

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

**Impacto del cambio en la cobertura de nieve por cambio climático en
pinnípedos de la Península Antártica.**

**Monografía previa a la obtención del título de Licenciado en Ciencias
Biológicas**

KENNETH MATHIAS VEGA COBOS

Quito, 2023

CERTIFICACIÓN

Certifico que la monografía de Licenciatura en Ciencias Biológicas del Sr. Kenneth Mathias Vega Cobos ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas, por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.



Dr. Santiago F. Burneo

Director de la monografía

Quito, 8 de diciembre de 2023

DEDICATORIA

A mi madre y a mi padre, cuyo amor incondicional y apoyo constante han sido la base sobre la que he construido con cada uno de mis logros. Me han enseñado que el esfuerzo y la perseverancia siempre dan frutos. Su fe en mí y su alegría en mis triunfos guía mi camino. A mis hermanos, en especial a Carlos, que siempre ha estado a mi lado compartiendo alegrías y tristezas. Ha sido mi fuente de inspiración y motivación, mi ejemplo a seguir. Su guía y apoyo han sido fundamentales en cada paso que he dado. A mi pareja, tu presencia ha hecho de este viaje una experiencia maravillosa. Tus palabras de aliento en los momentos de duda y tu alegría en mis logros me han impulsado a seguir adelante. A mis profesores, gracias a ellos, he podido adquirir las herramientas necesarias para enfrentar los retos que se presenten en el camino de la Biología. En especial al Dr. Santiago F. Burneo que, con su paciencia, sabiduría y dedicación, ha guiado mi camino académico. Su pasión por el conocimiento ha encendido en mí el deseo de aprender y crecer para en algún momento ser un profesional de su categoría. Y, finalmente, a mis amigos, con quienes he compartido esta travesía. Nuestro compañerismo y amistad han hecho de esta etapa una experiencia inolvidable, juntos hemos enfrentado retos, celebrado triunfos y aprendido uno del otro. Esta monografía es gracias a ustedes, las personas importantes, a quienes se la dedico. Cada página de este trabajo lleva impresa una parte de ustedes, porque sin su apoyo no habría sido posible.

TABLA DE CONTENIDOS

CARÁTULA	I
CERTIFICACIÓN.....	II
DEDICATORIA.....	III
TABLA DE CONTENIDOS.....	IV
LISTA DE FIGURAS	V
1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT	3
3. INTRODUCCIÓN	4
4. OBJETIVOS	6
4.1. OBJETIVO GENERAL:.....	6
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	6
5. DESARROLLO TEÓRICO	7
5.1. ANTÁRTIDA	7
5.2. DIVERSIDAD EN LA ANTÁRTIDA	7
5.3. CAMBIO CLIMÁTICO Y GLACIARES	10
5.4. PINNÍPEDOS Y COBERTURA DE HIELO	15
5.5. IMPACTO DEL DESHIELO EN PINNÍPEDOS.....	20
6. CONCLUSIONES	27
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Antártida.	7
Figura 2. Elefante marino del sur	8
Figura 3. Focas en la Antártida..	9
Figura 4. Lobos finos en la Antártida.....	9

1. RESUMEN

El aumento global de la temperatura y las alteraciones en los patrones climáticos causados por las actividades antropogénicas, constituyen una de las principales crisis ambientales impactando especialmente a la Antártida. Los pinnípedos, que dependen del hielo marino y de las temperaturas estables en los océanos para su supervivencia y reproducción, se ven particularmente afectados. Estos animales necesitan estas condiciones para crear refugios, asegurar la disponibilidad de alimentos, reproducirse y cuidar a sus crías, y vivir en colonias sin competencia excesiva. Con el objetivo de evaluar el posible impacto del cambio climático en poblaciones de pinnípedos en la península antártica, y como parte de los estudios realizados en las cercanías de la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, investigamos las consecuencias del aumento de temperaturas en los glaciares y su influencia en las poblaciones de pinnípedos antárticos, destacando los efectos del cambio climático en estos ecosistemas. Los impactos van más allá de la alteración del paisaje y el incremento del nivel del mar; afectan la biodiversidad y los ecosistemas marinos. La acidificación del océano, la disminución de oxígeno y los cambios en la disponibilidad de alimentos afectan a todos los seres vivos. La distribución, comportamiento reproductivo y patrones alimentarios de los pinnípedos están vinculados a la presencia y dinámica de la cobertura de hielo marino, ya que para su reproducción forman agregaciones en tierra firme o la realizan en plataformas de hielo flotante. que son esenciales para la búsqueda de alimento, el refugio contra los depredadores y la regulación de las interacciones sociales y mudas. Por lo tanto, entender la ecología de los pinnípedos es esencial para conservar los ecosistemas antárticos. Es de suma importancia realizar estudios a largo plazo y monitoreo, para la conservación no solo de estas especies, sino también la preservación de la Antártida y las complejas interacciones que equilibran los frágiles entornos polares.

Palabras clave: Antártida, cambio climático, cobertura de hielo, Península Antártica, pinnípedos.

2. ABSTRACT

The global increase in temperature and alterations in weather patterns, caused by anthropogenic activities, constitute one of the main environmental crises impacting Antarctica in particular. Pinnipeds, which depend on sea ice and stable ocean temperatures for their survival and reproduction, are particularly affected. These animals need these conditions to create shelters, ensure food availability, reproduce and care for their offspring, and live in colonies without excessive competition. In order to assess the possible impact of climate change on pinniped populations in the Antarctic Peninsula, and as part of the studies conducted in the vicinity of the Pedro Vicente Maldonado Research Station. We investigated the consequences of rising temperatures in glaciers and their influence on Antarctic pinniped populations, highlighting the effects of climate change on these ecosystems. The impacts go beyond landscape alteration and sea level rise; they affect biodiversity and marine ecosystems. Ocean acidification, oxygen depletion and changes in food availability affect all living things. The distribution, reproductive behavior and feeding patterns of pinnipeds are linked to the presence and dynamics of sea ice cover, as they breed in aggregations on land or on floating ice shelves, which are crucial for foraging, shelter from predators and regulation of social interactions and moulting. Therefore, understanding pinniped ecology is essential for conserving Antarctic ecosystems. Long-term studies and monitoring are of utmost importance, not only for the conservation of these species, but also for the preservation of Antarctica and the complex interactions that balance the fragile polar environments.

Keyword: Antarctica, climate change, ice cover, Antarctic Peninsula, pinnipeds.

3. INTRODUCCIÓN

El aumento en la temperatura global y las alteraciones en los patrones climáticos son consecuencias directas de las actividades antropogénicas que intensifican la emisión de gases de efecto invernadero. Esta situación se ha convertido en una de las crisis ambientales más importantes en la actualidad (Díaz Cordero, 2012). El cambio climático afecta, principalmente, a los polos por su posición en el planeta, siendo estos sitios los que han experimentado los mayores aumentos de temperatura en los últimos 50 años (+3 C°; Holland et al., 2022), principalmente por la reducción de la capa de hielo que no permite a los polos reflejar la luz solar y, por ende, acumulan más calor (López-Martínez, 2009). El aumento de la temperatura que afecta a los polos tiene consecuencias en todo el planeta, ya que estos sitios son importantes para el control y la regulación climática global. La Antártida alberga el 91 % del hielo del planeta (López-Martínez, 2009), y alberga a una gran diversidad animal que depende de las coberturas de hielo. Por esta razón, es de vital importancia estudiar los efectos que tiene el cambio climático en esta zona, y así entender cómo se van a ver afectados los patrones climáticos del planeta y las consecuencias que esto tiene para los ecosistemas y la diversidad biológica.

El deshielo y el rompimiento de los glaciares que se encuentran en la Antártida tiene consecuencias directas e indirectas en la vida de muchos organismos que son dependientes de las plataformas de hielo y los glaciares para su reproducción y supervivencia. Este es el caso de los pinnípedos, un grupo de mamíferos adaptados a la vida acuática, que incluye a focas, leones marinos, lobos marinos, y morsas. En la Antártida se registran siete especies de pinnípedos que están divididos en dos familias: Phocidae (elefantes marinos y focas) y Otariidae (lobos de dos pelos y marinos; Siniff, 1991; Boyd, 2009). Los pinnípedos dependen de la cobertura del hielo y las temperaturas estables del océano para (1) formar

guaridas para protegerse contra depredadores (Laidre et al., 2015), (2) tener disponibilidad de alimentos, variable que a su vez depende de la productividad de los océanos (Harwood et al., 2012), (3) disponer de un hábitat para la reproducción y cría, y (4) disponer de un espacio adecuado donde habitar con sus colonias sin el riesgo de excesiva competencia (Laidre et al., 2015). La reducción del hielo y el aumento de las temperaturas en el continente, principalmente en la península Antártica y en el océano que la rodea, afectan la reproducción y supervivencia de las poblaciones de pinnípedos de tal forma que el cambio climático se va a convertir en la amenaza más importante para estos organismos que no pueden adaptarse a otras zonas más cálidas por su dependencia directa de la cobertura de nieve y hielo (Kovacs et al., 2012).

Por las razones expuestas y como parte de los estudios realizado por las diferentes expediciones antárticas en los alrededores de la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, mantenida por el Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada del Ecuador, la presente monografía busca investigar las consecuencias que tiene el aumento de las temperaturas en los glaciares y el impacto sobre las poblaciones de pinnípedos que viven en la península Antártica, para poder recalcar los efectos del cambio climático en los ecosistemas. De este modo, se podrá aumentar y reconocer la información existente sobre las consecuencias de las actividades antropogénicas en los ecosistemas y los pinnípedos, fomentar y crear consciencia, y proponer proyectos de conservación que ayuden a mitigar los efectos del cambio climático en los polos, para y proteger a las poblaciones actuales de los grandes mamíferos de la Antártida.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL:

- Evaluar el posible impacto, en poblaciones de pinnípedos, de la cobertura de nieve en la península antártica bajo los efectos del cambio climático.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Describir la distribución de pinnípedos en la Península Antártica.
- Identificar el efecto del cambio climático sobre los glaciares en la Península Antártica.
- Determinar el posible impacto de la cobertura de hielo sobre los pinípedos.

5. DESARROLLO TEÓRICO

5.1. ANTÁRTIDA

La Antártida o continente Antártico hace referencia a las porciones de tierra ubicadas al sur de los 60 °S que están rodeadas por aguas polares (Figura 1). El área continental alcanza los 14 000 000 km² de superficie, el clima antártico se caracteriza por ser frío, seco y ventoso esto sumado a que posee una altura media de 2000 m, provoca que el continente se encuentre cubierto completamente por una capa de hielo (Benninghoff, 1987; Turner et al., 2013). La porción más cercana a Sudamérica de este continente se conoce como la Península Antártica.

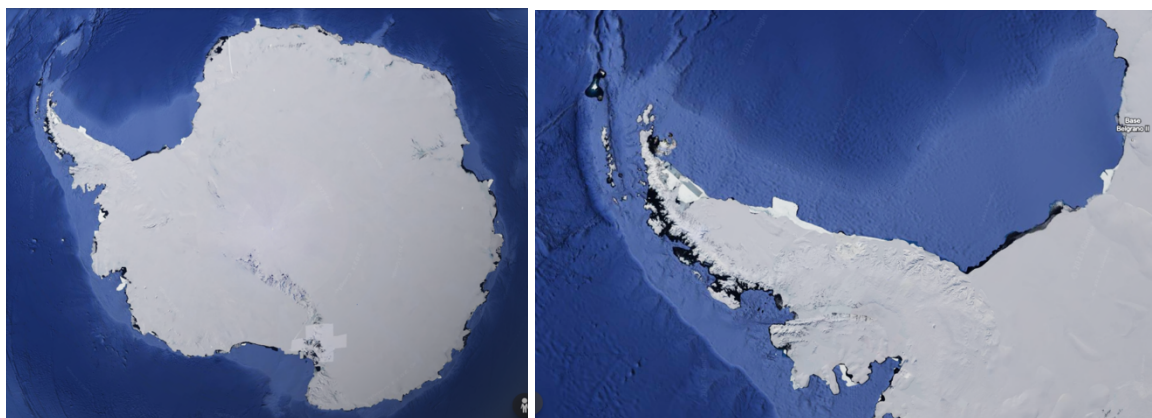


Figura 1. Antártida. Izquierda: Continente antártico. Derecha: Península Antártica.

Fuente: Google Earth ®.

5.2. DIVERSIDAD EN LA ANTÁRTIDA

A pesar de su apariencia inhóspita, la Antártida alberga una gran diversidad de vida en una estrecha franja que se extiende a lo largo de sus costas, donde la flora y fauna ha podido colonizar debido a que son zonas libres de hielo durante el verano (Convey y Stevens,

2007). Por ejemplo, especies de gramíneas, briofitas, líquenes o algas pueden llegar a formar comunidades vegetales importantes, beneficiadas por los nutrientes de las áreas de nidificación de skúas, petreles y pingüinos (Singh et al., 2018). De igual manera resaltan los mamíferos marinos terrestres y acuáticos, ya que seis o siete especies de pinnípedos, ocho especies de ballenas barbadas y siete especies de odontocetos habitan en el Océano Austral (Boyd, 2009).

Las especies de pinnípedos (Carnivora: Pinnipedia) de la Antártida están clasificadas en dos familias: Phocidae, que incluye a los elefantes marinos del Sur (*Mirounga leonina*, Figura 2), las focas de Weddell (*Leptonychotes weddelli*, Figura 3), las focas cangrejas (*Lobodon carcinophagus*, Figura 3), las focas leopardo (*Hydruga leptonix*, Figura 3) y las focas de Ross (*Ommatophoca rossi*); y, Otariidae, que incluye a los lobos finos del ártico (*Arctocephallus gazella*, Figura 4) y a los lobos marinos subantárticos (*Arctocephalus tropicalis*; Siniff, 1991; Boyd, 2009, Instituto Antártico Chileno, 2022). Estos grandes mamíferos acostumbran a descansar sobre las playas durante el verano, a excepción de las focas leopardo (*Hydruga leptonix*; Quintana et al., 1995).



Figura 2. Elefante marino del sur. *Mirounga leonina* en la Isla Barrientos, Foto: Santiago F. Burneo



Figura 3. Focas en la Antártida. Arriba izquierda: *Leptonychotes wedelli* en la Isla Greenwich, Foto: Santiago F. Burneo. Arriba derecha: *Lobodon carcinophaga* en la Isla Greenwich, Foto: Santiago F. Burneo. Abajo: *Hydrurga leptonyx* en un tempango de hielo en la Bahía Chile. Foto: Diego Tirira.

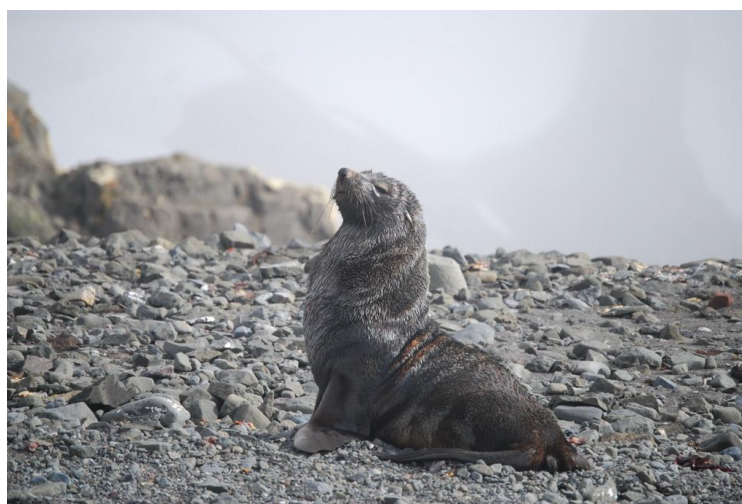


Figura 4. Lobos finos en la Antártida. *Arctocephalus gazella* en la Isla Torre, Foto: Santiago F. Burneo

5.3. CAMBIO CLIMÁTICO Y GLACIARES

Los elevados niveles de contaminación se han convertido en una de las problemáticas contemporáneas más importantes, pues no únicamente ha involucrado a grandes países o ciudades, sino que también han tenido efectos severos dentro de una gran serie de biomas (Diaz Cordero, 2012). Los gases de efecto invernadero que son expulsados como desechos de las grandes industrias, y el uso de medios de transportes contaminantes y dependientes del consumo de combustibles fósiles, aumentan la retención de calor en la atmósfera de la Tierra, incrementando el efecto invernadero natural del planeta, y, por ende, provocan un calentamiento global acelerado que provoca cambios en los patrones del clima, lo que denominamos cambio climático (Diaz Cordero, 2012).

Los glaciares son masas de hielo y nieve que se desplazan lentamente por el peso y la gravedad y que se acumulan en zonas de elevada altitud de la superficie terrestre (como las altas montañas), por encima de los niveles de nieve (Water Science School, 2018). En las zonas polares, los glaciares se forman cuando la nieve acumulada durante las nevadas se convierte en hielo por el paso del tiempo, los glaciares se encuentran mayormente en pendientes en donde empiezan a deslizarse hacia abajo formando gigantes ríos de hielo (National Geographic Society, 2023). Los glaciares, tanto montañosos como polares se han convertido en un foco de interés pues es en ellos en donde se puede evidenciar las fuertes huellas asociadas al cambio climático que han afectado tanto a la flora como a la fauna, incluyendo desde pequeños microorganismos hasta grandes depredadores (Cauvy-Fraunié y Dangles, 2019; Corell, 2006; Maxwell, 1992; Rounce et al., 2023).

Las zonas polares, por su posición geográfica, reciben de forma natural una gran cantidad de radiación solar en las temporadas de verano (i.e. antes del cambio climático

antropogénico), esto no implica que se calienten más que otras zonas, como por ejemplo los trópicos, ya que el hielo, la nieve y los glaciares, reflejan la radiación solar al espacio por su coloración blanquecina, lo que asegura que estas zonas en los polos del planeta no se sobrecalienten (López-Martínez, 2009). Es por esta razón que los polos, a nivel geográfico, son importantes controladores y reguladores del clima de la Tierra (Turner y Marshall, 2011). El aumento de la temperatura global por el cambio climático provoca el deshielo y reducción de las capas de hielo en los polos, lo que expone a las rocas y al hielo más oscuro en el continente, aumentando la absorción de la radiación solar y, por ende, aporta aún más al calentamiento global (Corell, 2006; López-Martínez, 2009).

Los glaciares almacenan un 69 % del agua dulce del planeta (Gleick y Howe, 1995), y en los polos, sobre todo en la Antártida, albergan la mayor cantidad del hielo que hay en la Tierra, totalizando un 91 % del hielo global. Los polos son las zonas del planeta que más se han calentado y continúan calentándose por el efecto del cambio climático (López-Martínez, 2009), llegando a registrarse más de tres grados centígrados de aumento de temperatura desde 1950 en los alrededores de la Península Antártica (Holland, et al., 2022), que equivale a un calentamiento cinco veces más veloz que el promedio global para el resto del planeta.

Además, la capa superficial del océano que rodea a la península Antártica ha sufrido un aumento de un grado centígrado en los últimos 50 años, y se ha establecido que la corriente circumpolar antártica (la mayor corriente oceánica del planeta) está aumentando su temperatura más rápidamente que todo el océano global en conjunto (Meredith y King, 2005; UCAR, 2023). Por ende, las zonas del planeta que presentan mayor cobertura de hielo, que a su vez generan y controlan las variaciones del clima, se están viendo mayormente afectadas por el cambio climático (López-Martínez, 2009). Este aumento de la temperatura ambiental

y del océano, aumenta el deshielo, la recesión y el rompimiento de las plataformas de hielo y de los glaciares (UCAR, 2023).

Diversos estudios han demostrado que los efectos del cambio climático son alarmantes, pues se observa una tendencia exponencial en cuanto a la pérdida de masa de los glaciares (Corell, 2006; Singh y Singh, 2013). En este sentido, se ha observado que durante el período comprendido entre 2000 a 2019, los glaciares perdieron una masa de 267 ± 16 gigatoneladas por año, equivalente al 21 ± 3 % del aumento del nivel del mar (Convey y Peck, 2019). Además, entre 1992 y 2017, la Antártida perdió más de tres billones de toneladas de hielo (UCAR, 2023). El 90 % de los glaciares de la península Antártica han retrocedido en las últimas décadas; en la Antártida Occidental la capa de hielo ha adelgazado significativamente debido al aumento de las temperaturas del océano (Turner et al., 2009; Cook et al., 2016; Bitz et al., 2006). Las plataformas de hielo, que flotan sobre el océano y que son extensiones de las masas de hielo conectadas al continente (glaciares), han experimentado una reducción de 25 000 km² de su superficie desde 1950 en la Península Antártica (Braun et al., 2009; Holland et al., 2022). En la Península Antártica Oriental, el calentamiento de la región provocado por vientos cálidos provenientes del oeste es la causa del derretimiento de las plataformas de hielo (Cook y Vaughan, 2010; Turner et al., 2009; Kunz et al., 2012).

Uno de los impactos de la pérdida de las plataformas de hielo es indirecto en el aumento del nivel del mar, ya que estas sirven como soporte a las capas de hielo y los glaciares de la tierra, de tal manera que, si estas retroceden y se rompen, los glaciares empiezan a deslizarse hacia el océano rápidamente (Barrand et al., 2013; UCAR, 2023; Wadhams y Munk, 2004). Esto, junto al drenaje de hielo por parte de los glaciares desde las capas de hielo terrestres, han provocado que la Península Antártica contribuya con un

aumento de 0.1 mm al nivel del mar global, siendo 3.7 mm anuales el aumento actual del nivel del mar (Holland et al. 2022). Se estima que la pérdida de la capa de hielo de la Antártida occidental, que es muy vulnerable al calentamiento por sus numerosas plataformas de hielo y porque la base del hielo que cubre la zona se encuentra debajo del océano, contribuye a elevar el nivel del mar en algunos centímetros, que a su vez contribuirá a la subida total del mar prevista, para el 2100, de 1.4 metros (Barrand et al., 2013; Turner et al., 2009; Zemp et al., 2019).

El aumento de la temperatura del Océano Antártico, consecuencia del cambio climático, además de acelerar la pérdida de las plataformas de hielo, también tiene consecuencias en la diversidad de la Antártida y en los ecosistemas marinos (Cauvy-Fraunié y Dangles, 2019; Stibal et al., 2020). Un ejemplo de este tipo de consecuencias es la reducción de los niveles de oxígeno disponibles en el océano; el agua caliente en el océano tiene menor capacidad de contener oxígeno y, al tener menor densidad, provoca que el agua rica en oxígeno (cerca de la superficie) no pueda descender y circular (Breitburg et al., 2018; Gruber, 2011). Por su parte, a medida que aumenta la solubilidad y disminuye la temperatura, se produce una nueva problemática que involucra el daño en las células de las especies reactivas de oxígeno (ROS), y en las células de las especies marinas antárticas (Marzeion et al., 2020; Singh et al., 2018). Por ejemplo, el krill de la Antártida (*Euphausia superba*), que es base de la cadena alimenticia del ecosistema del océano e importante fuente de alimentación para muchos mamíferos marinos, aves y peces, está proyectado que perderá el 80 % de su hábitat para el 2100 debido al derretimiento del hielo marino y el aumento de las temperaturas oceánicas (Flores et al., 2012; Siegel y Watkins, 2016; UCAR, 2023).

También hay que considerar que el océano Antártico es uno de los principales sumideros del dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera, pero los vientos del oeste, que han

aumentado en fuerza y que llevan consigo aire cálido y húmedo hacia la Antártida, calentando el ambiente, han afectado la capacidad del océano para absorber el CO₂ por las aguas ricas de CO₂ que emergen de las profundidades (Bates et al., 2006; Bates y Mathis, 2009; Jutterström y Anderson, 2010). Esto, a su vez, puede provocar la colonización de especies invasoras de otros sitios que llegan a competir y sustituir con las especies nativas que sufren las consecuencias de la acidificación del océano por el CO₂ (Chan et al., 2019; Hellmann et al., 2008; Turner et al., 2009). Lo que finalmente provoca cambios en la riqueza de la diversidad general de los ecosistemas antárticos (Cheung et al., 2009; Hoegh-Guldberg y Bruno, 2010; Turner et al., 2009).

La pérdida de los glaciares y las plataformas de hielo afecta directamente la supervivencia de muchas especies de animales (Cauvy-Fraunié y Dangles, 2019). Un ejemplo clave son los pingüinos, se ha evidenciado un descenso de más del 50 %, para el año 2100, en las poblaciones de pingüino emperador (*Aptenodytes forsteri*) en algunos lugares de la Antártida. Incluso si se toma en cuenta la emigración ese descenso podría llegar hasta un 65 %, debido a que los pingüinos emigrarían con mayor frecuencia en busca de mejores condiciones ya que es depende del hielo para su reproducción (Pascoe et al., 2022; Trathan et al., 2020). Censos realizados entre 1991-1992 y 2008-2009, sobre una población de pingüino barbijo (*Pygoscelis antarctica*) en la isla Decepción, indicaron una disminución del 36 % en la población, siendo más evidente desde el año 2000. Esta disminución estaría provocada por la pérdida de la superficie de hielo marino en el transcurso del invierno y la baja abundancia de krill (Barbosa et al., 2012). Además, se ha reportado una disminución mayor en la población de pingüinos Adélie (*Pygoscelis adeliae*), se ha verificado una pérdida del 80 % en sus poblaciones en algunos sitios de la Antártida, y se prevé que un 60 % de su hábitat actual podría llegar a ser no apto para sostener a las colonias de pingüinos para finales

del siglo, dado que necesitan del hielo para llevar a cabo su proceso reproductivo (Cimino et al., 2016; Barbosa et al., 2012). Esto apoya la idea de que el cambio climático, es el causante de la disminución de la población de pingüinos en la región de la Península Antártica (Barbosa et al., 2012; Trathan et al., 2020).

Asimismo, a partir del análisis de datos recopilados entre 1978 y 2020, Ausems et al. (2023) estiman una disminución considerable del 90 % en el tamaño de la población y cambios en la producción de crías en Petreles de Wilson (*Oceanites oceanicus*), en dos colonias ubicadas en la Isla Rey Jorge. Este declive se relaciona con los cambios en las condiciones ambientales que afectan la disponibilidad de alimentos (*Euphausia superba*) y la prevalencia de tormentas de nieve, alterando las fechas de eclosión y el crecimiento de los polluelos. Además, es probable que el aumento de la actividad humana afecte negativamente las tasas de supervivencia de los petreles.

5.4. PINNÍPEDOS Y COBERTURA DE HIELO

Los pinnípedos son mamíferos carnívoros que se caracterizan por estar adaptados a la vida marina y a habitar en aguas polares, subpolares y templadas, en latitudes bajas y en los polos (Ártico y Antártida; Berta et al., 2015; Boyd, 2009; Pin y Ponce de León, 2015). Los pinnípedos se encuentran distribuidos en tres familias: Phocidae (focas), Otariidae (leones y lobos marinos) y Odobenidae (morsas). En la Antártida se encuentran representantes de las dos primeras familias. La estación científica ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado, ubicada en la isla Greenwich de las islas Shetland del Sur en la península Antártica, alberga, en sus alrededores, poblaciones de lobo marino antártico (*Arctophocephalus gazella*), cuatro especies de focas (foca leopardo, *Hydrurga leptonyx*,

foca de Weddell, *Leptonychotes weddellii*, foca cangrejera, *Lobodon carcinophagus* y foca de Ross, *Ommatophoca rossii*) y elefante marino del sur (*Mirounga leonina*) (Tirira y Moscoso, 2011), aunque no existen avistamientos recientes de *Ommatophoca rossii* (Burneo S., comentario personal).

Los pinnípedos se suelen alimentar de crustáceos, peces y moluscos, con un método de caza activa (Pin y Ponce de León, 2015). Suelen convivir en grupos presentando un comportamiento gregario y la mayoría de las especies prefieren habitar en costas cubiertas con hielo o en plataformas de hielo flotantes (Pin y Ponce de León, 2015). De las seis especies de pinnípedos que presentan una distribución en el océano austral, la foca cangrejera, la foca leopardo, la foca de Ross, y la foca de Weddell están ligadas estrechamente al hielo marino circumpolar, mientras que el elefante marino del sur y el lobo marino antártico suele migrar estacionalmente hacia el hielo marino para buscar alimento, mientras que se reproducen en las islas antárticas y subantárticas (Bester et al., 2017).

A nivel biológico, un aspecto principal de la reproducción de pinnípedos de regiones polares y subpolares es su relación directa con la cobertura de hielo, que ocupan dejando disponibles áreas de arena o tierra al momento de tener sus crías (Don, 2018). Las plataformas de hielo flotantes, los glaciares y la cubierta de hielo del continente resultan ser importantes factores para la reproducción de las especies de pinnípedos que habitan en las áreas de la Península Antártica, ya que allí se desarrolla la cópula, paren y cuidan a sus crías (lactancia y protección) en el hielo (Pin y Ponce de León, 2015). Los pinnípedos pueden reproducirse en agregaciones reproductivas en tierra firme, como es el caso del elefante marino del sur que forma “elefanterías” y el lobo marino antártico que forma agregaciones denominadas “loberías”, en cambio, en otras especies como la foca de Weddell y la foca leopardo, la reproducción se produce en solitario en el agua, las hembras paren a sus crías

en las plataformas de hielo flotante, para luego encargarse del cuidado parental y la lactancia (Pin y Ponce de León, 2015). La foca cangrejera vive exclusivamente en la banquisa circumpolar de la Antártida, se reproduce en solitario en las plataformas de hielo y luego las utiliza para dar a luz y cuidar a sus crías, soliendo permanecer en la plataforma continental durante la temporada de cría (Siniff et al., 1979; Bester et al., 2017). La foca de Ross pare y cuida a su cría en hielo a la deriva (Nordøy y Blix, 2009) y la reproducción ocurre sobre espesas masas de hielo en zonas remotas e inaccesibles (Bester et al., 2017; Hückstädt, 2018).

Las plataformas de hielo también son utilizadas por los pinnípedos para descansar entre los periodos de buceo, en donde realizan inmersiones profundas y prolongadas en busca de alimento, por lo que suelen preferir costas con hielo o plataformas de hielo flotante para descansar (Pin y Ponce de León, 2015). Las especies gregarias también utilizan estos espacios de hielo para desarrollar sus interacciones sociales (Pin y Ponce de León, 2015). Muchas especies de pinnípedos, como la foca de Ross y el elefante marino del sur, también utilizan las plataformas de hielo durante su proceso de muda (Mcmahon et al., 2005; Nordøy y Blix, 2009; Bester et al., 2017). La foca cangrejera habita en el hielo compacto principalmente en las temporadas de cría y suelen moverse hacia el hielo exterior durante el verano y otoño en donde se agregan en bahías o estrechos, moviéndose con la banquisa de hielo mientras esta se expande y contrae temporalmente durante el verano e invierno (Bester et al., 2017).

Los procesos de reproducción y descanso no son los únicos que los convierten en dependientes de la cobertura de hielo, sino que además es una fuente de alimento para una gran cantidad de pinnípedos cuya dieta se basa en crustáceos y peces que suelen situarse en los bordes del hielo marino (Berta et al., 2015). La foca de Weddell caza en el agua a peces,

calamares y moluscos, por lo que también suele realizar inmersiones de hasta 700 metros de profundidad (Plötz et al., 1991). Mientras está cazando bajo el hielo en la época invernal, suele realizar orificios en el hielo con sus dientes para poder respirar (Pin y Ponce de León, 2015; Plötz et al., 1991). Igualmente, el elefante marino del Sur se alimenta de moluscos cefalópodos y de peces de la familia Nototeniidae mediante caza activa en el agua, por lo que también realizan inmersiones profundas y prolongadas (Daneri y Carlini, 2002; Pin y Ponce de León, 2015). La foca leopardo es depredadora potencial de las otras especies de pinnípedos que habitan en las islas, alimentándose de foca de Weddell, foca cangrejera, foca de Ross y juveniles de elefante marino, además se alimenta de pingüinos, peces, calamares y krill, por ende, las plataformas de hielo le sirven como zona de alimentación y depende de la estabilidad poblacional de las especies que consume (Casaux et al., 2009; Pin y Ponce de León, 2015). El lobo marino antártico se alimenta principalmente de krill, algunos peces nototénidos y calamares (Forcada, 2021; Pin y Ponce de León, 2015).

El krill antártico es una especie de crustáceo planctónico que se alimenta principalmente de algas microscópicas (fitoplancton) y algunos otros organismos (como copépodos), que se encuentran asociados al hielo marino; se ha estudiado que la supervivencia del krill se encuentra ligada estrechamente a la disponibilidad de los recursos brindados por el hielo marino (Schaafsma et al., 2017). Otro estudio demostró que el krill durante su etapa larval y juvenil en el invierno depende en gran cantidad del carbono producido por las algas microscópicas del hielo, ya que las algas pelágicas disminuyen su producción en esta temporada, aunque esta dependencia se va reduciendo con la adultez (Kohlbach et al., 2017). Durante la transición invierno-primavera el fitoplancton empieza su floración y puede sostener a las poblaciones de krill (Kohlbach et al., 2017).

De acuerdo con estos antecedentes, el lobo marino antártico y las otras especies de pinnípedos que se alimentan de krill antártico tienen una dependencia indirecta hacia el hielo marino para su alimentación, principalmente del disponible en las épocas de invierno. La foca de Ross se alimenta de peces antárticos plateados, calamares y krill cuando se encuentra en el hielo, mientras que consume peces mictófidos (*Myctophidae*) y otras especies de calamares estando en mar abierto (Bester et al., 2017). La foca cangrejera se alimenta de crustáceos que filtra con sus dientes de la columna de agua, aunque su dieta principal consiste de krill antártico y, cuando no hay disponibilidad de krill, peces y cefalópodos (Bester et al., 2017).

Finalmente, debido a las condiciones extremas de la cobertura de hielo, esta se convierte en una zona de protección contra depredadores (orcas y algunos tiburones como el blanco, *Carcharodon carcharias*) (Boyd, 2009). El elefante marino del sur es depredado por la orca (*Orcinus orca*), principalmente en sus etapas más vulnerables, cuando son cachorros y están empezando a ir al mar luego de la fase de lactancia en el hielo (McMahon et al., 2005). Durante el año el elefante marino se distribuye temporalmente en dos periodos pelágicos en el mar y dos periodos en la tierra (para la reproducción y la muda; McMahon et al., 2005). Durante sus periodos en tierra (hielo) es vulnerable a perturbaciones causadas por humanos (investigadores o turistas) que pueden llegar a ocasionar separaciones entre madre y cría, pisoteo de las crías por parte de machos estresados y separación más temprana de la lactancia (McMahon et al., 2005). Las masas de hielo compactas, las plataformas de hielo en el agua y los glaciares ayudan a prevenir el acercamiento constante de interacciones con humanos (McMahon et al., 2005). El lobo marino antártico, así como la foca de Weddell, son depredados por la foca leopardo, principalmente cuando son crías (Seguel et al., 2013). La foca leopardo caza usualmente en el agua (Pin y Ponce de León, 2015), por lo que las

plataformas de hielo sirven a los lobos marinos y las focas de protección contra este depredador. Dentro del agua también está presente otro depredador común de estas especies, la orca (Stirling, 1971; Tirira, 2015).

La foca de Weddell también está en riesgo de la depredación por parte de los humanos (Stirling, 1971). La foca leopardo, al ser un depredador tope en la cadena alimenticia del ecosistema antártico, solo suele ser depredada por la orca, y presenta la amenaza de la caza ocasional por parte de los humanos (Nordøy y Blix, 2009). La foca cangrejera es depredada, al igual que otras especies de pinnípedos, por focas leopardo y orcas (Southwell et al., 2005). La foca de Ross suele habitar en las áreas donde el hielo es más denso, lo que le permite evitar la exposición a depredadores, sin embargo, cuando está en el agua puede llegar a ser depredada por la foca leopardo y por la orca, si es que ocurren en simpatria (Thomas y Rogers, 2009).

5.5. IMPACTO DEL DESHIELO EN PINNÍPEDOS

Una de las características de los pinnípedos que cumplen con su ciclo reproductivo en zonas polares es el habitar en los mares fríos cubiertos de hielo estacional y con alta productividad marina (Kovacs et al., 2012); sin embargo, dentro de los últimos años el cambio climático ha generado un decrecimiento en las capas de hielo tanto en grosor como en extensión, lo que ha provocado un impacto a escala geográfica y ecológica en ciertas especies (Gulland, 2022; Kovacs et al., 2011; Lee et al., 2017). En un futuro cercano, el cambio climático puede ser la amenaza más persistente y dominante que van a enfrentar los pinnípedos, al ser animales que no se adaptan a zonas más cálidas y tropicales, zonas que van a expandirse por el cambio climático, además los cambios físicos en el ambiente

antártico provocados por el cambio climático van a afectar a las poblaciones que allí habitan (Kelly, 2001; Kovacs et al., 2012).

Varios estudios han demostrado los efectos del cambio climático en estas especies de mamíferos antárticos; los cuatro impactos más destacables son: (1) la destrucción prematura de las guaridas asociadas con estas especies debido al cambio en los tiempos en que se descongelan estacionalmente los glaciares de la Antártida, lo que ha incrementado su nivel de exposición a la depredación (Kelly, 2001; Fink, 2017; Laidre et al., 2015); (2) la disminución en el acceso a alimento, lo que en conjunto al impacto anterior contribuye al aumento de la tasa de mortalidad de las especies (Kelly, 2001; Orgeret et al., 2021); (3) la disminución de la tasa de reproducción causada por el incremento acelerado del deshielo, que finalmente reduce los índices poblacionales de la especie (Kelly, 2001; Kovacs et al., 2011; Wilson et al., 2020); y, (4) el aumento de la competencia y depredación provocado por la reducción de la cobertura de hielo, es decir, el espacio en donde habitan las poblaciones (Fink, 2017; Kovacs et al., 2011; Laidre et al., 2015).

El deshielo de los glaciares afecta directamente a la destrucción de las guaridas ya que el grosor del hielo y la rugosidad del mismo tiene un efecto directo en la disposición e idoneidad de sitios de guaridas para los pinnípedos (Kelly, 2001). Las guaridas que forman algunas especies de pinnípedos para criar, como en la foca leopardo, se tratan de guaridas subniveas (bajo la nieve) que son excavadas por las hembras y que presentan un agujero dirigido hacia el agua (Kelly, 2001). A medida que la capa de hielo disminuye, existe menor posibilidad de encontrar o formar guaridas, por lo que los pinnípedos, principalmente los más vulnerables (crías y enfermos) están más expuestos a la depredación (Laidre et al., 2015). Por ejemplo, en las aguas del ártico, las plataformas de hielo más delgadas y pequeñas dan más facilidad a ciertos predadores, como la orca asesina (*Orcinus orca*), a buscar, cazar

y acceder a sus presas, entre las que se encuentran varias especies de pinnípedos polares como el león marino de Steller (*Eumetopias jubatus*) y el oso marino ártico (*Callorhinus ursinus*; Fink, 2017; Kovacs et al., 2012). El mismo problema ocurre en la Antártida, donde existe un ecotipo de orcas (ecotipo B) que han desarrollado un método especializado para cazar a sus presas que se encuentren resguardadas en las plataformas de hielo, como lo son la foca de wedell, foca cangrejera o, incluso, la foca leopardo; debido a que el éxito de este método depende de las condiciones del hielo marino (Pitman y Durban, 2012), el deshielo es un problema grave para los pinnípedos.

El cambio en la disponibilidad de alimento es un efecto indirecto provocado por el deshielo y el aumento de las temperaturas, que influyen en la distribución y abundancia de peces, calamares y krill que constituyen las fuentes de alimentos de los pinnípedos (Orgeret et al., 2021). La disminución en la cantidad de alimento disponible para los pinnípedos puede tener efectos en la salud y posteriormente la reproducción de las especies, llegando a influir en la tasa de mortalidad de los individuos y poblaciones (Harwood et al., 2012).

Los pinnípedos y otros mamíferos marinos se ven fuertemente influenciados por los cambios en las condiciones del hielo y las temperaturas del océano, ya que, al ser depredadores en el tope de la cadena alimenticia oceánica, y al consumir grandes cantidades de presas, dependen de la disponibilidad de alimentos que les ofrece su ecosistema, que está estrechamente influenciado por las condiciones climáticas (Orgeret et al., 2021). El grosor del hielo y el tiempo de retirada del mismo, influenciados por el cambio climático, afectan la productividad del ecosistema marino. Algunos estudios indican que, en años con inviernos fuertes y deshielo tardío, la productividad pelágica disminuyó en general, lo que a su vez afecta a los consumidores secundarios en las intrincadas redes tróficas de los océanos y, por

ende, a los consumidores terciarios, como los pinnípedos (Harwood et al., 2012). Además, el momento de la ruptura del hielo también influye en la disponibilidad de zonas estacionales de alimentación (Laidre et al., 2015).

El impacto del deshielo en la reproducción y la cría es directo y está ligado a la pérdida de hábitat de reproducción, ya que los pinnípedos, como otros mamíferos y aves marinas, dependen del continente o de plataformas estables de hielo para la reproducción y cría (Fink, 2017; Kelly, 2001; Orgeret et al., 2021). La disminución de estos sitios provoca a corto plazo una disminución de la población. No solo el deshielo (i.e. reducción de la cobertura de hielo), tiene un efecto sobre la reproducción, sino también los tiempos de deshielo, como demostró un estudio en las poblaciones de la foca anillada (*Pusa hispida*), distribuida en las costas árticas, donde la retirada tardía del hielo tuvo una relación estrecha con la disminución del número de crías y la tasa de ovulación en las hembras, lo que estuvo ligado con una menor condición corporal en las hembras. La condición corporal está ligada a su vez a la disponibilidad de alimentos, y esta se ve afectada con el deshielo tardío, ya que las condiciones para conseguir alimento empeoran. Esto involucra un mayor gasto energético para obtener alimento, por ejemplo, al tener que recorrer mayores distancias o conseguir presas con menos contenido calórico en un área más extensa (Harwood et al., 2012).

Otro efecto del deshielo tardío es la exposición prolongada a depredadores, como las focas leopardo o las orcas, que siguen presentes en verano en las Islas Shetland del Sur y aprovechan las zonas de hielo restantes para cazar al lobo marino antártico (Boveng et al., 1998; Fink, 2017; Harwood et al., 2012). Pero en el otro extremo, una retirada de hielo demasiado temprano puede afectar igualmente a las crías de los pinnípedos. Las crías de los pinnípedos tienen un tiempo determinado de alimentarse de la madre (amamantar) antes del

destete, y una ruptura temprana del hielo implica un destete temprano que tiene consecuencias en la supervivencia de las crías (Kelly, 2001; Laidre et al., 2015). Un estudio sobre el tamaño de las crías al momento del destete, en el elefante marino del sur, ha demostrado que existe una disminución en el tamaño de las crías al destete que es provocado por el fracaso de búsquedas de alimentos por parte de las hembras. Las hembras de esta especie se alimentan de las aguas pelágicas subantárticas, de las aguas cercanas a la plataforma continental y en el borde las plataformas de hielo, por ende, su disponibilidad de alimento se ve influenciada por la productividad primaria del océano, y el grosor y tiempo del hielo (Clausius et al., 2017). Una disminución en el tamaño del destete provoca que la tasa de supervivencia de las crías sea menor y por consiguiente se reduzca la tasa de reclutamiento de hembras para la reproducción en los años siguientes, teniendo como consecuencia final la reducción de la población (Clausius et al., 2017; Kelly, 2001). Así mismo, poca cobertura o ausencia de hielo afecta a la supervivencia de las crías de algunas especies de pinnípedos, mediante la competencia de los adultos por espacio que provoca el aplastamiento de las crías en lugares muy saturados (Fink, 2017; Laidre et al., 2015).

Los cambios en la cobertura del hielo marino pueden alterar indirectamente las áreas de distribución de las especies de pinnípedos y de otras especies de mamíferos marinos, produciendo un solapamiento estacional en las áreas de distribución, lo que puede resultar en una mayor competencia por los recursos y mayor probabilidad de depredación. Además, la reducción de la cobertura del hielo puede aumentar la competencia entre individuos de una misma especie al encontrarse en espacios reducidos, y competir por alimentos y espacio (Kovacs et al., 2011; Laidre et al., 2015).

Muchas preguntas importantes de ecología pueden ser respondidas con información y datos recogidos por varias décadas de las historias de vida de los individuos estudiados.

Las ventajas de estos estudios a largo plazo son: análisis de la estructura de edad; vinculación entre etapas del ciclo de vida; cuantificación de la estructura social; derivación de medidas de la aptitud a lo largo del período de vida; replicación de estimaciones de selección; vinculación entre generaciones (Clutton-Brock y Sheldon, 2010).

Los estudios poblacionales con registros detallados de la distribución temporal o geográfica de los cambios en el tamaño de las poblaciones han proporcionado información importante sobre los efectos de las actividades humanas en las poblaciones animales. Actualmente estos estudios aportan pruebas cruciales de los efectos de los cambios temporales del entorno (incluidos los provocados por el cambio climático u otros factores antropogénicos) en la distribución, densidad, crecimiento y calendario reproductivo de distintos organismos (Clutton-Brock y Sheldon, 2010).

En una era de cambios ambientales sin precedentes, el desarrollo de un conjunto de herramientas para la supervisión de los ecosistemas es fundamental. Esta necesidad es particularmente urgente en los ecosistemas marinos, dados los rápidos cambios impulsados por el clima en las poblaciones y comunidades marinas (Hazen et al., 2019).

En el Ártico, las alteraciones entre las extensiones máximas y mínimas estacionales del hielo marino, así como del grosor del mismo son una constante distintiva generada por el cambio climático durante la última década, pero su impacto en el ecosistema marino no está totalmente comprendido. Dentro de este enfoque, los estudios poblacionales a largo plazo de especies centinelas como lo son peces, aves y mamíferos marinos, permiten estudiar la variabilidad y la reorganización del ecosistema en esta región (Moore et al., 2014). Esto se puede extrapolar a la Antártida, donde las condiciones generadas por el cambio climático son similares.

Los pinnípedos son relativamente fáciles de observar en comparación a las especies de las cuales se alimentan, esto debido a su dependencia a la tierra para su reproducción. Por esto sus colonias son particularmente susceptibles al muestreo en tierra, y como tales proporcionan parte de la mejor información sobre los cambios en la estructura y función del ecosistema en múltiples escalas de tiempo (Hazen et al., 2019). Permitiendo observar, identificar y entender procesos ecológicos relacionados al cambio climático.

6. CONCLUSIONES

La crisis medioambiental derivada de la contaminación y el cambio climático ha desencadenado impactos devastadores en los ecosistemas polares y sus elementos característicos, como los glaciares y las plataformas de hielo. El aumento de los gases de efecto invernadero provenientes de la actividad humana ha acelerado el calentamiento global, afectando de manera desproporcionada a las regiones polares, que experimentan un calentamiento cinco veces más rápido que el promedio global. La Antártida, con el 91 % del hielo global, ha sufrido un aumento de temperatura más pronunciado, generando consecuencias como el retroceso de los glaciares, la reducción de las plataformas de hielo y la contribución al aumento del nivel del mar.

La preservación de los ecosistemas antárticos se convierte, por lo tanto, en una cuestión crítica no solo para la biodiversidad local sino para la estabilidad climática y la sostenibilidad del planeta en su conjunto. La necesidad de abordar el cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero se vuelve imperativa para garantizar la supervivencia y la salud de estos frágiles ecosistemas.

El impacto va más allá de la alteración del paisaje y el aumento del nivel del mar, ya que estas transformaciones afectan a la biodiversidad y los ecosistemas marinos. La acidificación del océano, la disminución de oxígeno disuelto y los cambios en la disponibilidad de alimentos están afectando a especies emblemáticas como el krill antártico, componente esencial de la cadena alimentaria. Esto, a su vez, tiene consecuencias dramáticas en la vida marina, desde microorganismos hasta mamíferos marinos.

La fauna antártica, como los pingüinos y los petreles, está sufriendo una disminución alarmante en sus poblaciones debido a la pérdida de hábitat y cambios en las condiciones

ambientales, que alteran la disponibilidad de hielo marino y la abundancia de alimento. Asimismo, para los pinnípedos (mamíferos adaptados a la vida marina) que desempeñan roles cruciales en los ecosistemas antárticos, el cambio climático y la disminución de la cobertura de hielo plantean desafíos significativos para su conservación.

La distribución, comportamiento reproductivo y patrones alimentarios de los pinnípedos están intrínsecamente vinculados a la presencia y dinámica de la cobertura de hielo marino. Debido a que estas especies exhiben diversas estrategias de reproducción, desde agregaciones reproductivas en tierra firme hasta la crianza en plataformas de hielo flotante, las plataformas de hielo son clave para la búsqueda de alimento, ya que prefieren áreas cercanas al hielo marino donde encuentran crustáceos, peces y moluscos esenciales para su supervivencia. Además, sirven de refugio contra depredadores, como las orcas, y regula las interacciones sociales y la muda de estas especies.

En la Antártida, en los alrededores de la estación científica ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado, se encuentran poblaciones de lobo marino antártico (*Arctophocephalus gazella*), tres especies de focas (*Hydrurga leptonyx*, *Leptonychotes weddellii*, *Lobodon carcinophagus*) y elefante marino del sur (*Mirounga leonina*). Poblaciones que enfrentan desafíos significativos derivados del cambio climático, que afecta tanto sus hábitats como sus fuentes de alimentación. La reducción de la cobertura de hielo impacta directamente en la reproducción y cría de estas especies, al alterar la disponibilidad de guaridas o la destrucción prematura de las mismas, y afectar los tiempos de alimentación de las crías debido a la disminución en la disponibilidad de alimentos. Además, el deshielo influye en la competencia por recursos, aumentando la exposición a depredadores y afectando la distribución de las especies.

En un contexto más amplio, la comprensión de la ecología de los pinnípedos proporciona información valiosa para la conservación de los ecosistemas antárticos. La necesidad de estudios a largo plazo y de herramientas de monitoreo se vuelve crucial para comprender y abordar los impactos del cambio climático en estas especies y en los ecosistemas en los que desempeñan un papel clave. La conservación efectiva de los pinnípedos no solo implica la protección directa de estas especies, sino también la preservación de su hábitat y de las complejas interacciones que mantienen el equilibrio en estos frágiles entornos polares.

La urgencia de comprender y abordar estos desafíos es evidente, ya que el cambio climático se perfila como la amenaza más persistente y dominante para los pinnípedos en un futuro cercano. La investigación detallada sobre la relación entre el cambio climático y las poblaciones de pinnípedos proporciona información crucial para la conservación de estas especies y destaca la necesidad de medidas efectivas para mitigar los impactos negativos del cambio climático en los ecosistemas antárticos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ausems, A.N.M.A., Kuepper, N.D., Archuby, D., Braun, C., Gębczyński, A. K., Gladbach, A., Hahn, S., Jadwiszczak, P., Kraemer, P., Libertelli, M. M., Lorenz, S., Richter, B., Ruß, A., Schmoll, T., Thorn, S., Turner, J., Wojczulanis-Jakubas, K., Jakubas, D., y Quillfeldt, P. (2023). Where have all the petrels gone? Forty years (1978–2020) of Wilson’s Storm Petrel (*Oceanites oceanicus*) population dynamics at King George Island (Isla 25 de Mayo, Antarctica) in a changing climate. *Polar Biology*, 46(7):655–672. <http://dx.doi.org/10.1007/s00300-023-03154-4>
- Barbosa, A., Benzal, J., De León, A., J. Moreno. (2012). Population decline of chinstrap penguins (*Pygoscelis antarctica*) on Deception Island, South Shetlands, Antarctica. *Polar Biology*, 35(9):1453–1457. <http://dx.doi.org/10.1007/s00300-012-1196-1>
- Barrand, N. E., Vaughan, D. G., Steiner, N., Tedesco, M., Kuipers Munneke, P., Van Den Broeke, M. R., y Hosking, J. S. (2013). Trends in Antarctic Peninsula surface melting conditions from observations and regional climate modeling. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 118(1):315-330. <http://dx.doi.org/10.1029/2012JF002559>
- Bates, N. R., Moran, S. B., Hansell, D. A., y Mathis, J. T. (2006). An increasing CO₂ sink in the Arctic Ocean due to sea-ice loss. *Geophysical Research Letters*, 33(23):L23609. <http://dx.doi.org/10.1029/2006GL027028>
- Bates, N. R., y Mathis, J. T. (2009). The Arctic Ocean marine carbon cycle: evaluation of air-sea CO₂ exchanges, ocean acidification impacts and potential feedbacks. *Biogeosciences*, 6(11):2433-2459. <https://doi.org/10.5194/bg-6-2433-2009>

- Benninghoff, W. (1987). The Antarctic Ecosystem. *Environment International*, 13(1):9-14.
[http://dx.doi.org/10.1016/0160-4120\(87\)90037-7](http://dx.doi.org/10.1016/0160-4120(87)90037-7)
- Berta, A., Sumich, J. L., y Kovacs, K. M. (2015). Pinniped Evolution and Systematics. En A. Berta, Sumich, J. L., y Kovacs, K. M. (Eds.), *Marine Mammals* (3 ed., pp. 35–61). Academic Press. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-397002-2.00003-X>
- Bester, M. N., Bornemann, H., y McIntyre, T. (2017). Antarctic marine mammals and sea ice en D. N. Thomas (Ed.), *Sea Ice* (3 ed., pp. 534-555). John Wiley & Sons, Ltd.
- Bitz, C. M., Gent, P. R., Woodgate, R. A., Holland, M. M., y Lindsay, R. (2006). The influence of sea ice on ocean heat uptake in response to increasing CO₂. *Journal of Climate*, 19(11):2437-2450. <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI3756.1>
- Boyd, Ian L. (2009). Antarctic Marine Mammals. En F.P. William, B. Würsig y J.G.M. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of Marine Mammals* (2 ed., pp. 42–46). Academic Press. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-373553-9.00011-0>
- Boveng, P. L., Hiruki, L. M., Schwartz, M. K., y Bengtson, J. L. (1998). Population growth of Antarctic Fur Seals: limitation by a top predator, the Leopard Seal?. *Ecology*, 79(8):2863–2877. [http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658\(1998\)079%5B2863:PGOAFS%5D2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658(1998)079%5B2863:PGOAFS%5D2.0.CO;2)
- Braun, M., A. Humbert, and A. Moll. (2009). Changes of Wilkins Ice Shelf over the past 15 years and inferences on its stability. *The Cryosphere*, 3(1):41–56. <http://dx.doi.org/10.5194/tc-3-41-2009>
- Breitburg, D., Levin, L. A., Oschlies, A., Grégoire, M., Chavez, F. P., Conley, D. J., Garçon, V., Gilbert, D., Gutiérrez, D., Isensee, K., Jacinto, G. S., Limburg, K. E., Montes, I.,

- A. Naqvi, S. W., Pitcher, G. C., Rabalais, N. N., Roman, M. R., Rose, K. A., Seibel, B. A., Telszewski, M., Yasuhara, M. y Zhang, J. (2018). Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*, 359(6371): eaam7240. <http://dx.doi.org/10.1126/science.aam7240>
- Casaux, R., Baroni, A., Ramón, A., Carlini, A., Bertolin, M., y DiPrinzio, C. Y. (2009). Diet of the leopard seal *Hydrurga leptonyx* at the Danco Coast, Antarctic Peninsula. *Polar Biology*, 32(2):307-310. <http://dx.doi.org/10.1007/s00300-008-0567-0>
- Cauvy-Fraunié, S., y Dangles, O. (2019). A global synthesis of biodiversity responses to glacier retreat. *Nature Ecology & Evolution*, 3(12):1675-1685. <http://dx.doi.org/10.1038/s41559-019-1042-8>
- Chan, F. T., Stanislawczyk, K., Sneekes, A. C., Dvoretzky, A., Gollasch, S., Minchin, D., David, M., Jelmert, A., Albretsen, J., y Bailey, S. A. (2019). Climate change opens new frontiers for marine species in the Arctic: Current trends and future invasion risks. *Global Change Biology*, 25(1):25-38. <https://doi.org/10.1111/gcb.14469>
- Cheung, W. L., Lam, W. Y., Sarmiento, J. L., Kearney, K., Watson, R., y Pauly, D. (2009). Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios. *Fish and Fisheries*, 10(3):235-251. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2008.00315.x>
- Cimino, M. A., Lynch, H. J., Saba, V. S., y Oliver, M. J. (2016). Projected asymmetric response of Adélie penguins to Antarctic climate change. *Scientific Reports*, 6(1): 28785. <https://doi.org/10.1038/srep28785>

- Clausius, E., McMahon, C. R., y Hindell, M. A. (2017). Five decades on: Use of historical weaning size data reveals that a decrease in maternal foraging success underpins the long-term decline in population of southern elephant seals (*Mirounga leonina*). *PLOS One*, 12(3):e0173427. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0173427>
- Clutton-Brock, T., y Sheldon, B. C. (2010). Individuals and populations: the role of long-term, individual-based studies of animals in ecology and evolutionary biology. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(10):562-573. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2010.08.002>
- Cook, A., y D. Vaughan. (2010). Overview of areal changes of the ice shelves on the Antarctic Peninsula over the past 50 years. *The Cryosphere*, 4(1):77–98. <http://dx.doi.org/10.5194/tc-4-77-2010>
- Cook, A. J., Holland, P. R., Meredith, M. P., Murray, T., Luckman, A., y Vaughan, D. G. (2016). Ocean forcing of glacier retreat in the western Antarctic Peninsula. *Science*, 353(6296):283-286. <http://dx.doi.org/10.1126/science.aae0017>
- Convey P, y Peck LS. (2019). Antarctic environmental change and biological responses. *Science Advances*, 5(11):eaaz0888. <http://dx.doi.org/10.1126/sciadv.aaz0888>
- Convey, P., y Stevens, M. I. (2007). Antarctic biodiversity. *Science*, 317(5846), 1877-1878. <https://doi.org/10.1126/science.1147261>
- Corell, R. W. (2006). Challenges of climate change: an Arctic perspective. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 35(4):148-152. [http://dx.doi.org/10.1579/0044-7447\(2006\)35%5B148:COCCAA%5D2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1579/0044-7447(2006)35%5B148:COCCAA%5D2.0.CO;2)

- Daneri, G.A., y Carlini, A.R. (2002). Fish prey of southern elephant seals, *Mirounga leonina*, at King George Island. *Polar Biology*, 25(10):739–743. <http://dx.doi.org/10.1007/s00300-002-0408-5>
- Don, W. (2018). Pinniped Ecology. *Encyclopedia of Marine Mammals* (3 ed., pp. 705-712). Academic Press. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-804327-1.00195-3>
- Díaz Cordero, G., (2012). El cambio climático. *Ciencia y Sociedad*, 37(2), 227-240.
- Fink, S. (2017). Loss of habitat: impacts on pinnipeds and their welfare. En A. Butterworth (Ed.), *Marine Mammal Welfare: Human Induced Change in the Marine Environment and its Impacts on Marine Mammal Welfare* (pp. 241-252). Springer Cham. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-46994-2_14
- Flores, H., Atkinson, A., Kawaguchi, S., Krafft, B. A., Milinevsky, G., Nicol, S., Reiss, C., Tarling, G. A., Werner, R., Rebolledo, E. B., Cirelli, V., Cuzin-Roudy, J., Fielding, S., Groeneveld, J. J., Haraldsson, M., Lombana, A., Marschoff, E., Meyer, B., Pakhomov, E. A., Rombolá, E., Schmidat, K., Teschke, M., Tonkes, H., Toullec, J. Y., Trathan, P. N., Tremblay, N., Van de Putte, A. P., van Franeker, J. A. y Werner, T. (2012). Impact of climate change on Antarctic krill. *Marine Ecology Progress Series*, 458:1-19. <http://dx.doi.org/10.3354/meps09831>
- Forcada, J. (2021). Antarctic Fur Seal (*Arctocephalus gazella*, Peters 1875) en G. Heckel y Y. Schramm (Eds.), *Ecology and Conservation of Pinnipeds in Latin America* (pp. 51-76). Springer. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-63177-2_4
- Gleick, P. H., y Howe, C. W. (1995). Water in crisis: a guide to the world's fresh water resources. *Climatic Change*, 31(1):119-122.

- Gruber, N. (2011). Warming up, turning sour, losing breath: ocean biogeochemistry under global change. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1943):1980-1996. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2011.0003>
- Gulland, F., Baker, J., Howe, M., LaBrecque, E., Leach, L., Moore, S., Reeves, R., y Thomas, P. (2022). A review of climate change effects on marine mammals in United States waters: Past predictions, observed impacts, current research and conservation imperatives. *Climate Change Ecology*, 3: 100054. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecochg.2022.100054>
- Harwood, L. A., Smith, T. G., Melling, H., Alikamik, J., y Kingsley, M. C. S. (2012). Ringed Seals and Sea Ice in Canada's Western Arctic: Harvest-Based Monitoring 1992–2011. *Arctic*, 65(4):377-390. <https://doi.org/10.14430/arctic4236>
- Hazen, E. L., Abrahms, B., Brodie, S., Carroll, G., Jacox, M. G., Savoca, M. S., Scales, K. L., Sydeman, W. J. y Bograd, S. J. (2019). Marine top predators as climate and ecosystem sentinels. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17(10):565-574. <http://dx.doi.org/10.1002/fee.2125>
- Hellmann, J. J., Byers, J. E., Bierwagen, B. G., y Dukes, J. S. (2008). Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conservation Biology*, 22(3):534-543. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00951.x>
- Hoegh-Guldberg, O., y Bruno, J. F. (2010). The Impact of Climate Change on the World's Marine Ecosystems. *Science*, 328(5985):1523-1528. <https://doi.org/1189930>

- Holland, P., Marsh, O., y King, J. (2022). *The Antarctic Peninsula's retreating ice shelves*. British Antarctic Survey. <https://www.bas.ac.uk/data/our-data/publication/the-antarctic-peninsulas-retreating-ice-shelves/>
- Hückstädt, L. A. (2018). Ross Seal: *Ommatophoca rossii*. En B. Würsig, J. G. M. Thewissen, y K. M. Kovacs (Eds.), *Encyclopedia of Marine Mammals* (3 ed., pp. 835-837). Academic Press.
- Instituto Antártico Chileno [INACH]. (2022). *Pinnípedos en la Antártica – 2022*. <https://www.inach.cl/inach/?p=33008>
- Jutterström, S., y Anderson, L. G. (2010). Uptake of CO₂ by the Arctic Ocean in a changing climate. *Marine Chemistry*, 122(1-4):96-104. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marchem.2010.07.002>
- Kelly, B. P. (2001). Climate change and ice breeding pinnipeds. En G.R. Walther, C.A. Burga y P.J. Edwards (Eds.), *"Fingerprints" of Climate Change: Adapted Behaviour and Shifting Species Ranges* (pp. 43-55). Boston, MA: Springer US.
- Kohlbach, D., Lange, B. A., Schaafsma, F. L., David, C., Vortkamp, M., Graeve, M., van Franeker, J. A., Krumpen, T. y Flores, H. (2017). Ice algae-produced carbon is critical for overwintering of Antarctic krill *Euphausia superba*. *Frontiers in Marine Science*, 4:310. <http://dx.doi.org/10.3389/fmars.2017.00310>
- Kovacs, K. M., Lydersen, C., Overland, J. E., y Moore, S. E. (2011). Impacts of changing sea-ice conditions on Arctic marine mammals. *Marine Biodiversity*, 41(1):181-194. <http://dx.doi.org/10.1007/s12526-010-0061-0>

- Kovacs, K. M., Aguilar, A., Aurióles, D., Burkanov, V., Campagna, C., Gales, N., Gelatt, T., Goldsworthy, S. D., Goodman, S. J., Hofmeyr, G. J. G., Härkönen, T., Lowry, L., Lydersen, C., Schipper, J., Sipilä, T., Southwell, C., Stuart, S., Thompson, D y Trillmich, F. (2012). Global threats to pinnipeds. *Marine Mammal Science*, 28(2):414-436. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1748-7692.2011.00479.x>
- Kunz, M., King, M. A., Mills, J. P., Miller, P. E., Fox, A. J., Vaughan, D. G., y Marsh, S. H. (2012). Multi-decadal glacier surface lowering in the Antarctic Peninsula. *Geophysical Research Letters*, 39(19): L19502. <http://dx.doi.org/10.1029/2012GL052823>
- Laidre, K. L., Stern, H., Kovacs, K. M., Lowry, L., Moore, S. E., Regehr, E. V., Ferguson, S.H., Wiig, Ø., Boveng, P., Angliss, R.P., Born, E.W., Litovka, D., Quakenbush, L., Lydersen, C., Vongraven, D. y Ugarte, F. (2015). Arctic marine mammal population status, sea ice habitat loss, and conservation recommendations for the 21st century. *Conservation Biology*, 29(3):724-737. <http://dx.doi.org/10.1111/cobi.12474>
- Lee, J. R., Raymond, B., Bracegirdle, T. J., Chadès, I., Fuller, R. A., Shaw, J. D., y Terauds, A. (2017). Climate change drives expansion of Antarctic ice-free habitat. *Nature*, 547(7661):49-54. <http://dx.doi.org/10.1038/nature22996>
- López-Martínez, J. (2009). Impactos del cambio climático en las regiones polares y en los glaciares. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17(2):164-171.
- McMahon, C. R., Bester, M. N., Burton, H. R., Hindell, M. A., y Bradshaw, C. J. (2005). Population status, trends and a re-examination of the hypotheses explaining the

recent declines of the southern elephant seal *Mirounga leonina*. *Mammal Review*, 35(1):82-100. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2907.2005.00055.x>

Marzeion, B., Hock, R., Anderson, B., Bliss, A., Champollion, N., Fujita, K., Huss, M., Immerzeel, W.W., Kraaijenbrink, P., Malles, J. H., Maussion, F., Radić, V., Rounce, D. R., Sakai, A., Shannon, S., van de Wal, R. y Zekollari, H. (2020). Partitioning the uncertainty of ensemble projections of global glacier mass change. *Earth's Future*, 8(7):1-25. <http://dx.doi.org/10.1029/2019EF001470>

Maxwell, B. (1992). Arctic climate: potential for change under global warming. En F. S. Chapin III, R.L. Jefferies, J.F. Reynolds, G.R. Shaver, J. Svoboda, y E.W. Chu (Eds.), *Arctic ecosystems in a changing climate: an ecophysiological perspective* (pp. 11-34). Academic Press.

Meredith, M. P., y King, J. C. (2005). Rapid climate change in the ocean west of the Antarctic Peninsula during the second half of the 20th century. *Geophysical Research Letters*, 32(19): L19604. <http://dx.doi.org/10.1029/2005GL024042>

Moore, S. E., Logerwell, E., Eisner, L., Farley, E. V., Harwood, L. A., Kuletz, K., Lovvorn, J., Murphy, J. R. y Quakenbush, L. T. (2014). Marine fishes, birds and mammals as sentinels of ecosystem variability and reorganization in the Pacific Arctic region. En Grebmeier, J. M. y Maslowski, Wieslaw (Eds.), *The Pacific Arctic region: Ecosystem status and trends in a rapidly changing environment* (pp. 337-392). Springer Dordrecht. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-8863-2_11

National Geographic Society. (2023). *Glacier*. National geographic: Education. <https://education.nationalgeographic.org/resource/glacier/>

- Nordøy, E. S., y Blix, A. S. (2009). Movements and dive behaviour of two leopard seals (*Hydrurga leptonyx*) off Queen Maud Land, Antarctica. *Polar Biology*, 32(2):263-270. <http://dx.doi.org/10.1007/s00300-008-0527-8>
- Orgeret, F., Thiebault, A., Kovacs, K., Lydersen, C., Hindell, M., Ann, S., Syderman, W., y Pistorius, P. (2021). Climate change impacts on seabirds and marine mammals: The importance of study duration, thermal tolerance and generation time. *Ecology Letters*, 25(1):218-239. <http://dx.doi.org/10.1111/ele.13920>
- Pascoe, P., Raymond, B., Carmichael, N. y McInnes, J. (2022). The current trajectory of king penguin (*Aptenodytes patagonicus*) chick numbers on Macquarie Island in relation to environmental conditions. *ICES Journal of Marine Science*, 79(7):2084-2092. <http://dx.doi.org/10.1093/icesjms/fsac139>
- Pin, O. y Ponce de León, A. (2015). *Fichas de identificación de Pinnípedos de Isla Rey Jorge, Antártida*. Cooperación IAU-DINARA.
- Pitman, R. L. y Durban, J. W. (2012). Cooperative hunting behavior, prey selectivity and prey handling by pack ice killer whales (*Orcinus orca*), type B, in Antarctic Peninsula waters. *Marine Mammal Science*. 28(1):16-36. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1748-7692.2010.00453.x>
- Plötz, J., Ekau, W., y Reijnders, P. J. (1991). Diet of Weddell seals *Leptonychotes weddellii* at Vestkapp, eastern Weddell Sea (Antarctica), in relation to local food supply. *Marine Mammal Science*, 7(2):136-144. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1748-7692.1991.tb00560.x>

- Quintana, R. J., Agraz, J.L. y Borgo, L.C (1995). Biodiversidad en la Antártida. *Ciencia Hoy*, 6(31):37–43. <http://hdl.handle.net/1834/32530>
- Rounce D. R., Hock R., Maussion F., Hugonnet R., Kochtitzky W., Huss M., Berthier E., Brinkerhoff D., Compagno L., Copland L., Farinotti D., Menounos B., y McNabb R. W. (2023). Global glacier change in the 21st century: Every increase in temperature matters. *Science*, 379(6627):78-83. <http://dx.doi.org/10.1126/science.abo1324>
- Schaafsma, F. L., Kohlbach, D., David, C., Lange, B. A., Graeve, M., Flores, H., y van Franeker, J. A. (2017). Spatio-temporal variability in the winter diet of larval and juvenile Antarctic krill, *Euphausia superba*, in ice-covered waters. *Marine Ecology Progress Series*, 580:101-115. <http://dx.doi.org/10.3354/meps12309>
- Seguel, M., Paves, H., Paredes, E., y Schlatter, R. (2013). Causes of mortality in South American fur seal pups (*Arctophoca australis gracilis*) at Guafo Island, southern Chile (2004–2008). *Marine Mammal Science*, 29(1):36-47. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1748-7692.2011.00534.x>
- Siegel, V., y Watkins, J. L. (2016). Distribution, biomass and demography of Antarctic krill, *Euphausia superba*. En V. Siegel (Ed.), *Biology and ecology of Antarctic krill* (pp. 21-100). Springer Cham. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-29279-3_2
- Singh, B. R., y Singh, O. (2013). A study about realities of climate change: glacier melting and growing crises. En B.R. Singh (Ed.), *Climate change—realities, impacts over ice cap, sea level and risks*. InTech Open
- Singh, J., Singh, R. P., y Khare, R. (2018). Influence of climate change on Antarctic flora. *Polar Science*, 18:94-101. <http://dx.doi.org/10.1016/j.polar.2018.05.006>

- Siniff, D. B. (1991). An Overview of the Ecology of Antarctic Seals. *American Zoologist*, 31(1):143-149. <http://dx.doi.org/10.1093/icb/31.1.143>
- Siniff, D. B., Stirling, I., Bengston, J. L., y Reichle, R. A. (1979). Social and reproductive behavior of crabeater seals (*Lobodon carcinophagus*) during the austral spring. *Canadian Journal of Zoology*, 57(11):2243-2255. <http://dx.doi.org/10.1139/z79-292>
- Stibal, M., Bradley, J. A., Edwards, A., Hotaling, S., Zawierucha, K., Rosvold, J., Lutz, S., Cameron, K. A., Mikucki, J. A., Kohler, T. J., Šabacká, M. y Anesio, A. M. (2020). Glacial ecosystems are essential to understanding biodiversity responses to glacier retreat. *Nature Ecology & Evolution*, 4(5):686-687. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-1163-0>
- Stirling, I. (1971). *Leptonychotes weddelli*. *Mammalian Species*, (6):1-5. <http://dx.doi.org/10.2307/3503841>
- Southwell, C. J., Kerry, K. R., y Ensor, P. H. (2005). Predicting the distribution of crabeater seals *Lobodon carcinophaga* off east Antarctica during the breeding season. *Marine Ecology Progress Series*, 299:297-309. <http://dx.doi.org/10.3354/meps299297>
- Tirira, D. G. y Moscoso, P. R. (2011). *Estudio preliminar de los mamíferos marinos en la zona antártica de influencia ecuatoriana*. Informe final. Fundación Mamíferos y Conservación e Instituto Antártico Ecuatoriano.
- Tirira, D. G. (2015). *Notas sobre la historia natural y estado de conservación de Leptonychotes weddellii (Carnivora: Phocidae) en los alrededores de la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, Antártida* [Tesis de masterado]. Pontificia

Universidad Católica Del Ecuador.

<http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/9746>

Thomas, J. A., y Rogers, T. (2009). Ross seal: *Ommatophoca rossii*. En W. F. Perrin, J. G. M. Thewissen y B. Würsig (Eds.), *Encyclopedia of marine mammals* (2 ed., pp. 988-990). Academic Press. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-373553-9.00226-1>

Trathan, P. N., Wienecke, B., Barbraud, C., Jenouvrier, S., Kooyman, G., Le Bohec, C., Ainley, D. G., Ancel, A., Zitterbart, P. D., Chown, S. L., LaRue, M., Cristofari, R., Younger, J., Clucas, J., Bost, C. A., Brown, J. A., Gillett, H. J., y Fretwell, P. T. (2020). The emperor penguin-Vulnerable to projected rates of warming and sea ice loss. *Biological Conservation*, 241:108216. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108216>

Turner, J., Bindschadler, R., Convey, P., Di Prisco, G., Fahrbach, E., Gutt, J., Hodgson, D., Mayewski, P. A., y Summerhayes, C. P. (Eds.). (2009). Antarctic climate change and the environment: A contribution to the International Polar Year 2007 - 2008. *Scientific Committee on Antarctic Research*. Victoire Press.

Turner, J., y Marshall, G. J. (Eds.) (2011). The role of the polar regions in the global climate system. *Climate Change in the Polar Regions* (pp. 9-12). Cambridge University Press.

Turner, J. Barrand, N., Bracegirdle, T., Convey, P., Hodgson, D., Jarvis, M., Jenkins, A., Marshall, G., Meredith, M., Roscoe, H., Shanklin, J., French, J., Goosse, H., Guglielmin, M., Gutt, J., Jacobs, S., Kennicutt, M., Masson-Delmotte, V., Mayewski, P., Navarro F., ... y Klepikov, A. (2013) Antarctic climate change and

the environment: An update. *Polar Record*, 50(3):237-259.

<http://dx.doi.org/10.1017/S0032247413000296>

UCAR. (2023). *Warming in Antarctica*. Center for Science for Education UCAR.

<https://scied.ucar.edu/learning-zone/climate-change-impacts/warming-antarctica>

Wadhams, P., y Munk, W. (2004). Ocean freshening, sea level rising, sea ice melting.

Geophysical Research Letters, 31(11): L11311.

<http://dx.doi.org/10.1029/2004GL020039>

Water Science School. (2018). *Glaciers and Icecaps*. U.S. Geological Survey.

<https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/glaciers-and-icecaps>

Wilson, S., Crawford, I., Trukhanova, I., Dmitrieva, L., y Goodman, S. (2020). Estimating risk to ice-breeding pinnipeds from shipping in Arctic and sub-Arctic seas. *Marine Policy*, 11:103694.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103694>

Zemp, M., Huss, M., Thibert, E., Eckert, N., McNabb, R., Huber, J., Barandun, M., Machguth, H., Nussbaumer, S. U., Gärtner-Roer, I., Thomson, L., Paul, F., Maussion, F., Kutuzov, S. y Cogley, J. G. (2019). Global glacier mass changes and their contributions to sea-level rise from 1961 to 2016. *Nature*, 568(7752):382-386.

<http://dx.doi.org/10.1038/s41586-019-1071-0>