

## 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 Matula**<sup>1</sup>

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

**Gabriela Laura Campana**<sup>1,2</sup>

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

**Dolores Deregibus**<sup>1,3</sup>

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

**María Liliana Quartino**<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup>Departamento de Biología Costera. Instituto Antártico Argentino.

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias Básicas. Universidad Nacional de Luján.

<sup>3</sup>Consejo 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

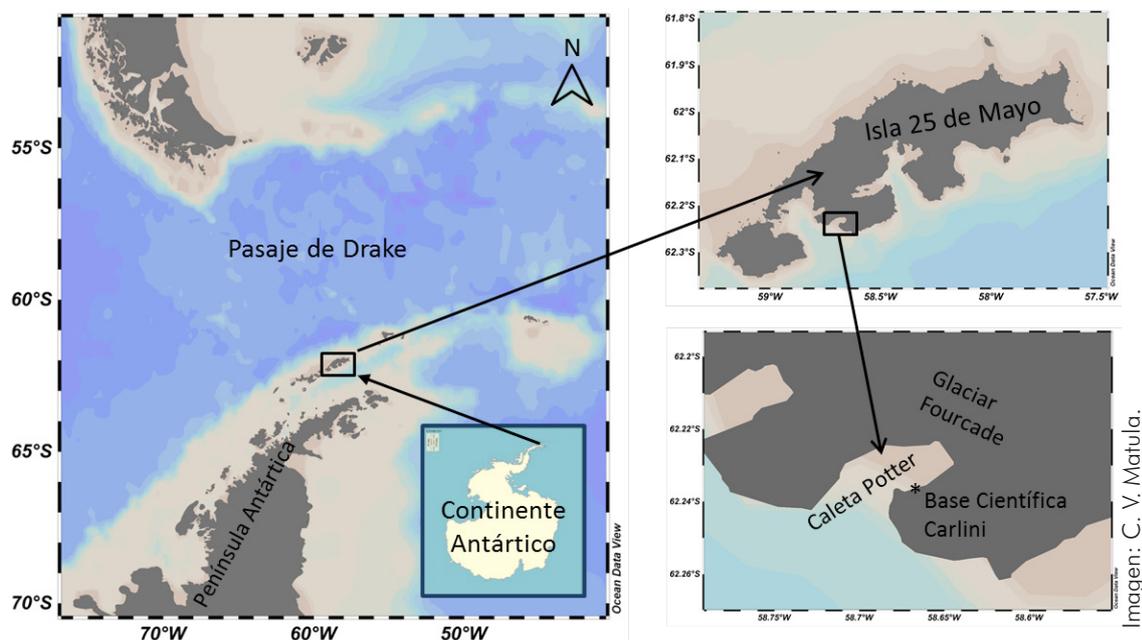
Las macroalgas son organismos fotosintéticos que, gracias a sus pigmentos, transforman la energía lumínica en energía química. Se distribuyen desde el supramareal (ver Glosario) hasta profundidades que pueden llegar hasta los 50 metros dependiendo de la penetra-

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 ( $\text{CO}_2$ ) 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  $\text{CO}_2$  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

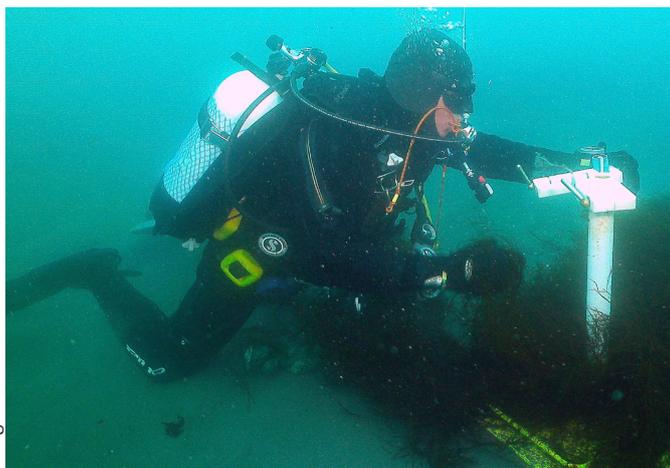


Imagen: E. Mohr.

**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

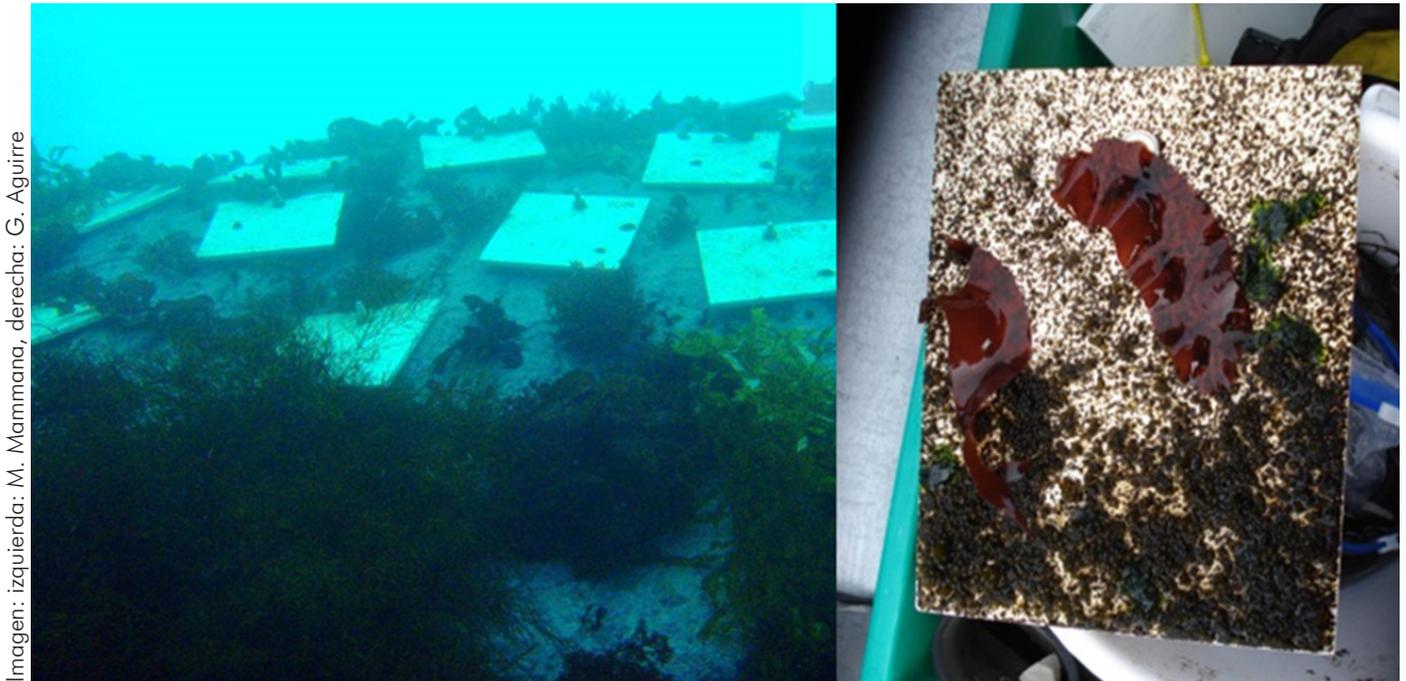


Imagen: izquierda: M. Mammama, derecha: G. Aguirre

**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.