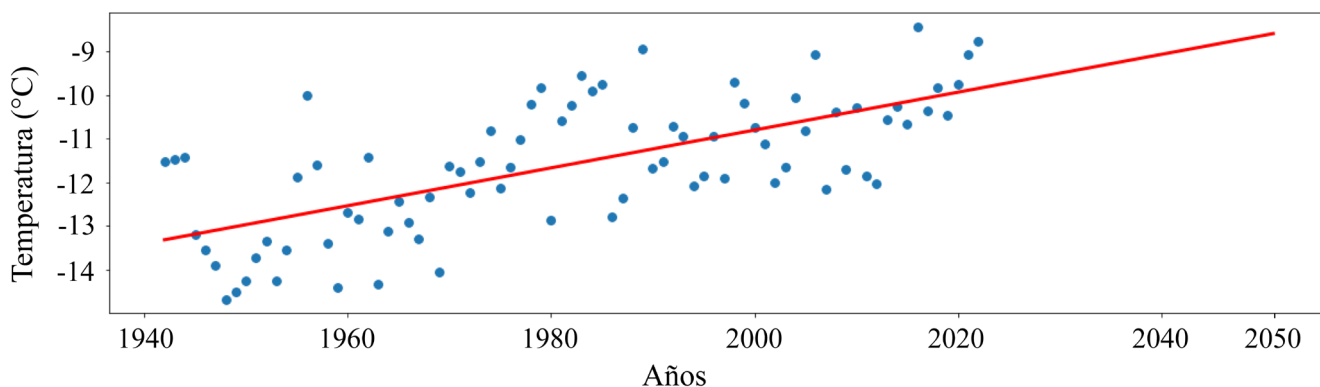


Figura 4. Temperatura media anual (puntos) registrada desde 1941 por el satélite ERA5, ECMWF, y la tendencia lineal (línea), hasta 2050.

de del tipo de hielo. De esta forma se infiere que un valor más elevado de ΣPDD dará un mayor grado de ablación del hielo.

Para la zona de estudio Larsen B, se determinaron los días de grado positivo, desde 2002 hasta 2023 a partir de datos satelitales (ver Figura 3). Se determinó que la tendencia general de la suma anual de las temperaturas de grado positivas es mayor y se exagera en los últimos años.

Teniendo en cuenta que, en general, las temperaturas positivas se registran solamente en verano para este sector del planeta, y por lo tanto es la estación en la que el hielo marino puede sufrir las mayores consecuencias, se ha determinado la condición de hielo marino para los veranos de la bahía Larsen B, desde que se desintegró la barrera de hielo en 2002 hasta el último verano, en el año 2023 (ver Figura 3).

Se determinó que, durante los veranos con baja suma de temperaturas positivas, en general, el hielo marino se mantiene estable. Mientras que durante los veranos con una elevada suma de temperatura positiva, el hielo marino se desintegra total o parcialmente.

Por otro lado, se determinaron los valores promedio durante los meses de verano de la temperatura positiva para los tres períodos mencionados, usando los datos horarios que provee el Servicio Meteorológico Nacional. Entre los años hidrológicos 2002 y 2011 el promedio de la temperatura positiva estival fue de $0,72\text{ }^{\circ}\text{C}$, entre 2012 y 2021 fue la más baja, $0,56\text{ }^{\circ}\text{C}$, y para los veranos de 2022 y 2023 la temperatura fue la más elevada de los tres períodos, siendo el promedio de $1,34\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se reconoce de esta forma que el período de temperatura positiva media más baja coincide con el período con permanencia de hielo marino y con el avance de los frentes glaciares, y que el período con media de temperatura positiva más alta

el hielo marino se fragmentó y desapareció casi totalmente y los glaciares registraron elevadas pérdidas.

Por último, se calcularon los promedios anuales de temperatura superficial de Larsen B desde que los datos de ERA5 se encuentran disponibles. Los promedios de temperatura muestran una tendencia positiva (ver Figura 4), con sus "altibajos", sugiriendo que la tendencia local es al calentamiento, presentando un aumento medio de $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la década 2010-2020 respecto de la década 1950-1960. Para la década 2040-2050 se estima un aumento promedio de $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ respecto de la media de la década 2010-2020.

Se debe tener en cuenta que las temperaturas antárticas se ven condicionadas por factores globales como los fenómenos de El Niño y La Niña, así como por factores regionales como Modo Anular del Sur (SAM por sus siglas en inglés). Esta es una fluctuación natural climática de la presión atmosférica que cuando se encuentra en su fase positiva fortalece la circulación atmosférica circumpolar lo cual genera en la región antártica vientos intensos provenientes del oeste. A su vez causa el mínimo de los mares de Amundsen-Bellingshausen (ASL por sus siglas en inglés), el cual es un sistema de baja presión atmosférica que afecta directamente al SAM, fortaleciéndolo. Si bien existe consenso dentro de la comunidad científica de que la tendencia general es al calentamiento y, si bien en 2023 se batieron los récords de máxima temperatura registrada en diferentes estaciones meteorológicas antárticas, así como lluvias en sectores donde solo se habían registrado nevadas, se debe considerar que esto también es, en parte, explicado por factores locales. El fenómeno "Foehn" es un fenómeno de vientos locales en la península Antártica, en el cual vientos provenientes desde el oeste chocan con el cordón montañoso perdiendo humedad y se calientan hacia el lado oriental

DOSSIER

de la península. Este fenómeno local se ve potenciado con índices de SAM altamente positivos los cuales se ven a su vez potenciados con índices de ASL altamente negativos. Lo que no deja de ser preocupante, es que estos mismos factores se estén potenciando como consecuencias de los cambios climáticos globales.

Reflexiones

Se ha explicado y demostrado cómo el hielo marino actúa como protector de los glaciares, reduciendo la descarga de hielo continental al océano circundante, como sucede con las barreras de hielo, las cuales protegen a los glaciares al generar una fuerza de tensión en sus frentes. También se ha explicado y demostrado cómo la condición de hielo marino depende de la suma de Días de Grado Positivo. Entonces, teniendo en cuenta las tendencias generales de la temperatura, se espera que, si sigue aumentando, una de las principales reservas de agua dulce en la Península Antártica se verá potencialmente en riesgo, así como tendrá su impacto no solo incrementando en el nivel relativo del mar, sino también modificando otros factores del ambiente marino como cambios en la salinidad y la posible consecuencia que esto significaría para la biota local.

Resumen

Antártida contiene la mayor reserva de agua dulce del planeta y se encuentra en forma de hielo. El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático reportó un aumento de 1,1 °C en la temperatura media global, lo cual preocupa a los países miembros del Tratado Antártico, entre ellos, Argentina. Para saber cómo afecta este aumento de la temperatura a las masas de hielo, el Instituto Antártico Argentino está realizando hace décadas un constante estudio de los glaciares de la Península Antártica. Se registró que, durante los últimos años, los glaciares situados en la bahía Larsen B, en el noreste de la Península Antártica, presentan un acelerado retroceso.

26

Glosario

Ablación glaciar: proceso por el cual el hielo glaciar (agua congelada) disminuye su volumen por diferente tipo de factores (derretimiento, voladura por viento, fracturación y pérdida).

Albedo: porcentaje de la radiación solar reflejado por una superficie relativo a la radiación que incide sobre ella (si es blanca como los glaciares, será elevada).

Antropogénico: relativo a la actividad humana que tiene efectos sobre el ambiente.

Barrera de hielo: masa de hielo costera formada en contacto con tierra, alimentada por glaciares que fluyen hacia ella y que flota en un cuerpo de agua.

Días de Grado Positivo: refiere a los días en el que la temperatura media fue superior a 0 °C, es decir, por encima del punto de fusión del hielo.

Equilibrio hidrostático: equilibrio entre el peso de la barrera de hielo y la presión que ejerce el agua hacia ella, lo cual implica que el hielo flote y se eleve sobre el agua sin hundirse.

Foehn: fenómeno de vientos locales dentro de la península Antártica, en el cual los vientos provenientes del oeste chocan con el cordón montañoso perdiendo humedad y calentándose hacia el sector oriental de la Península Antártica.

Glaciar: cuerpo de hielo perenne que se forma por la acumulación de la nieve, y fluye por una superficie.

Hielo marino: hielo que se forma por el congelamiento directo del agua marina u oceánica.

Para ampliar este tema

IPCC Sixth Assessment Report. Sitio oficial del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, 6to reporte sobre el cambio climático. [[Disponible en Internet](#)]

Parra, S. (2023). La Antártida, en mínimos históricos: el hielo perdido equivale al tamaño de Argentina. National Geographic en español. [[Disponible en Internet](#)].

National Snow and Ice Data Center (2023). Antarctic sea ice settles at record low in 2023. [[Disponible en Internet](#)].

University of Cambridge (2022). Sea ice can control Antarctic ice sheet stability, new research finds. ScienceDaily. ScienceDaily, 12 May 2022. [[Disponible en Internet](#)].

Morris, E. M. & Vaughan, D. G. (2023). Spatial and Temporal Variation of Surface Temperature on the Antarctic Peninsula And The Limit of Viability of Ice. Shelves Antarctic Research Series, 79:61-68.

DOSSIER

ÁRBOLES EN EL CONTINENTE BLANCO

¿FORESTAR LA ANTÁRTIDA?

Proyectos argentinos de introducción de especies arbóreas patagónicas en el continente antártico durante la década de 1950 y sus consecuencias.

Pablo Fontana y Laura P. Dopchiz

La Antártida fue el último continente en ser poblado por el ser humano, debido a su posición geográfica, a su carácter aislado, a la casi imposible autosubsistencia en invierno y, ante todo, a su clima adverso. Las primeras exploraciones documentadas, entre ellas una argentina, datan de 1819, hace tan solo doscientos años, si bien existen restos de expediciones foqueras a aquellas tierras ya a fines del siglo XVIII. De todas formas, la presencia humana fue estacional, salvo algunas internadas durante la "edad heroica" (1895-1920), cuando la Antártida se convirtió en el escenario de diversas expediciones científicas de exploración, famosas por sus hazañas de resistencia, debido a los medios técnicos que se disponían en la época.

La primera presencia permanente del ser humano en la Antártida fue establecida el 22 de febrero de 1904, cuando Argentina tomó posesión del observatorio meteorológico y geomagnético de la isla Laurie, archipiélago de las Orcadas del Sur. Durante cuarenta años fue la única estación científica permanente en la Antártida, hasta que comenzaron a instalarse otras en los años '40, por parte del Reino Unido, Chile y Estados Unidos. Sin embargo, siempre se trató de una presencia cíclica, en el sentido de que las dotaciones que

invernan se renuevan anualmente. Estas se componen de científicos, técnicos y logísticos de los programas antárticos de cada país que posee bases permanentes en la Antártida.

La imposibilidad de regresar de la Antártida por diversos motivos, entre ellos el estado del hielo marino, ha obligado en ocasiones a una estancia de dos años en las bases, y existen unos pocos casos de personas que han permanecido más tiempo en ese continente. Quizás la única excepción fue la estación ballenera de la isla Decepción, entre 1912 y 1931. Una estadía de varios años continuos suele ser considerada insalubre en términos psicológicos: más allá del frío extremo y de los vientos que alcanzan cientos de kilómetros por hora, el ritmo circadiano (ver Glosario) es afectado por los meses de luz solar sin pausa en verano, y la ausencia total de ésta durante el invierno.

Gran parte de la vida antártica, más allá de la presencia del ser humano, transcurre en el medio marino. Sin embargo, también existe una fascinante flora y fauna terrestres. La flora presenta una rica variedad de líquenes y musgos y solo dos plantas con flores: el clavelito antártico (*Colobanthus quitensis*) y el pasto antártico (*Deschampsia antarctica*), mientras que la fauna está formada por organismos solo visibles al microscopio: los colémbolos y los tardígrados (ver Glosario), considerados dos grupos cosmopolitas, y unos pocos insectos endémicos, como el mosquito antártico, denominado *Belgica antarctica*.

Los árboles y el gran despliegue

A pesar de las adversidades climáticas y geográficas de la Antártida, el ímpetu humano de colonización, hoy proyectado hacia nuestro satélite natural y otros planetas, también se hizo presente en el continente blanco. Durante las primeras dos presidencias de Juan Domingo Perón (1946 - 1952 y 1952 - 1955), Argentina llevó a cabo un despliegue antártico de gran magnitud. En esos pocos años el país pasó de poseer una sola base permanente a totalizar ocho, junto con más de veinte refugios, el primer rompehielos y la primera institución científica del mundo dedicada exclusi-

Palabras clave: Antártida, árboles, Argentina, gramíneas, Patagonia.

Pablo Fontana^{1,2}

Dr. en Historia
ftp@mrecic.gov.ar

Laura Patricia Dopchiz¹

Doctoranda en Ciencias Ambientales. Especialista en Docencia Universitaria
dhz@mrecic.gov.ar

¹Instituto Antártico Argentino (DNA-IAA, MRECIC).

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Recibido: 07/09/2023. Aceptado: 10/11/2023.

DOSSIER

Imagen: gentileza de los autores.



Figura 1. El Refugio Naval Caleta Potter con las lengas plantadas frente a él, en diciembre de 1953 (Departamento de Estudios Históricos Navales, Fondo Secretaría de Prensa, 5155).

vamente al estudio del continente: el Instituto Antártico Argentino. Ese periodo estuvo marcado por el proceso de descolonización mundial de los imperios europeos. En ese contexto, Argentina reclamó una parte de la Antártida como propia y entonces surgieron los primeros proyectos argentinos de poblar con familias el continente, pero con estancias prolongadas de tres años, o incluso, indefinidas. De hecho, los primeros pasos en el terreno se dieron en el momento más tenso de esa disputa, marcado por los incidentes entre las Fuerzas Armadas de Argentina y del Reino Unido. Estos ocurrieron en bahía Esperanza en febrero de 1952, que incluyó disparos disuasorios de marinos argentinos a fuerzas británicas, y en la isla Decepción a principios de 1953, cuando *Royal Marines* británicos destruyeron un refugio chileno y uno argentino, tomando como prisioneros a dos suboficiales de la Armada Argentina que se encontraban en este último.

Salvando las grandes diferencias, así como actualmente escuchamos hablar sobre la posibilidad de terraformar (ver Glosario) otros planetas en un futuro muy lejano, en aquellos momentos surgieron también algunos proyectos para transformar el medio ambiente antártico, con miras a hacerlo más “amigable” al ser humano, siendo la herramienta fundamental su forestación. La idea de introducir plantas en Antártida apareció en la Expedición Antártica Nacional Escocesa que, en 1903, instaló el observatorio en las islas Orcadas del Sur. Allí se experimentó con semillas de 22 especies de plantas del Ártico, sin éxito. El trasplante de árboles desde climas fríos, es algo que se encontraba entre los dos principales proyectos de colonización antártica del momento: el de la Armada Argentina y el del Ejército Argentino.

La Armada contaba con experiencia reciente en la introducción de especies exóticas en el extremo sur del país con fines comerciales: en 1946, en la isla Grande de Tierra del Fuego, se habían introducido la rata almizclera (*Ondatra zibethicus*) y el castor (*Castor canadensis*), dos especies de fauna nativa del extremo boreal de América del Norte. La primera se introdujo con el objetivo de aprovechar su piel y el almizcle, utilizado en la fabricación de perfumes, mientras que del segundo se explotaría su piel. Ambas especies se propagaron en la isla, pero el castor mostró efectos medioambientales catastróficos a largo plazo, debido a la destrucción de los bosques nativos a causa de la construcción de diques y a la ausencia de depredadores naturales. Otro caso de introducción de animales exóticos con fines de explotación comercial y consecuencias medioambientales negativas en el territorio austral argentino, pero en esta ocasión en islas subantárticas, es el caso del reno (*Rangifer tarandus*) típico del Ártico, llevado por el personal de la Compañía Argentina de Pesca a San Pedro, isla perteneciente al archipiélago Georgias del Sur.

En el caso que nos ocupa no se trató de fauna sino de la introducción de flora arbórea proveniente de las cercanías de Ushuaia. Como estos árboles provenían de la zona más austral de nuestro país, se pensaba que eran los más aptos para sobrevivir en el clima antártico. A esto se sumaba el hecho que la Armada Argentina poseía en Ushuaia una base naval desde donde partían los buques, facilitando los traslados hacia la Antártida. Las especies seleccionadas para este ensayo fueron el ñire (*Nothofagus antarctica*) y la lenga (*Nothofagus pumilio*), las especies arbóreas predominantes en los bosques del sur de la isla Grande

DOSSIER

Figura 2. Uno de los ñires secos plantados cerca del Refugio Naval Capitán Cobett, fotografiado en diciembre de 1960 (Foto IAA, BN996).



Imagen: gentileza de los autores.

de Tierra del Fuego. Un punto interesante a destacar es que el ancestro de los *Nothofagus* se haya originado en la Antártida hace unos cien millones de años durante el Cretácico Superior (ver Glosario) según estudios realizados con hojas fósiles descubiertas en ese continente.

En la Antártida, uno de los puntos seleccionados para implantar estos árboles fue frente a la casa de emergencia del Refugio Naval Caleta Potter ($62^{\circ}14'14''$ Sur y $58^{\circ}39'59''$ Oeste), ubicado al sur de esa caleta, en la isla 25 de Mayo. Ese refugio fue inaugurado el 21 de noviembre de 1953 y luego se transformó en la casa de radio de la Base Jubany, actualmente llamada Base Carlini, dependiente de la Dirección Nacional del Antártico - Instituto Antártico Argentino. Del antiguo edificio, perdido en un incendio hace una década, solo sobrevive su base de hormigón. Si bien la Argentina poseía en ese momento otras bases y refugios antárticos, la elección de este lugar, posiblemente estuvo relacionada con las características del suelo, cubierto en parte por musgos, indicando que las condiciones no serían tan desfavorables para el experimento con los árboles, a diferencia de otros sitios en la Antártida. Sumado a esto, existían también cuestiones de importancia logística, dado que las aguas de la caleta brindaban un sitio seguro de amerizaje para los hidroaviones de la Aviación Naval Argentina que frecuentaban el lugar en la primera mitad de la década de 1950. De hecho, fue en ese momento que el refugio fue designado como Estación Aeronaval, y recibió el nombre de Teniente Jubany. Los árboles plantados en el lugar durante la Campaña Antártica de Verano 1953/4 (ver Figura 1) fueron al menos tres lengas de aproximadamente 2,5 metros de alto. Ninguno de ellos logró

sobrevivir más de un invierno y actualmente no existe ningún rastro de su presencia en el lugar.

El otro punto donde se implantaron estos ñires y lengas fue en las cercanías del Refugio Naval Capitán Cobett ($64^{\circ}09'19''$ Sur y $60^{\circ}57'23''$ Oeste), instalado por la Armada el 23 de enero de 1954 en Punta Cierva, cabo Primavera, costa Danco, Tierra de San Martín, también conocida como Península Antártica. El refugio estuvo ocupado durante los veranos hasta 1958 y luego pasó a formar parte de la Base Primavera, instalada en 1977 por el Ejército. La elección de este sitio, tanto para la implantación de árboles como para la instalación de un poblado, se debió, en parte, a sus excelentes condiciones para el desarrollo de la flora local, caracterizándose por el verde musgo que cubre el lugar. Pero también obedeció a cuestiones estratégicas, ya que en ese momento se lo consideraba un sitio óptimo para proyectarse al interior de la Península Antártica con patrullas terrestres de trineos de perros. En la Campaña Antártica 1954/55, el Teniente de Corbeta Francisco D. Zenón, jefe del refugio en ese momento, llevó desde Ushuaia seis ejemplares jóvenes de ñires y lengas para experimentar con su introducción. Según su informe, ese mismo verano, si bien sus hojas se tornaron marrones, los ejemplares brotaron. También se llevó a cabo una práctica de cultivo hidropónico en el interior del refugio con semillas de alfalfa que germinaron a las 24 horas y de avena, que lo hicieron a los cuatro días, pero superaron en desarrollo a las primeras. Semillas similares fueron plantadas al aire libre donde se encontraba la flora local, y si bien lograron germinar, demoraron un mes en alcanzar el mismo desarrollo que las del interior del refugio. También se soltó una pareja de conejos llevados desde

DOSSIER

Ushuaia, que lograron sobrevivir alimentándose de la flora local. Lamentablemente no se encontraron informes sobre si estas plantas y animales lograron sobrevivir hasta la siguiente campaña. Respecto a los árboles, para 1960, cuatro de los ejemplares se habían secado (ver Figura 2) y dos habían sido arrancados por el viento, debido a que estaban plantados de forma superficial, a consecuencia de la fina capa de sedimento presente sobre el lecho rocoso. Es posible que la muerte de estos árboles pueda haberse debido a la falta de adaptación fisiológica al clima antártico.

Durante la Campaña Antártica de Verano 1960/61 el IAA envió otro grupo al Refugio Cobett, integrado por el biólogo Alfredo Corte, el técnico químico Norberto Bienati y el estudiante de ingeniería y conscripto Ermete R. Boggio. El 22 de diciembre de 1960 este grupo descubrió que los árboles secos se encontraban rodeados de un pasto no nativo conocido comúnmente como poa de los prados (*Poa pratensis* L). Este pasto resultó ser la primera introducción, tal vez accidental, de una gramínea en la Antártida. Un mes después, avanzado el verano, aparecieron flores masculinas y femeninas, pero al finalizar la campaña (el 24 de febrero) no se había observado la formación de semillas. Incluso se experimentó plantando un ejemplar en una maceta con tierra del lugar, el cual, si bien logró sobrevivir, tampoco desarrolló semillas. Por otro lado, la poa de los prados fue avanzando sobre la gramínea autóctona *Deschampsia antarctica*. Fue así como en 2012, durante la XXXV Reunión Consultiva del Tratado Antártico, se decidió erradicar la poa de los prados para proteger a la flora local, en cumplimiento con lo establecido por el Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente, también conocido como Protocolo de Madrid, firmado en 1991. Finalmente, durante el verano austral 2014/15 se extrajeron más de 500 kg de suelo y material vegetal, lográndose la erradicación total en Punta Cierva de esta planta no nativa. En 2016 se realizó un seguimiento de la erradicación sin observarse nuevos ejemplares de la planta exótica.

El plan de doblamiento antártico de Pujato

En realidad, la introducción de especies arbóreas exóticas en la Antártida por parte de la Armada Argentina durante el verano 1954/55, constituía un antecedente para el otro proyecto argentino que planificaba la introducción de especies arbóreas en la Antártida, pero a una escala mayor: el plan de instalación de un poblado antártico, ideado por Hernán Pujato, General del Ejército Argentino y director del IAA desde su crea-

ción en 1951 hasta el año 1955. En este caso no se trataba de especies nativas patagónicas, sino del pino enano siberiano (*Pinus pumila*), el cual se encuentra en regiones frías del hemisferio norte, tales como Siberia. El plan de Pujato incluía actividades productivas concentradas también en la explotación de animales peleteros introducidos, tales como la cabra siberiana, el visón, la marta cibelina, el zorro plateado, el zorro azul, el zorro de las nieves, el conejo de angora y cuarenta razas diferentes de conejos de pedigrí, del blanco al azul, las chinchillas gris y negra, gansos de pedigrí, perros polares y perros San Bernardo de búsqueda y rescate. El plan también mencionaba la conveniencia de que esa población fuera una base para un barco factoría ballenero. El Estado trabajaría con la comercialización de productos, pagaría salarios a las personas y les otorgaría importantes beneficios, especialmente a los niños nacidos en la Antártida.

Para la campaña 1954/55 se dispuso realizar un reconocimiento en cabo Primavera por parte del personal del Ejército, para comenzar con los preparativos del poblado el cual sería instalado en la campaña siguiente, pero el golpe de Estado de septiembre de 1955, con la consiguiente destitución del presidente Juan Domingo Perón, hicieron caer en desgracia a Pujato, y con él a su plan de poblamiento antártico, así como a la introducción del pino enano siberiano. La firma del Tratado Antártico en 1959 posiblemente contribuyó a postergar el plan, dado que la presencia humana permanente en el continente quedaba subordinada en función de la actividad científica. De todas formas, el plan de instalar familias recién fue concretado en 1977, pero en la Base Esperanza, sin introducción de especies exóticas ni actividades productivas ni explotación alguna de los recursos, y con familias que permanecían un año en el lugar. Actualmente la Argentina es el único país con familias habitando en la Antártida, y es el que más nacimientos suma en ese continente: un total de cuatro mujeres y cuatro varones, entre ellos el primero de cada sexo nacido en territorio continental antártico, ambos a principios de 1978.

Si bien la instalación de un poblado antes de la firma del Tratado Antártico hubiera tenido un indudable valor político para la Argentina, de haberse implementado con la introducción de numerosas especies exóticas, se habría transformado en una poderosa "bomba medioambiental" de profundas consecuencias, teniendo en cuenta el impacto que la introducción de seis jóvenes árboles causó a largo plazo.

DOSSIER

Glosario

Colémbolos: artrópodos hexápodos (tres pares de patas), cercanos a los insectos, pertenecientes al *Phylum* Arthropoda, Clase Collembola. Son animales diminutos, ubicuos, que ocupan todos los continentes (incluso Antártida). Son, probablemente, los hexápodos más numerosos de la Tierra. En la cabeza tienen dos antenas. Presentan un apéndice retráctil (fúrcula o furca) con el cual pueden propulsarse muchas veces el largo de su cuerpo, que no suele superar los 5 o 6 mm. Tienen una morfología bucal particular dependiendo de lo que comen. Pueden tener comportamientos migratorios diferentes como reacción a cambios en la calidad del ambiente y también a la polución.

Cretácico Superior: división de la escala temporal geológica que se extendió desde hace 100,5 hasta 66 millones de años atrás.

Ritmo circadiano: cambios físicos, mentales y conductuales que siguen un ciclo de 24 horas. Estos procesos naturales responden, principalmente, a la luz y la oscuridad, y afectan a la mayoría de seres vivos.

Tardígrados: animales invertebrados segmentados, microscópicos (de 500 μm de media), llamados comúnmente "osos de agua" debido a su aspecto y movimientos, pertenecientes al *Phylum* Tardigrada. La mayoría son terrestres y habitan fundamentalmente en los musgos, líquenes o helechos, aunque también pueden llegar a habitar aguas oceánicas o de agua dulce, no habiendo rincón del mundo que no habiten. Son de forma ovalada o alargada, pueden entrar en criptobiosis (metabolismo reducido) y se alimentan succionando líquidos vegetales o animales. Son organismos extremófilos.

Terraformar: modificar deliberadamente la atmósfera, la temperatura, la topografía o la ecología de un planeta o satélite natural para asemejarlo al entorno de la Tierra y hacerlo adecuado para la vida terrestre.

Resumen

La Antártida actualmente es conocida como el continente blanco por estar cubierta de un gigantesco manto de hielo. Pero antes de transformarse en el territorio helado que conocemos hoy, estuvo cubierta de bosques. Fue hace cien millones de años, y de aquella vegetación arbórea sólo se encuentran fósiles. Sin embargo, hubo un momento relativamente reciente, en el que la Antártida también tuvo árboles, aunque en un número muy limitado y por un tiempo muy breve. Esto tuvo lugar a mediados de la década del cincuenta del siglo XX de la mano de las Fuerzas Armadas Argentinas. Aquí exploramos esta historia poco conocida.

Para ampliar este tema

- Corte, A. (1961). *La primera fanerogama adventicia hallada en el continente Antártico*. Contribución del Instituto Antártico Argentino 62. Buenos Aires: Instituto Antártico Argentino.
- Mottet, J.L. (2002). *Reminiscencias: hace más de medio siglo Antártida continental argentina*. Orlando, Florida: Editorial Central Repro Inc.
- Pertierra, L. R., Hughes, K. A., Tejedo, P., Enríquez, N., Lucíañez, M. J., & Benayas, J. (2017). Eradication of the non-native *Poa pratensis* colony at Cierva Point, Antarctica: A case study of international cooperation and practical management in an area under multi-party governance. *Environmental Science & Policy*, 69: 50-56. [[Disponible en Internet](#)].
- Smith, R. I. L., & Richardson, M. (2011). Fuegian plants in Antarctica: natural or anthropogenically assisted immigrants. *Biological Invasions*, 13(1):1-5.
- Vento, B. Agrain, F. & Puebla, P. (2022). Ancient Antarctica: the early evolutionary history of *Nothofagus*. *Historical Biology*, 1-11. [[Disponible en Internet](#)]

DOSSIER

CIENCIAS DE LA VIDA

ENTRE HUMANOS Y AVES

¿Cómo afectan las actividades turísticas, logísticas y científicas a la salud de los pingüinos Papúa en la Antártida? Un análisis de sangre podría ser la clave para entenderlo.

Carla Di Fonzo y Martín Ansaldo

Los seres humanos dependemos de los ecosistemas marinos para obtener bienes y servicios, pero por su explotación inadecuada, los hemos alterado directa o indirectamente. Investigadores del Centro Nacional de Análisis Ecológicos de la Universidad de California, analizaron 20 ecosistemas marinos localizados en distintos lugares del mundo y encontraron que ninguno estaba libre del impacto humano. También observaron que las áreas de menor impacto constituyen aproximadamente el 3,7% de los océanos y se encuentran en los polos ártico y antártico, donde el hielo estacional o permanente limita el acceso humano. Cabe destacar que en este estudio no se tuvo en cuenta la pesca ilegal, no regulada y no declarada en la Antártida, ni la contaminación atmosférica en el Ártico.

Las aves marinas son componentes importantes de los ecosistemas acuáticos por lo que su condición como centinelas (ver Glosario) de la salud ambiental ha sido bien documentada. Son utilizadas como indicadores para evaluar tanto el efecto de la contaminación, como los cambios en las poblaciones de peces y los efectos de las prácticas de manejo de pesquerías; además de hacer visibles las variaciones en el ecosistema acuático por efecto del cambio climático. En consecuencia, el monitoreo de las poblaciones de

aves marinas, proporciona un registro confiable de las respuestas a la perturbación de los ecosistemas marinos.

Se ha visto que el estado de salud de algunas especies de pingüinos puede reflejar las condiciones oceánicas locales y/o regionales debido a que son altamente especializadas y capturan su alimento mediante la natación y el buceo, habilidad que los hace sobresalir sobre otras especies de aves. Además, poseen un hábito de alimentación muy limitado, particularmente durante la temporada de reproducción. Estas características hacen que su estado metabólico refleje, no solo los cambios en la productividad del océano, sino también aquellas variaciones inducidas por el hombre en el medio ambiente, incluida la presión de la pesca, la variación del clima y la contaminación por xenobióticos (ver Glosario).

En la Antártida, las escasas áreas sin hielo cercanas a la costa son utilizadas por los pingüinos Papúa (ver Figura 1) para asentar sus colonias. Estos mismos espacios también se usan como sitios para el establecimiento de estaciones de investigación científica que, además, suelen ser regularmente visitadas por los turistas. Por tanto, esta cercanía de los asentamientos humanos sobre las colonias podría influir negativamente sobre las poblaciones de los pingüinos en Antártida.

Palabras clave: Antártida, bioquímica sanguínea, biomarcadores de estrés oxidativo, impacto antrópico, pingüinos Papúa.

Carla Di Fonzo¹

Dra. en Ciencias Biológicas
cid@mrecic.gov.ar

Martín Ansaldo¹

Dr. en Ciencias Biológicas
nsd@mrecic.gov.ar

¹Departamento de Ecofisiología y Ecotoxicología, Instituto Antártico Argentino (IAA-DNA, MRECiyC)

Recibido: 01/09/2023. Aceptado: 14/11/2023.



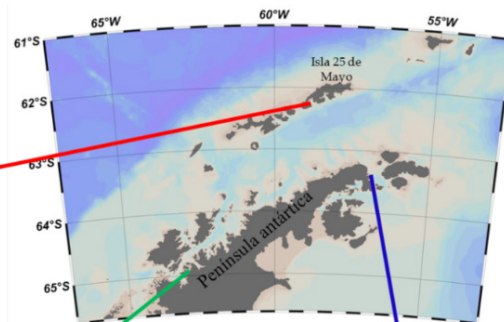
Figura 1. Imagen de pichones y adulto de pingüino Papúa.

Imagen: C. Di Fonzo.

DOSSIER



Colonia Carlini



Colonia Brown



Colonia Esperanza

Figura 2. Ubicación de las colonias estudiadas de pingüinos adultos reproductores Papúa. Se puede observar la ubicación de las bases en el norte de la Península Antártica (mapa), y la cercanía de las colonias de pingüinos a las mismas.

Imagen: C. Di Fonzo.

Los científicos han mostrado gran interés en el uso de marcadores fisiológicos (ver Glosario), entre ellos la bioquímica sanguínea (ver Glosario) y los indicadores de estrés oxidativo (ver Glosario), como indicadores de la salud de las poblaciones animales. La bioquímica sanguínea constituye una de las bases para el diagnóstico y es especialmente importante en aves que, con frecuencia, muestran mínimos signos clínicos de enfermedad. La sangre es esencial para el mantenimiento del equilibrio de electrolitos y del agua, así como para el funcionamiento del sistema inmunológico.

Factores como la actividad física, los cambios en la temperatura ambiente, la disponibilidad del alimento y el estrés por exposición a sustancias que no se encuentran de forma natural en el ambiente, denominadas xenobióticos, pueden generar alteraciones en el balance oxidante/antioxidante generando estrés oxidativo (ver Glosario) que, a su vez, puede repercutir tanto en la longevidad como en la reproducción y en la respuesta inmune de los organismos. Estas características hacen que los marcadores del estado oxidativo y bioquímica sanguínea sean herramientas útiles para evaluar, *a priori*, las perspectivas individuales de reproducción y supervivencia, así como, *a posteriori*, el efecto de las actividades humanas sobre la salud de las especies de interés para la conservación y la vida silvestre en general.

Los pingüinos Papúa, al igual que todos los organismos que habitan en la Antártida, se encuentran expuestos a condiciones ambientales severas -temperaturas extremadamente bajas y elevada irradiación UV-

que pueden exacerbar la producción de oxidantes (ver Glosario) en su medio interno. Como se mencionó anteriormente, a lo largo de la historia las estaciones científicas se establecieron cercanas a las zonas de nidificación. Esto, sumado a las condiciones del ambiente extremo, hace que los pingüinos estén, además, expuestos al impacto antrópico tanto por presencia (turismo y actividad científica / logística en el terreno) como por generación de xenobióticos producto del uso de combustibles, la emisión de humos y la liberación de fármacos al ambiente. Estos factores, también alteran los niveles de los componentes de la bioquímica sanguínea como glucosa, fósforo inorgánico, calcio, triglicéridos, hierro, proteínas plasmáticas, que permiten conocer el estado nutricional y el de salud de los individuos.

Sabiendo que no quedan áreas en los océanos del mundo que no hayan sido afectadas por la actividad humana y que las áreas de relativamente poco impacto humano permanecen cerca de los polos; y que los pingüinos son buenos centinelas de las alteraciones de los ecosistemas marinos, evaluamos la bioquímica y el balance oxidante/antioxidante sanguíneo de los pingüinos Papúa que habitan en tres colonias con distinto grado de impacto antrópico. La información obtenida permite conocer no solo el estado fisiológico de los pingüinos al momento del muestreo y sino que también posibilita su seguimiento a largo plazo.

La incorporación en los modelos ecológicos de los datos obtenidos a partir de dichos monitoreos, puede mejorar las predicciones de las respuestas de los pingüinos a las perturbaciones ambientales naturales o

DOSSIER



Imagen: E. Ruiz Barlett.

A



Imagen: C. Di Fonzo.

B



Imagen: E. Ruiz Barlett.

C

Figura 3. Colonias de pingüinos Papúa reproductores en su nido cercanas a: A. Base Carlini. ZAEP 132, Península Potter, Isla 25 de Mayo; B. Base Esperanza, Bahía Esperanza, Península Antártica, donde se pueden observar las instalaciones de la base y un buque turístico; y C. Base Almirante Brown, Bahía Paraíso, Península Antártica, donde se pueden observar las instalaciones de la Base y la basura histórica acumulada.

de origen antrópico, proporcionando así herramientas útiles para apoyar las decisiones de gestión necesarias para su conservación. Por ello, resulta imprescindible conocer los valores basales de la bioquímica sanguínea y el estado antioxidante que permitan hacer comparaciones entre poblaciones y entre años. De este modo, se podrán evaluar posibles variaciones en la salud de los pingüinos y será posible tomar decisiones acerca de los planes de manejo y protección de dicha especie en las distintas zonas de nidificación en Antártida.

Dónde y cómo se adquirieron las muestras

Trabajamos en tres colonias de pingüinos Papúa durante la campaña antártica de verano 2015-2016, ubicadas cerca de tres bases antárticas argentinas. A las colonias estudiadas las nombramos Carlini, Esperanza y Brown (ver Figura 2), de acuerdo con la base antártica a la que se encuentra asociada. Cercano a la base Carlini ($62^{\circ}14'S$, $58^{\circ}40'O$, Península Potter, Isla 25 de Mayo, Islas Shetland del Sur) (ver Figura 3A) y, dentro de la Zona Antártica Especialmente Protegida (ZAEP N°132), se encuentra una importante colonia de pingüinos Papúa, con una población aproximada de 4.000 parejas. El ingreso a la ZAEP está estrictamente regulado para el único fin de investigaciones científicas, evitando de esta forma que los programas de monitoreo y de investigación a largo plazo puedan resultar alterados por cualquier actividad humana, por ejemplo, destrucción de la vegetación y suelos, perturbación de aves anidando y mamíferos criando. Por esta razón, consideramos a las colonias asentadas en la ZAEP como las menos impactadas por la actividad humana.

En Bahía Esperanza ($63^{\circ}23'S$, $56^{\circ}59'O$, Bahía Esperanza, Península Antártica) (ver Figura 3B), la situación es completamente diferente a la anterior. Al lado de las edificaciones de la base Esperanza, como el taller mecánico y un galpón de depósito, se encuentra parte de una colonia de aproximadamente 500 parejas. Bahía Esperanza no es un área protegida por lo que la visita de turistas está permitida, aunque esta actividad es relativamente baja porque es una zona de difícil acceso para buques turísticos por la permanencia de bloques de hielo. Por ejemplo, en el verano 2015-2016, temporada en que realizamos el muestreo, visitaron la zona 3.226 personas en buques turísticos, de las cuales 1.440 recorrieron la bahía en embarcaciones menores, mientras que 727 descendieron de los botes y visitaron las instalaciones de la base (Fuente: Asociación Internacional de Operadores Turísticos Antárticos). El área de nidificación de los pingüinos está cerca de donde se desarrolla la actividad normal de la base, en la que

DOSSIER

suelen habitar entre 60 y 80 personas según la época del año. Sumado a lo antes señalado, en la zona se encuentran residuos (históricos y actuales), algunos generados en años previos a los compromisos internacionales asumidos por la Argentina en el Sistema del Tratado Antártico, particularmente los del Protocolo de Madrid. Todas estas particularidades hacen que consideremos a esta colonia como la que sufre un impacto antrópico intermedio, aunque crónico.

La tercera colonia, de aproximadamente 200 parejas, es la que se encuentra asentada entre las instalaciones de la base Almirante Brown (64°53'S, 62°52'O, Bahía Paraíso, Península Antártica) (ver Figura 3C). El turismo es muy intenso en esta zona durante la primavera y verano. Por ejemplo, en la temporada en que tomamos las muestras, la base fue visitada por 13.619 personas, de las cuales 2.665 recorrieron Bahía Paraíso en embarcaciones menores, mientras que 8.542 desembarcaron en la zona y 1.556 recorrieron las instalaciones pasando por la zona de nidificación. La base Brown es una estación científica temporaria, que solo se encuentra operativa durante el verano, con una dotación de aproximadamente 12 personas. Esta base sufrió desde su inauguración dos incendios, lo que ocasionó que su utilización y mantenimiento fueran discontinuados a través de los años. Este hecho provocó la acumulación de gran cantidad de residuos que, recién en los últimos años, comenzaron a ser removidos. Por lo antes expuesto consideramos a esta colonia de pingüinos como la que soporta mayor disturbio antrópico.

En cada colonia, con una red tipo copo (ver Figura 4) capturamos 15 pingüinos adultos en etapa repro-



Imagen: C. Di Fonzo.

Figura 4. Red tipo copo con la que capturamos los pingüinos.

ductiva. Los pesamos e inmediatamente después de la captura, extrajimos una muestra de 3 ml de sangre de la vena metatarsiana dorsal de cada ave, para evitar cambios en los parámetros medidos debido a estrés por manipulación. A las muestras de sangre las conservamos en tubos plásticos de 1,5 ml y en frío. Luego las congelamos a -20 °C hasta su análisis en el Laboratorio de Ecofisiología y Ecotoxicología del Instituto Antártico Argentino (ubicado en Buenos Aires).

Tabla 1. Valores de bioquímica sanguínea de adultos de pingüinos Papúa que anidan en cercanías de las bases Carlini, Esperanza y Brown. Concentración de: triglicéridos (g/L), glucosa (mg/dL), ácido úrico (mg/dL), calcio (mg/dL), fósforo inorgánico (mg/dL), fructosamina (mmol/L) y proteínas plasmáticas totales (mg/mL). E.E.: error estándar.

	CARLINI		ESPERANZA		BROWN	
	Media	E.E.	Media	E.E.	Media	E.E.
Triglicéridos	0,16	0,03	0,71	0,05	0,34	0,05
Glucosa	96,71	10,11	123,53	3,94	133,45	9,19
Ácido Úrico	3,82	0,45	9,13	0,92	5,23	0,82
Calcio	4,46	0,57	19,15	0,99	8,01	1,18
Fósforo inorgánico	3,73	0,4	4,7	0,37	4,64	0,74
Fructosamina	2,36	0,31	1,97	0,28	1,72	0,27
Proteínas plasma	31,7	3,64	62,53	2,21	51,84	6,48

DOSSIER

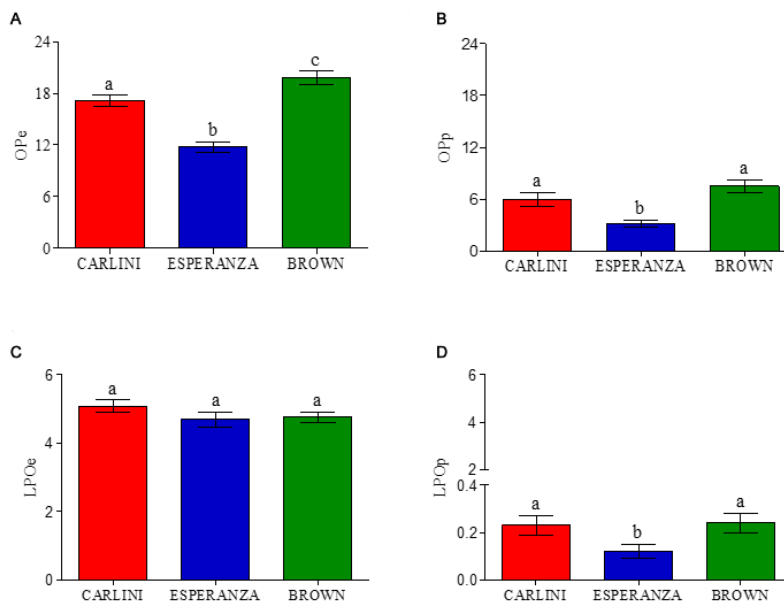


Figura 5. Daño oxidativo de proteínas (OP) y lípidos (LPO) sanguíneos de adultos de Papúa que anidan en cercanías de las bases Carlini, Esperanza y Brown. A). OPe: Oxidación de proteínas eritrocitarias. B). OPp: Oxidación de proteínas plasmáticas. C). LPOe: Oxidación de lípidos eritrocitarios. D). LPOp: Oxidación de lípidos plasmáticos. Los valores están expresados como media \pm error estándar. Distintas letras indican diferencias estadísticas.

Para evaluar la bioquímica sanguínea medimos los niveles de glucosa, fósforo inorgánico, calcio, triglicéridos, hierro, proteínas plasmáticas, fructosamina y ácido úrico. Además, para estudiar el balance oxidante/antioxidante medimos la actividad de enzimas antioxidantes (CAT y GST), niveles de antioxidantes no enzimáticos (GSH y ácido úrico) y la oxidación de lípidos (LPO) y proteínas (OP), ambos indicadores de daño oxidativo.

¿Qué nos dicen los datos obtenidos?

Los pesos promedio de los pingüinos fueron similares para las tres colonias, aunque levemente menores en Brown. Estos fueron: Carlini: $4,96 \pm 0,07$ Kg, Esperanza: $4,98$

$\pm 0,13$ Kg y Brown: $4,61 \pm 0,16$ Kg (media \pm error estándar).

En la Tabla 1 presentamos valores de los parámetros de bioquímica sanguínea medidos en los adultos de Papúa de cada base. Estos mostraron en su mayoría, diferencias entre los individuos de las tres bases, salvo para fósforo inorgánico y fructosamina que fueron similares en las 3 zonas. Los valores de triglicéridos, glucosa, calcio y proteínas totales resultaron menores en los pingüinos de Carlini, mientras que el nivel de ácido úrico registrado en los pingüinos de Esperanza fue el más alto.

En cuanto al balance oxidante/antioxidante, la colonia ubicada en cercanías de la base Esperanza fue la que presentó valores menores de daño oxidativo

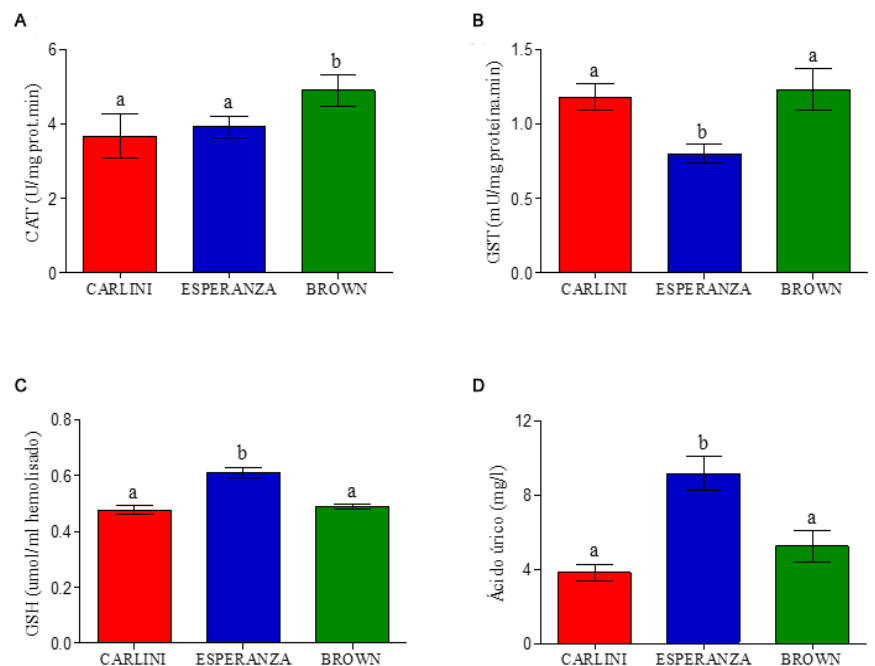


Figura 6. Estado antioxidante sanguíneo de adultos de Papúa que anidan en cercanías de las bases Carlini, Esperanza y Brown. CAT: Catalasa (A), GST: Glutacion s-transferasa (B) y niveles de GSH: Glutacion reducido (C) y de AU: Ácido úrico (D). Los valores están expresados como media \pm error estándar. Distintas letras indican diferencias estadísticas.

DOSSIER

tanto en proteínas como lípidos (ver Figura 5). La actividad de catalasa (CAT) fue mayor en los pingüinos de Brown (ver figura 6A). Además, los pingüinos de Carlini y Brown presentaron mayor actividad enzimática antioxidante (ver Figura 6B) y menores niveles de antioxidantes no enzimáticos (ver Figuras 6C y 6D).

Los valores de la bioquímica sanguínea registrados en el presente trabajo, estuvieron dentro del rango reportado por otros investigadores para pingüinos de la misma especie. Las diferencias observadas, principalmente en los niveles de triglicéridos, podrían estar relacionadas con la dieta, en especial con la relación en el porcentaje de kril y peces que consumen los pingüinos de cada zona. Los pingüinos Papúa son considerados oportunistas y se alimentan de especies que se encuentran temporal y espacialmente en parches. Entre sus presas principales se encuentran crustáceos, peces y calamares, variando la composición relativa de la dieta de acuerdo a la localización de la colonia y a la etapa del ciclo reproductivo. Las colonias estudiadas se alimentan en distintas proporciones de las presas mencionadas según la zona.

El consumo de kril en la colonia Carlini constituye aproximadamente el 100% de la dieta, en Brown el 90% y en Esperanza entre el 30% y el 50%, considerando la frecuencia de ocurrencia y peso del contenido estomacal. En los dos últimos casos la dieta se completa con peces. La energía aportada por el kril o los peces, es similar, pero no el porcentaje de triglicéridos, que resulta ser mayor en los peces.

Los valores de glucosa, estuvieron por debajo de los informados por otros investigadores para pingüinos de la misma especie. Llama la atención los valores particularmente bajos en los pingüinos Papúa de la colonia Carlini. Bajos niveles de glucosa podrían presentarse por malnutrición, ayuno, una enfermedad hepática o una sistémica. A su vez, en dicha colonia, observamos los niveles más bajos de proteínas totales en comparación con las otras dos colonias, valores que además se encuentran por debajo de los informados anteriormente para la misma especie. Usualmente, los niveles de proteínas totales son utilizados para evaluar el estado general, y en particular, el estado nutricional de las aves. Bajos niveles de dicho parámetro indicarían malnutrición, mala absorción de nutrientes y estrés, entre otras afecciones.

Debido a la sobre explotación de la pesca comercial de fines de los 70 y principios de los 80, se registró una considerable reducción de las poblaciones de las especies de peces endémicas en la zona de la base Carlini. A pesar de que con el tiempo la mayoría de las

poblaciones de peces fueron recuperándose, algunas especies no volvieron a sus valores originales. Éstas, como era de esperar, prácticamente no se encuentran entre las presas de los pingüinos Papúa de Carlini. En cambio, en Bahía Esperanza, las mismas especies están presentes correspondiendo al 48% del peso del contenido estomacal. Esta composición distinta de la dieta justificaría en primer lugar, la diferencia observada en la bioquímica sanguínea de las diferentes colonias en el presente trabajo. Además, debido a que desde los años 70, la población de kril ha disminuido como resultado del desarrollo de la pesca comercial ya mencionada y por el impacto del cambio climático. La menor disponibilidad de la principal especie-presa para el pingüino Papúa, conllevaría a un aumento del esfuerzo de forrajeo, seguido del aumento de desgaste físico con el consecuente desequilibrio en el estado oxidativo.

Aunque los niveles bajos de triglicéridos, glucosa, calcio y proteínas totales indicarían que los pingüinos Papúa de la colonia Carlini no estaban en un buen estado de salud, el peso y otras variables no varían en relación a los pingüinos de las otras colonias. Por lo tanto, afirmar que estos se encontraban en un estado de malnutrición o con alguna enfermedad en particular, sería apresurado, pues habría que testear posibles patologías además de hacer hincapié en la disponibilidad de las presas que componen su dieta y en cómo la alteración de su disponibilidad pueda seguir afectándolos.

Existe una larga lista de factores generados por impacto antrópico que pueden afectar de manera directa o indirecta el estado oxidativo/antioxidante de los animales expuestos. Entre ellos se puede mencionar: la presencia humana *per se*, el turismo, la contaminación lumínica y sonora, los humos, los pesticidas, los metales, la radiación, el calentamiento del aire, la sequía, las variaciones en la disponibilidad de alimentos y las enfermedades emergentes. Varios de estos factores pueden estar actuando a la vez sobre el metabolismo de los pingüinos, por lo que resulta complejo determinar cuál de todos ellos es el de mayor relevancia en este estudio y se deben asociar las alteraciones encontradas en el balance oxidante/antioxidante sanguíneo.

Los pingüinos Papúa de la colonia Esperanza mostraron los niveles de menor daño oxidativo. Además, exhibieron baja actividad enzimática antioxidante de GST (enzima que está directamente relacionada con la detoxificación de xenobióticos). En cambio, las colonias de Carlini y Brown son las que presentaron mayores valores de daño oxidativo. Los niveles altos de

DOSSIER



Figura 7. Ubicación de las zonas de muestreo cercanas a base Carlini (ZAEP 132). Los puntos rojos indican bases antárticas temporales y permanentes de distintos países. Imagen realizada con Quantarctica 3 (Quantum GIS [Since 2.0 just QGIS] + Antarctica = "Quantarctica") (Norwegian Polar Institute, 2018).

oxidación de lípidos y proteínas, junto a la actividad antioxidante de GST también elevada, llevarían a pensar que estas últimas son las colonias más perturbadas. Los pingüinos de la población de Brown, viven y se alimentan en zonas disturbadas, tanto por la actividad de la base científica como por el desembarco constante y el aumento de turistas. No esperábamos que fuese así en el caso de la colonia de Carlini, porque desde un comienzo la consideramos como la de menor perturbación humana. Pero las zonas de buceo y forrajeo de los pingüinos dentro de la Bahía de la Guardia Nacional, cercana a la base Carlini, estarían recibiendo el impacto de varias bases científicas de otros países que se han instalado en la zona (ver Figura 7), con su logística y episodios accidentales de contaminación asociados como, por ejemplo, derrames ocasionales de combustible.

Los antioxidantes no enzimáticos mostraron ser los actores principales en las defensas antioxidantes sanguíneas de los pingüinos Papúa, ya que presentaron mayores niveles en la colonia Esperanza y, a su vez, menores niveles de oxidación de lípidos y proteínas. Estos resultados nos hacen suponer que, tanto el GSH como el ácido úrico, estarían colaborando en la atenuación del daño oxidativo.

El efecto de actividad humana directa que reciben las colonias está reflejado en el aumento de la actividad enzimática antioxidante de CAT, que fue el

más alto en la colonia de pingüinos de Brown. La enzima (ver glosario) CAT, actúa en la primera barrera de defensa antioxidante. En estudios hechos con aves marinas del Ártico, se observó que distintos contaminantes se relacionaban positivamente con las respuestas de enzimas antioxidantes como CAT y la capacidad antioxidante total. Esta situación podría ser similar a lo que está ocurriendo en la colonia de pingüinos de la base Brown, aunque para corroborarlo, deberían realizarse mediciones de los contaminantes en la zona.

Como conclusión y a partir de los resultados presentados, es evidente que a nivel fisiológico los pingüinos están experimentando alteraciones que podrían tener consecuencias a largo plazo. Si bien es difícil determinar impactos directos que afectan a las poblaciones de pingüinos, sus exámenes de sangre evidencian señales de stress que deben seguir siendo evaluados de forma multidisciplinar. En última instancia, es crucial entender las respuestas fisiológicas de los organismos ante los estresores ambientales para predecir cómo podrían responder a entornos en constante cambio.

Agradecimientos

A la Srta. Marta Sierra y al Lic. Matías Belinco por sus valiosas sugerencias y comentarios.

DOSSIER

Glosario

Bioquímica sanguínea: análisis de una muestra de sangre para medir la cantidad de ciertas sustancias como sodio, potasio y cloruro, grasas, proteínas, azúcar y enzimas.

Centinelas: organismos en los que cambios sobre algunas características conocidas pueden ser medidas para evaluar el grado de perturbación ambiental.

Enzima: proteína que actúa como acelerador de reacciones químicas del metabolismo.

Estrés oxidativo: desequilibrio entre la producción de daño y la capacidad de un organismo de repararlo mediante los antioxidantes.

Marcadores fisiológicos: característica del metabolismo definida, medible y cuantificable que sirve como indicador de un estado de procesos biológicos normales, procesos patógenos o respuestas a una exposición o intervención.

Oxidante: compuesto químico que daña a biomoléculas como los lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, provocando el daño oxidativo.

Escanear el código QR para poder leer la bibliografía de respaldo de este artículo:



Resumen

Durante las últimas décadas, las actividades humanas han aumentado en la Antártida, principalmente debido a operaciones logísticas y turísticas, con un impacto negativo en las poblaciones de pingüinos, afectando sus respuestas fisiológicas. Desarrollamos, entonces, el presente proyecto para evaluar el estado sanitario de los pingüinos Papúa (*Pygoscelis papua*) analizando la bioquímica sanguínea y el equilibrio entre los compuestos oxidantes y antioxidantes presentes en su sangre. Para este estudio seleccionamos tres colonias según la intensidad del impacto humano a la que están expuestas: Península Potter (bajo); Bahía Esperanza (intermedio) y Bahía Paraíso (alto).

Para ampliar este tema

- Barbosa, A. (2011). Efectos del cambio climático sobre pingüinos antárticos. *Ecosistemas* 20 (1): 33-41.
- Di Fonzo, C. I. (2019). Determinación de parámetros sanguíneos en tres especies de pingüinos antárticos. Su utilidad para definir el estado fisiológico natural (Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales).
- Di Fonzo, C. I. (2021). Seminario virtual: Fisiología: la forma de conocer la salud de los pingüinos. [\[Disponible en Internet\]](#)
- García Borboroglu, P. y Dee Boersma, P. (2015) *Pingüinos, historia Natural y conservación*. Capítulo 2. Buenos Aires: Vazquez Manzini Editores.
- McClintock, J., Ducklow, H. y Fraser, W. (2008). Ecological responses to climate change on the Antarctic Peninsula. *American Scientist* 96: 302-310.