

Aspectos ecológicos de las comunidades bentónicas en un ambiente proglaciar antártico cambiante

TARYN SEPÚLVEDA¹

<https://orcid.org/0009-0006-6369-0792>

OPEN ACCESS

Recibido:

17/01/2025

Revisado:

06/10/2025

Aceptado:

24/10/2025

Publicado en línea:

29/12/2025

Editor en Jefe:

Dr. Américo Montiel San Martín

ISSN 0718-686X

RESUMEN

Caleta Mariana, un fiordo antártico proglaciar, ha sido afectado por el retroceso glaciar, generando un marcado gradiente ambiental que modula la estructura y composición de las comunidades bentónicas. Dada esta relevancia, la presente revisión tiene por objetivo compilar y analizar la información disponible sobre la ecología, biodiversidad y dinámica funcional de dichas comunidades, identificando patrones de sucesión ecológica, acoplamiento trófico y resiliencia frente al retroceso glaciar. Se realizó una búsqueda sistemática de literatura científica publicada en las últimas tres décadas mediante Google Scholar y Web of Science, aplicando criterios de inclusión que consideraron exclusivamente artículos revisados por pares enfocados en aspectos ecológicos o tróficos del macrobentos. Los estudios revisados revelan que la alta sedimentación y turbidez próximas al glaciar favorecen comunidades pioneras de baja diversidad, mientras que sectores externos presentan ensamblajes más diversos y funcionalmente complejos. La producción bentónica local y la redundancia funcional emergen como mecanismos primordiales de resiliencia ecológica ante perturbaciones crecientes, con especies funcionalmente redundantes adaptadas a este gradiente de disturbio ambiental, y otras especies clave que sostienen flujos de energía y la biodiversidad local. Asimismo, los contrastes entre Caleta Mariana y otros fiordos antárticos, como Caleta Potter, evidencian mecanismos ecológicos convergentes bajo distintos grados de disturbio glaciar, donde la producción bentónica local y la redundancia funcional sustentan la resiliencia ecosistémica. Esta revisión sintetiza tres décadas de investigación en un fiordo antártico representativo y enfatiza la necesidad de monitoreo continuo, metodologías estandarizadas y colaboración internacional para anticipar los umbrales críticos de estabilidad ecológica frente al cambio climático.

Palabras clave: Bahía Maxwell, Cambio climático, Funcionalidad, Resiliencia, Gradiente ambiental.



Ecological dynamics and the adaptation of benthic communities to a changing proglacial environment in Marian Cove, Antarctica'. Present and Future Perspectives

Contribuciones de los autores

TS: Conceptualización, metodología, visualización (tablas y figuras), análisis de datos, redacción y edición del manuscrito.

Declaración de intereses: La autora declara no tener conflictos

Financiamiento: Financiamiento personal.

ABSTRACT

Marian Cove, a proglacial Antarctic fjord, has been strongly affected by glacier retreat, generating a pronounced environmental gradient that shapes the structure and composition of benthic communities. Given its ecological relevance, this review aims to compile and synthesize existing information on the ecology, biodiversity, and functional dynamics of these communities, identifying patterns of ecological succession, trophic coupling, and resilience in response to glacier retreat. A systematic literature search was conducted using Google Scholar and Web of Science, covering the past three decades and applying inclusion criteria restricted to peer-reviewed studies focused on the ecological or trophic aspects of Antarctic macrobenthos. The reviewed studies reveal that high sedimentation rates and turbidity near the glacier favor low-diversity pioneer communities, while outer sectors host more diverse and functionally complex assemblages. Local benthic production and functional redundancy emerge as primary mechanisms of ecological resilience under increasing disturbance, with functionally redundant species adapted to the environmental gradient and key taxa maintaining energy fluxes and local biodiversity. Comparisons between Marian Cove and other Antarctic fjords, such as Potter Cove, highlight convergent ecological mechanisms operating under different levels of glacial disturbance, where local benthic production and redundancy sustain ecosystem resilience. This review synthesizes three decades of research in a representative Antarctic fjord and underscores the need for long-term monitoring, standardized methodologies, and international collaboration to anticipate critical thresholds of ecological stability in proglacial ecosystems facing accelerated climate change.

Keywords: Maxwell Bay, Climate change, functionality, Resilience, Environmental gradient.

INTRODUCCIÓN

Ecosistemas proglaciares y sus comunidades bentónicas

Los ambientes proglaciares, definidos como aquellas regiones ubicadas frente o en proximidad inmediata al margen de un glaciar o casquete de hielo y que están en contacto directo con agua marina (Slaymaker, 2009), están cambiando rápidamente debido al efecto continuo y gradual del cambio climático (Petsch *et al.* 2020).

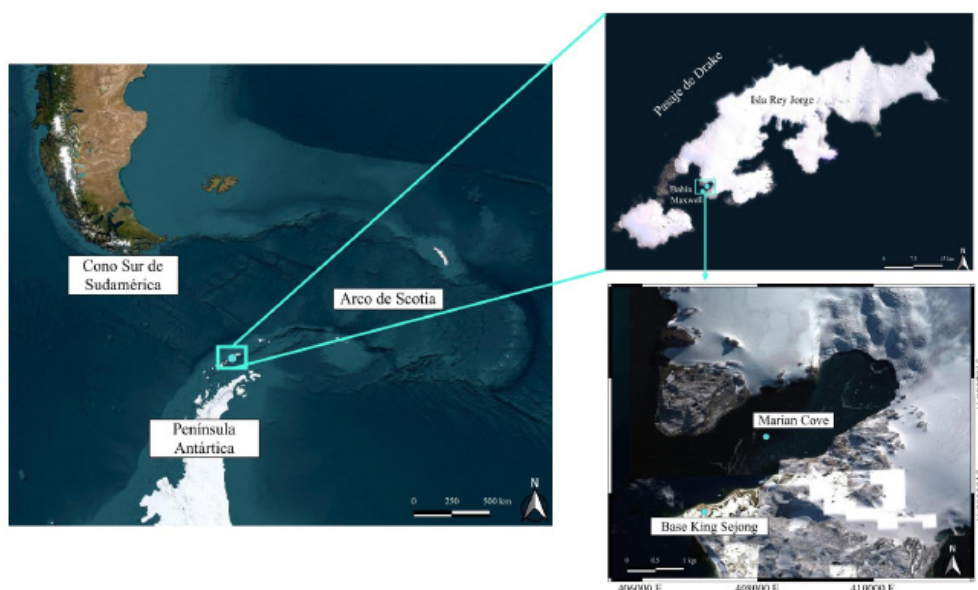
Los glaciares en retroceso, uno de los indicadores más sensibles al cambio climático, están teniendo un impacto significativo en los ecosistemas proglaciares, donde las dinámicas ecológicas están íntimamente ligadas al derretimiento del hielo. Se ha propuesto que los organismos están siendo afectados de manera diferente según su proximidad a los glaciares, lo que sugiere un cambio en la estructura y composición de las comunidades bentónicas debido al derretimiento glaciar (Sahade *et al.* 2015). Estos cambios son particularmente notorios en las áreas someras, donde el retroceso del hielo y el derretimiento de los glaciares generan condiciones que permiten la colonización y el establecimiento de nuevas comunidades biológicas, capaces de sobrevivir ante este disturbio. En áreas aledañas a la Península Antártica, donde el calentamiento ha sido más acelerado, como es el caso de la Isla Rey Jorge, se observan alteraciones en las comunidades bentónicas en términos de distribución, biodiversidad y biomasa (Torre *et al.* 2017; Valdivia *et al.* 2020), lo que pone de manifiesto la vulnerabilidad de estos ecosistemas ante el cambio climático.

En este sentido, las comunidades bentónicas desempeñan un rol esencial en los ecosistemas marinos, ya que no solo estabilizan los sedimentos, previenen la erosión, y reciclan nutrientes a través de procesos como la bioturbación y la bioirrigación, sino que también son cruciales para mantener la estructura de los hábitats y la productividad marina (Thrush *et al.* 2021), siendo indicadores clave de la salud de los ecosistemas (Iriarte *et al.* 2010; Försterra *et al.* 2017). La capacidad de los organismos bentónicos para capturar y almacenar carbono en sus biomasa y sedimentos, conocido como “carbono azul”, adquiere especial relevancia en el contexto del cambio climático global, dado que contribuye a mitigar los efectos del calentamiento al secuestrar carbono durante milenios, especialmente en ecosistemas vulnerables como los de la Antártica (Morley *et al.* 2022; Bergagna *et al.* 2024). Por estos motivos, y debido a su relativa estabilidad y la lentitud de sus procesos biológicos, es que las comunidades bentónicas antárticas han sido consideradas buenos indicadores o centinelas para estudiar el impacto de disturbios ambientales, como el retroceso glaciar (Torre *et al.* 2017).

Caleta Mariana: Un ambiente proglaciar antártico modelo para el estudio de las comunidades bentónicas

La modificación de hábitats bentónicos impulsada por el cambio climático global en la Antártica, particularmente en islas de la Península, como la isla Rey Jorge, está alterando la composición faunística de sus comunidades (e.g., Moon *et al.* 2015; Sahade *et al.* 2015). En este sentido, isla Rey Jorge, la mayor del archipiélago de las Shetland del Sur, representa uno de los entornos más estudiados de la Antártica marítima por su alta concentración de bases científicas (Montone *et al.* 2013), y la diversidad de hábitats costeros resultantes de la interacción entre el hielo, el océano y los sedimentos (e.g., Llanillo *et al.* 2019; Chelchowski *et al.* 2022). Esta isla alberga zonas de gran valor ecológico y científico, como la península Fildes, bahía Admiralty,

Fig. 1. Localización geográfica de Caleta Mariana en Bahía Maxwell, Isla Rey Jorge, Antártica. Las coordenadas se muestran en UTM.



bahía Maxwell, Caleta Potter y caleta Mariana, donde el retroceso glaciar ha generado fiordos y ambientes costeros recientemente expuestos que permiten examinar los procesos de colonización, sucesión bentónica y acoplamiento bento-pelágico (Lagger *et al.* 2017, 2021). Estos sistemas actúan como laboratorios naturales para evaluar los efectos del calentamiento regional y la descarga de agua de deshielo sobre la estructura trófica y la funcionalidad de los ecosistemas bentónicos.

Particularmente, Caleta Mariana, definida como una ensenada afluyente de Bahía Maxwell, isla Rey Jorge, ha experimentado un retroceso glaciar de 1.9 km en seis décadas (Kim *et al.* 2021; Fig. 1). Sus características oceanográficas incluyen una circulación dominada por corrientes inducidas por mareas y una influencia significativa de vientos, especialmente del este, que aceleran la renovación del agua dulce, reduciendo el tiempo de residencia de 9 días a menos de 2 en condiciones de vientos intensos (Kim *et al.* 2023).

El ambiente glaciar de Caleta Mariana se distingue por cuatro capas de agua: una capa superficial de agua de deshielo fría y turbia; una capa cálida de ingreso con agua del fiordo exterior; una capa media de descarga subglaciar, y una capa profunda de agua residual de invierno (Yoo *et al.* 2015). Estas capas, junto con las tasas bajas de acumulación de sedimentos no biogénicos, son moduladas por mareas y viento.

Además, las descargas glaciofluviales aportan altos niveles de turbidez y sedimentos terrígenos, mientras que los vientos del norte y corrientes de fondo contribuyen a la formación de capas turbias y sedimentación en Bahía Maxwell, evidenciada por sedimentos arenosos y especies bentónicas características (Yoon *et al.* 1998).

Dados los antecedentes mencionados, la presente revisión tiene como objetivo compilar información sobre las dinámicas en la ecología y biodiversidad de las comunidades bentónicas de Caleta Mariana, así como las respuestas de estas comunidades al retroceso glaciar. Se identificarán los esfuerzos científicos realizados en este ámbito, y los principales focos de atención para futuras investigaciones, con el fin de profundizar en el entendimiento de los cambios ecológicos en este ecosistema afectado por las fluctuaciones ambientales derivadas del cambio climático.

METODOLOGÍA

Se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de publicaciones científicas indexadas sobre las comunidades bentónicas de Caleta Mariana, abarcando las últimas tres décadas. Para ello, se utilizaron los buscadores Google Scholar y Web of Science, aplicando términos específicos en inglés entre comillas para restringir los resultados. Las palabras clave incluyeron: "Caleta Mariana", "Benthic communities", "macrobenthos", "glacial melting", "sedimentation", "ecology", "food sources" y "climate change". Asimismo, se establecieron criterios de inclusión que consideraron exclusivamente artículos revisados por pares, publicados en revistas indexadas, y que abordaran aspectos ecológicos, tróficos o ambientales de las comunidades bentónicas en Caleta Mariana, o aquellos que compararan con sistemas proglaciares análogos de la isla Rey Jorge. Se excluyeron informes técnicos, tesis y publicaciones sin revisión formal o que trataran exclusivamente organismos pelágicos o procesos abióticos sin vinculación con el bentos.

Los estudios seleccionados fueron posteriormente categorizados temáticamente según su foco principal y se resumieron brevemente, con el fin de sintetizar las principales líneas de investigación y vacíos de conocimiento identificados en la literatura reciente. Posteriormente, se generaron gráficos representativos de las tendencias temporales en las temáticas abordadas por los estudios y la participación internacional en los esfuerzos de investigación, empleando el paquete "ggplot2" (Wickham, 2016) en R.

En esta revisión se consideraron 14 estudios para Caleta Mariana, clasificados en cuatro áreas temáticas principales. La categoría con mayor representación fue la de *Interacciones tróficas y alimentación*, con 5 estudios que corresponden al 35.7% del total. Las áreas de *Biodeposición y materia orgánica*, *Cambios en la composición macrofaunística* e *Influencia del retroceso glaciar y aporte sedimentario* contaron cada una con 3 estudios, representando el 21.4% respectivamente (Tabla 1).

Por otro lado, los esfuerzos de investigación se concentraron principalmente en Corea del Sur, con 11 estudios, lo que coincide con la presencia de la estación de investigación King Sejong del Korea Antarctic Research Program en Bahía Maxwell. Chile contribuyó con 2 estudios, destacando por su cercanía geográfica, mientras que el Reino Unido aportó 1 estudio (Fig. 2).

RESULTADOS: SÍNTESIS TEMÁTICA

Las comunidades bentónicas antárticas muestran una notable diversidad y niveles de endemismo, adaptándose a las condiciones extremas, como las bajas temperaturas y las fuertes fluctuaciones estacionales de luz y nutrientes (Benninghoff, 1987). Estas comunidades están estrechamente vinculadas al ecosistema pelágico a través del acoplamiento bento-pelágico, procesos que facilita la transferencia de materia orgánica y energía entre la columna de agua y el fondo marino, y que es particularmente importante en áreas como la plataforma continental antártica, donde las floraciones de fitoplancton generan materia orgánica particulada que desciende al fondo marino, proporcionando una fuente primaria de alimento para organismos bentónicos dominantes, como suspensívoros y depositívoros (Grebmeier & Barry, 1991; Clarke *et al.* 2004). La interdependencia entre los organismos bentónicos y pelágicos se ve reforzada por la presencia de larvas pelágicas en muchas especies bentónicas, lo que profundiza la conexión

Tabla 1. Estudios sobre las comunidades bentónicas de Caleta Marian consideradas en el análisis, agrupados según área temática.

Autor(es)	Año	Área temática	Principales aportes
Ahn	1993	Biodeposición y materia orgánica	Evaluó el rol de <i>Laternula elliptica</i> en la biodeposición y el flujo de carbono orgánico; mostró su contribución a la sedimentación y nutrición bentónica.
Kang <i>et al.</i>	1998	Biodeposición y materia orgánica	Estimó la demanda orgánica del bentos mediante cámaras bentónicas; destacó el rol compensatorio de la producción microalgal bentónica ante la limitada exportación pelágica.
Zwerschke <i>et al.</i>	2022	Biodeposición y materia orgánica	Comparó fiordos antárticos, observando que Caleta Marian presentó los mayores contenidos de carbono orgánico total; evidenció la contribución de la infauna al secuestro de carbono.
Moon <i>et al.</i>	2015	Cambios en la composición macrofaunística	Primera caracterización longitudinal de comunidades epibentónicas; documentó gradientes de sucesión y filtrado ambiental asociados al retroceso glaciar.
Bae <i>et al.</i>	2021	Cambios en la composición macrofaunística	Describió la sucesión ecológica de diatomeas bentónicas a lo largo del gradiente glaciar; identificó tres etapas sucesionales vinculadas con la colonización bentónica.
Kim <i>et al.</i>	2024	Cambios en la composición macrofaunística	Confirmó patrones de sucesión y diversidad funcional; definió cuatro etapas sucesionales en función del tiempo de exposición del fondo tras el retroceso glaciar.
Ahn <i>et al.</i>	1993	Interacciones tróficas y alimentación	Analizó el contenido estomacal de <i>Laternula elliptica</i> y las diatomeas del ambiente; identificó las diatomeas bentónicas como principal fuente de alimento.
Choy <i>et al.</i>	2011	Interacciones tróficas y alimentación	Utilizó isótopos estables ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) en <i>Nacella concinna</i> ; confirmó la importancia de microalgas bentónicas y macroalgas en la dieta según hábitat.
Ha <i>et al.</i>	2018	Interacciones tróficas y alimentación	Aplicó modelamiento bayesiano con isótopos estables para caracterizar la red trófica; identificó el " <i>benthic diatom bush</i> " como principal fuente basal.
Zenteno-Devaud <i>et al.</i>	2022	Interacciones tróficas y alimentación	Evaluó la ecología trófica de <i>Odontaster validus</i> ; observó una dieta especializada dominada por anfipodos, reflejando baja diversidad trófica bajo influencia glaciar.
Ahn <i>et al.</i>	2024	Interacciones tróficas y alimentación	Analizó poliquetos con isótopos estables; evidenció la dependencia de diatomeas bentónicas y la variabilidad trófica estacional y batimétrica.
Ahn <i>et al.</i>	2016	Influencia del retroceso glaciar y aporte sedimentario	Reportó una floración masiva de diatomeas bentónicas asociadas a fauna filtradora, indicando un vínculo entre estabilización del fondo y disponibilidad trófica.
Bascur <i>et al.</i>	2020	Influencia del retroceso glaciar y aporte sedimentario	Estudió la composición bioquímica de <i>Nucula inaequisculpta</i> y sedimentos; evidenció mejores condiciones nutricionales en zonas más alejadas del glaciar.
Ko <i>et al.</i>	2023	Influencia del retroceso glaciar y aporte sedimentario	Analizó comunidades de macroalgas bentónicas; mostró que, pese a >60 años de retroceso glaciar, permanecen en etapas pioneras de sucesión ecológica.

entre estos dos componentes del ecosistema (Ingels *et al.* 2018). Además, la advección de materia orgánica fresca, como el fitodetrito acumulado de las floraciones veraniegas, constituyen bancos de alimentos de alto valor nutricional para los organismos bentónicos, fortaleciendo esta dependencia en el acoplamiento bento-pelágico (Smith *et al.* 2006; Isla *et al.* 2009)

En este sentido, en Caleta Mariana se ha observado un incremento sostenido en la cantidad de investigaciones relativas a la ecología del bentos a lo largo del tiempo, con una clara

Fig. 2. Representatividad numérica de países que han liderado las investigaciones consideradas en esta revisión.

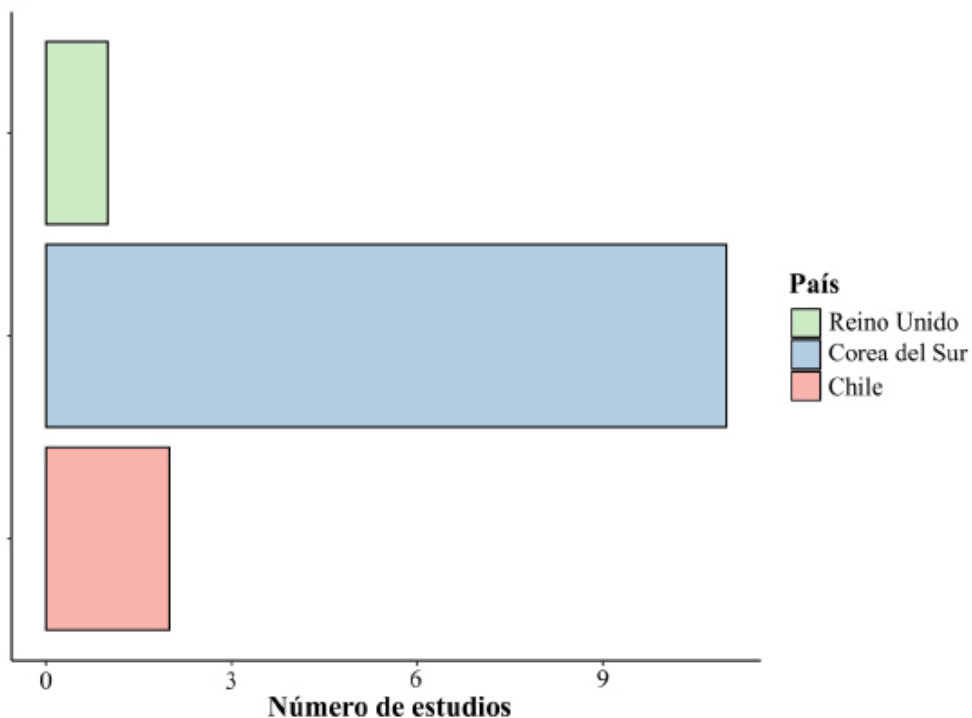
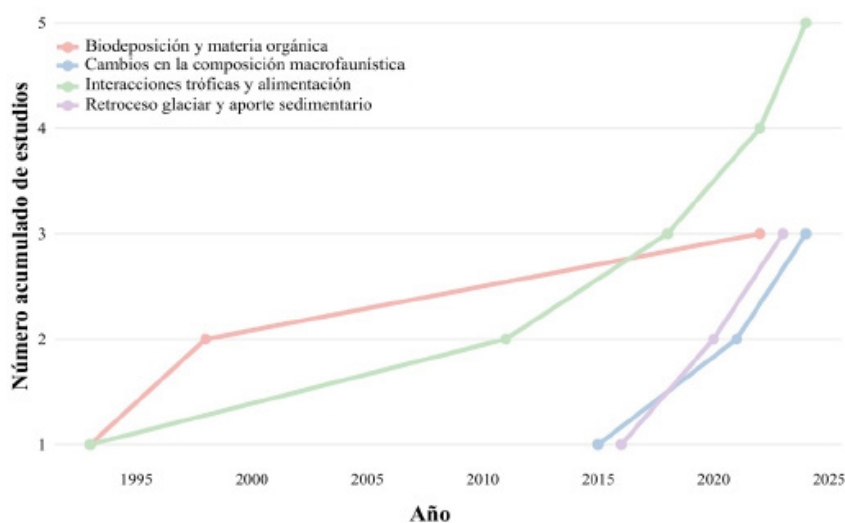


Fig. 3. Evolución temporal del número acumulado de estudios realizados en Caleta Mariana agrupados según las temáticas consideradas en el análisis. Las líneas muestran la tendencia de aumento en la producción científica por temática entre 1990 y 2025.



diversificación temática durante la última década (Fig. 3). Los primeros trabajos (década de 1990) se centraron principalmente en procesos de biodeposición y dinámica de la materia orgánica, representando las líneas iniciales de estudio sobre el acoplamiento bentónico-pelágico en Caleta Mariana. Posteriormente, a partir de 2010, comenzaron a desarrollarse investigaciones orientadas a las interacciones tróficas de la macrofauna, las cuales experimentaron un marcado aumento entre 2020 y 2025, alcanzando el mayor número acumulado de publicaciones dentro del conjunto analizado. En paralelo, se observa la reciente incorporación de temáticas relacionadas con cambios en la composición macrofaunística y con el retroceso glaciar y el aporte sedimentario, ambas con un crecimiento notorio desde 2015 en adelante. La siguiente sección aborda los principales hallazgos de las investigaciones asociadas a estas temáticas y su aporte en el desarrollo del conocimiento científico de la ecología del bentos en Caleta Mariana.

Biodeposición y materia orgánica en el bentos de Caleta Mariana

Uno de los estudios pioneros en esta temática, fue el de Ahn (1993), el cual no fue a nivel comunitario, si no que especie-específico. Se evaluó el papel del bivalvo *Laternula elliptica* en la biodeposición y su impacto en el flujo de carbono orgánico. Los resultados de esta investigación experimental durante una temporada de verano austral, indicaron que la presencia de *L. elliptica* incrementó significativamente la deposición de material particulado, con tasas de biodeposición que variaron entre 0.26 y 2.17 mg de peso seco g⁻¹ de peso húmedo d⁻¹, disminuyendo con el tamaño del bivalvo. A partir de una biomasa estimada de 4836 g de peso húmedo m⁻², se calculó un flujo de carbono orgánico de 95 mg C m⁻² d⁻¹, comparable a bivalvos suspensívoros en otras regiones, incluyendo a *Mytilus edulis*, típico de ambientes Subantárticos.

Aunque los biodepósitos mostraron un contenido bajo de carbono orgánico (2.45 ± 0.50%) debido a la alta presencia de partículas minerales, presentaron una relación C/N de 6 a 8, indicando material orgánico de alta calidad. Este hallazgo pionero sugiere que *L. elliptica* desempeña un papel clave en el transporte de partículas orgánicas y minerales hacia el fondo marino, facilitando la sedimentación y contribuyendo a la nutrición de otras especies bentónicas en un ambiente costero con bajas abundancias de fitoplancton en la columna de agua superficial.

Tres años más tarde, Kang *et al.* (1998) estimaron la demanda orgánica de la comunidad bentónica submareal por medio de cámaras bentónicas y trampas de sedimento. Dicha demanda resultó ser muy alta, reflejada en tasas de respiración elevadas, con un consumo de oxígeno de entre 400 y 800 mg O₂ m⁻² d⁻¹, equivalentes a una demanda de carbono orgánico de 127.5 a 255 mg C m⁻² d⁻¹.

Sin embargo, el aporte de partículas orgánicas desde la producción primaria pelágica fue insuficiente, con valores bajos de flujo vertical, entre 55 y 166 mg C m⁻² d⁻¹, evidenciando que el carbono proveniente de la superficie no lograría satisfacer las necesidades de la comunidad bentónica.

Ante este desequilibrio, la producción primaria local de microalgas bentónicas, de acuerdo a los autores, jugaría un papel crucial. A pesar de las condiciones lumínicas extremadamente bajas en experimentación (*i.e.*, solo un 1% de luz incidente), estas microalgas lograron alcanzar una producción primaria de aproximadamente 180 mg C m⁻² d⁻¹, lo que representa un aporte significativo de carbono orgánico directamente en el hábitat bentónico. Esto fue indicativo de que la demanda orgánica de la comunidad bentónica podría sustentarse gracias a la producción

local de microalgas bentónicas, que compensan la limitada entrada de materia orgánica desde la superficie. Sin embargo, los autores también podrían dar luces de lo estipulado previamente por Ahn (1993), ya que la misma contribución de especies bentónicas como *L. elliptica* a través de una elevada biodeposición, podría contribuir a este desequilibrio, pues Kang *et al.* 1998 reportaron elevadas abundancias de este bivalvo en su área de estudio.

Más recientemente, Zwerschke *et al.* (2022) analizaron tres fiordos distribuidos a lo largo de un gradiente latitudinal en la península Antártica Occidental —caleta Mariana, bahía Børgen (isla Anvers) y caleta Sheldon (isla Adelaida)—, seleccionados por sus contrastes en condiciones hidrográficas y grados de retroceso glaciar. Caleta Mariana, el sitio más septentrional y productivo, presentó los mayores contenidos de carbono orgánico total (TOC) en los sedimentos, en comparación con Bahía Børgen y Caleta Sheldon, ambos más australes y con menor acumulación de carbono. Esto indicó que las comunidades bentónicas infaunales contribuyen a la acumulación de carbono mediante procesos de sedimentación y acoplamiento bento-pelágico.

En Caleta Mariana, los poliquetos dominaron la comunidad, especialmente aquellos con una estrategia de alimentación suspensívora, lo que influyó en los patrones de acumulación de carbono. A través de su biomasa y su actividad bioturbadora, favorecerían el entierro del carbono en los primeros 5 centímetros del sedimento. La distribución del TOC disminuyó con la profundidad, lo que reflejó procesos de remineralización activos en capas superiores y destacó el potencial de secuestro de carbono en capas más profundas. Este hallazgo subrayó el papel primordial de la infauna en Caleta Mariana como sumideros naturales de carbono y una oportunidad para el estudio del carbono azul (Zwerschke *et al.* 2022). Asimismo, lo reportado por estos autores también sugiere que dicha acumulación podría compensar la alta demanda orgánica reportada por Kang *et al.* (1998), más de dos décadas antes.

Cambios en la composición macrofaunística

Moon *et al.* (2015) realizaron la primera caracterización longitudinal de las comunidades epibentónicas de Caleta Mariana, abarcando desde la zona interna, cercana al frente glaciar, hasta la más expuesta. Identificaron 117 taxones, dominados por moluscos (18%), equinodermos (15.4%), poríferos (13.7%), artrópodos (12.8%) y cnidarios (9.4%). La composición de estas comunidades mostró diferencias marcadas entre zonas: en la interna, dominaron ascidias (*e.g.*, *Molgula pedunculata*, *Cnemidocarpa verrucosa*), las cuales servían de sustrato para otros organismos en este ambiente más hostil; este grupo dominó junto a briozoos y poliquetos sabélidos, representando el 60% de los filtradores; mientras que, en la externa, los moluscos (21.5%) y equinodermos (17%), como *Nacella concinna* y *Odontaster validus*, fueron más abundantes.

La diversidad funcional, es decir, la diversidad de funciones ecológicas que ocupan los individuos de los ensambles, y la riqueza de especies, aumentaron hacia la zona externa de Caleta Mariana, con valores de diversidad funcional que oscilaron de 0.48 en la zona interna a 0.70 en la externa, y riqueza de especies que incrementó de 38 a 65 especies. Por el contrario, la diversidad taxonómica fue similar entre estaciones. Estas diferencias en composición y diversidad estuvieron estrechamente asociadas con la distancia al glaciar, así como con factores ambientales y físicos. En la zona interna, los impactos del hielo y la sedimentación de partículas finas fueron más intensos, con un predominio de limo y arcilla (>75%). En contraste, la zona externa presentó menor disturbio, mayor heterogeneidad del hábitat y una proporción más alta de grava (>45%).

Todos estos factores, permitieron el desarrollo de una comunidad más diversa y compleja funcionalmente en la zona más externa, indicando que el constante aporte glaciar realiza un filtrado ambiental, permitiendo solo el establecimiento de ciertas taxa más adaptados en la zona interna y generando una marcada sucesión ecológica. Por tanto, en Caleta Mariana, el disturbio físico causado por el hielo y la sedimentación asociada al retroceso glaciar son los principales factores estructuradores de las comunidades bentónicas (Moon *et al.* 2015).

Otro punto clave a destacar, recae en que es vital comprender tanto las variaciones en la composición macrofaunística, así como también de las potenciales fuentes de alimento en ambientes tan complejos y extremos. En este sentido, Bae *et al.* (2021), complementan los hallazgos de Moon *et al.* (2015), estudiando la sucesión ecológica de diatomeas bentónicas desde la zona interna a la más externa en Caleta Mariana.

En zonas intermareales recientemente expuestas por el retroceso glaciar, 49 taxa fueron identificados, con diatomeas pennadas asociadas a hielo marino y formadoras de cadena como *Fragilaria striatula* y *F. islandica* var. *adeliae* dominando en un 48%, siendo esta forma de vida una forma de agrupamiento eficiente en términos de uso y adquisición de energía en ambientes de rápidas y constantes fluctuaciones. En contraste, 82 taxa fueron identificados en el submareal, cuyo principal tipo de sustrato fue de tipo fangoso. Allí, especies dominantes en la zona más interna incluyeron *Navicula perminuta* (16.7%) y *N. glaciei* (15.9%), mientras que en la zona más externa dominaron diatomeas céntricas como *Paralia* sp.

Los autores, además, correlacionaron esta sucesión ecológica de diatomeas, con la sucesión observada en estudios previos en la macrofauna bentónica, identificando tres estadios de sucesión: (1) en el hábitat recientemente expuesto por el retroceso glaciar, las diatomeas liberadas tras el derretimiento del hielo marino en el verano austral, se asentaron en el sustrato expuesto y formaron cadenas de células como una estrategia adaptativa a este entorno hostil; (2) la dinámica microalgal estabilizó rápidamente el hábitat intermareal y submareal recientemente expuestos, proporcionando fuentes de energía para individuos de la meiofauna intermareal (*e.g.*, copépodos) y submareal (*e.g.*, nemátodos), así como macrofauna intermareal (*e.g.*, lapas *N. concinna* que proporcionaron sustrato) y submareal (*e.g.*, ascidias oportunistas); y (3) diversificación de las comunidades bentónicas a través de grupos de diatomeas ecológicamente diversos y abundantes en el submareal, acompañado de una mayor diversidad de meiofauna y macrofauna (*e.g.*, almejas, esponjas, ascidias y equinodermos), donde dominaron diatomeas epifitas en los sedimentos y diatomeas formadoras de cadenas formando colonias sobre frondas de macroalgas y/o macrofauna con crecimiento de tipo arbusto, representando la colonización más madura de la comunidad bentónica polar.

Por tanto, estas comunidades bentónicas polares, como las de Caleta Mariana, pueden desarrollarse gracias al soporte de las diatomeas bentónicas como especies de rápida colonización, proporcionando fuente de alimento y promoviendo comunidades bentónicas diversificadas y enriquecidas en estos ambientes hostiles de rápida evolución (Bae *et al.* 2021).

Finalmente, casi una década más tarde y muy recientemente, Kim *et al.* (2024) confirmaron los patrones observados por Moon *et al.* (2015) respecto de la diversidad de las comunidades macrobentónicas de Caleta Mariana en función de los años en que el lecho marino ha estado descubierto de hielo, a través de imágenes submarinas.

En las zonas más cercanas al glaciar (*i.e.*, <5 años de exposición), la comunidad estaba dominada por especies pioneras como poliquetos serpúlidos, que representaron el 81% de la abundancia total. A medida que aumenta la distancia, en sitios con alrededor de 10 años de exposición, la densidad alcanzó un máximo de 116.3 ind. m⁻², con especies como *M. pedunculata* (31%) y *C. verrucosa* (16.1%) como dominantes. En las zonas exteriores (*i.e.*, >63 años de exposición), las especies pioneras fueron escasas (10.4%) y predominaron las especies tardías, incluyendo esponjas vidrio *Anoxycalyx joubini* y *Rossella podagrosa*, reflejando un ambiente más estable y diverso, pues estas especies pueden contribuir como formadoras de hábitat para individuos simbios.

La diversidad funcional también aumentó hacia las zonas exteriores, alcanzando su valor máximo en estaciones externas, lo que indica una mayor heterogeneidad funcional en hábitats estables y maduros. Cerca del glaciar, las comunidades estaban dominadas por filtradores (87-89%) con tamaños corporales uniformes, mientras que en las zonas exteriores se observó una mayor variedad de estrategias alimenticias y tamaños (Kim *et al.* 2024).

Los sedimentos jugaron un papel crucial en las diferencias observadas. Cerca del glaciar, los sedimentos estaban compuestos principalmente de limo y arcilla (5.14 %), con mayores tasas de sedimentación y contenidos más altos de materia orgánica (0.64%). En contraste, en las zonas exteriores, los sedimentos eran finos y bien clasificados, con menor contenido de materia orgánica (0.43%). Los autores concluyeron que la composición del sedimento y la distancia al glaciar fueron los factores principales que influyeron en la estructura y función de las comunidades bentónicas (Kim *et al.* 2024).

El estudio también identificó un patrón de sucesión ecológica en cuatro etapas, a diferencia de lo expuesto por Bae *et al.* (2021) para el caso de las diatomeas bentónicas: perturbación alta, colonización, transición y maduración. Cerca del glaciar, las comunidades eran dominadas por especies de rápido crecimiento como *M. pedunculata* y *C. verrucosa*, adaptadas a ambientes inestables. En las zonas exteriores, las comunidades estaban formadas por especies más longevas y especializadas, como esponjas vidrio y ascidias coloniales.

Interacciones tróficas y alimentación

Una de las investigaciones pioneras para dilucidar las fuentes basales de alimento primarias para el macrobentos de Caleta Mariana, fue aquella realizada por Ahn *et al.* (1993). El estudio utilizó al bivalvo *L. elliptica*, una especie clave en la transferencia energética de estos ecosistemas al ser un componente abundante de la macrofauna bentónica de Caleta Mariana, con una estrategia de alimentación de tipo suspensívora.

Se analizaron microscópicamente las comunidades algales presentes en el agua superficial, trampas de sedimento, sedimento de fondo y contenido estomacal de *L. elliptica*. Las trampas de sedimento a 20 m de profundidad revelaron que las especies más abundantes fueron *Licmophora* spp. (51 % de abundancia relativa, RA, y 51 % de contribución acumulativa, CA) y *Synedra kerguelensis* (11 %RA, 62 %CA). En el sedimento superficial a 30 m, *Biddulphia* spp. (46 %RA, 46 %CA) y *Cocconeis* spp. (19 %RA, 65 %CA) predominaron, mientras que en el contenido estomacal de *L. elliptica*, las diatomeas más frecuentes fueron *Cocconeis* spp. (30 %), *Licmophora* spp. (18 %) y *Trachyneis aspera* (8 %).

Los resultados mostraron una clara variación en la composición algal entre los diferentes hábitats analizados, atribuida principalmente a la profundidad y las características del sustrato. En la columna de agua, *Synedra* spp. fue la especie dominante, mientras que en los sedimentos prevalecieron diatomeas bentónicas como *Cocconeis* spp. y *Licmophora* spp. Esta variabilidad también se reflejó en la dieta de *L. elliptica*, que consumió principalmente las especies disponibles en el sedimento, demostrando su alta capacidad de adaptación y su papel en la dinámica trófica de estos ecosistemas extremos (Ahn *et al.* 1993).

Estos hallazgos pioneros subrayaron que las diatomeas bentónicas representarían una fuente alimenticia crucial en Caleta Mariana, particularmente durante las temporadas en que la producción fitoplanctónica es limitada.

No fue hasta 2011, que un nuevo estudio llevado a cabo por Choy *et al.* (2011), con otra especie indicadora de Caleta Mariana, la lapa *N. concinna*, buscó identificar las principales fuentes de alimento para el bentos. El estudio confirmó nuevamente los hallazgos de Ahn (1993) respecto de la relevancia de las microalgas bentónicas como fuente principal de asimilación de carbono.

A través de análisis de isótopos estables de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ a tejidos de *N. concinna*, los resultados mostraron que las fuentes de alimento más importantes para la especie variaron entre los hábitats intermareal y submareal, reflejando adaptaciones tróficas a la disponibilidad de recursos. En el submareal, las lapas dependieron principalmente de las microalgas bentónicas epilíticas (54%) y el fitoplancton (36%), con una menor contribución de macroalgas bentónicas (10%). En el intermareal, la dieta de *N. concinna* incluyó una mayor proporción de macroalgas, alcanzando un 67% en las piscinas de marea y un 22% en las zonas intermareales abiertas, complementadas por microalgas bentónicas y fitoplancton en proporciones menores. Los autores interpretaron que las microalgas bentónicas desempeñaron un papel crucial como recurso alimenticio debido a su abundancia en las superficies rocosas, especialmente en el submareal. Además, sugirieron que estos patrones de alimentación estuvieron influenciados por la distribución espacial y estacional de las fuentes de alimento, y que el ramoneo de *N. concinna* podría haber afectado significativamente la estructura del ecosistema bentónico en las costas rocosas antárticas (Choy *et al.* 2011).

Ha *et al.* (2018), con una perspectiva más comunitaria, dilucidaron por primera vez aspectos sobre la estructura trófica del macrobentos en Caleta Mariana, utilizando modelamiento bayesiano con isótopos estables de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$. Identificaron que el *benthic diatom bush*, definido como un florecimiento masivo y persistente de diatomeas bentónicas que crecen sobre los sustratos del fondo marino, incluidos organismos como bivalvos, esponjas y ascidias, constituyó la principal fuente basal de alimento para los filtradores, respaldando los resultados de los estudios previos. Este, de manera consistente con lo planteado por Bae *et al.* (2021), estuvo dominado por diatomeas del género *Paralia*, y presentó valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ entre -23.1 y -23.6‰ y de $\delta^{15}\text{N}$ de $3.55 \pm 0.3\text{‰}$, siendo muy similar a los valores de los consumidores filtradores (*i.e.*, $\delta^{13}\text{C}$ entre -23.5 y -25.2‰ y $\delta^{15}\text{N}$ entre 3.31 y 6.43‰). Además, el *benthic diatom bush* destacó por su alta calidad nutricional, con un contenido de carbono orgánico promedio de $3.72 \pm 1.14\%$ y una relación C/N de 6.32, significativamente mejor que el microfitobentos. La trama trófica identificada incluyó hasta cuatro niveles, con depredadores como la estrella de mar *O. validus* ($\delta^{15}\text{N}$ de $9.76 \pm 0.69\text{‰}$) y el isópodo *Glyptonotus antarcticus* ($\delta^{15}\text{N}$ de 10.74‰) en la cúspide. Esta estructura y organización trófica, única y eficiente, no solo sustenta al ecosistema bentónico en Caleta Mariana, sino que también podría ser clave para entender la resiliencia de estos hábitats frente al cambio climático y el retroceso glaciar (Ha *et al.* 2018).

Dentro de los últimos esfuerzos de investigación en esta temática y volviendo a un enfoque más mono-específico, Zenteno-Devaud *et al.* (2022), dilucidaron la ecología trófica de *O. validus* en Caleta Mariana, y compararon los valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en sus tejidos, así como métricas derivadas de estos (*e.g.*, contribuciones de presas a la dieta, nichos isotópicos) y observaciones dietarias directas, con otras dos localidades que presentan características oceanográficas distintas, siendo este el caso de Ardley Cove (escaso hielo marino estacional) y bahía South (alta cobertura de hielo marino).

O. validus exhibió un nicho isotópico más restringido en comparación con otras regiones estudiadas, reflejado en valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ relativamente homogéneos. Los valores promedio reportados para *O. validus* en Caleta Mariana fueron -19.2‰ para $\delta^{13}\text{C}$ y 8.3‰ para $\delta^{15}\text{N}$, similar a lo reportado por Ha *et al.* (2018). Lo anterior que sugirió una dieta más limitada y una menor diversidad trófica en relación a las otras áreas comparadas.

El análisis de la dieta en Caleta Mariana reveló que *O. validus* obtiene más del 60% de su alimentación del anfípodo *Gondogeneia antarctica*, una especie móvil que destaca como recurso dominante en este ambiente. Esta dependencia parece estar directamente vinculada a la baja disponibilidad de presas sésiles, como consecuencia de las perturbaciones glaciares y la alta turbidez del agua. Además, las métricas de diversidad trófica como el rango de carbono en los tejidos de *O. validus*, fueron más bajas en esta área en comparación con Caleta Ardley, reflejando un espectro reducido de fuentes alimenticias disponibles para los individuos de la especie. Este patrón, de acuerdo a los autores, fue consistente con observaciones previas en otros sistemas afectados por glaciares, donde la especialización dietaria de especies clave como *O. validus* puede estar impulsada por la competencia y la escasez de recursos (Zenteno-Devaud *et al.* 2022).

En términos de implicaciones ecológicas, los hallazgos de este estudio respecto a la especialización observada en *O. validus* en Caleta Mariana, refleja su capacidad de adaptación, aunque también podría señalar vulnerabilidades a cambios más extremos en la disponibilidad de recursos. Los autores concluyeron que estas dinámicas destacan la importancia de considerar la plasticidad trófica (*i.e.*, la capacidad de variar la dieta en función de la disponibilidad de recursos) de especies clave al evaluar el impacto del cambio climático en ecosistemas antárticos.

Finalmente, el estudio más reciente en esta temática, enfocado en el grupo taxonómico de los poliquetos, fue llevado a cabo por Ahn *et al.* (2024). En esta investigación, este grupo dependió a nivel general, principalmente de la producción bentónica, específicamente de diatomeas bentónicas (*i.e.*, microfitobentos), como su principal fuente de carbono. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ del microfitobentos variaron entre -25.1‰ y -25.4‰ , mientras que la materia orgánica sedimentaria en aguas profundas presentó valores promedio similares (-24.9‰), lo que indicó un origen mayoritariamente derivado de estas diatomeas. En aguas someras, el $\delta^{13}\text{C}$ de la materia orgánica sedimentaria estuvo más enriquecida (-23.2‰ , rango: -19.3‰ a -26.2‰), sugiriendo la inclusión de fragmentos de macroalgas como una fuente adicional de alimento. Estas diferencias, de acuerdo a los autores, reflejaron una variabilidad en la disponibilidad de recursos tróficos a lo largo del gradiente de profundidad. A nivel estacional las variaciones también fueron evidentes, pues durante el invierno, la materia orgánica sedimentaria se convirtió en la principal fuente de alimento para la mayoría de los poliquetos, mientras que en verano las diatomeas bentónicas dominaron como recurso trófico.

Los poliquetos considerados dentro del estudio, pertenecientes a distintos grupos tróficos como *Perkinsiana* spp. (filtradores), *Maldane sarsi antarctica* (depositívoros subsuperficiales), Terebellidae spp. (depositívoros superficiales) y *Amythas membranifera*, mostraron $\delta^{13}\text{C}$ entre -21.8‰ y -23.0‰ en aguas profundas, con $\delta^{15}\text{N}$ que refleja el uso de materia orgánica sedimentaria enriquecida por procesos microbianos. En aguas someras, Terebellidae spp. presentó $\delta^{13}\text{C}$ más enriquecido debido a su dependencia de macroalgas y otros materiales orgánicos (Ahn *et al.* 2024).

Los autores discutieron que esta dependencia en la producción primaria bentónica destacó el rol de las diatomeas en el mantenimiento de la diversidad funcional de los poliquetos, especialmente en un entorno marcado por perturbaciones glaciares. Además, argumentaron que los procesos de mezcla y transporte de diatomeas desde aguas someras a profundas actuarían como un “banco de alimentos” que proporcionaría estabilidad a las comunidades bentónicas a lo largo del año, a pesar de las condiciones ambientales fluctuantes.

Influencia del retroceso glaciar y aporte sedimentario

Ahn *et al.* (2016) en su nota científica, documentaron por primera vez una floración masiva de diatomeas bentónicas en Caleta Mariana, como *Paralia sulcata* y *Cocconeis* spp., que formaron densas capas cubriendo organismos megabentónicos como las ascidias *M. pedunculata* esponjas y gorgonias *Arntzia gracilis*. Los autores sugirieron que estas diatomeas se asociarían estrechamente con la fauna filtradora, proporcionando alimento potencial y usando a los organismos como sustrato estable en profundidades de 30-35 m, en un fenómeno influido por la luz y la estabilización del fondo en áreas menos afectadas por procesos físicos como el arrastre de hielo.

Más adelante, en cuanto a la variación en la composición de los sedimentos en función del derretimiento glaciar y su calidad nutricional, Bascur *et al.* (2020) estudiaron la composición bioquímica (*e.g.*, contenido de lípidos, proteínas y energía) de otro molusco considerado clave en el ecosistema de Caleta Mariana, *Nuculana inaequisculpta* y su relación con la composición química de los sedimentos. En dicha investigación, los individuos más alejados del glaciar presentaron mejores condiciones nutricionales, con mayores contenidos de lípidos (17.42% frente a 12.16%), proteínas (24.34% frente a 21.05%) y energía total (50.57 J frente a 39.14 J) en comparación con los más cercanos. En contraste, las aguas cercanas al glaciar mostraron temperaturas más bajas (-0.83 °C frente a -0.33 °C), mayor salinidad (34.05 PSU frente a 33.95 PSU) y concentraciones de clorofila-*a* más altas en la superficie, pero menores en el fondo, lo cual fue asociado a una limitada exportación de materia orgánica hacia los sedimentos.

La menor cantidad de ácidos grasos disponible cerca del glaciar parece ser el principal factor que afecta negativamente al estado fisiológico de los individuos. Los hallazgos reportados por estos autores, sugieren que las poblaciones cercanas al glaciar podrían enfrentar menor éxito reproductivo y una mayor inestabilidad, comprometiendo su papel ecológico en el reciclaje de nutrientes y la dinámica del ecosistema bentónico en un contexto de cambio climático (Bascur *et al.* 2020).

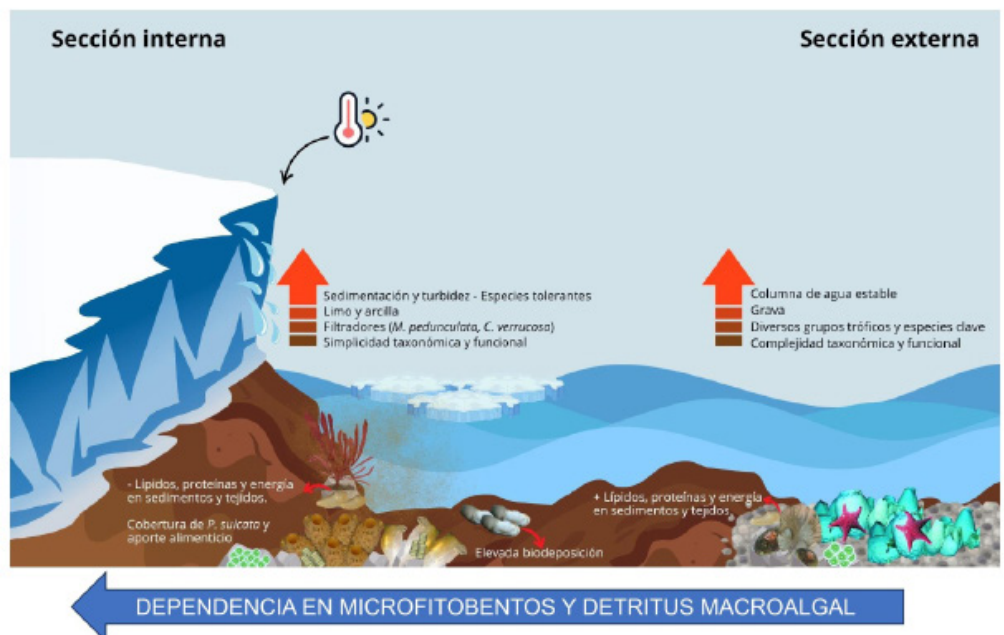
Finalmente, con respecto a las macroalgas bentónicas, Ko *et al.* (2023) reportaron que, a pesar de que en Caleta Mariana han transcurrido más de 60 años de retroceso glaciar, estas comunidades permanecieron en una etapa pionera de sucesión ecológica. Los sitios cercanos al glaciar, presentaron menor diversidad y cobertura de macroalgas (menos del 20%) en

comparación con sitios más alejados, donde la cobertura superó el 80%. *Palmaria decipiens*, una especie pionera adaptada a alta turbidez y poca luz, dominó cerca del glaciar, mientras que los sitios más alejados registraron hasta 14 especies diferentes (e.g., *Iridaea cordata*, *Himantothallus grandifolius*, entre otras) y una mayor diversidad, reflejando gradientes ambientales menos severos, de igual manera como se ha observado en el bentos.

La alta turbidez, provocada por niveles elevados de sedimentos suspendidos, redujo la penetración de luz en el agua, limitando la fotosíntesis de las macroalgas. Esta turbidez fue hasta 0.89 unidades mayor cerca del glaciar, mientras que las temperaturas y salinidades, aunque más bajas en el frente glaciar (aproximadamente 0 °C y <34 psu), estuvieron dentro de rangos tolerables para las macroalgas antárticas. Adicionalmente, se destacó que las perturbaciones físicas derivadas de fragmentos de hielo impulsaron el reinicio del proceso sucesional ecológico en áreas someras (hasta 15 m de profundidad). Los autores concluyeron que las condiciones extremas podrían retrasar la maduración de estas comunidades por más de 60 años, incluso en áreas con décadas de historia de retroceso glaciar, pudiendo resultar en fluctuaciones importantes en la disponibilidad de alimento derivado de las macroalgas para la macrofauna bentónica (Ko *et al.* 2023).

A grandes rasgos, el retroceso glaciar en Caleta Mariana ha generado un gradiente ambiental marcado que impacta la dinámica ecológica de sus comunidades bentónicas. En la zona interna, cercana al glaciar, la alta sedimentación y turbidez limitan la luz, favoreciendo comunidades pioneras dominadas por ascidias con baja diversidad y estrategias alimenticias simples (i.e., filtración), altamente dependientes del microfitorbentos como fuente basal de energía. Hacia la zona externa, la menor turbidez y sedimentos más gruesos permiten mayor heterogeneidad de hábitat, con ensambles más complejos y diversidad funcional elevada (Fig. 4).

Fig. 4. Resumen gráfico de la dinámica ecológica de las comunidades bentónicas de Caleta Mariana y sus aspectos clave. Se esquematiza la sucesión ecológica desde ensambles más simples y menos diversos, dominados por filtradores como *M. pedunculata* y *C. verrucosa*, hacia ensambles más complejos ecológicamente, con especies que exhiben diversas estrategias de alimentación e historias de vida como *N. concinna*, *O. validus* y *A. joubini*. Se destacan otras especies con roles ecológicos primordiales como *L. elliptica*. Fuente: Elaboración propia.



DISCUSIÓN

Sucesión ecológica: disturbio, colonización y dinámica comunitaria

El retroceso del 87% de los glaciares costeros antárticos ha generado cambios ambientales profundos, especialmente en la Península Antártica y sus fiordos adyacentes (Cook *et al.* 2016; Henley *et al.* 2019). Este fenómeno, intensificado por el calentamiento atmosférico, modifica la estructura y dinámica de los ecosistemas bentónicos, regulando la sedimentación, la turbidez y la estabilidad del sustrato. Caleta Mariana constituye un sistema proglaciar modelo para examinar estos procesos, complementando el conocimiento derivado de fiordos más estudiados como Caleta Potter (Wölfl *et al.* 2014).

En este marco, la comparación entre ambos sistemas permite identificar mecanismos ecológicos generales (*i.e.*, sucesión bentónica, acoplamiento bento-pelágico y resiliencia ecológica) y, al mismo tiempo, reconocer diferencias en el ritmo e intensidad de los procesos ecológicos impulsados por el retroceso glaciar.

Los fiordos antárticos comparten un patrón de sucesión ecológica inducida por el disturbio glaciar, donde las comunidades pioneras dan paso a ensamblajes más diversos y funcionalmente complejos conforme aumenta la estabilidad del hábitat (Moon *et al.* 2015; Kim *et al.* 2024). En Caleta Mariana, esta sucesión es gradual, con una progresiva transición desde ascidias y poliquetos filtradores hacia esponjas y equinodermos. En contraste, en Caleta Potter la sucesión es más abrupta, dominada por pulsos de sedimentación y socavación del hielo que alteran drásticamente la composición comunitaria (Sahade *et al.* 2015). Estos contrastes reflejan la influencia de umbrales ecológicos definidos por la magnitud del disturbio (Gutt *et al.* 1996; Barnes, 1999; Barnes & Souster, 2011), donde la resiliencia del bentos puede verse superada y producir colapsos parciales de las comunidades. En este sentido, estudios en otros sistemas antárticos, como el de Smale *et al.* (2007) en isla Adelaida, evidencian que los ensamblajes sometidos a erosión glaciar experimentan reducciones significativas de la riqueza específica (hasta un 75.9%), seguidas por procesos de recolonización y reorganización ecológica. Este tipo de disturbio, aún poco documentado en Caleta Mariana, merece especial atención por su potencial efecto sobre la sucesión bentónica y los aportes orgánicos derivados del retroceso glaciar.

Por otro lado, en ambas localidades, las diatomeas bentónicas son colonizadoras iniciales y desempeñan un papel esencial en la estabilización del sustrato y la provisión de alimento para los primeros consumidores (Bae *et al.* 2021). Sin embargo, mientras en Mariana dominan formas en cadenas como *F. striatula*, adaptadas a alta turbidez, en Potter las diatomeas son reemplazadas rápidamente por macroalgas oportunistas (*e.g.*, *Adenocystis utricularis*) que facilitan una sucesión más acelerada (Campana *et al.* 2018). Estas trayectorias distintas responden a diferencias en sedimentación, irradiación y dinámica glaciar, factores que determinan la velocidad y dirección de la sucesión bentónica.

De manera general, el disturbio físico impone un filtro ambiental que selecciona combinaciones ecológicas viables de rasgos funcionales (Weiher & Keddy, 1995; Cornwell *et al.* 2006). En Caleta Mariana, este filtro limita inicialmente la diversidad funcional, pero promueve un aumento progresivo de estrategias tróficas y morfológicas a medida que decrecen el disturbio y la sedimentación. Patrones similares se han documentado en otros fiordos de altas latitudes (Włodarska-Kowalczyk *et al.* 2019; Sepúlveda *et al.* 2024), lo que refuerza la convergencia funcional de los sistemas proglaciares ante gradientes de estabilidad ambiental.

Acoplamiento trófico bento-pelágico: fuentes de carbono y flujos energéticos

El acoplamiento bento-pelágico representa un proceso determinante en la estructura funcional del bentos antártico (Grebmeier & Barry, 1991). En Caleta Mariana, la combinación de baja producción fitoplanctónica superficial y alta turbidez (Kang *et al.* 1998) limita la llegada de materia orgánica desde la columna de agua, aumentando la dependencia de fuentes locales como las microalgas bentónicas y el *benthic diatom bush* (Ahn *et al.* 2016; Ha *et al.* 2018). Este último, dominado por *Paralia* spp., constituye una fuente basal de alta calidad que sustenta redes tróficas simples, con pocos niveles y dominadas por filtradores y depositívoros.

En Caleta Potter, por el contrario, la mayor estabilidad del fondo y el flujo pelágico más eficiente sostienen tramas tróficas más complejas y nichos isotópicos amplios (Pasotti *et al.* 2015). Las diferencias entre ambos fiordos reflejan mecanismos contrastantes de acoplamiento: en sistemas altamente disturbados como Mariana, la producción bentónica reemplaza a la pelágica como subsidio principal, mientras que en ambientes más estables ambos flujos coexisten, fortaleciendo la redundancia energética.

La especialización dietaria observada en *O. validus* en Caleta Mariana, con una dieta centrada en *G. antarctica* (Zenteno-Devaud *et al.* 2022), contrasta con la mayor amplitud trófica registrada para la especie en Bahía South o Caleta Ardley, donde la diversidad de recursos es superior. Estos resultados sugieren que el grado de acoplamiento trófico y la plasticidad alimentaria de las especies clave dependen fuertemente del contexto glaciar local, modulando la eficiencia del flujo de energía entre niveles tróficos.

Además, estudios previos han demostrado que en fiordos de latitudes similares del Hemisferio Norte, la producción bentónica derivada de macroalgas y microfitobentos, puede estabilizar la red trófica al proveer recursos alternativos cuando el acoplamiento pelágico se ve limitado (Bridier *et al.* 2021). De manera análoga, en Caleta Mariana las diatomeas bentónicas podrían actuar como un “banco de alimentos” (Minks *et al.* 2005), amortiguando las fluctuaciones estacionales y promoviendo la resiliencia y adaptación frente a variaciones del aporte glaciar o del reciclaje microbiano (Smith *et al.* 2006).

Resiliencia ecológica y estabilidad ecosistémica

La resiliencia de los ecosistemas está determinada por la redundancia funcional —varias especies cumpliendo roles similares— y la singularidad funcional, que contribuye a la estabilidad ante disturbios (Levin & Lubchenco, 2008). En Caleta Mariana, especies estructurantes como *L. elliptica* y *O. validus* desempeñan funciones análogas a las observadas en Caleta Potter: la primera regula la sedimentación y estabiliza el flujo energético mediante biodeposición (Ahn, 1993; Momo *et al.* 2002), mientras que la segunda modula la abundancia de presas y la transferencia trófica (Zenteno-Devaud *et al.* 2022; Neder *et al.* 2024). Ambos casos muestran mecanismos convergentes de resiliencia ecológica entre fiordos antárticos, aunque difieren en su estructura: Potter presenta mayor diversidad y redundancia, mientras que Mariana depende de pocos taxones dominantes.

La resiliencia funcional también se sustenta en la coexistencia de especies con rasgos complementarios. Ecosistemas con funciones redundantes tienden a resistir mejor perturbaciones (Guillemot *et al.* 2011; Włodarska-Kowalczyk *et al.* 2012; Muntadas *et al.* 2016), mientras que los rasgos únicos aportan estabilidad y amortiguan el riesgo de invasiones o pérdidas funcionales

(Griffin *et al.* 2020; Pimiento *et al.* 2020). En este contexto, la aplicación de índices como la Riqueza Funcional (FRic), la Especialización Funcional (FSp) y la Singularidad Funcional (FUn) (Villéger *et al.* 2008; Mouillot *et al.* 2013) permitiría cuantificar el aporte de estas especies al espacio funcional de la comunidad y evaluar el grado de redundancia funcional ante perturbaciones crecientes, lo cual ha demostrado contribuir al entendimiento y adaptación ecológica de otras comunidades bentónicas en ambientes proglaciares (*e.g.*, Sepúlveda *et al.* 2024). Es importante destacar que rasgos funcionales únicos no solo enriquecen la estabilidad del ecosistema, sino que también mitigan riesgos derivados de amenazas futuras, como especies invasoras, ya que estos rasgos únicos ocupan en mayor medida el nicho ecológico de la comunidad (Bellwood *et al.* 2003).

Además, la integración de métricas funcionales con índices tróficos isotópicos (Layman *et al.* 2007; Jackson *et al.* 2011; Rigolet *et al.* 2015) ofrece una vía para evaluar la diversidad trófica y resiliencia ecológica en sistemas proglaciares. Una distribución más uniforme del espacio isotópico funcional se asocia con mayor redundancia trófica, lo que incrementa la estabilidad ante perturbaciones climáticas. Por el contrario, una alta especialización podría aumentar la vulnerabilidad ante el cambio ambiental, tal como se ha advertido para comunidades antárticas afectadas por el retroceso glaciar e invasiones biológicas ya reportadas en otras regiones del continente antártico (Smith *et al.* 2012).

De esta forma, los patrones ecológicos observados en Caleta Mariana reflejan mecanismos compartidos con otros fiordos antárticos, pero con ritmos y grados de complejidad distintos. La sucesión ecológica, el acoplamiento trófico y la resiliencia ecológica actúan como procesos interdependientes que determinan la estabilidad de estos ecosistemas frente al cambio climático. Profundizar en comparaciones integradas entre fiordos permitirá identificar umbrales críticos de resiliencia y comprender la dinámica futura de los sistemas bentónicos antárticos ante el rápido retroceso glaciar.

Reflexiones y perspectivas futuras

Como consideraciones finales, vale la pena mencionar la relevancia de, en el largo plazo, implementar programas de monitoreo continuo en el marco de las campañas científicas antárticas, que abarquen gradientes ambientales y funcionales desde las zonas más cercanas al glaciar hasta las más alejadas. Esto permitirá comprender mejor las dinámicas de sucesión ecológica y las respuestas de las comunidades bentónicas ante las perturbaciones. Asimismo, resulta fundamental extender las investigaciones a otros fiordos antárticos para establecer comparaciones regionales, identificar patrones comunes y evaluar la variabilidad en las respuestas de los ecosistemas bentónicos en áreas proglaciares.

Además, diversificar los esfuerzos de investigación es crucial para abordar áreas de estudio menos exploradas y enfoques innovadores. La integración de tecnologías avanzadas, como el análisis de isótopos estables y metodologías actuales de diversidad funcional, puede proporcionar una visión más completa y detallada de las dinámicas ecosistémicas. Impulsar el uso de metodologías estandarizadas comparables y la colaboración internacional permitirá combinar recursos, conocimientos y experiencias, fortaleciendo la capacidad de respuesta global frente a los desafíos que enfrentan los ecosistemas antárticos.

Finalmente, estos esfuerzos no solo contribuirán a un mayor entendimiento de las comunidades bentónicas de Caleta Mariana, sino que también establecerán una base científica sólida para diseñar estrategias efectivas de manejo y conservación. En el contexto de un cambio ambiental acelerado, este enfoque multidisciplinario, diversificado metodológicamente y colaborativo es esencial para garantizar la resiliencia y sustentabilidad a largo plazo de los ecosistemas polares de altas latitudes.

LITERATURA CITADA

- Ahn, I.-Y. (1993). Enhanced particle flux through the biodeposition by the Antarctic suspension-feeding bivalve *Laternula elliptica* in Marian Cove, King George Island. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 171(1), 75-90.
- Ahn, I.-Y., Kang, J.-S., & Kang, S.-H. (1993). Primary food sources for shallow-water benthic fauna in Marian Cove, King George Island during an austral summer. *Korean Journal of Polar Research*, 4, 67-72.
- Ahn, I.-Y., Kim, D.-U., Petti, M. A., Bromberg, S., Elias-Piera, F., Ha, S.-Y., & Gal, J.-K. (2024). Polychaete Assemblages and Trophic Interactions in a Highly Glacier-Influenced Fjord of the West Antarctic Peninsula. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4827053>
- Ahn, I.-Y., Moon, H.-W., Jeon, M., & Kang, S.-H. (2016). First record of massive blooming of benthic diatoms and their association with megabenthic filter feeders on the shallow seafloor of an Antarctic Fjord: Does glacier melting fuel the bloom? *Ocean Science Journal*, 51(2), 273-279. <https://doi.org/10.1007/s12601-016-0023-y>
- Bae, H., Ahn, I.-Y., Park, J., Song, S. J., Noh, J., Kim, H., & Khim, J. S. (2021). Shift in polar benthic community structure in a fast retreating glacial area of Marian Cove, West Antarctica. *Scientific Reports*, 11(1), 241. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80636-z>
- Barnes, D. K. A. (1999). The influence of ice on polar nearshore benthos. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 79(3), 401-407. <https://doi.org/10.1017/S0025315498000514>
- Barnes, D. K. A., & Souster, T. (2011). Reduced survival of Antarctic benthos linked to climate-induced iceberg scouring. *Nature Climate Change*, 1(7), 365-368. <https://doi.org/10.1038/nclimate1232>
- Bascur, M., Muñoz-Ramírez, C., Román-González, A., Sheen, K., Barnes, D. K. A., Sands, C. J., Brante, A., & Urzúa, Á. (2020). The influence of glacial melt and retreat on the nutritional condition of the bivalve *Nuculana inaequisculpta* (Protobranchia: Nuculanidae) in the West Antarctic Peninsula. *PLOS ONE*, 15(5), e0233513. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233513>
- Bellwood, D. R., Hoey, A. S., & Choat, J. H. (2003). Limited functional redundancy in high diversity systems: Resilience and ecosystem function on coral reefs. *Ecology Letters*, 6(4), 281-285. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2003.00432.x>
- Benninghoff, W. S. (1987). The Antarctic ecosystem. *Environment International*, 13(1), 9-14. [https://doi.org/10.1016/0160-4120\(87\)90037-7](https://doi.org/10.1016/0160-4120(87)90037-7)
- Bergagna, L., Lovrich, G., Riccialdelli, L., & Sahade, R. (2024). *Blue Carbon in a Sub-Antarctic Marine Protected Area: Current and Future Perspectives*. In Review. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4426813/v1>
- Bridier, G., Olivier, F., Chauvaud, L., Sejr, M. K., & Grall, J. (2021). Food source diversity, trophic plasticity, and omnivory enhance the stability of a shallow benthic food web from a high-Arctic fjord exposed to freshwater inputs. *Limnology and Oceanography*, 66(51). <https://doi.org/10.1002/lno.11688>
- Campana, G. L., Zacher, K., Derogibus, D., Momo, F. R., Wiencke, C., & Quartino, M. L. (2018). Succession of Antarctic benthic algae (Potter Cove, South Shetland Islands): Structural patterns and glacial impact over a four-year period. *Polar Biology*, 41(2), 377-396. <https://doi.org/10.1007/s00300-017-2197-x>
- Chelchowski, M., Balazy, P., Grzelak, K., Grzelak, L., Kędra, M., Legezyska, J., & Kuklinski, P. (2022). Vertical zonation of benthic invertebrates in the intertidal zone of Antarctica (Admiralty Bay, King George Island). *Antarctic Science*, 34(1), 29-44. <https://doi.org/10.1017/S095410202100047X>
- Choy, E. J., Park, H., Kim, J.-H., Ahn, I.-Y., & Kang, C.-K. (2011). Isotopic shift for defining habitat exploitation by the Antarctic limpet *Nacella concinna* from rocky coastal habitats (Marian Cove, King George Island). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 92(3), 339-346. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.01.009>

- Clarke, A., Aronson, R. B., Crame, J. A., Gili, J.-M., & Blake, D. B. (2004). Evolution and diversity of the benthic fauna of the Southern Ocean continental shelf. *Antarctic Science*, 16(4), 559-568. <https://doi.org/10.1017/S0954102004002329>
- Cook, A. J., Holland, P. R., Meredith, M. P., Murray, T., Luckman, A., & Vaughan, D. G. (2016). Ocean forcing of glacier retreat in the western Antarctic Peninsula. *Science*, 353(6296), 283-286. <https://doi.org/10.1126/science.aae0017>
- Cornwell, W. K., Schwikl, D. W., & Ackerly, D. D. (2006). A trait-based test for habitat filtering: Convex hull volume. *Ecology*, 87(6), 1465-1471. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87%255B1465:ATTFHF%255D2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87%255B1465:ATTFHF%255D2.0.CO;2)
- Försterra, G., Häussermann, V., & Laudien, J. (2017). Animal Forests in the Chilean Fjords: Discoveries, Perspectives, and Threats in Shallow and Deep Waters. En S. Rossi, L. Bramanti, A. Gori, & C. Orejas (Eds.), *Marine Animal Forests* (pp. 277-313). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-21012-4_3
- Grange, L. J., & Smith, C. R. (2013). Megafaunal Communities in Rapidly Warming Fjords along the West Antarctic Peninsula: Hotspots of Abundance and Beta Diversity. *PLoS ONE*, 8(12), e77917. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077917>
- Grebmeier, J. M., & Barry, J. P. (1991). The influence of oceanographic processes on pelagic-benthic coupling in polar regions: A benthic perspective. *Journal of Marine Systems*, 2(3-4), 495-518. [https://doi.org/10.1016/0924-7963\(91\)90049-Z](https://doi.org/10.1016/0924-7963(91)90049-Z)
- Griffin, J. N., Leprieux, F., Silvestro, D., Lefcheck, J. S., Albouy, C., Rasher, D. B., Davis, M., Svenning, J.-C., & Pimiento, C. (2020). *Functionally unique, specialised, and endangered (FUSE) species: Towards integrated metrics for the conservation prioritisation toolbox* [Preprint]. *Ecology*. <https://doi.org/10.1101/2020.05.09.084871>
- Guillemot, N., Kulbicki, M., Chabanet, P., & Vigliola, L. (2011). Functional Redundancy Patterns Reveal Non-Random Assembly Rules in a Species-Rich Marine Assemblage. *PLoS ONE*, 6(10), e26735. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0026735>
- Gutt, J., Starman, A., & Dieckmann, G. (1996). Impact of iceberg scouring on polar benthic habitats. *Marine Ecology Progress Series*, 137, 311-316. <https://doi.org/10.3354/meps137311>
- Ha, S.-Y., Ahn, I.-Y., Moon, H.-W., Choi, B., & Shin, K.-H. (2018). Tight trophic association between benthic diatom blooms and shallow-water megabenthic communities in a rapidly deglaciated Antarctic fjord. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 218, 258-267. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.12.020>
- Henley, S. F., Schofield, O. M., Hendry, K. R., Schloss, I. R., Steinberg, D. K., Moffat, C., Peck, L. S., Costa, D. P., Bakker, D. C. E., Hughes, C., Rozema, P. D., Ducklow, H. W., Abele, D., Stefels, J., Van Leeuwe, M. A., Brussaard, C. P. D., Buma, A. G. J., Kohut, J., Sahade, R., ... Meredith, M. P. (2019). Variability and change in the west Antarctic Peninsula marine system: Research priorities and opportunities. *Progress in Oceanography*, 173, 208-237. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2019.03.003>
- Ingels, J., Aronson, R. B., & Smith, C. R. (2018). The scientific response to Antarctic ice-shelf loss. *Nature Climate Change*, 8(10), 848-851. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0290-y>
- Iriarte, J. L., González, H. E., & Nahuelhual, L. (2010). Patagonian Fjord Ecosystems in Southern Chile as a Highly Vulnerable Region: Problems and Needs. *AMBIO*, 39(7), 463-466. <https://doi.org/10.1007/s13280-010-0049-9>
- Isla, E., Gerdes, D., Palanques, A., Gili, J.-M., Arntz, W. E., & König-Langlo, G. (2009). Downward particle fluxes, wind and a phytoplankton bloom over a polar continental shelf: A stormy impulse for the biological pump. *Marine Geology*, 259(1-4), 59-72. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2008.12.011>
- Jackson, A. L., Inger, R., Parnell, A. C., & Bearhop, S. (2011). Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER - Stable Isotope Bayesian Ellipses in R: Bayesian isotopic niche metrics. *Journal of Animal Ecology*, 80(3), 595-602. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2011.01806.x>
- Kang, Y.-C., Shim, J., Kim, D., Lee, I.-H., & Chung, H. (1998). Organic balance in a subtidal benthic community of the Marian Cove, King George Island, South Shetland Islands, Antarctica. *Korea Journal of Polar Research*, 9(1), 63-70.
- Kim, B. K., Jeon, M., Joo, H. M., Kim, T.-W., Park, S.-J., Park, J., & Ha, S.-Y. (2021). Impact of Freshwater Discharge on the Carbon Uptake Rate of Phytoplankton During Summer (January–February 2019) in Marian Cove, King George Island, Antarctica. *Frontiers in Marine Science*, 8, 725173. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.725173>
- Kim, D.-U., Ahn, I.-Y., Noh, J., Lee, C., & Khim, J. S. (2024). Shifts in benthic megafauna communities after glacial retreat in an Antarctic fjord. *Communications Earth & Environment*, 5(1), 438. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01607-0>

- Kim, Y., Kim, T., Park, S., Ha, S., Park, J., Yoo, J., & Cho, Y. (2023). Properties and Mechanisms of Seawater Exchange in Marian Cove, King George Island, West Antarctic Peninsula. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 128(12), e2023JC020111. <https://doi.org/10.1029/2023JC020111>
- Ko, Y. W., Lee, D. S., Kim, J. H., Ha, S.-Y., Kim, S., & Choi, H.-G. (2023). The glacier melting process is an invisible barrier to the development of Antarctic subtidal macroalgal assemblages. *Environmental Research*, 233, 116438. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116438>
- Lagger, C., Neder, C., Merlo, P., Servetto, N., Jerosch, K., & Sahade, R. (2021). Tidewater glacier retreat in Antarctica: The table is set for fast-growing opportunistic species, is it? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 260, 107447. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107447>
- Lagger, C., Servetto, N., Torre, L., & Sahade, R. (2017). Benthic colonization in newly ice-free soft-bottom areas in an Antarctic fjord. *PLOS ONE*, 12(11), e0186756. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186756>
- Layman, C. A., Arrington, D. A., Montaña, C. G., & Post, D. M. (2007). Can stable isotope ratios provide for community-wide measures of trophic structure? *Ecology*, 88(1), 42-48. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2007\)88%255B42:CSIRPF%255D2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2007)88%255B42:CSIRPF%255D2.0.CO;2)
- Levin, S. A., & Lubchenco, J. (2008). Resilience, Robustness, and Marine Ecosystem-based Management. *BioScience*, 58(1), 27-32. <https://doi.org/10.1641/B580107>
- Llanillo, P. J., Aiken, C. M., Cordero, R. R., Damiani, A., Sepúlveda, E., & Fernández-Gómez, B. (2019). Oceanographic Variability induced by Tides, the Intraseasonal Cycle and Warm Subsurface Water intrusions in Maxwell Bay, King George Island (West-Antarctica). *Scientific Reports*, 9(1), 18571. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54875-8>
- Mincks, S., Smith, C., & DeMaster, D. (2005). Persistence of labile organic matter and microbial biomass in Antarctic shelf sediments: Evidence of a sediment food bank. *Marine Ecology Progress Series*, 300, 3-19. <https://doi.org/10.3354/meps300003>
- Momo, F., Kowalke, J., Schloss, I., Mercuri, G., & Ferreyra, G. (2002). The role of *Laternula elliptica* in the energy budget of Potter Cove (King George Island, Antarctica). *Ecological Modelling*, 155(1), 43-51. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00081-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00081-9)
- Montone, R. C., Alvarez, C. E., Bicego, M. C., Braga, E. S., Brito, T. A. S., Campos, L. S., Fontes, R. F. C., Castro, B. M., Corbisier, T. N., Evangelista, H., Francelino, M., Gomes, V., Ito, R. G., Lavrado, H. P., Leme, N. P., Mahiques, M. M., Martins, C. C., Nakayama, C. R., Ngan, P. V., ... Weber, R. R. (2013). Environmental Assessment of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. En C. Verde & G. Di Prisco (Eds.), *Adaptation and Evolution in Marine Environments, Volume 2* (pp. 157-175). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-27349-0_9
- Moon, H.-W., Wan Hussin, W. M. R., Kim, H.-C., & Ahn, I.-Y. (2015). The impacts of climate change on Antarctic nearshore mega-epifaunal benthic assemblages in a glacial fjord on King George Island: Responses and implications. *Ecological Indicators*, 57, 280-292. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.04.031>
- Morley, S. A., Souster, T. A., Vause, B. J., Gerrish, L., Peck, L. S., & Barnes, D. K. A. (2022). Benthic Biodiversity, Carbon Storage and the Potential for Increasing Negative Feedbacks on Climate Change in Shallow Waters of the Antarctic Peninsula. *Biology*, 11(2), 320. <https://doi.org/10.3390/biology11020320>
- Mouillot, D., Bellwood, D. R., Baraloto, C., Chave, J., Galzin, R., Harmelin-Vivien, M., Kulbicki, M., Lavergne, S., Lavorel, S., Mouquet, N., Paine, C. E. T., Renaud, J., & Thuiller, W. (2013). Rare Species Support Vulnerable Functions in High-Diversity Ecosystems. *PLoS Biology*, 11(5), e1001569. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001569>
- Muntadas, A., De Juan, S., & Demestre, M. (2016). Assessing functional redundancy in chronically trawled benthic communities. *Ecological Indicators*, 61, 882-892. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.041>
- Neder, C., Jerosch, K., Pehlke, H., Torre, L., & Sahade, R. (2024). Antarctic benthic species distribution models and compositional analysis in a coastal ecosystem under glacier retreat. *Marine Ecology Progress Series*, 750, 1-18. <https://doi.org/10.3354/meps14731>
- Pasotti, F., Saravia, L. A., De Troch, M., Tarantelli, M. S., Sahade, R., & Vanreusel, A. (2015). Benthic Trophic Interactions in an Antarctic Shallow Water Ecosystem Affected by Recent Glacier Retreat. *PLOS ONE*, 10(11), e0141742. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141742>

- Petsch, C., Rosa, K. K. D., Vieira, R., Braun, M. H., Costa, R. M., & Simões, J. C. (2020). The effects of climatic change on glacial, proglacial and paraglacial system at Collins Glacier, King George Island, Antarctica. *Investigaciones Geográficas*, 103. <https://doi.org/10.14350/rig.60153>
- Pimiento, C., Leprieur, F., Silvestro, D., Lefcheck, J. S., Albouy, C., Rasher, D. B., Davis, M., Svenning, J.-C., & Griffin, J. N. (2020). Functional diversity of marine megafauna in the Anthropocene. *Science Advances*, 6(16), eaay7650. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aay7650>
- Rigolet, C., Thiébaud, E., Brind'Amour, A., & Dubois, S. F. (2015). Investigating isotopic functional indices to reveal changes in the structure and functioning of benthic communities. *Functional Ecology*, 29(10), 1350-1360. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12444>
- Sahade, R., Lagger, C., Torre, L., Momo, F., Monien, P., Schloss, I., Barnes, D. K. A., Servetto, N., Tarantelli, S., Tatián, M., Zamboni, N., & Abele, D. (2015). Climate change and glacier retreat drive shifts in an Antarctic benthic ecosystem. *Science Advances*, 1(10), e1500050. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500050>
- Sepúlveda, T., Andrade, C., Almonacid, E., Daza, E., Rivera, C., Vargas, C., & Aldea, C. (2024). Functional traits and ecosystem implications in the Multiple Use Marine Protected Area Almirantazgo Sound: A baseline study of scallop banks and benthic communities. *Regional Studies in Marine Science*, 79, 103836. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103836>
- Slaymaker, O. (2009). Proglacial, periglacial or paraglacial? *Geological Society, London, Special Publications*, 320(1), 71-84. <https://doi.org/10.1144/SP320.6>
- Smale, D. A., Barnes, D. K. A., & Fraser, K. P. P. (2007). The influence of ice scour on benthic communities at three contrasting sites at Adelaide Island, Antarctica. *Austral Ecology*, 32(8), 878-888. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2007.01776.x>
- Smith, C. R., Grange, L. J., Honig, D. L., Naudts, L., Huber, B., Guidi, L., & Domack, E. (2012). A large population of king crabs in Palmer Deep on the west Antarctic Peninsula shelf and potential invasive impacts. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1730), 1017-1026. <https://doi.org/10.1098/rspb.2011.1496>
- Smith, C. R., Mincks, S., & DeMaster, D. J. (2006). A synthesis of benthic-pelagic coupling on the Antarctic shelf: Food banks, ecosystem inertia and global climate change. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 53(8-10), 875-894. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2006.02.001>
- Thrush, S., Hewitt, J., Pilditch, C., & Norkko, A. (2021). *Ecology of Coastal Marine Sediments: Form, Function, and Change in the Anthropocene* (1.a ed.). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198804765.001.0001>
- Torre, L., Tabares, P. C. C., Momo, F., Meyer, J. F. C. A., & Sahade, R. (2017). Climate change effects on Antarctic benthos: A spatially explicit model approach. *Climatic Change*, 141(4), 733-746. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-1915-2>
- Valdivia, N., Garrido, I., Bruning, P., Piñones, A., & Pardo, L. M. (2020). Biodiversity of an Antarctic rocky subtidal community and its relationship with glacier meltdown processes. *Marine Environmental Research*, 159, 104991. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.104991>
- Villéger, S., Mason, N. W. H., & Moullot, D. (2008). New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology*, 89(8), 2290-2301. <https://doi.org/10.1890/07-1206.1>
- Weiher, E., & Keddy, P. A. (1995). Assembly Rules, Null Models, and Trait Dispersion: New Questions from Old Patterns. *Oikos*, 74(1), 159. <https://doi.org/10.2307/3545686>
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York. <https://ggplot2.tidyverse.org>
- Włodarska-Kowalczyk, M., Aune, M., Michel, L. N., Zaborska, A., & Legeżyńska, J. (2019). Is the trophic diversity of marine benthic consumers decoupled from taxonomic and functional trait diversity? Isotopic niches of Arctic communities. *Limnology and Oceanography*, 64(5), 2140-2151. <https://doi.org/10.1002/lno.11174>
- Włodarska-Kowalczyk, M., Renaud, P., Węśławski, J., Cochrane, S., & Denisenko, S. (2012). Species diversity, functional complexity and rarity in Arctic fjordic versus open shelf benthic systems. *Marine Ecology Progress Series*, 463, 73-87. <https://doi.org/10.3354/meps09858>
- Wölfl, A.-C., Lim, C. H., Hass, H. C., Lindhorst, S., Tosonotto, G., Lettmann, K. A., Kuhn, G., Wolff, J.-O., & Abele, D. (2014). Distribution and characteristics of marine habitats in a subpolar bay based on hydroacoustics and bed shear stress estimates—Potter Cove, King George Island, Antarctica. *Geo-Marine Letters*, 34(5), 435-446. <https://doi.org/10.1007/s00367-014-0375-1>

- Yoo, K.-C., Kyung Lee, M., Il Yoon, H., Il Lee, Y., & Yoon Kang, C. (2015). Hydrography of Marian Cove, King George Island, West Antarctica: Implications for ice-proximal sedimentation during summer. *Antarctic Science*, 27(2), 185-196. <https://doi.org/10.1017/S095410201400056X>
- Yoon, H. I., Park, B.-K., Domack, E. W., & Kim, Y. (1998). Distribution and dispersal pattern of suspended particulate matter in Maxwell Bay and its tributary, Marian Cove, in the South Shetland Islands, West Antarctica. *Marine Geology*, 152(4), 261-275. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(98\)00098-X](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(98)00098-X)
- Zenteno-Devaud, L., Aguirre-Martinez, G. V., Andrade, C., Cárdenas, L., Pardo, L. M., González, H. E., & Garrido, I. (2022). Feeding Ecology of *Odontaster validus* under Different Environmental Conditions in the West Antarctic Peninsula. *Biology*, 11(12), 1723. <https://doi.org/10.3390/biology11121723>
- Zwerschke, N., Sands, C. J., Roman-Gonzalez, A., Barnes, D. K. A., Guzzi, A., Jenkins, S., Muñoz-Ramírez, C., & Scourse, J. (2022). Quantification of blue carbon pathways contributing to negative feedback on climate change following glacier retreat in West Antarctic fjords. *Global Change Biology*, 28(1), 8-20. <https://doi.org/10.1111/gcb.15898>

Letra afiliación	Nombre de la institución y/u organización
1	Programa de Magister en Ciencias, Mención Manejo y Conservación de Recursos Naturales en Ambientes Subantárticos, Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile.
2	Laboratorio de Ecología Funcional, Instituto de la Patagonia, Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile.

Autor	Afiliación
Taryn Sepúlveda	1, 2