

ELAINE ALVES DOS SANTOS
CLAIRE CHRISTIAN
HOLLY CURRY
MARIA JIMENA CRUZ
SÍLVIA DOTTA
FRANCYNE ELIAS-PIERA
CRISTIANE CAETANO DA SILVA

SANDRA FREIBERGER-AFFONSO
NINA GALLO
VIRGINIA GASCÓN
MARY LIESEGANG
JOSÉ LUIS LÓPEZ
JUAN LUCCI
WALTER MAC CORMACK
FRANCISCO MASSOT

NICOLÁS NAPOLITANO
RODRIGO PAIDANO ALVES
CECILIA QUIROGA
ELISA SEYBOTH
JULIANA SOUZA-KASPRZYK
MATT SPENCER
RODOLFO WERNER

ASUNTOS ANTÁRTICOS



ASUNTOS ANTÁRTICOS

Asuntos Antárticos es la revista académica de Agenda Antártica y de la Coalición para la Antártida y el Océano Austral (ASOC), que tiene como objetivo publicar y difundir las investigaciones más destacadas e influyentes en relación a la Antártida. El journal publica, en español e inglés, artículos, reseñas y documentos oficiales. El propósito de esta publicación es también estimular investigaciones que favorezcan la protección ambiental de la Antártida y el Océano Austral.

Las ideas expresadas en los textos aquí publicados son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no reflejan necesariamente el punto de vista de Asuntos Antárticos. El Comité Editorial invita a todas las personas interesadas a enviar sus aportes a este foro de debate, pero se reserva el derecho de publicación de las colaboraciones recibidas. Se permite la reproducción de los contenidos, a condición de que se mencione la fuente y se notifique a la redacción.

AGENDA ANTÁRTICA

Agenda Antártica es una fundación con sede en Buenos Aires que trabaja por la conservación medioambiental del continente antártico y el Océano Austral, la investigación en la Antártida y la preservación de la paz en la región austral. Agenda Antártica fue fundada en el 2012 y desarrolla constantemente actividades de investigación, difusión e incidencia en foros nacionales, regionales e internacionales a través de publicaciones, seminarios, redes sociales y promoción de las telecomunicaciones. Para más información de Agenda Antártica, visitar el sitio: www.agendaantartica.org

ANTARCTIC AND SOUTHERN OCEAN COALITION (ASOC)

La coalición para la Antártida y el Océano Austral (ASOC, por sus siglas en inglés) fue fundada en 1978 por 5 organizaciones ambientales de Estados Unidos, Reino Unido, Australia y Nueva Zelanda, con el fin de promover la visión de Parque Mundial para proteger la Antártida y el Océano Austral, ASOC trabaja desde 1978 para asegurar que la Antártida continúe siendo el lugar más prístino de la Tierra reservado para las generaciones futuras. ASOC tiene status de observador invitado en las Reuniones de Tratado Antártico y en la CCRVMA. La secretaría de ASOC, que incluye a 21 ONGs en 11 países, tiene sede en Washington, D.C. Para más información de ASOC, visitar el sitio: www.asoc.org

Foto de portada: *Fotógrafo: Nejc Soklič. Título: Un pingüino nadando en el agua. Año: 2022*

ASUNTOS ANTÁRTICOS

Publicación Bilingüe

Volumen XI

2025 / Year XI

Editorial Agenda Antártica / ASOC



EDITORES: JUAN JOSÉ LUCCI - RODOLFO WERNER

DISEÑO GRÁFICO: MARÍA BELÉN ALONSO

ISSN 2451-5736

COMITÉ EDITORIAL

Andrea Capurro

Claire Christian

Horacio Werner

Juan José Lucci

Mariano Aguas

Ricardo Roura

Rodolfo Werner

Ryan Dolan

ASUNTOS ANTÁRTICOS

Fundación Agenda Antártica

Antarctic and Southern Ocean Coalition (ASOC)

Oficina en Argentina: Laprida 2150 7° "A", Buenos Aires, Argentina (1425)

Oficina en Estados Unidos: 1320 19th St. NW, Fifth Floor, Washington, DC 20036

ASUNTOS ANTÁRTICOS

ÍNDICE

MENSAJE DEL EDITOR	3
PRÓLOGO DE ASOC	5
<hr/>	
ARTÍCULOS:	
Protegiendo un Océano Austral en constante cambio	6
Matt Spencer, Claire Christian, Holly Curry y Mary Liesegang	
La RCTA y el régimen emergente sobre contaminación por microplásticos en la Antártida: una revisión de desafíos y oportunidades	17
Virginia Gascón, Nina Gallo, Rodolfo Werner y Juan Lucci	
Bacteriófagos antárticos: su papel ecológico y su potencial biotecnológico	38
Nicolas Antonio Napolitano, Francisco Massot, Cecilia Quiroga, Walter Mac Cormack y José Luis López	
Educación y divulgación de la ciencia antártica mediante seminarios web	51
Francyne Elias-Piera, Juliana Souza-Kasprzyk, Elaine Alves dos Santos, Cristiane Fonseca Caetano da Silva, Maria Jimena Cruz, Elisa Seyboth, Rodrigo Paidano Alves, Sandra Freiburger-Affonso y Sílvia Dotta	
<hr/>	
BIOGRAFÍA DE AUTORES	66
REGLAS DE PUBLICACIÓN	71

MENSAJE DEL DIRECTOR

Estimados lectores,

Es un verdadero placer presentar el undécimo volumen del Journal de Asuntos Antárticos, en un contexto global marcado por transformaciones ambientales aceleradas, crecientes tensiones geopolíticas y una renovada atención internacional sobre el futuro de los océanos y las regiones polares. En este escenario, la Antártida continúa ocupando un lugar central tanto en la investigación científica de frontera como en los debates sobre gobernanza ambiental, conservación de la biodiversidad y cooperación internacional.

A medida que el cambio climático redefine los equilibrios físicos, biológicos y sociales del continente blanco y del Océano Austral, se vuelve cada vez más urgente comprender no solo sus dinámicas ecológicas, sino también los marcos institucionales, jurídicos y políticos que orientan su protección. En este nuevo volumen, Asuntos Antárticos reafirma su compromiso con la difusión de investigaciones de excelencia que contribuyen al conocimiento científico, al fortalecimiento del Sistema del Tratado Antártico y a la formulación de políticas públicas basadas en evidencia.

Abre esta edición el artículo de Matt Spencer, Claire Christian, Holly Curry y Mary Liesegang, quienes analizan los desafíos emergentes para la conservación del Océano Austral en un contexto de cambio climático acelerado. A partir de un examen detallado del mandato de la CCRVMA, las negociaciones sobre áreas marinas protegidas y el marco global 30x30, los autores ofrecen una lectura política y científica de los obstáculos y oportunidades para consolidar una red de protección marina efectiva en uno de los ecosistemas más prístinos y frágiles del planeta.

A continuación, Virginia Gascón, Nina Gallo, Rodolfo Werner y Juan Lucci examinan el régimen emergente sobre la contaminación por microplásticos en la Antártida, a partir de las discusiones recientes en las Reuniones Consultivas del Tratado Antártico. A través de un análisis institucional que conecta la evolución del derecho ambiental global con los desafíos específicos del Sistema del Tratado Antártico, los autores aportan una mirada crítica sobre los vacíos regulatorios y las oportunidades de cooperación multilateral en esta problemática.

El tercer artículo, de Nicolás Antonio Napolitano, Francisco Massot, Cecilia Quiroga, Walter Mac Cormack y José Luis López, se adentra en la microbiología polar y el estudio de los bacteriófagos antárticos. A través de investigaciones genómicas y funcionales en bacterias extremófilas, los autores exploran la coevolución virus–bacteria en ambientes polares y su potencial biotecnológico, abriendo nuevas perspectivas para aplicaciones en salud, industria y biorremediación.

Cierra este volumen el trabajo de Francyne Elias-Piera, Juliana Souza-Kasprzyk, Elaine Alves dos Santos, Cristiane Fonseca Caetano da Silva, Sandra Freiburger-Affonso y Sílvia Dotta, quienes analizan la educación y divulgación de la ciencia antártica a través de webinars en el contexto del Sur Global. Su estudio de caso en Brasil muestra cómo las herramientas digitales pueden ampliar el acceso al conocimiento polar, reducir brechas territoriales y fortalecer la cultura científica en sociedades alejadas geográficamente de la Antártida.

Para finalizar, quiero expresar agradecimiento a los autores por la calidad y el compromiso de sus contribuciones, así como a los traductores, revisores y miembros del Consejo Editorial, cuyo trabajo

MENSAJE DEL DIRECTOR

ha sido fundamental para hacer posible esta edición. Confiamos en que las perspectivas presentadas en este volumen enriquecerán el debate académico y político sobre el presente y el futuro de la Antártida, y contribuirán a consolidar una comunidad internacional cada vez más comprometida con su protección.

Juan José Lucci

PRÓLOGO DE ASOC

La Antártida y el Océano Austral se encuentran hoy en el centro de algunas de las discusiones ambientales y geopolíticas más relevantes del planeta. En un contexto de crecientes presiones humanas y de aceleración del cambio climático, la región enfrenta desafíos que ponen a prueba la capacidad de la comunidad internacional para honrar el mandato de paz, ciencia y cooperación que sustenta al Sistema del Tratado Antártico.

Existen una serie de temas prioritarios sobre los cuales Asuntos Antárticos se ha focalizado en ediciones anteriores, y que continúan definiendo el estado de la conservación antártica y delineando su futuro en las próximas décadas.

En primer lugar, el prolongado estancamiento en la creación de nuevas Áreas Marinas Protegidas revela la tensión entre la evidencia científica y la dinámica política del consenso en la CCRVMA. Las propuestas para establecer AMPs en la Antártida Oriental, el Mar de Weddell y el Dominio 1 (Península Antártica) cuentan con bases científicas sólidas y amplio apoyo de los Miembros, pero las objeciones de algunos Estados han impedido avanzar en la protección de ecosistemas particularmente vulnerables.

Otro tema clave es el manejo sostenible de la pesquería del kril antártico, recurso esencial para la trama ecológica del Océano Austral y objeto de una actividad en expansión, tanto en volumen como en concentración espacial. La variabilidad ambiental y el aumento de la presión pesquera subrayan la necesidad de fortalecer un enfoque precautorio y ecosistémico.

El impacto acelerado del cambio climático constituye otro tema de gran preocupación. La pérdida de plataformas de hielo, la disminución del hielo marino y los cambios en patrones oceánicos están afectando poblaciones de aves marinas y modificando la distribución de especies, incluso facilitando el ingreso de organismos de zonas más templadas. Traducir este conocimiento en políticas de conservación eficaces es uno de los grandes retos actuales.

A estos desafíos se suma la creciente evidencia de contaminación por microplásticos en la región. Fibras sintéticas han sido detectadas en aguas, sedimentos, nieve e incluso organismos marinos, recordándonos que ningún ecosistema, por remoto que sea, está aislado de las presiones globales.

En este contexto, la educación y la divulgación emergen como pilares fundamentales para fortalecer la conciencia colectiva sobre la necesidad de conservar la Antártida y el Océano Austral. Fomentar el entendimiento público de su fragilidad, su importancia climática y las amenazas que enfrentan es esencial para formar una ciudadanía informada y comprometida con su protección. La educación —de esta manera— resulta clave para inspirar nuevas generaciones de profesionales, decisores y ciudadanos.

En este volumen, Asuntos Antárticos aspira a seguir contribuyendo al entendimiento de los numerosos temas que afectan al Océano Austral y a la Antártida, facilitando el debate que impulse la formulación de políticas de conservación adecuadas.

*Dr. Rodolfo Werner**
Editor

** Asesor de The Pew Bertarelli Ocean Legacy (PBOL) y de la Antarctic and Southern Ocean Coalition (ASOC); Miembro del Directorio y asesor científico del Antarctic Wildlife Research Fund; Asesor Senior de Agenda Antártica*

PROTEGIENDO UN OCÉANO AUSTRAL EN CONSTANTE CAMBIO

Matt Spencer, Claire Christian, Holly Curry y Mary Liesegang

ABSTRACT

La Antártida sigue siendo una de las regiones más prístinas de la Tierra; sin embargo, la creciente evidencia científica indica un cambio de paradigma en sus condiciones oceánicas y atmosféricas. La resiliencia del Océano Austral, antes considerada robusta ante las presiones climáticas globales, se está debilitando. Este artículo examina la urgente necesidad de una mayor protección a través de la Comisión para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos (CCRVMA) y el establecimiento de un sistema representativo de áreas marinas protegidas (AMP). Basándose en evaluaciones recientes, incluida la Evaluación del Ecosistema Marino del Océano Austral (MEASO) de 2023, este análisis destaca la aceleración de los cambios ambientales, los desafíos de gobernanza y la necesidad de alinear la protección de la Antártida con otros marcos internacionales, como el objetivo 30x30 del Convenio sobre la Diversidad Biológica. Se presentan recomendaciones para reiterar el mandato de conservación de la CCRVMA mediante la implementación inmediata de las propuestas de AMP pendientes, el desarrollo de un AMP del Dominio 9 y el perfeccionamiento de las AMP determinadas a nivel nacional en el Océano Austral para mitigar el cambio climático.

PALABRAS CLAVE

Océano Austral, CCRVMA, áreas marinas protegidas, cambio climático, gobernanza antártica

INTRODUCCIÓN

La Antártida reside en el imaginario mundial como un reino de belleza incomparable y uno de los últimos bastiones de pureza ambiental. Sin embargo, investigaciones emergentes señalan un cambio de paradigma en los sistemas oceánicos y atmosféricos de la Antártida: la resiliencia histórica del continente frente al cambio climático muestra signos de declive. Anteriormente percibida como remota e inmutable, la Antártida es ahora cada vez más reconocida como una región de primera línea para la alteración climática global (Constable et al., 2023).

La gestión de las actividades pesqueras y la protección del Océano Austral son competencia de la Comisión para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos (CCRVMA). Fundada en 1982 bajo el Sistema del Tratado Antártico (STA), el principio central de la CCRVMA es la aplicación de un enfoque precautorio basado en el ecosistema a la gestión pesquera y la conservación de los recursos vivos marinos antárticos. Este enfoque reconoce que la explotación no debe continuar sin una comprensión científica suficiente de sus posibles consecuencias ecológicas. En 2009, la CCRVMA se comprometió a establecer un sistema representativo de AMP para 2012. Sin embargo, más de una década después, el progreso sigue estancado. La implementación urgente de estas AMP es crucial, ya que la evidencia científica demuestra la escalada de cambios que afectan al Océano Austral, desde la pérdida de hielo marino hasta alteraciones en los ecosistemas que afectan al kril, los pingüinos y las ballenas (Siebert et al., 2023).

El tiempo corre a contracorriente del Océano Austral. A medida que se aceleran las transformaciones ecológicas, la CCRVMA debe actuar como la guardiana de la vida marina antártica, para la cual fue concebida. Por lo tanto, la Coalición para la Antártida y el Océano Austral (ASOC) insta a los

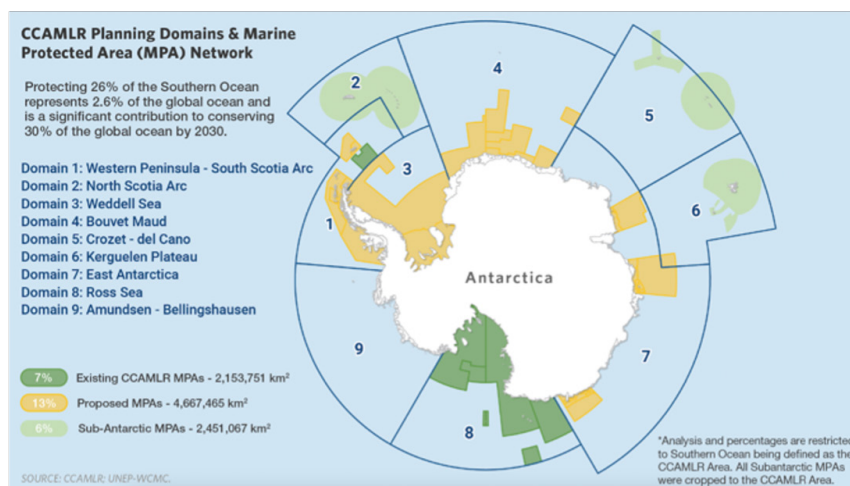


Figura 1. Áreas protegidas propuestas e implementadas en el Océano Austral. Crédito: Michael Wissner, The Pew Charitable Trusts.

miembros de la CCRVMA a colaborar en beneficio colectivo de la Antártida y a defender el principio de precaución, fundamental para la Convención.

AMENAZAS AL OCÉANO ANTÁRTICO

El Océano Antártico es una reserva de biodiversidad que sustenta complejas redes tróficas, desde el fitoplancton hasta los depredadores ápice. Sin embargo, también conlleva una historia de intensa explotación. La primera gran amenaza surgió con el inicio de la caza de focas alrededor de 1790, diezmando rápidamente las poblaciones de especies como el lobo fino antártico (*Arctocephalus gazella*).

A lo largo de los siglos XIX y XX, la extracción se expandió para incluir ballenas y peces. Los barcos de arrastre de aguas profundas de múltiples naciones desmantelaron los ecosistemas marinos, llevando a especies como el bacalao jaspeado (*Notothenia rossii*) al borde del colapso, con poblaciones que aún no se han recuperado por completo. Este agotamiento histórico creó un legado de desequilibrio ecológico que continúa moldeando la resiliencia de la región en la actualidad (Brooks et al., 2020).

En las últimas décadas, las amenazas dominantes han pasado de la sobrepesca al cambio climático antropogénico. La Evaluación de los Ecosistemas Marinos del Océano Austral (MEASO) subraya que «se están produciendo cambios sustanciales en los ecosistemas ahora y podrían producirse en el futuro en períodos de tan solo unos pocos años o décadas como resultado de rápidos cambios ambientales, fenómenos extremos o el cruce de umbrales del sistema a estados alternativos» (Constable et al., 2023).

Estos «umbrales» reflejan puntos de inflexión que, una vez superados, pueden alterar irreversiblemente la estructura y el funcionamiento del ecosistema. Los fenómenos extremos, como las olas de calor

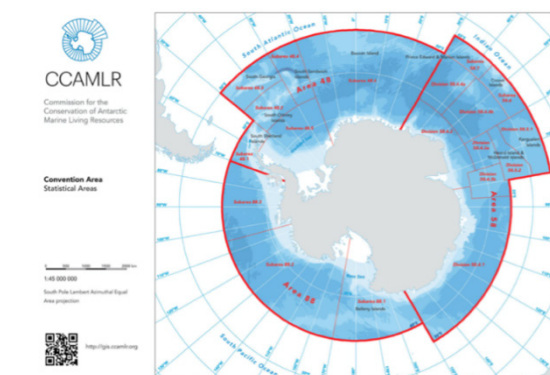


Figura 2. Figura que muestra el límite de gestión de la CCRVMA. Fuente: CCRVMA 2024a.

marinas, el colapso de las plataformas de hielo y las anomalías térmicas sin precedentes, son cada vez más frecuentes. Por ejemplo, el continente antártico experimentó recientemente desviaciones de temperatura de más de 30 °C por encima de las normas estacionales, un fenómeno sin precedentes en ningún otro lugar de la Tierra (Siegert et al., 2023).

Estas perturbaciones climáticas interactúan con actividades humanas como la pesca industrial de kril y la expansión del turismo. La presión pesquera puede socavar la disponibilidad de kril para depredadores como pingüinos y focas, mientras que el crecimiento del turismo introduce especies invasoras y riesgos de contaminación. En conjunto, estas presiones agravan los factores de estrés ecológicos impulsados por el calentamiento global y la acidificación de los océanos.

EL ROL Y EL MANDATO DE LA CCRVMA

La Convención para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos (Convención CCRVMA) se estableció como parte del Sistema del Tratado Antártico para abordar la creciente preocupación por la explotación no regulada, especialmente la expansión de la pesquería de kril a finales de la década de 1970 (Trathan, 2023). La CCRVMA, la Comisión creada para implementar la Convención, fue concebida no solo como un órgano de gestión pesquera, sino como un enfoque pionero para la gobernanza basada en los ecosistemas.

El Artículo II de la Convención CCRVMA define inequívocamente la conservación como su objetivo primordial, exigiendo explícitamente que el uso racional no comprometa la integridad del ecosistema. Este marco legal distingue a la CCRVMA de la mayoría de las organizaciones regionales de ordenación pesquera (OROP), que suelen equilibrar los objetivos de conservación con los de explotación.

A pesar de este ambicioso diseño, el proceso de toma de decisiones basado en el consenso de la CCRVMA, en su día elogiado como un modelo de cooperación durante la Guerra Fría, se ha convertido en un arma de doble filo. Si bien el consenso fomenta la inclusión, también permite a cualquier miembro vetar el progreso. Esta rigidez procesal ha obstaculizado repetidamente la adopción de nuevas AMP, particularmente desde 2016 (Miller y Slicer, 2014).

ÁREAS MARINAS PROTEGIDAS: CONCEPTO Y BENEFICIOS

Las AMP son instrumentos fundamentales para la conservación de la biodiversidad marina. Varían en diseño y propósitos de gestión, pero su propósito principal es salvaguardar los procesos ecosistémicos, preservar los hábitats de las especies y mejorar la resiliencia ante las perturbaciones.

La investigación científica demuestra consistentemente que las AMP extensas y bien diseñadas con protección estricta, en particular las zonas de veda, generan beneficios ecológicos sustanciales. Estos incluyen aumentos en la biomasa, la diversidad de especies y la variación genética, lo que a su vez refuerza la resiliencia de los ecosistemas ante las perturbaciones climáticas (Chavez-

Molina et al., 2023).

Además, las AMP generan efectos indirectos, mediante los cuales las poblaciones dentro de las zonas protegidas reponen las áreas de pesca adyacentes. Este fenómeno ilustra que la conservación y el uso racional pueden ser complementarios en lugar de mutuamente excluyentes (Ashford et al., 2022).

NEGOCIACIONES ACTUALES DE LA CCRVMA SOBRE ÁREAS MARINAS PROTEGIDAS (2012-2024)

Las deliberaciones de la CCRVMA sobre las AMP abarcan más de una década. En 2009, la CCRVMA aprobó formalmente el desarrollo de un sistema representativo de AMP y acordó un marco para su establecimiento (MC 91-04) en 2011. Entre los primeros logros se incluyen el AMP de las Islas Orcadas del Sur de 2009, la primera AMP en alta mar del mundo, y el AMP de la Región del Mar de Ross de 2016. Sin embargo, desde 2016, la Comisión no ha logrado un acuerdo sobre nuevas designaciones, a pesar del sólido consenso científico que apoya la creación de AMP adicionales en la Antártida Oriental, el Mar de Weddell y la Península Antártica (Dominio 1).

Entre 2017 y 2022, las sucesivas reuniones de la CCRVMA reafirmaron el apoyo a estas propuestas, pero no lograron alcanzar un consenso. Las divisiones políticas, principalmente entre los miembros orientados a la conservación y los orientados a la extracción de recursos, han obstaculizado repetidamente el progreso (Brooks et al., 2020; Pew Charitable Trusts, 2023). El Comité Científico (SC-CAMLR) validó sistemáticamente la base científica de las propuestas; sin embargo, el requisito de unanimidad de la Comisión ha demostrado ser un obstáculo procesal considerable.

La reunión anual de 2023 (CCRVMA-42) volvió a priorizar el establecimiento de AMP (ASOC, 2023a). Los debates se centraron en perfeccionar las propuestas para la Antártida Oriental (AMPA), el Mar de Weddell (AAMPMS Fase 1) y el Dominio 1 (AMPD1). Si bien los miembros reconocieron la urgente necesidad de actuar ante la aceleración de los impactos climáticos, las negociaciones concluyeron sin acuerdo. Varios miembros citaron tensiones geopolíticas y diferentes puntos de vista sobre la zonificación y el acceso a la pesca como motivos para el aplazamiento (ASOC, 2023b). En 2024, un simposio de mitad de año, convocado conjuntamente por Estados Unidos y la República de Corea, buscó armonizar los límites del AMP del Dominio 1 con las estrategias actualizadas de gestión de la pesca de kril. A pesar de los fructíferos intercambios, la reunión de Hobart de octubre de 2024 concluyó una vez más sin la designación de un AMP (ASOC, 2024). Además, la Comisión no renovó la Medida de Conservación 51-07, una medida de protección que distribuía la captura de kril para prevenir el agotamiento local, lo que generó aún más preocupación sobre la resiliencia del ecosistema.

Los observadores señalaron que, si bien los datos científicos son abundantes, dado que la propuesta del AMP del Dominio 1 incluye 150 capas de datos, persiste la inercia política. Para muchas partes interesadas, la incapacidad de avanzar en las designaciones de AMP, a pesar de la evidencia contundente, representa una crisis de credibilidad para el mandato precautorio de la CCRVMA.

LA ANTÁRTIDA Y EL MARCO GLOBAL 30X30

Los recientes compromisos internacionales han revitalizado la atención mundial a la conservación marina. En diciembre de 2022, el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) adoptó el Marco Mundial para la Diversidad Biológica Kunming-Montreal (MBB), comprometiéndose a proteger el 30 % de las áreas terrestres y oceánicas de la Tierra para 2030.

Dado que el Océano Austral constituye aproximadamente el 10 % del océano global, el progreso de la CCRVMA, o su ausencia, determinará sustancialmente la viabilidad de alcanzar la meta 30x30. La importancia ecológica del Océano Austral se extiende mucho más allá de sus límites; regula los ciclos globales del carbono, impulsa la circulación termohalina y sustenta las especies migratorias que conectan hemisferios.

El liderazgo de la CCRVMA en la implementación de AMP representa no solo una obligación regional, sino también una responsabilidad global. La inclusión de la región antártica en la visión 30x30 simbolizaría la cooperación ambiental multilateral en su escala más ambiciosa (Chávez-Molina et al., 2023).

UNA RED DE AMP EN EL OCÉANO AUSTRAL

A pesar del reciente estancamiento, la CCRVMA cuenta con un historial de hitos en materia de conservación. La adopción del AMP de la Plataforma Sur de las Islas Orcadas del Sur en 2009 y del AMP de la Región del Mar de Ross en 2016 sentó precedentes para la protección de la alta mar bajo gobernanza multilateral. Sin embargo, solo el 13 % del Océano Austral está actualmente designado como AMP, y tan solo el 5 % se encuentra bajo un estricto estatus de prohibición de pesca (Brooks et al., 2020).

Cuatro grandes propuestas de AMP siguen pendientes, cada una de ellas sometida a un examen científico, y dos de ellas han obtenido la aprobación del Comité Científico de la CCRVMA (SC-CAMLR):

- AMP Dominio 1 (460.000 km²): Abarca hábitats críticos para pingüinos emperador y zonas de alimentación para ballenas jorobadas. También protege zonas de cría y de primera etapa de vida del kril, una especie clave (propuesta en 2017).
- AMP Antártida Oriental (970.000 km²): Alberga extensas especies indicadoras de ecosistemas marinos vulnerables (EMV), como esponjas y corales de aguas frías (propuesta de 2012).
- AMP Mar de Weddell Fase 1 (2,2 millones de km²): Alberga un tercio de los pingüinos emperador conocidos, la mitad de los petreles antárticos del mundo y ecosistemas bentónicos de complejidad comparable a la de los arrecifes de coral tropicales (propuesta de 2018).
- Fase 2 del AMP del mar de Weddell (780.000 km²): cubre áreas biológicamente significativas como Maude Rise, uno de los entornos más prístinos del planeta (propuesto para 2023).

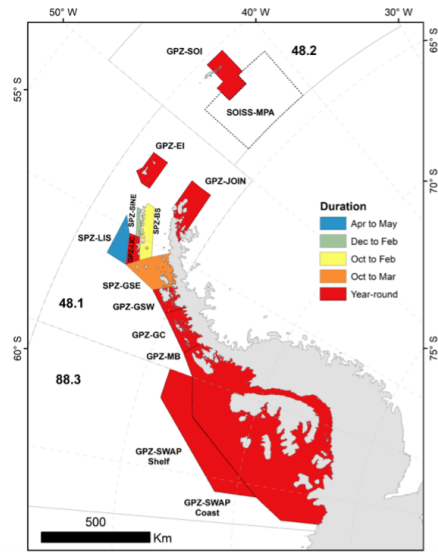


Figura 3. AMP del Dominio 1: Zonas de protección general y zonas de protección estacional con colores que representan los periodos de veda. Fuente: CCAMLR 2024b

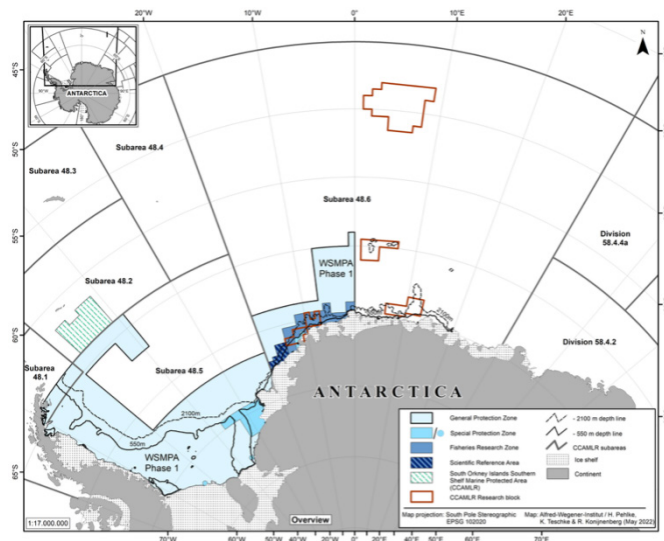


Figura 4. Propuesta de AMP del Mar de Weddell (AMPMS), Fase 1 (en azul). Fuente: Instituto Alfred Wagner, Estado de la propuesta de AMP del Mar de Weddell, 2023.

Cada una de estas propuestas representa años de esfuerzo científico conjunto y negociación. Su adopción impulsaría a la CCRVMA hacia una red de AMP verdaderamente representativa, alineando su mandato con el marco 30x30 del CDB y los objetivos más amplios del Decenio de las Naciones Unidas para las Ciencias Oceánicas. Una vez adoptadas, y combinadas con las protecciones existentes, el 26 % del Océano Austral y el 2,6 % del océano mundial quedarían protegidos, un paso crucial hacia la ambición 30x30.

DOMINIO 9: EL ENLACE PERDIDO

Entre los dominios de planificación de la CCRVMA, el Dominio 9, el Mar de Amundsen-Bellingshausen, es el menos estudiado y el más desatendido en cuanto a propuestas de protección. La ausencia de una propuesta de AMP en esta región deja un vacío significativo en el compromiso de la CCRVMA con la representatividad.

Estudios científicos han identificado el Dominio 9 como el hogar de polinias productivas, corales de aguas frías, montes submarinos y respiraderos hidrotermales, particularmente cerca de la Isla Pedro I (Adams et al., 2021). El establecimiento de un AMP en esta zona completaría la cobertura geográfica prevista en el marco de la CCRVMA de 2011 y protegería uno de los últimos ecosistemas marinos intactos del planeta.

AMP DETERMINADAS A NIVEL NACIONAL

El Océano Austral alberga varias islas notables fuera de la vecindad inmediata de la Antártida y fuera de la jurisdicción de la CCRVMA, aunque siguen formando parte del Océano Austral debido a su influencia en la Corriente Circumpolar Antártica (CCA). Estas islas subantárticas, territorios de ultramar administrados por Australia, Francia, Noruega, Sudáfrica y el Reino Unido, albergan una biodiversidad extraordinaria, que incluye millones de pingüinos, extensas colonias de focas y aves marinas migratorias (Brooks et al., 2019). Sin embargo, es importante señalar que la CCRVMA no reconoce reivindicaciones territoriales y algunos Miembros las disputan formalmente.

Actualmente, existen siete AMP en el Océano Austral, cinco de ellas, que rodean estas islas subantárticas, están determinadas a nivel nacional. En conjunto, representan casi la mitad de la cobertura total de AMP en la región. Es evidente, por lo tanto, que la contribución de cada Miembro a la protección del Océano Austral ha sido y seguirá siendo crucial ante el cambio climático. La mayor protección en torno a las islas subantárticas también pone de relieve la insuficiencia de los propios esfuerzos de la CCRVMA para implementar medidas de protección y representa una brecha que debe subsanarse urgentemente.

Ampliar y mejorar la protección de las islas subantárticas es esencial para fortalecer la resiliencia climática. A medida que se intensifican los cambios ambientales, las revisiones nacionales de las AMP deben considerar enfoques de gestión dinámicos, ajustando los límites y mejorando la protección en respuesta a las condiciones cambiantes (ASOC, 2023c).

RECOMENDACIONES

La CCRVMA fue considerada en su momento un modelo de conservación multilateral, pero su credibilidad depende ahora de una acción renovada. Implementar una red representativa de AMP en el Océano Austral restablecería la confianza en su gobernanza y demostraría que la protección de la Antártida sigue siendo una prioridad mundial.

- Recomendación I: implementar las propuestas de AMP pendientes

Las propuestas de AMP para la Península Antártica (Dominio 1), el Mar de Weddell Fase 1, la Antártida Oriental y el Mar de Weddell Fase 2 se basan en sólidos conocimientos científicos y están listas para su adopción, a la espera de la voluntad política. La ASOC insta a todos los miembros a respetar el principio de precaución, seguir las recomendaciones de la mejor ciencia disponible y adoptar estas propuestas sin demora.

- Recomendación II: desarrollar el AMP del Dominio 9

La CCRVMA debe iniciar la consideración formal de un AMP del Dominio 9 para cerrar la brecha en el compromiso con una red representativa de AMP. Si bien la CCRVMA aún no ha iniciado el proceso formal de desarrollo de una propuesta de AMP del Dominio 9, ya existe información disponible proveniente de estudios científicos y de miembros de la comunidad científica que han investigado la región, cuyos hallazgos deberían aprovecharse.

- Recomendación III: Revisión de las AMP determinadas a nivel nacional para la resiliencia climática

Dado el ritmo del cambio ecológico, la ASOC recomienda la revisión sistemática de todas las AMP determinadas a nivel nacional para garantizar que sigan siendo eficaces en las nuevas condiciones ambientales. Entre las recomendaciones específicas se incluyen:

- Australia: Ampliar aún más los límites de la reserva marina dentro de la Zona Económica Exclusiva (ZEE) de las Islas Heard y McDonald, antes de su revisión reglamentaria en 2034, para incorporar áreas clave como cañones submarinos, montes submarinos con gran biodiversidad y la dorsal de Williams.
- Noruega: Ampliar inmediatamente la reserva alrededor de la Isla Bouvet a 200 millas náuticas y, de esta manera, crear un AMP de Categoría 1 de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) para proteger las características oceanográficas clave y el ecosistema local.
- Sudáfrica: Revisar el AMP de las Islas Príncipe Eduardo e implementar medidas de conservación mejoradas. En su diseño actual, solo el 5,5 % de la ZEE prohíbe toda actividad humana, y sitios clave como los montes submarinos quedan fuera de las áreas de alta protección.
- Francia: revisar su planificación espacial marina para las Islas Crozet, que sigue estando en gran medida abierta a actividades humanas, como la pesca, para garantizar que Francia se

comprometa a salvaguardar el 30 % de su entorno marino en la región de las Terres Australes et Antarctiques Françaises (TAAF) mediante áreas protegidas para 2030.

- Islas Georgias del Sur y Sandwich del Sur (Reino Unido): continuar la revisión formal de las AMP cada cinco años, o con mayor frecuencia si los datos sugieren la necesidad de medidas urgentes.

En conjunto, estas acciones sentarían las bases para una red de conservación adaptable y resiliente al clima en el Océano Austral, acercando al mundo un paso crítico hacia el logro de los objetivos globales de conservación de los océanos.

CONCLUSIONES

El destino del Océano Austral refleja la encrucijada más amplia que enfrenta la gobernanza ambiental global. La capacidad, o la incapacidad, de la CCRVMA para actuar determinará si la región seguirá siendo un santuario para la biodiversidad o se convertirá en otra víctima de la parálisis política.

Al cumplir con sus compromisos —adoptar las AMP pendientes, desarrollar una propuesta de AMP para el Dominio 9 y garantizar la gestión adaptativa—, la CCRVMA puede recuperar su liderazgo en la conservación internacional. Proteger el Océano Austral no solo es vital para las especies y los ecosistemas antárticos, sino también para mantener la estabilidad planetaria. Es hora de actuar.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Coalición Antártica y del Océano Austral (ASOC) por su continuo liderazgo en la conservación de la Antártida y reconoce las contribuciones de Pew Charitable Trusts, el Comité Científico de Investigación Antártica (SCAR) y las instituciones asociadas, cuyos datos y recursos cartográficos sirvieron de base para este análisis.

El apoyo financiero para este informe proviene de Blue Nature Alliance. Esta alianza global tiene como objetivo salvaguardar la biodiversidad oceánica global, fortalecer la resiliencia ante el cambio climático, promover el bienestar humano y mejorar la conectividad y el funcionamiento de los ecosistemas.

REFERENCIAS

Adams, V., Douglass, L., Beaumont, T., & Boothroyd, T. (2021). Considerations for a marine protected area in CCAMLR MPA Planning Domain 9 – the Amundsen-Bellingshausen Sea. Centre for Conservation Geography.

Alfred Wegener Institute. (2023). Weddell Sea MPA Proposal – Status 2023. <https://wsmpa.delen/news/weddell-sea-marine-protected-area-proposal-status-2023/>

Ashford, J., Dinniman, M., Brooks, C., Wei, L., & Zhu, G. (2022). Tying policy to system: Does the

Ross Sea region marine reserve protect transport pathways connecting the life history of Antarctic toothfish? Marine Policy, 136, 104903.

ASOC. (2023a, October 16). *Governments meet in Hobart to progress Antarctic MPAs. Antarctic and Southern Ocean Coalition.*

ASOC. (2023b, October 27). *CCAMLR-42 ends with no progress on Southern Ocean MPAs. Antarctic and Southern Ocean Coalition.*

ASOC. (2023c). *CCAMLR MPAs: Where do we go from here? Antarctic and Southern Ocean Coalition.*

ASOC. (2024). *Setback for Antarctic protection as CCAMLR fails to adopt MPAs or renew key krill regulations. Antarctic and Southern Ocean Coalition.*

Brooks, C. M., Chown, S. L., Douglass, L. L., Raymond, B. P., Shaw, J. D., Sylvester, Z. T., & Torrens, C. L. (2020). *Progress towards a representative network of Southern Ocean protected areas. PLOS ONE*, 15(4), e0231361.

CCAMLR. (2024a). *CCAMLR Convention area map. <https://www.ccamlr.org/en/system/files/CCAMLR-Convention-Area-Map.pdf>*

CCAMLR. (2024b). *Revised proposal for a Conservation Measure establishing a Marine Protected Area in Domain 1 (Western Antarctic Peninsula and South Scotia Arc).*

Chavez-Molina, V., Nocito, E. S., Carr, E., Cavanagh, R. D., Sylvester, Z., Becker, S. L., Dorman, D. D., Wallace, B., White, C., & Brooks, C. M. (2023). *Managing for climate-resilient fisheries: Applications to the Southern Ocean. Ocean & Coastal Management*, 239, 106580.

Constable, A. J., Melbourne-Thomas, J., Muelbert, M. M. C., McCormack, S., Brasier, M., Caccavo, J. A., ... Van de Putte, A. P. (2023). *Marine Ecosystem Assessment for the Southern Ocean: Summary for policymakers. Scientific Committee on Antarctic Research. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8359585>*

Miller, D., & Slicer, N. M. (2014). *CCAMLR and Antarctic conservation: The leader to follow? In M. B. Allen (Ed.), Governance of marine fisheries and biodiversity conservation: Interaction and co-evolution (pp. 253–270). Wiley.*

Siegert, M. J., Bentley, M. J., Atkinson, A., Bracegirdle, T. J., Convey, P., Davies, B., Downie, R., Hogg, A. E., Holmes, C., Hughes, K. A., Meredith, M. P., Ross, N., Rumble, J., & Wilkinson, J. (2023). *Antarctic extreme events. Frontiers in Environmental Science*, 11, 1229283. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1229283>

Trathan, P. N. (2023). *What is needed to implement a sustainable expansion of the Antarctic krill fishery in the Southern Ocean? Marine Policy*,

LA RCTA Y EL RÉGIMEN EMERGENTE SOBRE LA CONTAMINACIÓN POR MICROPLÁSTICOS EN LA ANTÁRTIDA: UN ANÁLISIS DE DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES

Virginia Gascón, Nina Gallo, Rodolfo Werner y Juan Lucci

ABSTRACT

La contaminación por plásticos es uno de los desafíos ambientales más acuciantes de nuestro tiempo, que afecta a ecosistemas y comunidades de todo el mundo. Ni siquiera la remota y relativamente intacta región antártica es inmune a esta amenaza, con creciente evidencia de contaminación y acumulación generalizada de microplásticos en entornos antárticos, desde el agua de mar costera y la nieve hasta los sistemas digestivos de organismos y aves marinas. Abordar este problema no solo es vital para la salud de los ecosistemas antárticos, sino también para la lucha mundial contra la contaminación marina por plásticos. La Reunión Consultiva del Tratado Antártico (RCTA) desempeña un papel fundamental al liderar los esfuerzos internacionales para prevenir y mitigar los residuos plásticos en esta frágil región. Si bien los esfuerzos de investigación y monitoreo están en aumento, las acciones políticas siguen estando fragmentadas y poco desarrolladas. El presente trabajo ofrece un análisis de los últimos avances a nivel de la RCTA, destacando los principales desafíos, oportunidades y recomendaciones en vista de las negociaciones globales para un Tratado Global sobre Plásticos. Al vincular las iniciativas antárticas con marcos globales más amplios, la RCTA puede contribuir significativamente a una respuesta global más integral y efectiva a la contaminación plástica.

PALABRAS CLAVE

Microplásticos, RCTA, Antártida, Océano Austral, Tratado Mundial sobre el Plástico

INTRODUCCIÓN

La proliferación de plásticos representa una de las formas más generalizadas de contaminación antropogénica. La producción mundial de plásticos supera los 400 millones de toneladas anuales, y se estima que 11 millones de toneladas entran en los océanos cada año (OCDE, 2022; Pew Charitable Trusts, 2020). Una vez en el medio ambiente, los plásticos se fragmentan en partículas más pequeñas: microplásticos (<5 mm) y nanoplásticos (<1 µm), que persisten durante siglos e interactúan con los sistemas biológicos. Los microplásticos, compuestos por partículas de polímeros sintéticos, se identificaron y describieron por primera vez en la década de 1960 (GESAMP, 2015) y, desde entonces, se han detectado en el océano, la atmósfera, el tracto digestivo y las heces de organismos vivos. Los microplásticos primarios provienen de diversas fuentes marinas y terrestres, incluidas las aguas residuales, que pueden contener fibras microplásticas y fragmentos de tejidos sintéticos en el agua de lavado y microperlas de productos de higiene personal. Los microplásticos secundarios se originan en la descomposición de macroplásticos de mayor tamaño, como aparejos de pesca abandonados, perdidos o descartados (ALDFG), gránulos de plástico marino (nurdles), cuerdas, pinturas y sistemas antiincrustantes (Yang et al., 2021). La Antártida, que durante mucho tiempo se consideró protegida por el aislamiento geográfico y las salvaguardias legales, no es inmune a esta tendencia, habiéndose identificado microplásticos en el Océano Austral, la nieve antártica, los sedimentos y la fauna silvestre (Aves et al., 2022; González-Aravena et al., 2024; Isobe et al., 2017)¹. Su presencia en un entorno tan remoto ilustra la naturaleza transfronteriza de la contaminación plástica.

Este artículo tiene como objetivo analizar cómo el Sistema del Tratado Antártico (STA) y, en particular, la Reunión Consultiva del Tratado Antártico (RCTA) han respondido a la creciente evidencia de contaminación por microplásticos en la región. Mediante el análisis de la evolución de la evidencia científica, los debates sobre políticas y las respuestas institucionales, este documento busca identificar las principales brechas de gobernanza, los desafíos y las oportunidades para fortalecer la protección ambiental antártica en el contexto más amplio de la gobernanza global de los plásticos. El análisis se basa en una revisión cualitativa de la literatura científica y los documentos de políticas, incluyendo las Resoluciones de la RCTA, las Medidas de Conservación de la CCRVMA y los registros de las RCTA 46 y 47 (Kochi, 2024; Milán, 2025). A través de esta evaluación combinada, el documento rastrea cómo el conocimiento generado por la investigación antártica está informando los debates sobre políticas y explora cómo la RCTA puede servir de puente entre las iniciativas regionales de conservación y los futuros marcos globales.

Este documento se estructura de la siguiente manera: la Sección 2 realiza una revisión de la literatura sobre las fuentes de microplásticos, los mecanismos de transporte y los impactos ecológicos en la Antártida, situando estos hallazgos en el contexto más amplio de la contaminación polar. La Sección 3 amplía el análisis a los esfuerzos de gobernanza global para abordar la contaminación por plásticos, incluyendo las recientes negociaciones para un Tratado Mundial sobre Plásticos de la ONU. La Sección 4 examina el marco regulatorio vigente en el marco del STA, seguida de una evaluación del papel evolutivo de la RCTA en la formulación de políticas sobre la contaminación por plásticos. La Sección 5 identifica los principales desafíos y oportunidades para fortalecer la respuesta antártica a la contaminación por plásticos y presenta recomendaciones de políticas. El documento concluye

analizando cómo el STA puede asumir un papel de liderazgo en el avance de la gobernanza ambiental global en la era de los plásticos.

CONTAMINACIÓN POR MICROPLÁSTICOS EN LA ANTÁRTIDA

La contaminación por microplásticos en la Antártida proviene de fuentes antropogénicas tanto locales como distantes. Los principales contribuyentes locales incluyen las estaciones de investigación, el turismo y las operaciones pesqueras, mientras que el transporte a larga distancia a través de las corrientes atmosféricas y oceánicas introduce aportaciones adicionales (Cunningham et al., 2022; Isobe et al., 2017; Napper y Thompson, 2016; Primpke et al., 2024). Las primeras investigaciones sobre los residuos plásticos antárticos, anteriores al enfoque en los microplásticos, documentaron/registraron la acumulación de macroplásticos en las playas y la pérdida de aparejos de pesca ya en la década de 1980 (Barnes et al., 2009; Gregory, 1989). Estos estudios fundamentales establecieron cómo la actividad humana en las estaciones de investigación y en la pesca introdujo materiales sintéticos en la región.

La evidencia reciente señala que los microplásticos están ampliamente distribuidos en los entornos y ecosistemas antárticos. Se ha detectado su presencia en agua de mar costera cerca de la Península Antártica (Lacerda et al., 2019), en muestras de nieve de la Isla Ross (Aves et al., 2022) y en sedimentos de la Bahía Terra Nova (Munari et al., 2017) y cerca de la Estación de Investigación Rothera (Reed et al., 2018). Se han reportado niveles de contaminación comparables en el Océano Antártico y el Mar de Ross, con algunas concentraciones que se acercan a las de regiones costeras altamente contaminadas en otras áreas del mundo (Suiza, 2024). Un creciente cuerpo de investigación también documenta la deposición atmosférica, confirmando que los microplásticos son transportados a través de la precipitación, incluida la nieve (Allen et al., 2021; Illuminati et al., 2024). De hecho, Illuminati et al. (2024) midieron un flujo atmosférico diario promedio de $\sim 1,7 \pm 1,1$ partículas $m^{-2} d^{-1}$, dominado por fragmentos de polipropileno, polietileno y policarbonato, lo que demuestra que tanto las entradas locales como las de larga distancia contribuyen a la contaminación antártica. Asimismo, Kelly et al. (2020) identificaron catorce tipos de polímeros en núcleos de hielo marino fijos a tierra de la Antártida Oriental, destacando el hielo marino como un sumidero significativo y una fuente secundaria de residuos plásticos.

Los mecanismos de transporte y deposición de estos contaminantes son diversos. Los microplásticos llegan al continente a través de la circulación atmosférica, el hielo a la deriva y las corrientes oceánicas, mientras que las aguas residuales locales, los residuos de envases y los ALDFG intensifican la contaminación cerca de las instalaciones humanas (Allen et al., 2021; Obbard et al., 2018; Primpke et al., 2024). Los estudios enfatizan cada vez más la combinación de estas vías: Jones-Williams et al. (2023) demostraron que incluso las regiones continentales de la Antártida presentan una huella microplástica dominada por partículas de poliamida de $<50 \mu m$, lo que implica el efecto combinado del transporte atmosférico a larga distancia y las emisiones locales. De igual manera, Zhang et al. (2022) descubrieron que la distribución de microplásticos en el Océano Austral refleja tanto el transporte hacia el sur desde latitudes más bajas como fuentes antárticas locales.

La presencia ecológica y la absorción biológica de microplásticos están bien establecidas y se han identificado en el tracto digestivo y las heces de pingüinos, kril, peces y animales bentónicos filtradores, lo que revela la transferencia trófica dentro de las redes tróficas antárticas (Dawson et al., 2018; Fragão et al., 2021; Zhu et al., 2023). Bessa et al. (2019) encontraron fibras microplásticas en aproximadamente el 20 % de las muestras fecales de pingüinos papúa en las islas Bird y Signy, mientras que un estudio más reciente de Fragão et al. (2021) detectaron microplásticos y otras partículas antropogénicas en tres especies de pingüinos. Más recientemente, Bhattacharjee et al. (2024) identificaron microplásticos en órganos internos de pingüinos, lo que pone de manifiesto una vía de exposición no reconocida previamente. Por otro lado, un estudio que sintetizó datos desde finales de la década de 1980 hasta 2023 reveló que el 97 % de las aves antárticas muestreadas contenían al menos un fragmento o fibra de microplástico (Taurozzi y Scalizi, 2024).

Zhu et al. (2023) detectaron la ingestión de microplásticos en cuatro especies de peces antárticos y la contaminación del krill antártico (*Euphausia superba*), lo que pone de manifiesto la entrada de partículas sintéticas en la base de la cadena alimentaria del océano Antártico. Los microplásticos también pueden ser ingeridos por organismos planctónicos en suspensión y filtradores, como el krill, que son particularmente vulnerables debido a sus estrategias de alimentación (Dawson et al., 2018). Esta vulnerabilidad se ve intensificada por la dinámica del hielo marino, que favorece la absorción de microplásticos por las algas y el kril (Rota et al., 2022). Una vez ingeridas, estas partículas pueden ejercer efectos toxicológicos sobre especies clave, influyendo en ecosistemas enteros mediante bioacumulación y biomagnificación (Waller et al., 2017). Además, los microplásticos pueden actuar como vectores para bacterias patógenas (Caruso et al., 2022) y pueden degradarse en nanoplásticos (<1 µm). Las condiciones ambientales únicas del Océano Antártico (bajas temperaturas, intensa radiación UV y fuerte turbulencia) probablemente aceleran la fragmentación de plásticos más grandes en microplásticos y nanoplásticos, lo que aumenta sus riesgos ecológicos (SCAR, 2023). La evidencia de laboratorio muestra que la digestión del krill puede fragmentar activamente los microplásticos en nanoplásticos (Dawson et al., 2018), lo que mejora su biodisponibilidad.

GOBERNANZA GLOBAL PARA LA CONTAMINACIÓN PLÁSTICA

La contaminación plástica ha evolucionado de una preocupación localizada en la gestión de residuos a un desafío para la gobernanza global que trasciende fronteras, ecosistemas y jurisdicciones. Su durabilidad, movilidad y ubicuidad aseguran que incluso los entornos más remotos se vean afectados por sus productos de acumulación y degradación. Sin embargo, a pesar de su escala global, las respuestas internacionales han permanecido fragmentadas durante mucho tiempo, a menudo limitadas a iniciativas voluntarias o regulaciones sectoriales, con escasa coordinación entre la producción, el comercio y la gestión de residuos. Abordar esta crisis requiere no solo mejorar el reciclaje, sino también desarrollar un marco regulatorio integral capaz de regular todo el ciclo de vida de los plásticos. La búsqueda de dicha coherencia ha impulsado una renovada atención diplomática y negociaciones intergubernamentales destinadas a elevar la contaminación plástica al mismo nivel de urgencia que el cambio climático y la pérdida de biodiversidad.

La literatura académica ha examinado cada vez más las debilidades estructurales que socavan la

gobernanza global del plástico. Da Costa et al. (2020) observaron que, si bien el número de leyes, iniciativas regulatorias y directrices no vinculantes que abordan la contaminación plástica y los microplásticos ha aumentado en todo el mundo, estos instrumentos siguen estando descoordinados, careciendo de mecanismos de aplicación eficaces y de fundamento científico. De igual manera, Knoblauch et al. (2021) sintetizaron cuarenta y cinco estudios de políticas y descubrieron que la mayoría de los marcos nacionales e internacionales son fragmentarios y tienen dificultades para abordar los factores sistémicos que impulsan la producción, el consumo y los residuos de plástico. Su investigación complementaria sobre las capacidades políticas y las limitaciones institucionales destaca la persistente fragmentación entre sectores y niveles de gobernanza, lo que limita la eficacia de los instrumentos existentes. Nagtzaam et al. (2023) rastrearon la evolución histórica de la regulación de los plásticos y demostraron que, a pesar de la creciente urgencia, las iniciativas internacionales siguen siendo insuficientes y están mal coordinadas. En conjunto, esta literatura indica que el principal desafío de la gobernanza de los plásticos no reside únicamente en la creación de nuevos instrumentos, sino en lograr coherencia institucional, armonización científica y obligaciones exigibles capaces de afrontar la naturaleza transfronteriza y sistémica de la contaminación por plásticos.

Iniciativas diplomáticas recientes han comenzado a abordar estas deficiencias de larga data en la gobernanza global de la contaminación por plásticos. En noviembre de 2021, el Comité de Protección del Medio Marino (MEPC) de la Organización Marítima Internacional (OMI) adoptó su Estrategia para Abordar los Desechos Plásticos Marinos Provenientes de Buques. Esta iniciativa representa el primer esfuerzo global coordinado dentro del sector marítimo para prevenir los desechos de residuos plásticos desde los buques. Su objetivo general es lograr cero desechos de residuos plásticos al mar desde los buques para 2025 (OMI, 2021). La estrategia se centra en tres pilares complementarios: mejorar las prácticas de gestión de residuos a bordo, fortalecer las instalaciones portuarias de recepción y mejorar los mecanismos de seguimiento y cumplimiento del Anexo V del Convenio MARPOL. Al hacer hincapié en la gestión del ciclo de vida de los plásticos transportados por los buques —incluidos los aparejos de pesca, los materiales de embalaje y los residuos operativos—, la estrategia de la OMI busca reducir los desechos, tanto intencionales como accidentales. También promueve la innovación tecnológica, como los materiales biodegradables y los sistemas de recuperación de aparejos perdidos, y convierte la contaminación plástica en un elemento fundamental de la gobernanza ambiental marítima, influyendo en las autoridades portuarias regionales y en las normas de cumplimiento del sector.

Aprovechando este impulso, la Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEA) dio un paso decisivo en marzo de 2022 al adoptar la Resolución 5/14, que establece la negociación de un instrumento internacional jurídicamente vinculante (ILBI) en forma de un Tratado Mundial sobre los Plásticos para finales de 2024. Esta Resolución marcó un punto de inflexión en la diplomacia ambiental multilateral, al reconocer la contaminación por plásticos como una crisis planetaria que requiere una respuesta integral a lo largo de todo el ciclo de vida del plástico, desde la producción y el diseño de productos hasta la gestión y remediación de residuos. Para implementar la Resolución, la UNEA estableció un Comité Intergubernamental de Negociación (CNI) encargado de redactar el texto del tratado, con el apoyo de una Secretaría y grupos de trabajo técnicos. Los objetivos principales del tratado incluyen la eliminación de los plásticos problemáticos y evitables, la reducción de la liberación de microplásticos, el fomento de los principios de la economía circular y la promoción de la transferencia de tecnología y el desarrollo de capacidades para los países en desarrollo.

La quinta sesión de negociación (INC-5.1), celebrada en Busan (Corea del Sur) en noviembre de 2024, representó un hito crucial en el proceso del Tratado Global del Plástico, consolidando las diversas posiciones nacionales en un marco preliminar. A pesar de este progreso, las negociaciones concluyeron sin consenso, lo que reveló una persistente división entre los Estados miembros. El borrador del tratado proponía medidas ambiciosas —incluyendo normas globales de diseño de productos, una prohibición gradual de polímeros y sustancias químicas nocivas, y límites a la producción de plástico—, pero el progreso se vio obstaculizado por un pequeño número de países que se oponían a los límites vinculantes de producción y a las restricciones globales. En consecuencia, las decisiones clave se pospusieron hasta la INC-5.2, celebrada en Ginebra (Suiza) en 2025, que nuevamente concluyó sin acuerdo. La INC-5.3 está prevista para febrero de 2026 en Ginebra (Suiza); sin embargo, esta reunión no implicará más negociaciones sobre el fondo, y el futuro del tratado propuesto es incierto.

A pesar de la incapacidad de las partes para llegar a un acuerdo en este momento, estas negociaciones han reconfigurado el discurso global sobre los plásticos, alineándolo más estrechamente con los modelos de gobernanza desarrollados para los regímenes climáticos y de biodiversidad, y subrayando un creciente reconocimiento de la contaminación plástica como una crisis planetaria que exige una acción coordinada y basada en la ciencia.

REGULACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN PLÁSTICA EN EL MARCO DEL SISTEMA DEL TRATADO ANTÁRTICO

El STA constituye el marco general de gobernanza para todas las actividades humanas al sur de los 60° de latitud sur. Establecido mediante el Tratado Antártico de 1959, proporciona la base jurídica e institucional para mantener la Antártida como una zona dedicada a la paz y la ciencia. El STA abarca varios instrumentos interrelacionados, entre ellos el Protocolo sobre Protección del Medio Ambiente del Tratado Antártico (comúnmente conocido como Protocolo de Madrid), la Convención para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos (CCRVMA), la Convención para la Conservación de las Focas Antárticas (CCAS) y el propio Tratado. En conjunto, estos instrumentos buscan establecer un régimen de cooperación para proteger los entornos y ecosistemas antárticos. Sin embargo, en la práctica, la fragmentación y la limitada capacidad de monitoreo y cumplimiento plantean desafíos para la gestión eficaz de contaminantes emergentes, como los microplásticos y los nanoplásticos, que trascienden las fronteras jurisdiccionales y sectoriales.

El Protocolo de Madrid sienta las bases de la gobernanza ambiental en la Antártida. Como acuerdo jurídicamente vinculante, compromete a las Partes a la «protección integral del medio ambiente antártico y de sus ecosistemas dependientes y asociados», designando al continente como «reserva natural, dedicada a la paz y la ciencia» (art. 2). El Protocolo contiene varias disposiciones directamente relacionadas con la contaminación por plásticos. El Anexo I relativo a la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) establece la obligación de que las Partes realicen evaluaciones de impacto ambiental para todas las actividades desarrolladas en el área del Tratado Antártico, incluyendo la adopción de medidas de mitigación para reducir al mínimo los impactos ambientales.

- El Anexo III sobre Eliminación y Gestión de Desechos exige la eliminación de residuos plásticos del área del Tratado Antártico (Art. 2).
- El Anexo IV sobre Contaminación Marina incluye prohibiciones específicas:
 - o El vertido al mar de todo tipo de plásticos desde buques, incluyendo cuerdas sintéticas, redes de pesca y bolsas de basura de plástico (Art. 5[1]); y
 - o El vertido de aguas residuales sin tratar desde buques a menos de doce millas náuticas de la costa (Art. 6[1a])².

Los Programas Antárticos Nacionales (PNA), coordinados por el Consejo de Administradores de Programas Antárticos (COMNAP), también han adoptado medidas para mitigar la contaminación por plásticos en su ámbito operativo. El Grupo de Expertos en Protección Ambiental del COMNAP ha emitido una serie de recomendaciones que desalientan el uso innecesario de plásticos en el área del Tratado, incluyendo prohibiciones voluntarias de productos de cuidado personal que contienen microplásticos y estrategias para minimizar la liberación de microfibras derivadas de textiles de los sistemas de lavandería y aguas residuales. Estas medidas ilustran una creciente conciencia entre los actores operativos sobre la necesidad de integrar la prevención de la contaminación en las actividades logísticas diarias. Sin embargo, siguen siendo en gran medida voluntarias y fragmentadas debido a la ausencia de un marco vinculante para todo el STA respaldado por un monitoreo sistemático, innovación tecnológica y mecanismos claros de cumplimiento y aplicación³.

De igual manera, la CCRVMA ha abordado aspectos de la contaminación por plásticos, en particular los derivados de las actividades pesqueras. Mediante la Medida de Conservación 26-01, las embarcaciones deben informar sobre la pérdida o abandono de aparejos de pesca, una fuente principal de desechos marinos en el Océano Austral. Sin embargo, el alcance de esta medida sigue siendo limitado, centrándose principalmente en la notificación de la pérdida de aparejos en lugar de la prevención o la recuperación, y su aplicación es inconsistente entre flotas y jurisdicciones (CCRVMA, 2023). Ampliar la medida para incluir programas obligatorios de recuperación, sistemas de seguimiento de aparejos o desincentivos financieros por incumplimiento podría mejorar significativamente su eficacia para mitigar los aportes de plástico de origen marino.

En conjunto, las disposiciones vigentes en virtud del Protocolo de Madrid, la CCRVMA y el COMNAP podrían, en principio, proporcionar una sólida base normativa para la prevención de residuos plásticos. Sin embargo, en la práctica, su aplicación sigue siendo desigual. Muchos PAN se enfrentan a retos logísticos y de infraestructura para la gestión de residuos en estaciones de investigación remotas, agravados por las condiciones ambientales extremas y la dependencia de los controles a bordo de buques en virtud del Anexo V de MARPOL (OMI, 2021). Además, el Protocolo de Madrid, negociado antes del reconocimiento de los microplásticos y nanoplasticos como una amenaza global, carece de disposiciones específicas que aborden estos contaminantes. No contiene requisitos vinculantes para los sistemas de filtración, la mitigación de la dispersión atmosférica ni la gestión de fuentes secundarias de microplásticos, como los textiles sintéticos o los recubrimientos de polímeros. Este retraso normativo ha dificultado la adaptación del STA a las nuevas formas de contaminación, cuyo conocimiento científico e impactos transfronterizos exceden el alcance de su diseño original.

Como señalan Zhang et al. (2020), si bien el STA se ha centrado cada vez más en los residuos plásticos generados localmente (de estaciones de investigación, buques y operaciones turísticas), sigue estando mal equipado para abordar los plásticos transportados a la región por vías oceánicas o atmosféricas. Esta brecha expone un dilema de gobernanza más amplio: el STA puede regular la actividad humana dentro del área del Tratado, pero no tiene autoridad sobre fuentes globales o extrarregionales. Su dependencia de medidas voluntarias, instrumentos de derecho indicativo y un limitado monitoreo del cumplimiento refleja desafíos estructurales que también afectan a otros regímenes ambientales internacionales que enfrentan contaminantes transfronterizos.

Más allá de los mecanismos intergubernamentales, las iniciativas del sector privado y a nivel de programas están comenzando a complementar el marco regulatorio formal. Algunos operadores de pesca comercial y turismo han adoptado medidas voluntarias para reducir los desechos de plástico; por ejemplo, algunos buques pesqueros han probado sistemas de filtración de lavandería para capturar fibras microplásticas (ASOC y COLTO, 2018). Mientras tanto, la Asociación Internacional de Operadores Turísticos Antárticos (IAATO) ha incorporado medidas de reducción de plástico en su manual de operaciones de campo, alineándolas con el Formulario de Desechos Marinos de la CCRVMA y la Resolución 5 de la RCTA (2019), a la vez que desarrolla nuevas directrices para visitantes para reducir los residuos de un solo uso⁴.

Contaminación plástica y la RCTA

La RCTA es el principal foro de toma de decisiones en el marco del STA, que reúne a las Partes del Tratado, organizaciones de expertos y observadores para debatir la protección y la gestión del medio ambiente antártico. Si bien no es un órgano regulador en sentido estricto, la RCTA proporciona la plataforma política y normativa a través de la cual se proponen, negocian y adoptan Decisiones, Resoluciones exhortatorias y Medidas jurídicamente vinculantes. Las Medidas adquieren carácter vinculante una vez adoptadas por todas las Partes Consultivas e implementadas a través de la legislación nacional, mientras que las Resoluciones no vinculantes orientan las políticas nacionales. A medida que surgen nuevas presiones ambientales, la RCTA se ha convertido en un foro clave para definir las respuestas antárticas a desafíos globales como el cambio climático y, más recientemente, la contaminación por plásticos.

La creciente evidencia científica de la contaminación por plásticos en el Océano Austral ha llamado la atención de la RCTA sobre este tema. Un documento de trabajo presentado a la RCTA por el Reino Unido en 2019 (véase Reino Unido, 2019) identificó la contaminación marina por plásticos como un importante problema de conservación mundial, señalando que la Antártida podría ser particularmente vulnerable a la contaminación por microplásticos debido a los patrones de circulación superficial en el Océano Austral, que podrían transportar plásticos flotantes desde latitudes septentrionales a aguas polares, y a los altos niveles de radiación ultravioleta, que aceleran la descomposición de macroplásticos en microplásticos.

En respuesta a este documento, la RCTA adoptó la Resolución 5 (2019) sobre la Reducción de la Contaminación por Plásticos en la Antártida y el Océano Austral. La Resolución recomienda reducir el uso de productos de cuidado personal que contienen microplásticos e intercambiar información

entre las Partes para minimizar la presencia de microplásticos en las aguas residuales. La Resolución también invita al Comité Científico de Investigaciones Antárticas (SCAR) a informar sobre la nueva información sobre la presencia y los riesgos de la contaminación por plásticos, y solicita un mayor monitoreo de la contaminación por plásticos en la Antártida. Finalmente, recomienda que se considere la cuestión de la liberación de microplásticos en relación con cualquier posible revisión futura de los Anexos III y IV del Protocolo de Protección del Medio Ambiente.

Desde 2019, la participación de la RCTA en el ámbito de la contaminación por plásticos se ha ampliado significativamente, lo que refleja una mayor convergencia entre la evidencia científica y la deliberación política. En este contexto cambiante, la 46.^a RCTA, celebrada en Kochi (India) del 20 al 30 de mayo de 2024, representó un momento decisivo en el diálogo antártico sobre la contaminación por plásticos. La siguiente sección examina con mayor profundidad las principales conclusiones, propuestas y debates que dieron forma a estas discusiones.

Microplásticos en la 46.^a RCTA

La 46.^a RCTA se celebró en un contexto de creciente atención mundial a la gobernanza ambiental en la Antártida, con debates que abarcaron el cambio climático, la gestión de residuos, la conservación de la biodiversidad y las áreas marinas protegidas. Entre estos temas, la contaminación por microplásticos emergió como uno de los más destacados y unificadores, lo que refleja tanto el creciente reconocimiento científico de su omnipresencia como la creciente implicación del STA con los desafíos globales de la contaminación.

Basándose en compromisos previos, en particular la Resolución 5 (2019), la reunión de 2024 brindó el intercambio más amplio y detallado hasta la fecha sobre la contaminación por plásticos en la región antártica. Un total de ocho documentos informativos (PI) constituyeron la base científica de estos debates, complementados por un proyecto de Resolución sobre la Eliminación de la Contaminación por Plásticos presentado por los Países Bajos (RCTA 46-CEP 26, 2024) . En conjunto, estas contribuciones marcaron la maduración del debate político, pasando de la concientización preliminar al diseño de posibles respuestas institucionales en el marco del STA. Una de las contribuciones clave provino de Suiza, que resumió la investigación sobre la contaminación por microplásticos en el Mar de Weddell y la Tierra de la Reina Maud (WSDML), una zona remota con mínima actividad humana. El estudio plurianual, realizado por el Instituto Alfred Wegener, el Real Instituto Neerlandés de Investigación Marina y la Universidad de Utrecht, reveló que los microplásticos pequeños (11 µm–500 µm) constituían el 98 % de la contaminación marina por plásticos, con concentraciones comparables a las de regiones gravemente afectadas, como las costas de Noruega y China. También se identificaron microplásticos en la nieve, los sedimentos, el hielo marino y organismos como peces, focas y pingüinos, lo que demuestra su amplia presencia en la red trófica. El documento enfatiza la necesidad de investigación multidisciplinaria para comprender mejor las interacciones de los microplásticos con las variables ambientales, rastrear sus orígenes y vías de transporte, y desarrollar estrategias eficaces de mitigación y conservación.

En su IP, Bielorrusia presentó los primeros hallazgos sobre la contaminación por microplásticos en los suelos y sistemas de agua dulce de la Antártida Oriental, una región históricamente poco estudiada

en comparación con los ecosistemas marinos de la Antártida Occidental. La investigación reveló concentraciones inesperadamente altas de microplásticos en muestras de agua dulce de los cerros de Thala, lo que pone de relieve la urgencia de continuar la investigación y la colaboración internacional. Perú contribuyó con una revisión exhaustiva de la literatura sobre la contaminación por plásticos en la Antártida, identificando lagunas metodológicas persistentes, en particular la ausencia de protocolos estandarizados de muestreo y análisis, y recomendando la implementación de mecanismos de control de calidad en la gestión de residuos, junto con evaluaciones de la contaminación procedente de bases científicas y actividades humanas.

Argentina informó sobre la Iniciativa de Plásticos de la Tecnología Nuclear para el Control de la Contaminación Plástica (NUTEC), un proyecto colaborativo llevado a cabo en la Base Carlini y a bordo del ARA Almirante Irizar en cooperación con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). La iniciativa enfatizó la necesidad de armonizar las metodologías de monitoreo de microplásticos y ofreció la experiencia técnica de Argentina a otras Partes interesadas en adoptar enfoques comparables.

La Coalición Antártica y del Océano Austral (ASOC) instó a que se adopten medidas más enérgicas para combatir la contaminación por plásticos en el Área del Tratado Antártico. La ASOC destacó los riesgos ecológicos asociados a los microplásticos, incluyendo la ingestión por el kril, la bioacumulación en los niveles tróficos y los posibles impactos en todo el ecosistema, e identificó las operaciones locales, como las estaciones de investigación, el turismo y las actividades pesqueras, como los principales contribuyentes. El documento recomendó desarrollar un plan de acción regional, revisar las disposiciones de gestión existentes en el marco del Protocolo Ambiental y apoyar iniciativas globales destinadas a reducir la producción y el uso de plásticos.

En conjunto, estos documentos enfatizaron la urgencia de abordar la contaminación por microplásticos mediante la estandarización, la colaboración y medidas internacionales más sólidas. En respuesta, el CPA revisó el proyecto de Resolución para acabar con la contaminación por plásticos propuesto por los Países Bajos, que expresaba su preocupación por la creciente presencia de plásticos en los ecosistemas antárticos y los riesgos ambientales asociados. Aunque el Comité no alcanzó un consenso, remitió el proyecto a la RCTA para su posterior consideración. Sin embargo, a pesar del amplio apoyo a la iniciativa, su adopción formal se vio finalmente obstaculizada por desacuerdos procesales y jurisdiccionales. Varias Partes argumentaron que las negociaciones en curso para un Tratado Mundial sobre Plásticos de la ONU hacían prematuras las nuevas medidas específicas para la Antártida, mientras que otras consideraron la acción regional como un complemento necesario a los esfuerzos globales.

Los debates plenarios posteriores reflejaron esta tensión entre la ambición ambiental y la cautela diplomática, un rasgo recurrente en la toma de decisiones del STA. Muchas Partes expresaron su agradecimiento a los Países Bajos por plantear el tema, pero persistieron las objeciones de procedimiento, en particular en lo que respecta al cumplimiento de los protocolos de presentación y la traducción de documentos a todos los idiomas oficiales. También se señaló que la RCTA debería esperar la orientación técnica de foros globales con experiencia especializada en plásticos. Para avanzar en el proceso, varias Partes propusieron que el CPA brinde asesoramiento técnico, científico

y ambiental sobre la contaminación por plásticos, garantizando que las futuras deliberaciones se basen en evidencia consolidada y se ajusten a los marcos internacionales en evolución.

En general, las deliberaciones de la RCTA-46 revelaron avances y limitaciones: si bien existe un creciente consenso científico sobre la omnipresencia y los riesgos ecológicos de los microplásticos, la cautela institucional y la rigidez procedimental que caracterizan la gobernanza ambiental antártica siguen limitando la velocidad y el alcance de la acción colectiva.

Microplásticos en la 47.ª RCTA

La contaminación por microplásticos siguió siendo un tema de debate importante al año siguiente, en la 47.ª RCTA, celebrada en Milán (Italia), del 23 de junio al 3 de julio de 2025. Se presentaron dos documentos de trabajo (WP) y ocho IP sobre el tema. Un IP argentino presentó las conclusiones iniciales de la Iniciativa de Plásticos NUTEC del Programa Antártico Argentino, destacando la adopción de una metodología estandarizada de análisis de muestras y el uso de equipos especializados, según lo prescrito por el OIEA. Suiza y Alemania presentaron un IP con los resultados y conclusiones finales de su exhaustiva investigación sobre microplásticos en la región WSDML entre 2017 y 2025, reiterando la alta abundancia de microplásticos en la región, recomendando un enfoque precautorio en las políticas y operaciones relacionadas con los microplásticos y ofreciendo diversas estrategias de mitigación para abordar las fuentes locales. Ecuador presentó un documento de trabajo (IP) que presentaba una iniciativa nacional, que incluía el monitoreo de microplásticos, estudios toxicológicos y desarrollo de capacidades. Brasil, por su parte, presentó un IP sobre la investigación sobre microplásticos realizada por el Programa Antártico Brasileño (PROANTAR) y una nueva alianza con la Iniciativa de Plásticos de NUTEC y el OIEA. El Reino Unido presentó un documento de trabajo que abordaba la contaminación por plásticos derivada de las operaciones sobre el terreno, en concreto la degradación de las banderas de poliéster utilizadas para marcar rutas seguras en la Antártida.

El SCAR presentó dos IP sobre la contaminación por microplásticos. El primero presentó las conclusiones de un estudio a largo plazo sobre organismos que habitan en sedimentos de aguas profundas, que reveló que un tercio de los organismos muestreados había ingerido microplásticos y otros desechos antropogénicos cada año entre 1986 y 2016, señalando que el nivel de contaminación era similar al del Ártico, a pesar de una población significativamente menor. El segundo revisó las respuestas políticas a la contaminación por plásticos en el marco del Tratado Antártico (STA), concluyendo que «se necesitan ahora más medidas de evaluación, monitoreo y mitigación para abordar de forma integral el problema de la contaminación por plásticos en el área del Tratado Antártico». En colaboración con doce Partes, el SCAR también presentó un documento de trabajo para informar sobre un taller titulado “Monitoreo de la contaminación química en la Antártida: Abordando juntos los desafíos futuros”. Los asistentes al taller, entre los que se encontraban investigadores expertos y actores ambientales, identificaron la urgente necesidad de una mayor coordinación para mejorar el monitoreo y el análisis de contaminantes, incluidos los microplásticos, y para fundamentar el desarrollo de políticas. La mayoría de los documentos mencionados destacaron la importancia de introducir metodologías y protocolos estandarizados y comparables para el muestreo y el análisis, así como de implementar programas de monitoreo sistemático a largo plazo para fundamentar las políticas.

Finalmente, los Países Bajos presentaron su documento de trabajo, proponiendo que la RCTA adopte una Resolución “Hacia la eliminación de la contaminación por plásticos en el Área del Tratado Antártico”. La Reunión acordó adoptar la Resolución 5 (2025), que insta a las Partes, entre otras cosas, a compartir información sobre las mejores prácticas para abordar la contaminación por plásticos, fortalecer las iniciativas de investigación y monitoreo, y participar en debates internacionales sobre la contaminación por plásticos.

DESAFÍOS, OPORTUNIDADES Y RECOMENDACIONES

Desafíos

Si bien se han logrado avances considerables en la identificación de las fuentes, las vías de transporte y los impactos ecológicos de los microplásticos en el entorno antártico, la capacidad del STA para abordar este problema de manera eficaz sigue siendo limitada. La complejidad surge no solo de las características logísticas y físicas de la región, sino también de la fragmentación institucional y la desigualdad de los datos científicos. No obstante, estas mismas limitaciones revelan oportunidades estratégicas para fortalecer la gobernanza ambiental antártica, profundizar la colaboración científica y posicionar al STA como un actor líder en la gobernanza global de los plásticos.

Un desafío principal reside en la persistente falta de datos y la falta de protocolos de monitoreo estandarizados entre las Partes. Por ello, a pesar de la creciente concienciación, la investigación sobre microplásticos en la Antártida sigue estando fragmentada espacial y temporalmente, lo que dificulta establecer líneas de base a largo plazo o detectar tendencias regionales. Las metodologías de muestreo varían ampliamente, y la mayoría de los estudios se concentran en torno a estaciones de investigación y rutas turísticas, dejando sin explorar vastas áreas del continente y del océano circundante. Sin procedimientos armonizados —algo que el Grupo de Acción sobre Plásticos del SCAR ha enfatizado repetidamente—, la comparabilidad de los datos sigue siendo deficiente, lo que limita tanto la comprensión científica como la coherencia de las políticas. Un segundo desafío, como se mencionó anteriormente, se refiere al panorama fragmentado de gobernanza del STA. Las responsabilidades relacionadas con la contaminación por plásticos están dispersas entre múltiples instituciones, como la RCTA, el CPA, el COMNAP y la CCRVMA. Si bien estos organismos comparten un compromiso común con la protección ambiental, existe una limitada interrelación de políticas o mecanismos de intercambio de datos entre ellos. Esta ausencia de un marco integrado ha dado lugar a la duplicación de esfuerzos, un monitoreo inconsistente y lagunas en las políticas, en particular entre las iniciativas terrestres y las centradas en el medio marino.

Las limitaciones logísticas agravan aún más el problema. La gestión y recuperación de residuos en la Antártida es extremadamente costosa y técnicamente compleja debido a la lejanía, las duras condiciones climáticas y las limitaciones de acceso estacionales. Incluso las medidas bien intencionadas de reducción de residuos se enfrentan a barreras en el transporte, el almacenamiento y la eliminación. Como resultado, actividades operativas como la investigación, el turismo y la pesca continúan generando residuos plásticos, incluyendo aparejos y materiales de embalaje perdidos,

algunos de los cuales escapan a los controles y entran en los ecosistemas locales.

La dificultad para monitorear y asegurar el cumplimiento también socava la eficacia de las regulaciones existentes. Además, las formas emergentes de contaminación, como los microplásticos, los nanoplásticos y las partículas plásticas transportadas por el aire, quedan fuera del alcance de los marcos regulatorios actuales, lo que revela la necesidad de una gobernanza adaptativa capaz de abordar los desafíos ambientales cambiantes.

Oportunidades

A pesar de estos obstáculos, existen varias oportunidades para transformar la respuesta antártica en un modelo de gestión ambiental proactiva y con base científica.

Las Resoluciones 5 (2019) y 5 (2025) de la RCTA representan pasos importantes para reconocer y abordar la amenaza de la contaminación por microplásticos en la Antártida. Sin embargo, es

Categoría	Temas principales / Acciones	Descripción	Actores relevantes / Fuentes
Desafíos científicos y de datos	Falta de datos y metodologías inconsistentes	La falta de protocolos de monitoreo estandarizados entre las Partes limita la comparabilidad y las evaluaciones a largo plazo; la mayoría de los estudios se centran en áreas accesibles cerca de las estaciones	SCAR Plastic Action Group (2023); RCTA
Fragmentación institucional	Coordinación débil entre los organismos del STA	La superposición de mandatos de la RCTA, la CCRVMA y el CPA genera brechas en las políticas y una referencia cruzada limitada de las medidas	RCTA, CPA, CCRVMA
Restricciones operacionales	Barreras logísticas y financieras para la gestión de desechos	Las duras condiciones y los altos costos de transporte dificultan la recuperación y eliminación de desechos; las operaciones locales continúan generando fugas de plástico	COMNAP, IAATO
Limitaciones de cumplimiento	Cumplimiento voluntario e inspecciones limitadas	La mayoría de las disposiciones no son vinculantes; pocos mecanismos para el cumplimiento o el monitoreo sistemático del cumplimiento	Estados Parte, inspecciones de la RCTA

Tabla 1. Principales desafíos para abordar la contaminación por microplásticos en el marco del STA.

importante señalar que estos documentos se redactaron en el contexto de negociaciones constructivas para un ILBI que abordara la contaminación por plásticos, que estaban en curso en ese momento. El fracaso de estas negociaciones en el INC-5.2 (2025) ha generado un vacío regulatorio con respecto a la contaminación por plásticos.

La STA está bien posicionada para introducir regulaciones específicas para cada región que llenen el vacío dejado por el Tratado Global sobre Plásticos, que se encuentra en pausa. Existe un amplio consenso entre las Partes en la necesidad de abordar la contaminación por plásticos en la Antártida: la RCTA 47 reiteró la importancia de abordar la contaminación por plásticos en el área del Tratado Antártico (Informe Final de la RCTA 47 (304)), y muchas Partes han manifestado su apoyo a la implementación de metodologías y protocolos de investigación estandarizados, así como a un monitoreo sistematizado.

La estandarización y la colaboración pueden lograrse mediante el desarrollo de protocolos de monitoreo sistemático y sistemas de informes armonizados bajo el liderazgo del SCAR y el COMNAP. Estos esfuerzos mejorarían la coherencia de los datos y facilitarían la integración de los hallazgos antárticos en las evaluaciones globales de plásticos.

La innovación también desempeña un papel fundamental en el proceso. Las tecnologías emergentes, como la filtración de aguas residuales in situ, la sustitución de materiales biodegradables y las cadenas de suministro circulares para operaciones remotas, pueden reducir sustancialmente las fugas de plástico. Las estaciones de investigación podrían servir como sitios experimentales para probar sistemas logísticos sostenibles y ciclos de materiales de circuito cerrado. Además, promover la colaboración entre actores científicos, logísticos y comerciales, como el SCAR, el COMNAP y la IAATO, puede garantizar que la sostenibilidad operativa se traduzca en resultados ambientales mensurables. El liderazgo institucional es otra área que ofrece una oportunidad importante. El establecimiento de

Temas principales / Acciones	Descripción	Actores relevantes / Fuentes
Estandarización y colaboración	Desarrollar protocolos de monitoreo armonizados y marcos de informes compartidos bajo la guía del SCAR y el COMNAP	SCAR, COMNAP, CPA
Innovación y mejores prácticas	Implementar logística circular, filtración de aguas residuales y materiales biodegradables en estaciones y buques antárticos	Programas nacionales, COMNAP
Liderazgo institucional	Establecer un Grupo de Trabajo de la STA sobre Contaminación por Plásticos para coordinar datos, políticas y la participación en los procesos globales	RCTA, CCRVMA, CPA

Tabla 2. . Oportunidades estratégicas para fortalecer la respuesta antártica a la contaminación plástica

un Grupo de Trabajo de la STA sobre Contaminación por Plásticos proporcionaría un mecanismo formal para coordinar políticas, monitorear datos y facilitar el diálogo entre la RCTA, la CCRVMA y otras organizaciones pertinentes. Este Grupo de Trabajo podría elaborar recomendaciones conjuntas, supervisar la implementación de las Resoluciones y participar en foros internacionales sobre plásticos, según corresponda, garantizando que las prioridades antárticas estén representadas en los debates sobre políticas globales.

Recomendaciones de políticas

En la práctica, abordar estos desafíos requiere un conjunto integral de medidas políticas. El STA debería adoptar un Plan de Acción global sobre la Contaminación por Plásticos que abarque macro, micro y nanoplásticos, tanto de origen terrestre como marítimo. Este plan debería asignar responsabilidades claras a las instituciones y actores pertinentes, garantizando la rendición de cuentas y la coordinación. Las obligaciones estandarizadas de monitoreo y presentación de informes, guiadas por el Grupo de Acción sobre Plásticos del SCAR, ayudarían a generar conjuntos de datos consistentes y permitirían el análisis de tendencias a largo plazo.

Una mayor cooperación entre la RCTA y la CCRVMA también es crucial. El desarrollo de medidas conjuntas sobre la gestión de desechos marinos y los ALDFG, respaldadas por incentivos para la recuperación y sanciones por incumplimiento, podría reducir la brecha entre la gobernanza terrestre

Temas principales / Acciones	Descripción	Actores relevantes / Fuentes
Plan de Acción de la STA sobre Contaminación por Plásticos	Adoptar un plan integral que abarque macropásticos, micropásticos y nanopásticos provenientes de fuentes terrestres y marítimas	Secretaría de la RCTA
Monitoreo y presentación de informes estandarizados	Establecer directrices para la recopilación de datos comparables y el análisis de tendencias mediante la coordinación del SCAR	SCAR, COMNAP
Medidas de Conservación de la CCRVMA	Introducir incentivos para la recuperación y sanciones por pérdida de aparejos; coordinar el monitoreo de desechos marinos	CCRVMA, RCTA
Integración en las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA)	Exigir evaluaciones de riesgo de filtración y micropásticos en todas las EIAs (Anexo I)	CPA, programas nacionales
Educación y concienciación	Promover la logística sostenible y reducir los plásticos de un solo uso mediante la participación de operadores y turistas	IAATO, COMNAP, instituciones de investigación

Tabla 3. Recomendaciones de políticas para abordar la contaminación plástica en la Antártida

y marina. La integración de la gestión de plásticos en las Evaluaciones de Impacto Ambiental (Anexo I del Protocolo Ambiental) institucionalizaría aún más las medidas preventivas, incluyendo sistemas obligatorios de filtración de aguas residuales y evaluaciones de riesgo de microplásticos para todas las nuevas instalaciones y buques que operen en la región.

Finalmente, una mayor concienciación y un cambio de comportamiento deben complementar las reformas técnicas e institucionales. Las iniciativas de educación y divulgación dirigidas a investigadores, operadores logísticos y turistas pueden promover la reducción de plásticos de un solo uso, la elección de materiales sostenibles y una cultura de responsabilidad ambiental en las operaciones antárticas. Vincular estas iniciativas a movimientos globales, como la campaña Mares Limpios del PNUMA o la Estrategia sobre Basura Plástica Marina de la OMI, amplificaría su visibilidad e impacto.

En conjunto, estas medidas pueden constituir una hoja de ruta para transformar la respuesta de los STA a la contaminación por microplásticos, de reactiva y fragmentada a proactiva y adaptativa, mediante un enfoque capaz de abordar los múltiples desafíos de la contaminación plástica. Mediante la estandarización, la innovación y la cooperación institucional, la Antártida podría servir no solo como un punto de referencia para el cambio ambiental global, sino también como un campo de pruebas para soluciones de gobernanza que impulsen la gestión del planeta en la era del plástico.

CONCLUSIONES

La contaminación plástica constituye un riesgo creciente y complejo para los ecosistemas antárticos y del océano Austral, que opera a través de vías poco conocidas de ingestión, bioacumulación, transformación y biomagnificación de microplásticos y nanoplásticos. La evidencia analizada en este análisis demuestra que ningún ecosistema antártico, ya sea marino, terrestre o atmosférico, permanece inafectado. Sin embargo, a pesar de las claras señales científicas, las respuestas políticas en el marco del STA siguen estando a la zaga de la magnitud y la urgencia del desafío. Para abordar y combatir esta amenaza emergente, se requiere tanto la consolidación científica como la innovación institucional. Por ello, se deben priorizar las metodologías estandarizadas de monitoreo, muestreo y análisis para generar datos comparables y establecer bases de referencia sólidas que sirvan de base para las políticas. Sin embargo, la ausencia de conjuntos de datos completos no debe justificar la inacción. De acuerdo con el principio de precaución, se justifica la adopción temprana de medidas preventivas y adaptativas para evitar impactos ecológicos irreversibles. A nivel de políticas, la RCTA debería desempeñar un papel catalizador mediante el desarrollo de un Plan de Acción integral del STA sobre la Contaminación por Plásticos, que abarque los macroplásticos, microplásticos y nanoplásticos provenientes tanto de fuentes terrestres como marítimas. Este plan debería definir claramente las responsabilidades institucionales entre la RCTA, la CCRVMA, el COMNAP y el SCAR; establecer mecanismos para el intercambio de datos y el desarrollo de capacidades; y promover el despliegue de tecnologías como sistemas de filtración, materiales biodegradables y logística circular en las operaciones antárticas.

Una mejor coordinación internacional es igualmente importante. Alinear las políticas antárticas

con iniciativas globales como la Estrategia de la OMI para Abordar los Desechos Plásticos Marinos Procedentes de Buques ayudará a garantizar la coherencia de las políticas y fortalecerá la contribución de la Antártida a la gobernanza mundial de los plásticos. Al participar proactivamente en estos marcos, el STA podría posicionarse como un modelo de cooperación regional con base científica para abordar los contaminantes transfronterizos. En última instancia, la respuesta antártica a la contaminación por plásticos debe evolucionar desde una postura reactiva a un modelo de gobernanza proactivo, integrado y adaptativo. Para lograrlo, será necesario reducir la brecha entre la investigación científica y la implementación de políticas, reforzar los mecanismos de cumplimiento y monitoreo, y promover cambios de comportamiento entre operadores, investigadores y visitantes. De esta manera, el STA no solo puede salvaguardar uno de los últimos grandes espacios naturales del planeta, sino también sentar un valioso precedente para la gobernanza ambiental global en la era del plástico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los revisores por sus valiosos comentarios y sugerencias constructivas, que han contribuido en gran medida a mejorar la calidad y claridad de este artículo.

NOTAS

1. Una IP presentada por SCAR en la 45ª RCTA resumió la información disponible sobre la presencia de macrolásticos (> 5 mm), microplásticos (1 µm-5 mm) y nanoplásticos (< 1 µm) en la Antártida (SCAR, 2023).

2. Las Partes no están obligadas a tratar las aguas residuales vertidas desde su estación de investigación científica, más allá de la maceración (Anexo III; Artículo 5, 1b).

3. Un cartel educativo con sugerencias sobre cómo los Programas Antárticos Nacionales pueden reducir la contaminación plástica está disponible en: <https://static1.squarespace.com/static/61073506e9b0073c7eaaf464/t/613fe40109a713366b37b86a/1631577091358/COMNAP-Understanding-sources-of-plastics-in-the-Antarctic-Treaty-Area.pdf>

4. Las directrices de la IAATO se pueden consultar aquí: <https://iaato.org/wp-content/uploads/2020/04/Reducing-waste-visitor-guidelines.pdf>

5. Se presentaron IPs de Bielorrusia (IP 2), Argentina (IP 15), Suiza (IP 44), India (IP 58), Perú (IP 148), Uruguay (IP 170) y la Coalición Antártica y del Sur (IP 140). Si bien el documento de Chile (IP 23) se centra en los desafíos de conservación de la península Fildes en general, menciona la contaminación por plásticos como una de las amenazas que afectan a la zona. Las citas de todos estos IPs se incluyen en la sección de referencias de este artículo.

REFERENCIAS

Allen, S., Allen, D., Baladima, F., Phoenix, V. R., Thomas, J. L., Le Roux, G., & Sonke, J. E. (2021). Evidence of free tropospheric and long-range transport of microplastic at Pic du Midi Observatory.

Nature communications, 12(1), 7242.

Antarctic Treaty Consultative Meeting. (2019). *Resolution 5. Reducing Plastic Pollution in Antarctica and the Southern Ocean*.

Antarctic Treaty Consultative Meeting. (2024). *Final Report of the Forty-sixth Antarctic Treaty Consultative Meeting (Kochi, India, 20–30 May 2024)*. Buenos Aires: Secretariat of the Antarctic Treaty. ISBN 978-987-8929-33-0.

Antarctic Treaty Consultative Meeting. (2025). *Final Report of the Forty-seventh Antarctic Treaty Consultative Meeting (Milan, Italy, 23 June–3 July 2025)*. Buenos Aires: Secretariat of the Antarctic Treaty.

Antarctic Treaty Consultative Meeting. (2025). *Resolution 5. Towards ending plastic pollution in the Antarctic Treaty area*.

Argentina. (2024). *Información sobre la implementación de la Iniciativa Nutec Plastics en el Programa Antártico Argentino (ATCM 46-CEP 26/IP/015)*.

Argentina. (2025). *Information on the implementation of the Nutec Plastics Initiative in the Argentine Antarctic Programme. (ATCM 15-CEP 11/IP/013)*.

ASOC & COLTO. (2018). *Responding to the emerging threat of microplastics in the Southern Ocean (SC-CAMLR-XXXVII/BG/18)*.

ASOC. (2024). *Microplastic pollution in Antarctica: A complex challenge (ATCM 46-CEP 26/IP/140)*. Antarctic and Southern Ocean Coalition.

Aves, A. R., Revell, L. E., Gaw, S., Ruffell, H., Schuddeboom, A., Wotherspoon, N. E., LaRue, M., & McDonald, A. J. (2022). *First evidence of microplastics in Antarctic snow*. *The Cryosphere*, 16(6), 2127–2145. <https://doi.org/10.5194/tc-16-2127-2022>

Barletta, M., & Lima, A. R. A. (2020). *Ten years of microplastic studies in the Southern Hemisphere: Where are we and what next?* *Environmental Science & Technology*, 54(7), 3987–4000. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03441>

Belarus. (2024). *First results on the content of microplastics in soil and freshwater of East Antarctica (ATCM 46-CEP 26/IP/002)*.

Belarus. (2025). *Towards monitoring of microplastics in environments of Antarctic oases. (ATCM 15-CEP 11/IP/005 Rev.1)*.

Bessa, F., et al. (2019). *Microplastics in Gentoo penguins (*Pygoscelis papua*) from the Antarctic region*. *Scientific Reports*, 9(1), 14191. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50621-2>

Bhattacharjee, S., et al. (2024). *Microplastics in internal organs of Antarctic penguins: Evidence of exposure pathways*. *Science of the Total Environment*, 913, 170781. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170781>

Brazil. (2025). *Microplastics Research under the Brazilian Antarctic Program. (ATCM 15-CEP 11/IP/162)*.

Caruso, G., Bergami, E., Singh, N., & Corsi, I. (2022). *Plastic occurrence, sources, and impacts in Antarctic environment and biota*. *Water Biology and Security*, 1, 100034. <https://doi.org/10.1016/j.watbs.2022.100034>

Chile. (2024). *Proposed measures to upgrade the management plan of ASPA No. 125, Fildes Peninsula, King George Island (Isla 25 de Mayo) (ATCM 46-CEP 26/IP/023)*.

Cunningham, E. M., et al. (2020). *High abundances of microplastic pollution in deep-sea sediments: Evidence from Antarctica and the Southern Ocean*. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110776.

<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110776>

Cunningham, M., Seijo, N. R., Altieri, K., Audh, R., Burger, J., Bornman, T., Fawcett, S., Gwinnett, C., Osborne, A., & Woodall, L. (2022). *The transport and fate of microplastic fibres in the Antarctic: The role of multiple global processes*. *Frontiers in Marine Science*, 9, 1056081. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1056081>

da Costa, J. P., Santos, P. S. M., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2020). *The role of legislation, regulatory initiatives, and guidelines on the control of plastic pollution*. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 104. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00104>

Dawson, A. L., Kawaguchi, S., King, C. K., et al. (2018). *Turning microplastics into nanoplastics through digestive fragmentation by Antarctic krill*. *Nature Communications*, 9, 1001. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03465-9>

De la Torre, G. E., et al. (2025). *Plastic pollution in polar marine ecosystems: Accumulation, impacts, and governance challenges*. *Marine Pollution Bulletin*, 195, 116680. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.116680>

Ecuador. (2025). *Contribución del Ecuador al monitoreo de macro y microplásticos en la Antártida: esfuerzos científicos y desafíos emergentes*. (ATCM 15-CEP 11/IP/138).

Fragão, J., Bessa, F., Otero, V., Barbosa, A., Sobral, P., Waluda, C. M., Guimarães, H. R., & Xavier, J. C. (2021). *Microplastics and other anthropogenic particles in Antarctica: Using penguins as biological samplers*. *Science of the Total Environment*, 788, 147698. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147698>

Germany, Italy, Australia, France, Korea (ROK), Monaco, Norway, Poland, Portugal, Spain, Sweden, United Kingdom, SCAR. (2025). *Report of the International SCAR ImPACT/POLEMP Workshop on Monitoring Chemical Pollution in Antarctica*. (ATCM 15-CEP 11/IP/063).

GESAMP (Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). (2015). *Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment* (GESAMP Reports and Studies No. 90).

González-Aravena, M., Rotunno, C., Cárdenas, C. A., Torres, M., Morley, S. A., Hurley, J., Caro-Lara, L., Pozo, K., Galban, C., & Rondon, R. (2024). *Detection of plastic, cellulosic micro-fragments and microfibers in *Laternula elliptica* from King George Island (Maritime Antarctica)*. *Marine Pollution Bulletin*, 201, 116257. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116257>

González-Pleiter, M., Edo, C., Aguilera, Á., Viúdez-Moreno, A., Pulido-Reyes, G., González-Toril, E., Osuna, S., & Rosal, R. (2021). *Micro- and mesoplastics in an Antarctic glacier: Evidence of global environmental contamination*. *The Cryosphere*, 15(6), 2531–2543. <https://doi.org/10.5194/tc-15-2531-2021>

Gurumoorthi, K., & Luis, A. V. (2023). *Ecological risk assessment of microplastics in Antarctic environments: A meta-analysis*. *Marine Pollution Bulletin*, 187, 114903. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114903>

Illuminati, S., et al. (2023). *Atmospheric microplastics in Antarctic air: Revealing current findings*. *Antarctic Science*, 35(2), 135–147. <https://doi.org/10.1017/S0954102023000035>

Illuminati, S., et al. (2024). *Atmospheric deposition of microplastics across coastal Victoria Land, Antarctica*. *Science of the Total Environment*, 912, 170521. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170521>

India. (2024). *Preliminary studies on microplastics from the Indian sector of the Southern Ocean*

(ATCM 46-CEP 26/IP/058).

International Maritime Organization (IMO). (2021). *Strategy to address marine plastic litter from ships (Resolution MEPC.342(77))*. London: IMO.

Isobe, A., Uchiyama-Matsumoto, K., Uchida, K., & Tokai, T. (2017). Microplastics in the Southern Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 114(1), 623–626. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.037>

Jones-Williams, K., Rowlands, E., Primpke, S., Galloway, T., Cole, M., & Manno, C. (2023). Microplastics in remote inland regions of Antarctica. *Science of the Total Environment*, 912, 170545. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.170545>

Karin, M., et al. (2021). Microplastic transport and fate in Antarctic snow: Insights from field observations and modeling. *The Cryosphere*, 15, 2531–2543. <https://doi.org/10.5194/tc-15-2531-2021>

Kelly, A., et al. (2020). Microplastics embedded in Antarctic sea ice cores: A significant sink and secondary source of pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110776. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110776>

Lacerda, A. L. F., Rodrigues, L. S., van Seville, E., & Proietti, M. C. (2019). Plastic pollution in the Antarctic marine system: An emerging area of research. *Science of the Total Environment*, 646, 1363–1379. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.302>

Leistenschneider, C., Wu, F., Primpke, S., Gerds, G., Burkhardt-Holm, P. (2024). Unveiling high concentrations of small microplastics (11–500 μm) in surface water samples from the southern Weddell Sea off Antarctica. *Science of The Total Environment*, 927, 172124. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172124>.

Munari, C., Infantini, V., Scoponi, M., & Rastelli, E. (2017). Microplastics in the sediments of Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica). *Marine Pollution Bulletin*, 122(1–2), 161–165. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.039>

Nagzaam, G., Van Calster, G., Kourabas, S., & Karataeva, E. (2023). *Global plastic pollution and its regulation: History, trends, perspectives*. Edward Elgar Publishing.

Napper, I. E., & Thompson, R. C. (2016). Release of synthetic microplastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. *Marine Pollution Bulletin*, 112(1–2), 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.025>

Netherlands. (2025). *Towards ending plastic pollution in Antarctica*. (ATCM 15-CEP 11/ WP/001).

Obbard, R. W., et al. (2018). Global reach of microplastic pollution in the Arctic and Antarctic cryosphere. *Nature Communications*, 9, 4079. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03465-9>

OECD. (2022). *Global plastics outlook: Economic drivers, environmental impacts and policy options*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/de747aef-en>

Pellegrino, D., La Russa, D., & Barberio, L. (2025). Microplastics in polar environments: Distribution, sources, and impacts. *Environments*, 12(3), 77. <https://doi.org/10.3390/environments12030077>

Peru. (2024). *Contaminación por plásticos en Antártida: Revisión del estado actual del conocimiento* (ATCM 46-CEP 26/IP/148).

Pew Charitable Trusts. (2020). *Breaking the plastic wave: A comprehensive assessment of pathways towards stopping ocean plastic pollution*. Global Plastics Policy Centre. <https://www.pewtrusts.org/en/research-and-analysis/articles/2020/07/23/breaking-the-plastic-wave-top-findings>

Primpke, S., Meyer, B., Falcou-Préfol, M., Schütte, W., & Gerds, G. (2024). *At second glance:*

The importance of strict quality control – A case study on microplastic in the Southern Ocean key species Antarctic krill (Euphausia superba). *Science of the Total Environment*, 918, 170618. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170618>

Rota, E., Bergami, E., Corsi, I., & Bargagli, R. (2022). *Macro- and microplastics in the Antarctic environment: Ongoing assessment and perspectives.* *Environments*, 9(7), 93. <https://doi.org/10.3390/environments9070093>

Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR). (2023). *Plastics in the Antarctic Environment: Summary of knowledge gaps and monitoring needs.* SCAR Plastic Action Group report.

Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR). (2025). *Microplastics in Antarctic deep-sea invertebrates: insights from biological collections.* (CEP 11/IP/143).

Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR). (2025). *Plastic pollution hotspots originating from local sources in the Southern Ocean.* (ATCM 15-CEP 11/IP/153).

Switzerland & Germany. (2025). *Microplastics in the Weddell Sea and Dronning Maud Land Region: Final Results and Conclusions.* (ATCM 46-CEP 26/IP/108).

Switzerland. (2024). *Microplastic pollution in the Weddell Sea and Dronning Maud Land region* (ATCM 46-CEP 26/IP/044).

Taurozzi, D., & Scalici, M. (2024). *Seabirds from the poles: Microplastics pollution sentinels.* *Frontiers in Marine Science*, 11, 1343617. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1343617>

United Kingdom. (2019). *Reducing plastic pollution in Antarctica and the Southern Ocean* (ATCM 42-CEP 22/WP/014).

United Kingdom. (2025). *Reducing plastic pollution associated with Antarctic field operations.* (ATCM 42-CEP 22/WP/033).

United Nations Environment Assembly (UNEA). (2024). *Intergovernmental Negotiating Committee to develop an international legally binding instrument on plastic pollution (including in the marine environment): Report of the fifth session (INC-5), Busan, Republic of Korea.* Nairobi: United Nations Environment Programme.

Uruguay. (2024). *Plastic and microplastic pollution in marine and coastal areas of Fildes Peninsula: A comprehensive diagnosis for one of the main logistic hubs for Antarctica* (ATCM 46-CEP 26/IP/170).

Yang, H., Chen, G., & Wang, J. (2021). *Microplastics in the marine environment: Sources, fates, impacts, and microbial degradation.* *Toxics*, 9(2), 41. <https://doi.org/10.3390/toxics9020041>

Zhang, M., et al. (2020). *Marine plastic pollution in the polar south: Responses from the Antarctic Treaty System.* *Polar Record*, 56, e29. <https://doi.org/10.1017/S0032247420000157>

Zhang, S., Yang, H., Wang, J., Wang, R., Ma, X., Li, J., ... Wang, Q. (2022). *Distribution of microplastics in surface and subsurface waters around Antarctica.* *Science of the Total Environment*, 838, 156051. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156051>

Zhu, W., et al. (2023). *Microplastic contamination in Antarctic fish species: Evidence of trophic transfer.* *Science of the Total Environment*, 888, 163092. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163092>

BACTERIÓFAGOS ANTÁRTICOS. SU PROTAGONISMO ECOLÓGICO Y POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO

Nicolas Antonio Napolitano, Francisco Massot, Cecilia Quiroga,
Walter Mac Cormack y José Luis López

ABSTRACT

Los virus que infectan bacterias (bacteriófagos o fagos) son las entidades biológicas más abundantes de la biosfera. Los fagos son protagonistas centrales en la modulación de las comunidades microbianas y de los ciclos biogeoquímicos. Dos tipos de ciclos biológicos caracterizan a los fagos, el ciclo lítico y el lisogénico. Nuestro estudio se focaliza en el ciclo lisogénico en el que los fagos se integran al genoma de la bacteria. El estudio de los sistemas bacteria-fago en ambientes antárticos es particularmente interesante debido a las condiciones ambientales extremas en la que se da dicha interacción. Bacterias antárticas provenientes de diferentes hábitats fueron estudiadas para conocer sus virus en estado lisogénico. Así Bizionia argentinensis, Rhodococcus spp. cepa ADH y Agreia spp., fueron caracterizadas in silico e in vitro para la presencia de fagos integrados (profagos). Estos profagos contienen un acervo genético cuyo aporte podría ser central en la interacción de la bacteria hospedadora y el ambiente. Por otro lado, algunos de los genes aportados por los profagos (entre otros las endolisinas, enzimas que lisan la pared bacteriana) tienen un uso potencial en biotecnología. Particularmente, estas enzimas adaptadas a funcionar a bajas temperaturas podrían ser usadas en la industria.

PALABRAS CLAVE

Evolución, bacteriófagos, lisogenia, genes de interés, biotecnología, Antártida.

INTRODUCCIÓN

La Antártida constituye uno de los ecosistemas más extremos y menos explorados del planeta, caracterizado por condiciones ambientales únicas que representan un desafío constante para la vida. En este entorno hostil, las comunidades microbianas cumplen funciones críticas en los ciclos biogeoquímicos globales y en el mantenimiento del ecosistema. Entre estos microorganismos, los bacteriófagos emergen como elementos claves en la regulación de las dinámicas microbianas, ejerciendo una influencia determinante en la estructuración de comunidades bacterianas y en los flujos de materia y energía.

¿Que son los bacteriófagos y cuáles son sus principales características biológicas?

Los bacteriófagos, o simplemente fagos, son virus que infectan bacterias. Como cualquier virus, dependen de la maquinaria celular de su hospedador para reproducirse. Son considerados las entidades biológicas más diversas y abundantes de la biosfera (Suttle 2007; Anderson et al. 2011; Paez-Espino et al. 2016; Carroll et al. 2018). Se estima que existen alrededor de 10^{31} partículas de bacteriófagos en la naturaleza, y cada segundo se producen aproximadamente 10^{23} infecciones de fagos a escala mundial (Weitz and Wilhelm 2012). Esto resalta no solo la magnitud de su población, sino también su dinámica y relevancia en distintos ámbitos. Los bacteriófagos juegan un papel crucial en diversos procesos: a) Ecología global: regulan las poblaciones microbianas y afectan los flujos de carbono y nutrientes en los ecosistemas; b) Evolución microbiana: favorecen la diversificación de microorganismos y facilitan la transferencia horizontal de genes; c) Investigación científica: han sido herramientas clave en la biología molecular y en el estudio de las células a nivel molecular; d) Sistema sanitario: se investigan como alternativas para el control de infecciones bacterianas resistentes a los antibióticos (Weitz and Wilhelm 2012; Jamal et al. 2019; Kim et al. 2020). Los bacteriófagos se clasifican según el tipo de genoma que los compone y puede ser de ADN (ácido desoxirribonucleico) o ARN (ácido ribonucleico). La mayoría de los bacteriófagos tienen ADN de doble cadena (ADNdc). Sin embargo, también existen fagos con ADN de cadena simple (ADNsc), ARN de cadena simple (ARNsc) o ARN de doble cadena (ARNdc). Presentan una gran variedad de formas y estructuras. La mayoría carece de envoltura lipídica, aunque algunos, tienen una capa adicional de lípidos. En cuanto a su forma, encontramos fagos sin cola y fagos con estructuras cabeza-cola, que son los más comunes. Estos últimos pueden tener colas largas y contráctiles, colas largas no contráctiles o colas cortas no contráctiles. (Figura 1).

Uno de los hallazgos más fascinantes de los estudios comparativos de los genomas de los bacteriófagos es su naturaleza de mosaico (Gauthier and Hatfull 2024), es decir que tienen segmentos de ADN de distintos orígenes en su genoma. Este fenómeno se explica principalmente por el intercambio horizontal de genes, donde los bacteriófagos comparten su material genético con otros organismos dando lugar a genomas con una mezcla única de genes y contribuyendo de manera notable con su evolución y diversidad (Hatfull and Hendrix, 2011).

Los ciclos biológicos de los bacteriófagos

Los bacteriófagos tienen dos estrategias principales para multiplicarse: el ciclo lítico y el ciclo

BACTERIÓFAGOS ANTÁRTICOS. SU PROTAGONISMO ECOLÓGICO Y POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO

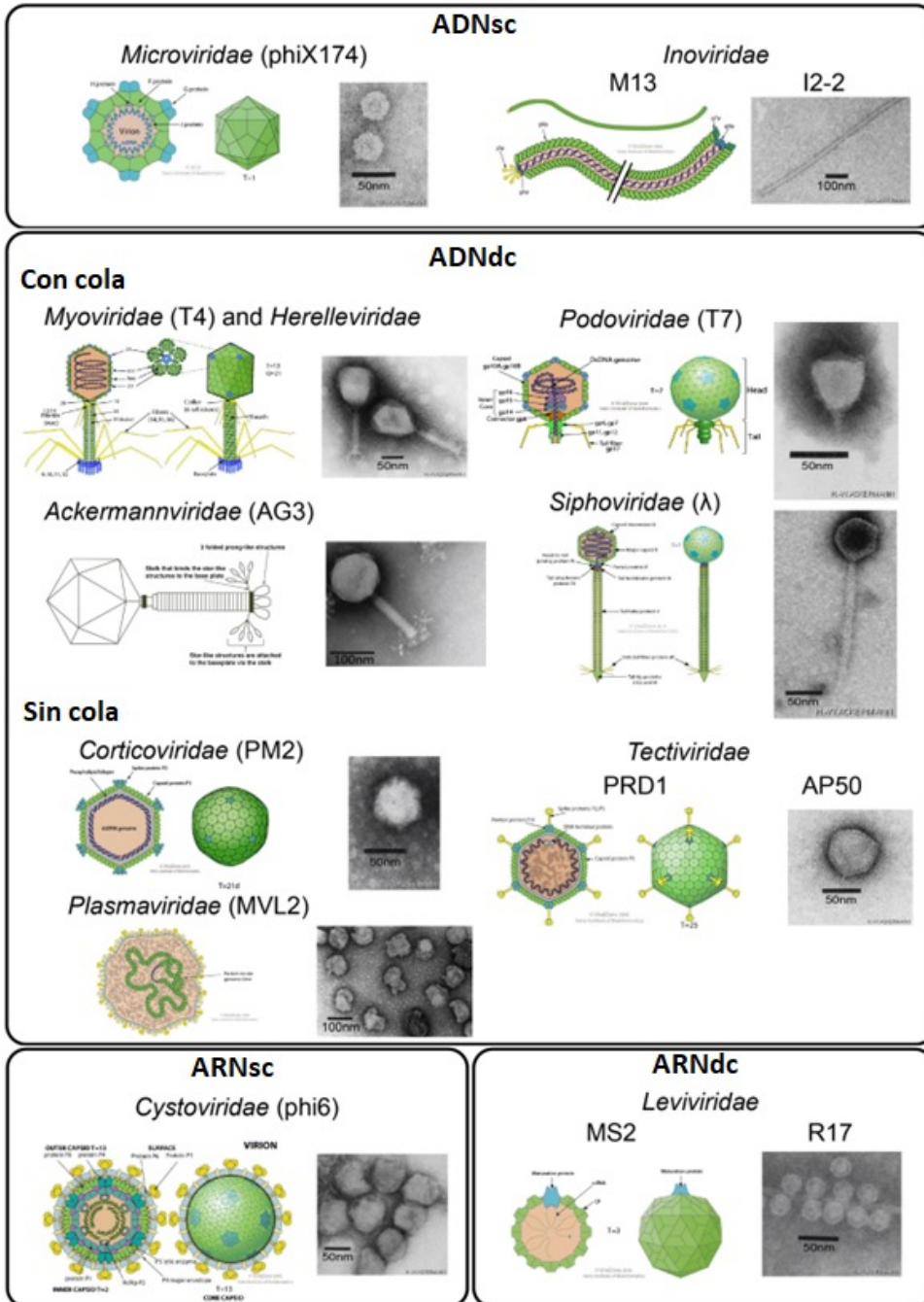


Figura 1. Clasificación de bacteriófagos basado en tipo de genoma y morfología. La barra indica la escala de tamaños (Dion et al. 2020).

lisogénico (Mavrich and Hatfull 2017). En el ciclo lítico, el fago infecta a la bacteria y utiliza su maquinaria celular para reproducir su propio genoma y fabricar nuevas partículas virales. Al finalizar este proceso, la célula bacteriana se rompe (lisis), liberando los nuevos fagos que podrán infectar otras bacterias evolutivamente relacionadas. Este ciclo es característico de los fagos virulentos, que provocan lisis y matan a la célula hospedadora. En el ciclo lisogénico, posteriormente a la infección, el genoma del fago se integra en el ADN de la bacteria. En su forma integrada al cromosoma bacteriano, el fago se lo identifica como profago. En esta etapa, el genoma viral puede ser transmitido verticalmente (de células parentales a células hijas) a las generaciones posteriores de la bacteria. Bajo ciertas condiciones ambientales, que pueden estresar a la célula bacteriana, el profago puede activarse, liberarse del genoma bacteriano y reiniciar en el ciclo lítico. Este proceso se conoce como inducción y marca el inicio del ciclo lítico. Se denominan fagos temperados a aquellos que tienen la capacidad de alternar entre ambos ciclos. La lisogenia es un proceso en el que el genoma del bacteriófago se integra al genoma de la bacteria hospedadora, permitiendo su coexistencia sin destruir la célula bacteriana. Este estado ofrece ventajas significativas tanto para el virus como para la bacteria. Por un lado, el fago asegura su supervivencia en condiciones adversas, como cuando hay una baja densidad de bacterias susceptibles, y garantiza su propagación a través de la replicación vertical junto con el ADN bacteriano. Por otro lado, la bacteria puede beneficiarse de la conversión lisogénica, adquiriendo nuevas características derivadas de los genes del profago. Estos pueden incluir genes que codifican toxinas, como la toxina colérica de *Vibrio cholerae*, la toxina diftérica de *Corynebacterium diphtheriae* o la toxina Shiga de *Escherichia coli* O157:H7 (todos ejemplos de gran trascendencia clínico-patológica). Asimismo, los genes del profago pueden conferir resistencia a antibióticos o modificar estructuras bacterianas, como la pared celular o proteínas de superficie, haciendo a la bacteria menos detectable por el sistema inmune de humanos o animales durante un proceso infeccioso o más resistente a otros fagos. Funcionan como un reservorio de genes móviles, facilitando su transferencia horizontal y promoviendo la evolución microbiana.

Sistemas de defensa bacterianos contra la infección por bacteriófagos

Las bacterias han desarrollado una variedad de sistemas de defensa para protegerse de la infección por bacteriófagos, que incluyen mecanismos físicos, químicos y genéticos. Estos sistemas representan una especie de “carrera armamentista evolutiva” entre bacterias y fagos. A continuación, se describen los principales mecanismos de defensa bacterianos: a) barreras físicas como la modificación de receptores de superficie; b) sistemas de inmunidad innata como el sistema de Restricción y Modificación de ADN o el sistema Toxinas-Antitoxinas; c) sistemas de inmunidad adaptativa como el sistema CRISPR-Cas; d) Sistemas de defensa abortiva como el sistema Abi (Wang et al. 2010; Makarova et al. 2011; Shi et al. 2020; Payne et al. 2021; Tesson et al. 2024).

Aunque las bacterias cuentan con múltiples mecanismos de defensa para protegerse de los bacteriófagos, en ocasiones estos virus logran inyectar su material genético en ellas. Esto ocurre gracias a la capacidad de los fagos para evolucionar y adaptarse, desarrollando estrategias que les permiten esquivar o neutralizar dichas defensas.

EXPLORANDO A LOS BACTERIÓFAGOS ANTÁRTICOS

Metodología de estudio

El área de Virología del grupo de Microbiología del Instituto Antártico Argentino (IAA) desarrolla investigaciones sobre los mecanismos de coevolución virus-hospedador en sistemas bacteriófagos-bacteria, con especial énfasis en el estudio de profagos integrados en el genoma de bacterias antárticas aisladas de ambientes extremos (suelos, aguas continentales y marinas). Nuestro proyecto tiene como objetivos principales: (1) la caracterización genómica y funcional de estos elementos virales, con particular atención a su rol en los procesos adaptativos y evolutivos de sus hospedadores bacterianos; y (2) la evaluación de su potencial biotecnológico. Complementariamente, mediante análisis genómicos comparativos, investigamos los mecanismos moleculares involucrados en la adquisición de elementos genéticos móviles, los patrones de integración de profagos y los sistemas de defensa bacterianos contra infecciones virales (Figura 1).

Estudio del estado lisogénico de *Bizionia argentinensis*

Bizionia argentinensis JUB59, es una bacteria psicotolerante (toleran el crecimiento a bajas temperaturas) aislada de las aguas marinas superficiales de Caleta Potter, Base Carlini, Antártida Argentina (Bercovich et al. 2008) (Figura 2).

Esta bacteria contiene un profago que la parasita. Fue aislada y secuenciada íntegramente en Argentina como parte del proyecto Genoma Blanco, un proyecto interinstitucional público-privado del que participó el Instituto Antártico Argentino y la Dirección Nacional del Antártico (código de acceso a la base de datos genéticos: AFXZ01000000). Dentro de este proyecto se expresaron y caracterizaron estructuralmente diferentes proteínas de función desconocida. Entre ellas, se caracterizó la estructura cristalina de C24, una proteína estructural genéticamente homóloga a la fibra de la cola de un fago. Mediante la inducción con Mitomicina C, se pudo demostrar que la proteína C24 era una proteína estructural de un profago inducible (Pellizza et al. 2020) (Figura 4).

El análisis bioinformático de los sistemas de defensa presentes en *B. argentinensis* permitió identificar varios sistemas de inmunidad innata (Restricción y Modificación, retron, pycar y DMS). Además,



Figura 2. Ubicación geográfica donde se realizaron los estudios, Antártida Argentina, Caleta Potter, Base Carlini.

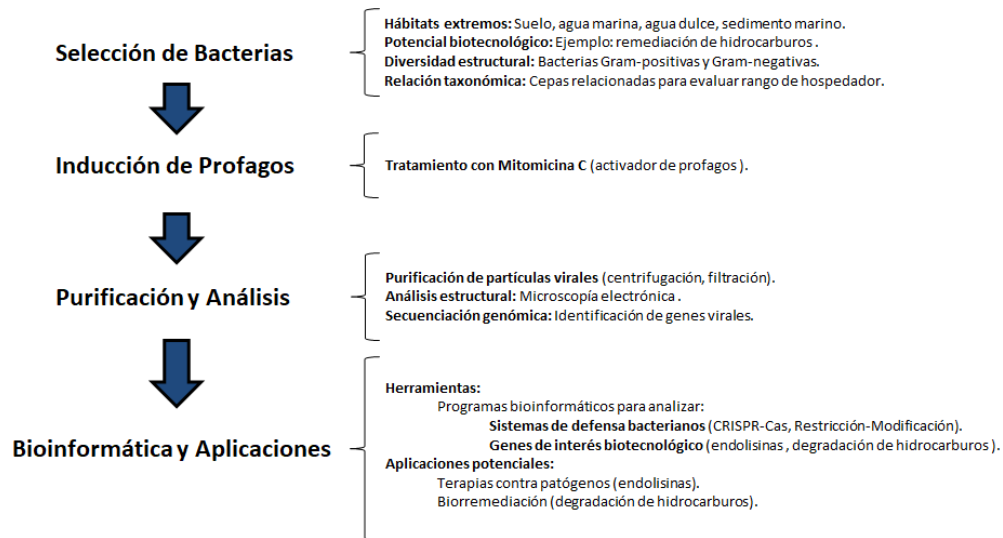


Figura 3. Metodología de estudio del área de virología del Instituto Antártico Argentino (IAA).

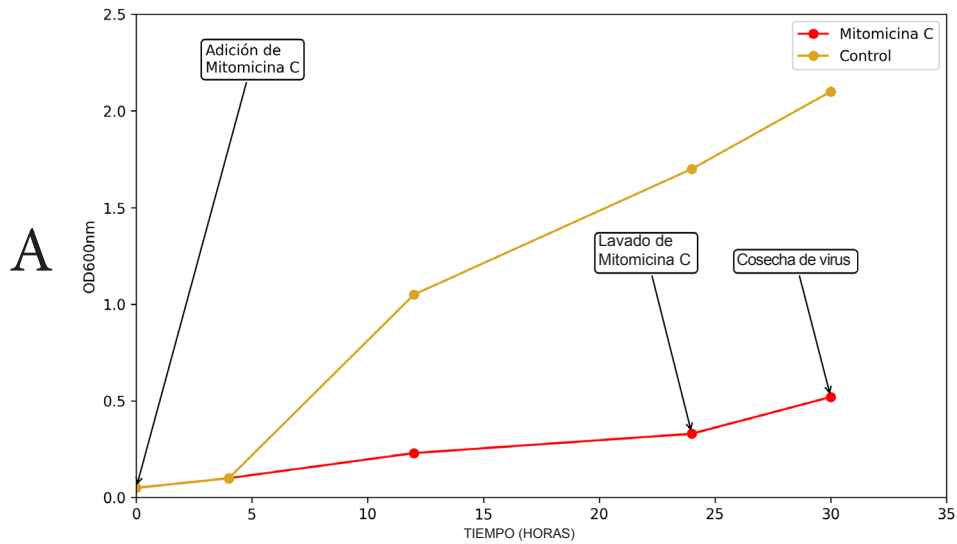
se identificó mediante estudios *in silico* una posible endolisina con actividad peptidasa a la que hemos denominado EndoBap (Endolysin of *Bizionia argentinensis* prophage). El análisis funcional y estructural de este sistema de lisis no solo ampliará nuestro conocimiento básico sobre estos mecanismos, sino que también abrirá nuevas posibilidades para el uso biotecnológico de endolisinas en aplicaciones clínicas e industriales.

Estudio del estado lisogénico de *Rhodococcus* sp. cepa ADH

Rhodococcus sp. cepa ADH es una bacteria psicotolerante degradadora de hidrocarburos aislada de un suelo cercano a la base Carlini, Antártida, contaminado con combustibles derivados del petróleo (Ruberto et al. 2005). Mediante la inducción con Mitomicina C, se pudo demostrar la existencia de un profago inducible en la bacteria. El genoma de bacteria fue secuenciado (nro de acceso). El análisis de los sistemas de defensa presentes en la bacteria permitió identificar varios sistemas de inmunidad innata (Restricción y Modificación, Wadjet y DISARM), un sistema de inmunidad adaptativa (CRISPR-Cas tipo IVB) y un sistema de defensa abortiva (Abi). (Figura 4).

Estudio del estado lisogénico en bacterias antárticas endofíticas

Las bacterias endofíticas *Agreia* sp. CGGE2_1 y *Agreia* sp. CGGE2_18, que habitan en la rizosfera de *Deschampsia antarctica*, una planta emblemática de la Antártida, fueron también objeto de estudio para la identificación de profagos. Sus respectivos genomas fueron secuenciados y se determinó la presencia de profagos y sistemas de defensa (nros de acceso). En *Agreia* sp. CGGE2_1, se detectó un



B

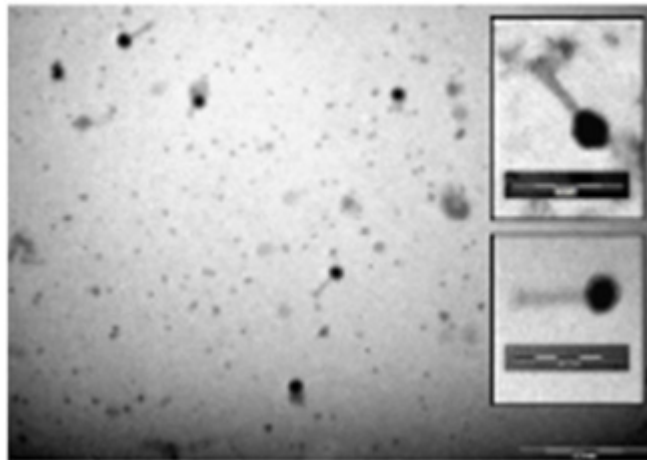


Figura 4. A) Inducción de un cultivo de *Bizionia argentinensis* JUB59. Cultivos bacterianos en medio líquido fueron realizados en paralelo con y sin tratamiento con Mitomicina C. La DO_{600nm} es una medida de la interferencia de un haz de luz y mide directamente la turbidez del cultivo (la turbidez es directamente proporcional a la cantidad de bacterias en el cultivo). La disminución de la turbidez del cultivo (menor DO_{600nm} , figura 4A) constituyó un indicio preliminar de la ruptura bacteriana por acción de los fagos liberados. B) Imagen al microscopio electrónico obtenida por tinción negativa con ácido fosfotungstico del concentrado de fagos provenientes de los cultivos tratados con Mitomicina C. La imagen al microscopio electrónico constituye una fuerte evidencia de la inducción de un profago a partir del genoma bacteriano.

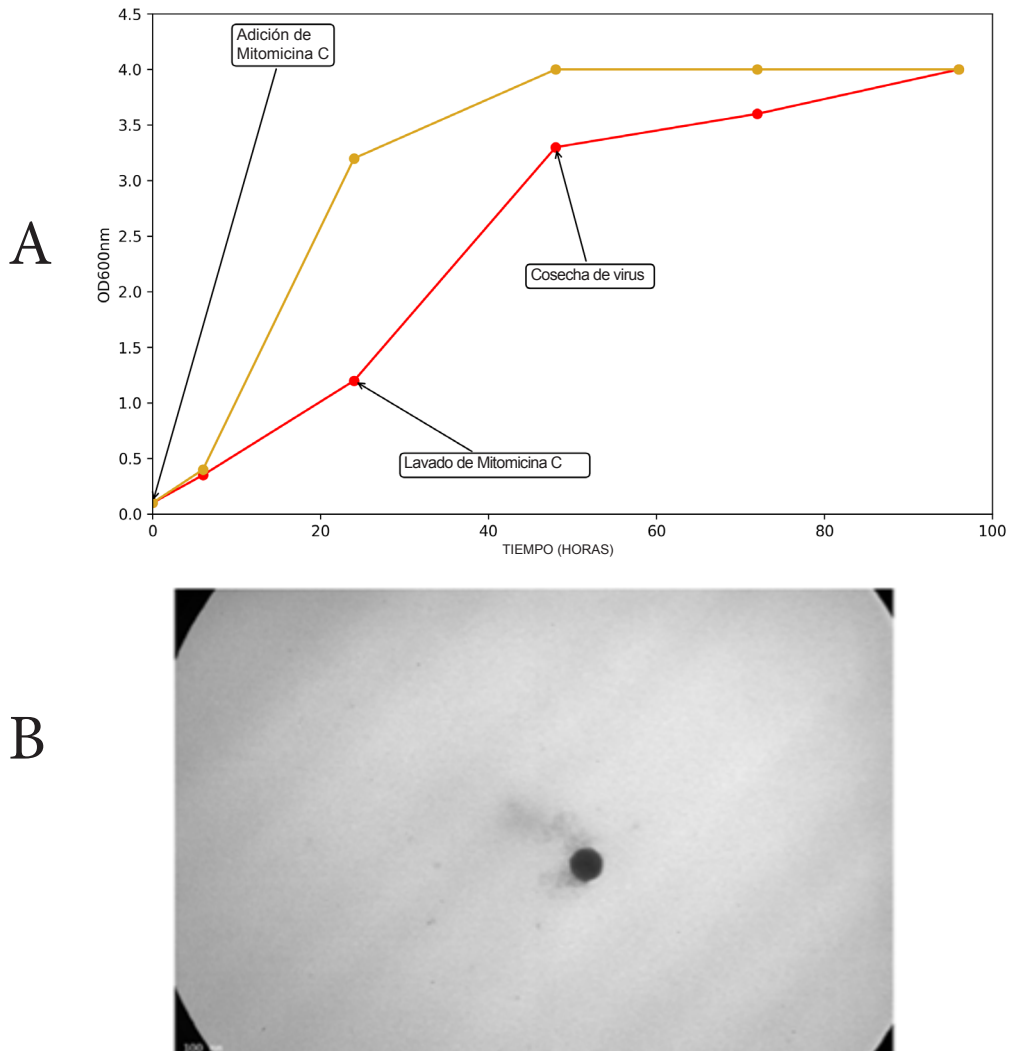


Figura 5. A) Inducción de un cultivo de *Rhodococcus* sp. cepa ADH. Cultivos bacterianos en medio líquido fueron realizados en paralelo con y sin tratamiento con Mitomicina C. La DO600nm es una medida de la interferencia de un haz de luz y mide directamente la turbidez del cultivo (la turbidez es directamente proporcional a la cantidad de bacterias en el cultivo. La disminución de la turbidez del cultivo (menor DO600nm, figura 5A y 5B) constituyo un indicio preliminar de la ruptura bacteriana por acción de los fagos liberados (comparar curva en rojo versus la curva en color amarillo). B) Imagen al microscopio electrónico obtenida por tinción negativa con ácido fosfotungstico del concentrado de fagos provenientes de los cultivos tratados con Mitomicina C. La imagen al microscopio electrónico constituye una fuerte evidencia de la inducción de un profago a partir del genoma bacteriano.

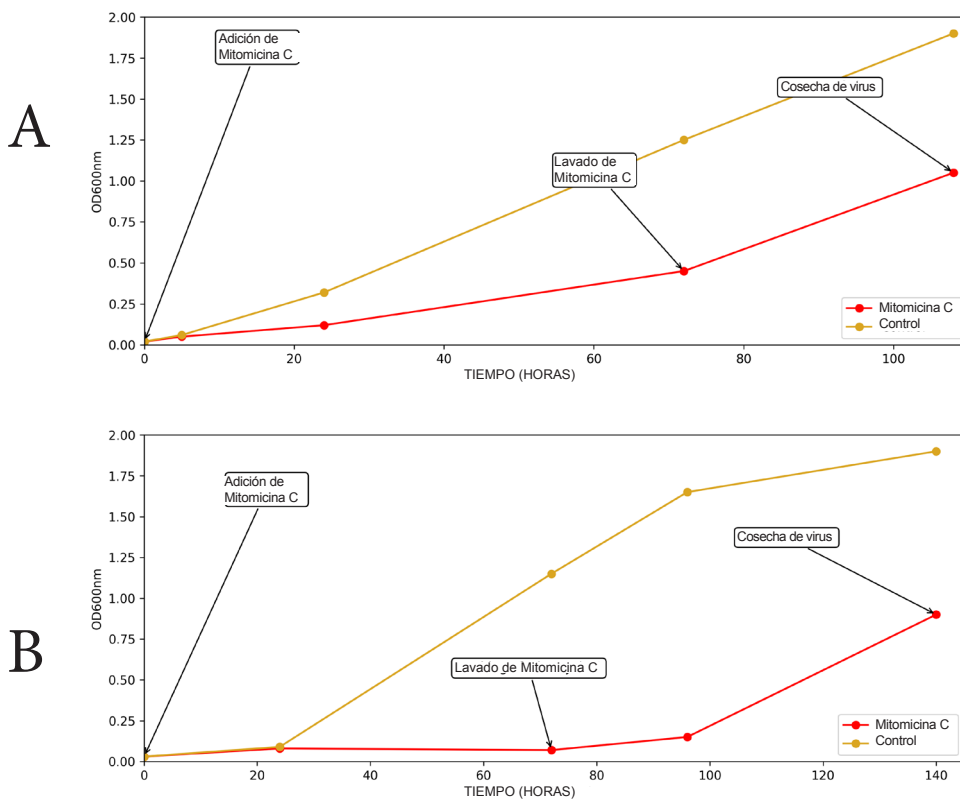


Figura 6. A) Inducción de cultivos de *Agreia* sp. CGGE2_1 B) Inducción *Agreia* sp. CGGE2_18. Cultivos bacterianos en medio líquido fueron realizados en paralelo con y sin tratamiento con Mitomicina C. La DO600nm es una medida de la interferencia de un haz de luz y mide directamente la turbidez del cultivo (la turbidez es directamente proporcional a la cantidad de bacterias en el cultivo). La disminución de la turbidez del cultivo (menor DO600nm, figura 6^a y 6B) constituyó un indicio preliminar de la ruptura bacteriana por acción de los fagos liberados (comparar curva en rojo versus la curva en color amarillo). La imagen al microscopio electrónico constituye una fuerte evidencia de la inducción de un profago a partir del genoma bacteriano.

profago tras la inducción con Mitomicina C; mientras que en *Agreia* sp. CGGE2_18 se identificó otro profago, también inducido por este método, perteneciente a la familia Vilmaviridae. Además, ambas bacterias exhibieron diversos sistemas de defensa. En *Agreia* sp. CGGE2_1, se identificaron los sistemas de inmunidad innata DMS, retrón y Restricción y Modificación; mientras que en *Agreia* sp. CGGE2_18 se detectaron dXTPase, Restricción Modificación y retrón (Figura 6A y 6B).

El análisis bioinformático detallado del contenido genético de los profagos reveló que aproximadamente el 25% de los genes estaban relacionados con funciones estructurales y de replicación viral (Hit viral

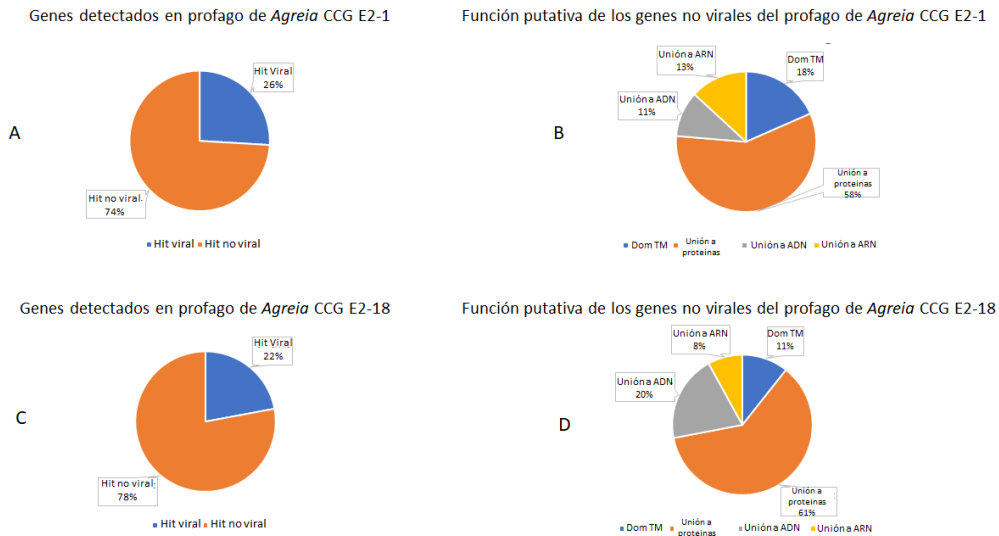


Figura 7. A) Genes presentes en el profago de *Agreia* sp. CGGE2_1. B) Función putativa de genes no virales presentes en el profago de *Agreia* sp. CGGE2_1. C) Genes presentes en el profago de *Agreia* sp. CGGE2_18. D) Función putativa de genes no virales presentes en el profago de *Agreia* sp. CGGE2_18.

en el gráfico de torta). El 75% restante (Hit no viral) fueron genes metabólicos auxiliares que podrían modular al metabolismo del hospedador. Esto sugiere que los profagos pueden tener un impacto significativo en la fisiología de la célula bacteriana. Las proteínas codificadas tendrían funciones que incluirían la unión a proteínas, unión a ácidos nucleicos (ADN y ARN), así como la presencia de dominios transmembrana (Dom TM). Estos dominios de transmembrana cuando están ubicados en el extremo amino terminal de la proteína constituyen una señal molecular que permite la secreción fuera de la célula (Figura 7A y 7B). Esas proteínas extracelulares codificadas por el genoma viral salen fuera de la bacteria lisógena e impactarían la fisiología de la raíz de la planta.

CONCLUSIONES

Los resultados de estos estudios aportan evidencias preliminares sobre la coevolución entre profagos y bacterias antárticas, su adaptación en ambientes extremos y su potencial biotecnológico. Las bacterias estudiadas, provenientes de hábitats antárticos diversos, revelan cómo los profagos no solo desempeñan un papel crucial en la evolución de sus hospedadores, sino también en la diversificación de sus estrategias de defensa. El análisis de los sistemas de defensa de las bacterias antárticas muestra una notable variedad de sistemas inmunes innatos, adquiridos y abortivos, los cuales la protegen contra la invasión viral.

Los genes identificados, como la endolisina EndoBap de *B. argentinensis*, representan prometedoras herramientas biotecnológicas con aplicaciones específicas en ambientes fríos. Este hallazgo se contextualiza dentro del creciente uso industrial de sistemas bacteriófagos, donde endolisinas como la CF-301 (Exebacase) contra MRSA, y formulaciones como ListShield™ y SalmoFresh® se emplean en el control de *Listeria* spp. Y *Salmonella* spp. en la industria alimentaria. Las endolisinas y proteasas derivadas de profagos tienen aplicaciones potenciales en la lucha contra bacterias patógenas y en procesos industriales, especialmente en sectores donde la estabilidad a bajas temperaturas es crucial. El descubrimiento de que cerca del 75% de los genes de los profagos identificados en *Agreia* sp. CGGE2_1 y *Agreia* sp. CGGE2_18 corresponden a genes metabólicos auxiliares sugiere que estos podrían modular procesos celulares esenciales en el hospedador, impactando en su fisiología y capacidad de adaptación. Las funciones predichas más comunes, como la unión a proteínas, ADN y ARN sugieren que los profagos pueden actuar como moduladores de la expresión génica (proteínas que se unen a ADN y ARN), del metabolismo celular (proteínas que se unen a otras proteínas), del transporte de moléculas o en la señalización celular. La identificación de estos dominios proteicos refuerza la hipótesis de que la lisogenia modula la coevolución entre virus y bacterias.

Este estudio no solo amplía nuestro entendimiento sobre la biología de los profagos y sus hospedadores en ambientes extremos, sino que también destaca el valor de estos microorganismos como recursos biotecnológicos. En conjunto, los resultados no solo resaltan la biodiversidad genética y funcional de los microorganismos antárticos, sino también su relevancia como modelo para comprender la evolución en ambientes extremos y como fuente de soluciones innovadoras para desafíos globales. Entre las cuales se destacan:

- 1) El uso de profagos antárticos como alternativa prometedora contra el aumento de la resistencia a antibióticos -declarada por la OMS como una de las mayores amenazas a la salud.
- 2) El desarrollo de estrategias de biorremediación adaptadas a ecosistemas fríos para enfrentar el cambio climático y la contaminación ambiental.
- 3) Nuevos métodos de conservación natural de alimentos y procesos industriales más sostenibles que benefician la seguridad alimentaria global.

Finalmente, estos hallazgos tienen una gran relevancia en el marco del Sistema del Tratado Antártico. En primer término, corroboran el estatus de la Antártida como laboratorio natural para la investigación científica de vanguardia, conforme a lo establecido en el Artículo II del Tratado Antártico. En segundo lugar, demuestran cómo los estudios antárticos pueden traducirse en aplicaciones tecnológicas con alcance global, en consonancia con los principios de protección ambiental contemplados en el Protocolo de Madrid.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

NAN y JLL trabajaron en la producción y análisis de los resultados descriptos en este trabajo. Los cinco autores contribuyeron en la escritura y edición del manuscrito. NAN es el autor correspondiente.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Antártico Argentino (IAA), Dirección Nacional del Antártico (DNA), Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto por fomentar y apoyar la investigación antártica. A la Universidad de Buenos Aires por apoyar nuestra tarea docente, de extensión y de investigación científica. Al CONICET y la ANPCYT por la financiación de este trabajo.

DESCARGO DE RESPONSABILIDAD

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

REFERENCIAS

- Anderson B, Rashid MH, Carter C, et al (2011) Enumeration of bacteriophage particles. *Bacteriophage* 1:86–93. <https://doi.org/10.4161/bact.1.2.15456>
- Bercovich A, Vazquez SC, Yankilevich P, et al (2008) *Bizionia argentinensis* sp. nov., isolated from surface marine water in Antarctica. *Int J Syst Evol Microbiol* 58:2363–2367. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.65599-0>
- Carroll D, Daszak P, Wolfe ND, et al (2018) The Global Virome Project. *Science* (80-) 359:872–874. <https://doi.org/10.1126/science.aap7463>
- Chen M, Zhang L, Xin S, et al (2017) Inducible prophage mutant of *Escherichia coli* can lyse new host and the key sites of receptor recognition identification. *Front Microbiol* 8:1–13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00147>
- Dion MB, Oechslein F, Moineau S. (2020). Phage diversity, genomics and phylogeny. *Nat Rev Microbiol Mar*;18(3):125–138. doi: 10.1038/s41579-019-0311-5.
- MMSeqs, Phamerator, pdm_utils, PhagesDB, DEPhT, and PhamClust. *Viruses* 16:. <https://doi.org/10.3390/v16081278>
- Hatfull GF1, Hendrix RW (2011) Bacteriophages and their genomes. *Curr Opin Virol*.1(4):298–303. doi: 10.1016/j.coviro.2011.06.009.
- Jamal M, Bukhari SMAUS, Andleeb S, et al (2019) Bacteriophages: an overview of the control strategies against multiple bacterial infections in different fields. *J Basic Microbiol* 59:123–133. <https://doi.org/10.1002/jobm.201800412>
- Kim S, Lee D, Jin J, Kim J (2020) Journal of Global Antimicrobial Resistance Antimicrobial activity of LysSS, a novel phage endolysin, against *Acinetobacter baumannii* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Integr Med Res* 22:32–39. <https://doi.org/10.1016/j.jgar.2020.01.005>
- Makarova KS, Wolf YI, Snir S, Koonin E V. (2011) Defense Islands in Bacterial and Archaeal Genomes and Prediction of Novel Defense Systems. *J Bacteriol* 193:6039–6056. <https://doi.org/10.1128/JB.05535-11>
- Mavrich TN, Hatfull GF (2017) Bacteriophage evolution differs by host, lifestyle and genome. *Nat Microbiol* 2:1–9. <https://doi.org/10.1038/nmicrobiol.2017.112>
- Paez-Espino D, Eloie-Fadros EA, Pavlopoulos GA, et al (2016) Uncovering Earth's virome. *Nature* 536:425–430. <https://doi.org/10.1038/nature19094>

Payne LJ, Todeschini TC, Wu Y, et al (2021) Identification and classification of antiviral defence systems in bacteria and archaea with PADLOC reveals new system types. *Nucleic Acids Res* 49:10868–10878. <https://doi.org/10.1093/nar/gkab883>

Pellizza L, López JL, Vázquez S, et al (2020) Structure of the putative long tail fiber receptor-binding tip of a novel temperate bacteriophage from the Antarctic bacterium *Bizionia argentinensis* JUB59. *J Struct Biol* 212:107595. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsb.2020.107595>

-Ruberto LAM, Vazquez S, Lobalbo A, Mac Cormack WP (2005) Psychrotolerant hydrocarbon-degrading *Rhodococcus* strains isolated from polluted Antarctic soils. *Antarct Sci* 17:47–56. <https://doi.org/10.1017/S0954102005002415>

Shi K, Oakland JT, Kurniawan F, et al (2020) Structural basis of superinfection exclusion by bacteriophage T4 Spackle. *Commun Biol* 3. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-01412-3>

Suttle CA (2007) Marine viruses--major players in the global ecosystem. *Nat Rev Microbiol* 5:801–12. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1750>

Tesson F, Huiting E, Wei L, et al (2024) Exploring the diversity of anti-defense systems across prokaryotes, phages, and mobile genetic elements. *bioRxiv* 2024.08.21.608784

Wang X, Kim Y, Ma Q, et al (2010) Cryptic prophages help bacteria cope with adverse environments. *Nat Commun* 1:147–149. <https://doi.org/10.1038/ncomms1146>

Weitz JS, Wilhelm SW (2012) Ocean viruses and their effects on microbial communities and biogeochemical cycles. *F1000 Biol Rep* 4:2–9. <https://doi.org/10.3410/B4-17>

EDUCACIÓN Y DIFUSIÓN DE LA CIENCIA ANTÁRTICA MEDIANTE SEMINARIOS WEB

Francyne Elias-Piera, Juliana Souza-Kasprzyk, Elaine Alves dos Santos, Cristiane Fonseca Caetano da Silva, Maria Jimena Cruz, Elisa Seyboth, Rodrigo Paidano Alves, Sandra Freiberger-Affonso y Sílvia Dotta

ABSTRACT

El Comité Nacional Brasileño de la Asociación de Científicos Polares en Iniciación a la Carrera (APECS-Brasil) desarrolló una serie de seminarios web mensuales entre diciembre de 2018 y abril de 2020 como estrategia para promover la divulgación de la ciencia antártica en todo Brasil. Todos los autores formaron parte de la junta directiva de APECS-Brasil durante este período y contribuyeron activamente a estas iniciativas. Este estudio evalúa cómo estos seminarios web contribuyeron a comunicar la ciencia antártica a públicos diversos en un país geográficamente extenso y socialmente desigual. Analizamos tres dimensiones: alcance (diversidad geográfica y demográfica), accesibilidad (participación a pesar de las limitaciones estructurales) y heterogeneidad (diversidad de temas científicos). Nuestros resultados muestran que los seminarios web llegaron a todos los estados brasileños y atrajeron principalmente a estudiantes, docentes y profesionales en iniciación a la carrera. La participación fue mayor en los estados con grupos de investigación polar existentes, mientras que el acceso digital limitado afectó la participación en áreas remotas. A pesar de estos desafíos, los seminarios web demostraron ser una herramienta eficaz y económica para difundir la ciencia polar, atraer a nuevos públicos e inspirar interés en los problemas ambientales globales. Este estudio de caso destaca la importancia de las herramientas de divulgación digital para promover la comunicación científica en el Sur Global, especialmente cuando se apoyan en prácticas inclusivas y redes institucionales. La experiencia de APECS-Brasil ofrece valiosas perspectivas para futuros programas que buscan ampliar el acceso al conocimiento polar mediante estrategias en línea escalables.

PALABRAS CLAVE

Investigación antártica, comunicación digital, divulgación científica, seminarios web, participación en línea.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el campo de las ciencias de la información y las tecnologías de la comunicación ha experimentado un crecimiento considerable (Qiang y Pitt, 2004) y se han desarrollado nuevas herramientas para recursos educativos en línea (Cook y Grant-Davis, 2005). Junto con esto, el mayor acceso a la tecnología digital (p. ej., teléfonos inteligentes, computadoras, tabletas, entre otros) por parte del público general ha potenciado el poder de estas herramientas de comunicación digital.

Este desarrollo tecnológico ha brindado a los investigadores una amplia gama de nuevas posibilidades para difundir sus hallazgos e interactuar con estudiantes y entusiastas de la materia, por ejemplo, a través de las redes sociales. También ha permitido el desarrollo de una nueva relación entre la ciencia y la sociedad, así como una revisión de las metodologías de enseñanza utilizadas durante tanto tiempo.

Para aprovechar al máximo la experiencia, los seminarios web pueden realizarse de dos maneras: sincrónicas o asincrónicas. En la comunicación asincrónica, el agente de comunicación y los participantes tienen la libertad de estar en diferentes ubicaciones en cualquier momento (en cualquier lugar y a cualquier hora). En la comunicación sincrónica, estos agentes y los participantes pueden estar en cualquier lugar, pero todos estarán conectados simultáneamente (en cualquier lugar y en tiempo real). La sincronicidad y la interacción son grandes ventajas durante los eventos en línea, ya que permiten al grupo interactuar en tiempo real independientemente del número de participantes.

Elegir el tipo de comunicación con cuidado es vital para que el evento fluya con fluidez y genere una alta participación. La interacción entre los participantes puede enriquecer el contenido y aportar información valiosa a la clase o seminario web. Por otro lado, exigir que todos participen en el evento a una hora específica puede reducir las inscripciones debido a la falta de disponibilidad o incluso a las diferentes zonas horarias. Este problema se puede mitigar con una simple grabación del evento en línea.

Aprovechar todos los recursos tecnológicos posibles proporciona una comunicación sincrónica dinámica y una interacción en línea entre los investigadores y el público interesado en sus experiencias (Rich et al., 2011). Se realizan a través de una plataforma virtual que permite la participación simultánea de estudiantes e investigadores (Pan y Sullivan, 2005) y puede utilizarse para difundir información en tiempo real y con retroalimentación inmediata del público (Rich et al., 2011). Los seminarios web permiten la interacción entre profesores y estudiantes, así como entre los propios estudiantes (Lobel et al., 2002); es decir, los estudiantes pueden comunicarse simultáneamente entre sí mediante las herramientas disponibles, como las salas de chat (Mihai, 2014). Los seminarios web pueden generar una comunidad más conectada globalmente, acercándose a la audiencia y a los investigadores gracias a su eficiencia en el uso del tiempo. Gracias a su existencia intrínseca en línea, no es necesario que las personas se desplacen (Rich et al., 2011). Según Hamstra et al. (2011), la combinación de seminarios web y la tecnología de blogs puede ofrecer numerosos beneficios a los estudiantes. Gracias a la drástica reducción de gastos de viaje, desplazamiento y alojamiento, las universidades e institutos pueden integrar a ponentes y participantes en un formato similar al de las presentaciones presenciales tradicionales. Todo ello sin comprometer el contenido ni la interacción.

Esto se debe no solo a su asequibilidad, sino también a que los seminarios web ofrecen la posibilidad de asistir a la sesión desde el domicilio o lugar de trabajo de cada persona (Wang y Hsu, 2008).

No obstante, para que los seminarios web se lleven a cabo con el máximo potencial y eficiencia, se deben considerar algunas condiciones: la labor de un comité o equipo organizador dedicado, el establecimiento de un tema claro para el webinar, la selección de una plataforma en línea adecuada, la correcta divulgación del evento y la participación de ponentes con experiencia (Parija y Shanmuganathan, 2019). Si bien el concepto de seminario web fue introducido por primera vez en 1998 por Eric R. Korb (2000) y ha aumentado desde entonces, existen pocos estudios sobre divulgación científica (p. ej., Wang y Hsu, 2008; Zhang et al., 2006; Nagy et al., 2006; Dotta et al., 2014; Gupta y Sengupta, 2021).

Considerando las ventajas de las clases virtuales, el Comité Brasileño de la Asociación de Científicos Polares en Iniciación Profesional (APECS-Brasil) ha promovido un entorno de enseñanza-aprendizaje accesible sobre ciencias antárticas y el intercambio de experiencias entre investigadores, educadores y el público interesado en el tema.

APECS es una organización internacional y transdisciplinaria con comités nacionales en más de 30 países (APECS, 2021). APECS-Brasil inició sus actividades de divulgación científica polar en 2008. Actualmente, es uno de los comités nacionales más destacados de APECS, y realiza diversas actividades científicas, educativas y de divulgación sobre ciencia polar, especialmente ciencia antártica, dirigidas a estudiantes y docentes de los más diversos niveles educativos. A partir de la experiencia de APECS-Brasil, este artículo busca analizar la eficacia de las alternativas y enfoques para la divulgación de la ciencia antártica al público en general.

MATERIALES Y MÉTODOS

APECS-Brasil organizó mensualmente seminarios web de carácter científico-educativo desde diciembre de 2018 hasta abril de 2020 a través de la plataforma GoBrunch (gobrunch.com), con un total de dieciséis eventos. GoBrunch es una plataforma gratuita de seminarios web que simula un entorno físico, permitiendo a los usuarios elegir su lugar virtual entre el público (Material Suplementario - Figura S1). La mayoría de los seminarios web grabados (aquellos con formularios de consentimiento firmados) están disponibles en el canal de YouTube de APECS-Brasil (<http://www.youtube.com/APECSBRASIL>).

Cada seminario web contó con un ponente, principalmente del consejo de APECS-Brasil, que presentó actividades de investigación o divulgación relacionadas con la Antártida. Los temas incluyeron biología, mujeres en la Antártida, palinología, polvo mineral, gobernanza, arqueología, educación científica y más (Material Suplementario - Tabla S1). Las reuniones duraron aproximadamente una hora, con 15 minutos asignados para preguntas del público (celebradas por la tarde, GMT -3). Los seminarios web se anunciaron a través de las cuentas de Facebook ([/APECSBrasil](https://www.facebook.com/APECSBrasil)), Instagram ([/apecs_brasil](https://www.instagram.com/apecs_brasil)) y correo electrónico de APECS-Brasil. Para participar, era necesario registrarse previamente a través de Formularios de Google (Material Suplementario - Figura S2), disponibles

hasta tres semanas antes del evento.

El formulario de registro recogió datos abiertos como nombre, edad, región, ocupación y afiliación institucional. Esta información se recopiló y analizó cuantitativamente para caracterizar tanto al público alcanzado (inscritos) como al público comprometido (asistentes). Se enviaron encuestas de retroalimentación posteriores al evento (Material Suplementario - Figura S3) a todos los participantes y se entregaron certificados.

Tres categorías analíticas guiaron nuestro enfoque:

1. Alcance: definido como la amplitud y diversidad de los participantes (por geografía, edad y ocupación), basado en los formularios de registro y visualizado mediante R (R Core Team 2015; Wickham 2007, 2009; Neuwirth 2014). Se generó un mapa de la distribución a nivel estatal brasileño utilizando QGIS (versión 3.14.15).
2. Accesibilidad: definida como la brecha entre inscritos y participantes, analizada mediante la comparación de listas y la retroalimentación sobre posibles barreras técnicas (p. ej., internet, interfaz de la plataforma).
3. Heterogeneidad: definida como la diversidad de disciplinas científicas abordadas en los seminarios web, categorizada mediante el análisis de contenido de los temas presentados (Tabla Suplementaria S1).

Para contextualizar las diferencias regionales en la participación, cruzamos el origen de los participantes con la presencia de grupos de investigación polar por estado, utilizando datos del CNPq (2021), CAPES (2021), INCT-APA (2021) e INCT-Criofera (2021). Esto ayudó a evaluar cómo la proximidad a los centros de investigación podría influir en la participación en seminarios web sobre ciencia antártica.

Este estudio exploratorio y descriptivo ofrece un primer paso para evaluar cómo los formatos accesibles de comunicación científica en línea pueden ampliar el interés en temas antárticos en todo Brasil.

RESULTADOS

En términos de alcance, un total de 1231 personas se registraron en los seminarios web. De ellas, 1204 (97,8 %) eran de Brasil, abarcando los 26 estados y el Distrito Federal (Figura 1). Los estados con mayor representación fueron Rio Grande do Sul (265), Río de Janeiro (230) y São Paulo (227), que también albergan la mayoría de los grupos de investigación polar de Brasil. Los participantes también provenían de otros 13 países, entre ellos Italia, Perú y Corea del Sur.

La edad de los inscritos osciló entre los 14 y los 68 años, y la mayoría (más del 61 %) tenía entre 21 y 35 años (Figura 2). Sus ocupaciones incluían estudiantes (48,4 %), docentes (18,2 %) y biólogos (14,7 %) (Figura 3; Tabla Suplementaria S2). Estos resultados sugieren un gran interés en la formación, tanto por parte de los profesionales de la educación como de los particulares.

En cuanto a la accesibilidad, de los 1231 inscritos, 516 asistieron al menos a un seminario web. La

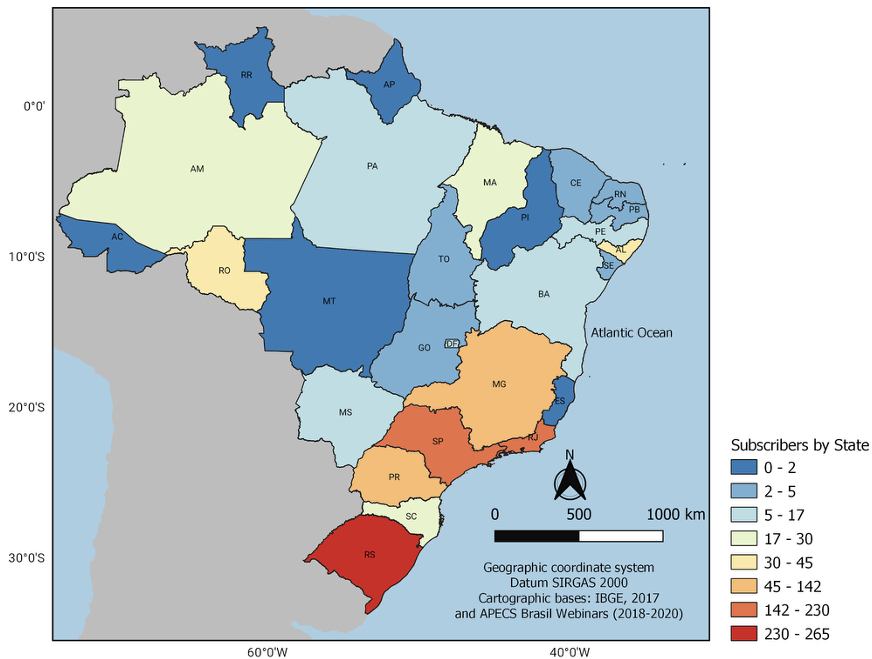


Figura 1. Distribución de suscriptores a los seminarios web de APECS-Brasil (12/2018 - 04/2020) en Brasil por estado.

asistencia por sesión osciló entre 14 y 136 personas (Figura 4). Marzo de 2020 registró la menor participación, probablemente debido al inicio de la pandemia de COVID-19 y la incertidumbre social, mientras que abril de 2020 registró la mayor afluencia, lo que posiblemente refleje un mayor interés en los eventos digitales durante el inicio del confinamiento. Alrededor del 24 % de los participantes asistió a más de una sesión, y el 42 % participó en cuatro o más seminarios web.

Los comentarios de 80 participantes indicaron que casi el 60 % consideró la plataforma GoBrunch fácil de usar y se mostró satisfecho o muy satisfecho con el formato del evento. Más del 90 % afirmó que volvería a participar y recomendaría los seminarios web (Figura Suplementaria S4).

En términos de heterogeneidad, los seminarios web abarcaron una amplia gama de temas antárticos, aunque las ciencias biológicas fueron las más abordadas (Tabla Suplementaria S1). También se incluyeron otros campos como la gobernanza, la arqueología, la educación y la climatología, lo que indica un esfuerzo por diversificar el contenido y atraer a una audiencia diversa.

Una comparación espacial entre los participantes de los seminarios web y la distribución geográfica de los grupos brasileños de investigación polar (Figura 5) reveló una correlación: los estados con instituciones de investigación polar consolidadas presentaron mayores tasas de inscripción y asistencia.

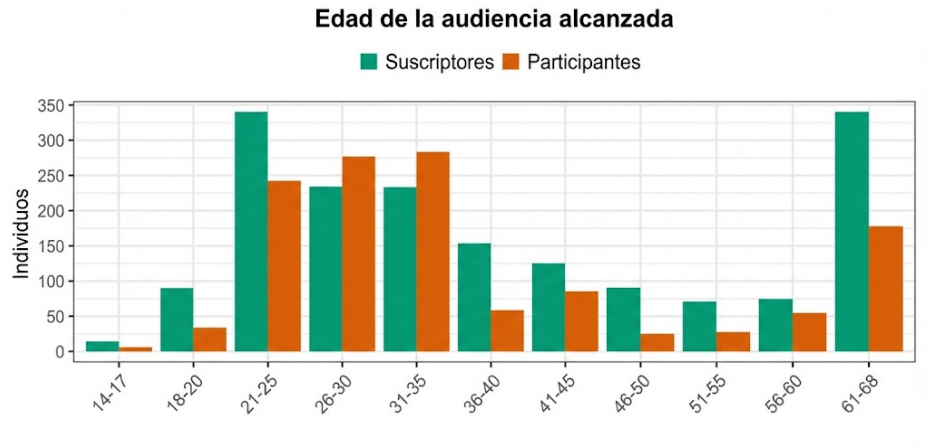


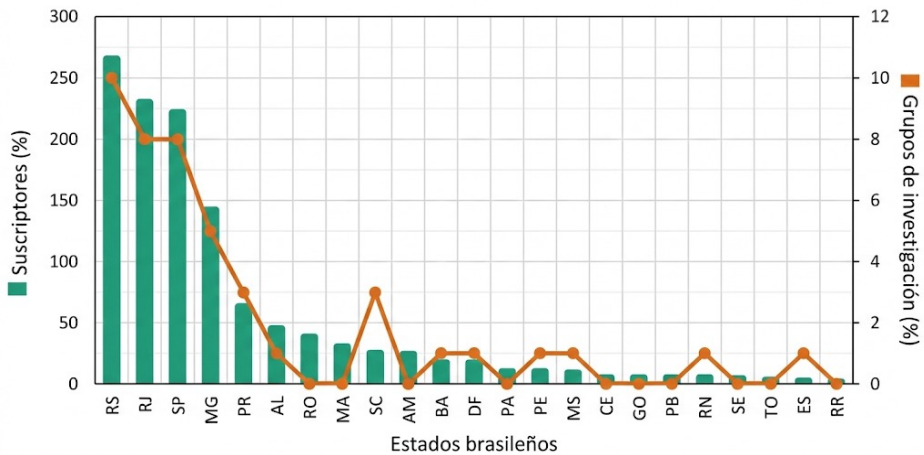
Figura 2. Número de suscriptores y participantes en los seminarios web de APECS-Brasil por clase de edad.



Figura 3. Número de suscriptores y participantes en los seminarios web de APECS-Brasil según su ocupación informada.



■ **Figura 4.** *Número de suscriptores y participantes a lo largo de los meses en los seminarios web de APECS-Brasil.*



■ **Figura 5.** *Comparación entre el porcentaje de suscriptores residentes en Brasil y grupos de investigación polar en Brasil por estado.*

Por el contrario, los estados con infraestructura académica o acceso a internet limitados mostraron una menor participación, lo que sugiere que persisten los desafíos para una difusión equitativa.

DISCUSIÓN

Considerando los resultados mostrados anteriormente, se pueden extraer varias conclusiones sobre el alcance, la accesibilidad y la heterogeneidad de los seminarios web sobre la Antártida organizados por APECS-Brasil. La tendencia geográfica observada —mayor participación de personas en el sur y sureste de Brasil— podría estar relacionada con la concentración de grupos de investigación polar en estados como Rio Grande do Sul, Río de Janeiro, São Paulo y Minas Gerais. Estas regiones también cuentan con una mayor infraestructura digital y una mayor participación de los miembros de APECS-Brasil, lo que probablemente contribuyó a una mayor concienciación y participación en los seminarios web.

Por el contrario, los estados con poca o ninguna infraestructura de investigación polar, particularmente en el norte y noreste de Brasil, mostraron una participación limitada. Esto puede atribuirse a múltiples factores, como la falta de exposición a la ciencia antártica en las escuelas y la limitada conectividad a internet en zonas remotas y rurales. Brasil es un país continental con profundas desigualdades sociales y regionales, y a pesar de los avances tecnológicos, el acceso a internet sigue siendo irregular en todo su territorio. Muchos hogares y escuelas en regiones menos desarrolladas aún tienen dificultades para acceder a recursos digitales básicos, lo que afecta la capacidad de las personas para asistir y beneficiarse de eventos virtuales como seminarios web.

Al analizar el perfil de los participantes, se destacó un alto número de estudiantes y docentes, especialmente de educación primaria y secundaria. Muchos de estos participantes habían participado previamente en actividades de APECS-Brasil, como la Semana Polar Internacional (SPI), un programa que conecta a investigadores polares con escuelas y universidades. Esto sugiere que la continuidad y la presencia en redes educativas son factores clave para fomentar el interés a largo plazo en la ciencia antártica. Como muestran Xavier et al. (2018, 2019), iniciativas como la SPI son eficaces para presentar temas polares complejos a un público más joven y sentar las bases para una participación más profunda, por ejemplo, a través de seminarios web.

El predominio de estudiantes de 21 a 25 años probablemente refleja su búsqueda de oportunidades extracurriculares que fortalezcan sus perfiles académicos y profesionales. Esto también indica que la estrategia de difusión, centrada en las redes sociales, logró llegar con éxito a este grupo demográfico. Por otro lado, el profesorado mostró disposición a ampliar sus conocimientos y participar en una red educativa más amplia. Dada la falta de contenido relacionado con la Antártida en los currículos brasileños (Caramello et al., 2017), los seminarios web e iniciativas similares cubren una brecha esencial en la educación científica, ofreciendo recursos y capacitación a educadores deseosos de innovar en el aula (Dotta et al., 2018).

A pesar de estos resultados positivos, los datos revelan que el alcance de los seminarios web de APECS-Brasil aún era geográficamente limitado, principalmente restringido a áreas con vínculos

institucionales más sólidos y mejor infraestructura. Si bien los seminarios web pueden superar las barreras físicas, su efectividad aún está condicionada por el acceso digital. En este sentido, nuestros hallazgos son consistentes con la literatura reciente sobre educación digital en Brasil, que enfatiza el desafío persistente de la exclusión digital. Según Cardoso et al. (2023), los programas educativos digitales inclusivos deben simplificar el acceso y tener en cuenta las limitaciones tecnológicas que enfrentan las poblaciones marginadas.

En cuanto a la accesibilidad, la brecha persistente entre suscriptores y participantes sugiere barreras recurrentes, como la inestabilidad de internet, los conflictos de horario o el desconocimiento de las plataformas digitales. Este problema podría mitigarse ofreciendo formatos más flexibles (por ejemplo, acceso asincrónico a las grabaciones), una comunicación más clara y sistemas de recordatorios. Además, la retroalimentación de los participantes, aunque en gran medida positiva, fue limitada. Para mejorar las evaluaciones futuras, la recopilación de retroalimentación podría vincularse a la entrega de certificados y los formularios deberían simplificarse y optimizarse visualmente, como sugieren Gegenfurtner y Ebner (2019).

Un punto destacable de este estudio es la diversidad de disciplinas abordadas en los seminarios web, aunque las ciencias biológicas fueron las más representadas. Si bien esto refleja las áreas de investigación predominantes entre los miembros de APECS-Brasil, también sugiere la necesidad de diversificar aún más el contenido en futuras ediciones. La inclusión de las ciencias sociales, la gobernanza, la educación y los estudios climáticos resultó eficaz para atraer a diferentes públicos. Esto coincide con los resultados de otras iniciativas, como la colaboración NASA-Río, donde la educación climática en línea llegó a un público más amplio al conectar temas globales con las realidades locales (NASA Applied Sciences, 2021).

Además, el éxito de iniciativas como la serie de seminarios web de LAEH en Pernambuco ilustra cómo este formato fomenta redes académicas sólidas y ayuda a descentralizar el acceso a los debates científicos (Silva y Oliveira, 2021). Asimismo, los seminarios web también se han utilizado con éxito como herramientas para combatir la desinformación y promover la alfabetización científica durante la pandemia de COVID-19, como se observa en los proyectos de Souza et al. (2023), lo que refuerza el valor estratégico de la comunicación digital en la divulgación científica.

El aumento de participación observado en abril de 2020 coincide con el inicio de las medidas de confinamiento por la COVID-19 en Brasil. Si bien este pico puede reflejar una mayor disponibilidad debido al aislamiento social, también revela cómo APECS-Brasil se adelantó a su tiempo: su programa de seminarios web ya estaba en pleno funcionamiento antes de la pandemia, lo que destaca el enfoque innovador del comité para la divulgación digital. Esto distingue nuestro estudio de otros centrados únicamente en la educación digital posterior a 2020, ofreciendo valiosas perspectivas desde una perspectiva prepandemia. En resumen, este estudio demuestra que los seminarios web, cuando se diseñan estratégicamente y se apoyan en iniciativas educativas existentes, pueden reducir eficazmente la brecha entre la ciencia polar y el público brasileño. Sin embargo, es necesario abordar desafíos estructurales, como la desigualdad regional, el acceso digital y la diversidad de contenidos, para maximizar su potencial. La integración de experiencias y literatura global refuerza la relevancia y la escalabilidad de este modelo, especialmente para países con vastos territorios y disparidades sociales como Brasil.

CONCLUSIONES

Este estudio presenta la experiencia de APECS-Brasil en la organización de seminarios web mensuales como herramienta estratégica para la comunicación y divulgación de la ciencia antártica. Los resultados confirman que, a pesar de las limitaciones infraestructurales y regionales, los seminarios web pueden conectar eficazmente la ciencia polar con un público amplio y diverso en todo Brasil. Mediante el análisis de tres aspectos fundamentales: alcance, accesibilidad y heterogeneidad, pudimos evaluar las fortalezas y limitaciones de este formato de comunicación.

Nuestros hallazgos muestran que los seminarios web atrajeron una participación considerable, especialmente de estudiantes y docentes interesados en explorar nuevos contenidos científicos fuera del currículo escolar estándar. La sólida participación de las regiones con instituciones de investigación polar consolidadas también sugiere que los vínculos institucionales previos y la presencia educativa desempeñan un papel fundamental en el éxito de la divulgación. No obstante, la menor participación de las regiones marginadas refuerza la necesidad de estrategias integradas que combinen eventos digitales con iniciativas educativas locales, especialmente en zonas donde el acceso a internet aún es precario.

Los seminarios web, como se demuestra en este estudio, pueden ampliar el acceso a los temas antárticos, promover la alfabetización científica e inspirar a las nuevas generaciones de estudiantes y educadores a involucrarse con la ciencia polar. Sin embargo, para que esta herramienta alcance su máximo potencial, se requieren esfuerzos continuos para mejorar la inclusión digital, diversificar el contenido más allá de las disciplinas científicas dominantes y simplificar los mecanismos de participación y retroalimentación.

La experiencia de APECS-Brasil, desarrollada antes y durante los primeros días de la pandemia de COVID-19, ejemplifica cómo la inversión temprana en comunicación científica digital puede aprovecharse en tiempos de crisis y más allá. A medida que Brasil y otros países continúan expandiendo el uso de tecnologías educativas en línea, las lecciones aprendidas de esta iniciativa pueden orientar futuros programas de divulgación, especialmente en contextos marcados por desigualdades geográficas y sociales.

En definitiva, el caso de los seminarios web sobre ciencia antártica en Brasil refuerza la idea de que la comunicación digital, combinada con una planificación estratégica de la divulgación, un sólido compromiso institucional y prácticas inclusivas, puede servir como un modelo poderoso y escalable para la difusión de la ciencia, particularmente en el Sur Global.

CONTRIBUCIONES

FEP y JSK propusieron y redactaron el formulario de suscripción. FEP, JSK, CFCS y MJC organizaron y mediaron los seminarios web. EAS organizó los resultados y elaboró el mapa. SD colaboró en el debate sobre educación y divulgación y redactó el documento sobre estos temas. Todos los autores fueron responsables de la recopilación y el análisis de datos y contribuyeron equitativamente a la redacción de la versión final del manuscrito.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todos los ponentes y asistentes a los seminarios web, así como a quienes contribuyeron a la difusión de la ciencia polar a través de las iniciativas de APECS-Brasil. Un agradecimiento especial a la Asociación de Científicos Polares en su Carrera Temprana (APECS) por su continuo apoyo. También agradecemos a Claudineia Lizieri, quien presidió APECS-Brasil durante los seminarios web y aportó valiosas ideas para la elaboración de este documento. Este trabajo es una contribución de APECS-Brasil.

DESCARGO DE RESPONSABILIDAD

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses. Las opiniones expresadas en este artículo son las de los autores y no reflejan necesariamente la postura oficial de las instituciones a las que están afiliados. Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses financiero o personal que pudiera haber influido en el contenido o la interpretación de este estudio.

REFERENCIAS

- APECS. (2021). *Association of Polar Early Career Scientists*. <https://www.apecs.is/>
- Cardoso, D., Lima, P. A., & Ferreira, J. (2023). *Lives e diversidade: O uso de produtos educacionais digitais para a inclusão*. *Revista Brasileira da Educação Profissional e Tecnológica*, 6(1), 1–15. <https://doi.org/10.36524/rbept.v6i1.12884>
- Caramello, A., Dotta, S., & Xavier, L. (2017). *Ensino sobre a Antártica e educação científica no Brasil*. *Ciência & Educação*, 23(2), 487–502. <https://doi.org/10.1590/1516-731320170020015>
- Cook, D. A., & Grant-Davis, D. (2005). *Learning needs assessment: The basis for effective continuing education*. *Chest*, 128(1), 1S–6S. https://doi.org/10.1378/chest.128.1_suppl.1S
- Dotta, S., Caramello, A., & Xavier, L. (2018). *Recursos educacionais sobre temas polares*. In *Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. https://www.researchgate.net/publication/328123456_Recursos_educacionais_sobre_temas_polares
- Gegenfurtner, A., & Ebner, C. (2019). *Seminarios web in higher education and professional training: A meta-analysis and systematic review*. *Educational Research Review*, 28, 100293. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.100293>
- Gupta, R., & Sengupta, M. (2021). *Impact of seminarios web on teaching and learning in higher education*. *International Journal of Education and Development*, 11(2), 45–53. <https://doi.org/10.1234/ijed.v11i2.5678>
- Hamstra, S. J., Dubrowski, A., & Backstein, D. (2011). *Teaching technical skills to surgical residents: A meta-analytic review*. *Surgery*, 130(3), 419–426. <https://doi.org/10.1067/msy.2001.116935>
- Korb, E. R. (2000). *Interactive conferencing on the web*. *Journal of Instruction Delivery Systems*, 14(4), 10–14.
- Lobel, M., Neubauer, M., & Swedburg, R. (2002). *Comparing learning outcomes and satisfaction of an online algebra course*. *Interactive Learning Environments*, 10(2), 99–112. <https://doi.org/10.1076/ile.10.2.99.2796>

- Mihai, A. (2014). *Seminarios web: A valuable tool for continuing medical education*. *Journal of Medicine and Life*, 7(Spec Iss 3), 122–123.
- NASA Applied Sciences. (2021). *Parceria NASA-Rio: Educação sobre mudanças climáticas*. https://science.gsfc.nasa.gov/610/applied-sciences/nasa_rio_partnership_portugues.html
- Nagy, A., Schuck, S., & Kearney, M. (2006). *Seminarios web for professional development: The experience of a professional association*. *Educational Media International*, 43(3), 219–229. <https://doi.org/10.1080/09523980600641436>
- Neuwirth, E. (2014). *RColorBrewer: ColorBrewer palettes*. R package version 1.1-2.
- Pan, C., & Sullivan, M. (2005). *Promoting synchronous interaction in an eLearning environment*. *TechTrends*, 49(1), 56–61. <https://doi.org/10.1007/BF02773908>
- Parija, S. C., & Shanmuganathan, A. (2019). *E-learning in medical education: The scope and challenges*. *Tropical Parasitology*, 9(1), 5–7. https://doi.org/10.4103/tp.TP_8_19
- Qiang, C. Z., & Pitt, A. (2004). *Information and communication technology for development*. *World Bank Working Paper*, 1, 1–50. <https://doi.org/10.1596/0-8213-5995-3>
- R Core Team. (2015). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.r-project.org/>
- Rich, M., Ginsburg, K. R., & Walter, H. J. (2011). *Enhancing adolescent health education through technology*. *Journal of Adolescent Health*, 48(6), 610–615. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2011.01.015>
- Silva, A., & Oliveira, J. (2021). *Webinários do LAEH: Uma proposta de divulgação científica em didática da história*. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/356628302>
- Souza, F., Andrade, B., & Costa, G. (2023). *Divulgação e alfabetização científica por meio das mídias digitais*. In *Congresso Nacional de Educação - CONEDU*. https://editorarealize.com.br/editoralebooks/conedu/2023/GT19/TRABALHO_COMPLETO_EV185_MD5_ID16041_TB7085_15112023213832.pdf
- Wang, S., & Hsu, H. (2008). *Use of the webinar tool (Elluminate) to support training: The effects of webinar-learning*. *International Journal on E-Learning*, 7(3), 363–376.
- Wickham, H. (2007). *Reshaping data with the reshape package*. *Journal of Statistical Software*, 21(12). <https://doi.org/10.18637/jss.v021.i12>



APECS-Brazil

Brazilian National Committee of the Association of Polar Early Career Scientists



Event Registration Form

- 1 Email Address
- 2 Full Name
- 3 Institution / Organization
- 4 Occupation
- 5 Age
- 6 City
- 7 State / Region
- 8 Country



Post-Event Survey Questionnaire

1 Full Name
Your answer _____

2 How satisfied are you with the...

	Very dissatisfied	Somewhat dissatisfied	Somewhat satisfied	Very satisfied
Event	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Webinar theme	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Meeting time	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Time duration	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3 How likely are you to attend a similar event in the future?

	1	2	3	4	5	
Very unlikely	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Very likely

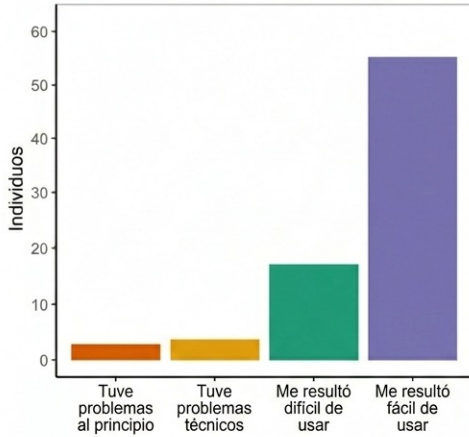
4 Would you recommend this event to your friends?
 Yes
 No Why not? Your answer _____

5 What is your opinion about the Go Brunch platform?
Your answer _____

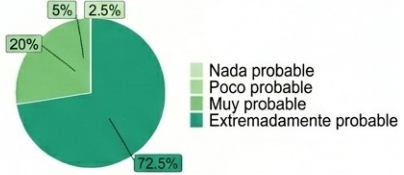
6 What improvements would you suggest for the next time?
Your answer _____

7 Do you have any other feedback? If so, please let us know here:
Your answer _____

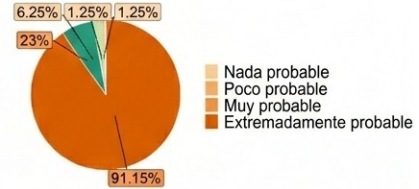
Comentarios sobre el uso de la plataforma



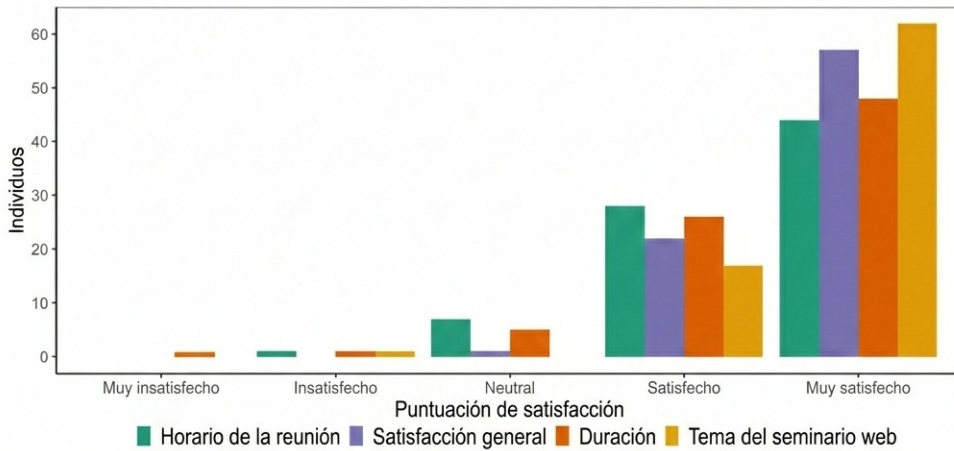
¿Qué tan probable es que asista al próximo seminario web?



¿Qué tan probable es que recomiende el seminario web a un amigo?



Comentarios de satisfacción



ASUNTOS ANTÁRTICOS

AUTORES

ELAINE ALVES DOS SANTOS

Elaine Alves dos Santos posee un posdoctorado en Geociencias y formación en Ciencias Biológicas. Su investigación se centra en el modelado del transporte atmosférico, los impactos ambientales y los indicadores ambientales en ecosistemas costeros y de altas latitudes. Ha participado en ocho expediciones a la Antártida con el Programa Antártico Brasileño a través del Laboratorio de Radioecología y Cambios Globales (LARAMG/UERJ). También participa activamente en iniciativas de divulgación científica y es autora de libros infantiles sobre temáticas ambientales.

Email: elainealves1301@gmail.com

CLAIRE CHRISTIAN

Claire Christian es Directora Ejecutiva de ASOC y trabaja en la organización desde 2009. Posee una amplia experiencia en cuestiones ambientales antárticas, incluyendo turismo, pesquerías, áreas marinas protegidas y cambio climático. Lidera las delegaciones de ASOC en las Reuniones Consultivas del Tratado Antártico (ATCM) y en las reuniones de la CCAMLR, y colabora estrechamente con gobiernos, científicos y actores del sector privado. Es autora de artículos académicos, columnas de opinión y blogs, y colabora regularmente con medios internacionales.

Email: claire.christian@asoc.org

HOLLY CURRY

Holly Curry se incorporó a ASOC en 2023 como Directora de la Campaña de Áreas Marinas Protegidas. Anteriormente ejerció el derecho en las áreas de ordenamiento territorial, gobierno local y derecho ambiental, fue asistente judicial en el Tribunal Federal del Distrito Norte de Florida y trabajó como asesora del senador estadounidense Bill Nelson. También ha trabajado en la Surfrider Foundation y en The Nature Conservancy en políticas ambientales y acción pública. Es Profesora Adjunta de Organización Comunitaria en la Universidad Estatal de Florida y posee títulos en Relaciones Internacionales, Política y Gestión Pública de Estados Unidos, y Derecho, con certificación en Derecho Ambiental y de Uso del Suelo.

Email: holly.curry@asoc.org

MARÍA JIMENA CRUZ

María Jimena Cruz es arqueóloga especializada en Arqueología Histórica y Antártica. Es licenciada en Ciencias Antropológicas por la Universidad de Buenos Aires y obtuvo su maestría y doctorado en Antropología en la Universidad Federal de Minas Gerais (Brasil). Actualmente es investigadora posdoctoral en el Museo Nacional de la Universidad Federal de Río de Janeiro. Con más de quince años de experiencia en arqueología antártica, su investigación se centra en la actividad lobera del siglo XIX en las Islas Shetland del Sur y en la integración de tecnologías digitales en el trabajo arqueológico en la Antártida.

Email: jimenacruz@gmail.com

SÍLVIA DOTTA

Sílvia Dotta es doctora en Educación por la Universidad de São Paulo y especialista en Asuntos Antárticos por la Universidad de Magallanes (Chile). Es profesora asociada en la Universidad Federal del ABC (Brasil) y experta en educación mediada por tecnologías. En 2013 fundó InterAntar, un programa dedicado a la comunicación de las ciencias polares mediante educación digital, juegos, simulaciones, podcasts y redes sociales.

Email: silviadotta@gmail.com

FRANCYNE ELIAS-PIERA

Francyne Elías-Piera es bióloga, investigadora antártica y consultora ambiental especializada en ecología marina, ecología bentónica, cambio climático e impactos ambientales. Posee una maestría en Oceanografía Biológica (Universidad de São Paulo), un doctorado en Ciencias Ambientales (Universidad Autónoma de Barcelona) y un MBA en Gestión Estratégica ESG (USJT, Brasil). Ha participado en cinco expediciones antárticas con el Programa Antártico Brasileño y el Instituto Coreano de Investigación Polar. Es fundadora y presidenta del Instituto Gelo na Bagagem, una organización sin fines de lucro dedicada a la educación ambiental y a la divulgación de las ciencias polares.

Email: drafran@gelonabagagem.com.br

CRISTIANE FONSECA CAETANO DA SILVA

Cristiane Fonseca Caetano da Silva es licenciada en Ciencias Biológicas y doctora en Ecología. Actualmente es investigadora posdoctoral en el Programa de Posgrado en Ecología de la Universidad Federal de Río de Janeiro. Su investigación se centra en la ecología acuática, los ciclos biogeoquímicos, el cultivo de microalgas, la actividad microbiana y la diversidad molecular de la materia orgánica en aguas continentales y marinas.

Email: cristianecaetanobio@yahoo.com.br

SANDRA FREIBERGER-AFFONSO

Sandra Freiburger-Affonso es bióloga, con títulos en Biología Celular y un doctorado en Patología Experimental y Comparada por la Universidad de São Paulo. Su investigación se ha centrado en peces antárticos y tropicales, y actualmente trabaja en educación y divulgación científica sobre regiones polares y cambio climático. Es autora de libros infantiles y materiales educativos sobre ciencias polares y miembro del grupo InterAntar de la Universidad Federal del ABC.

Email: sfreiberger@gmail.com

NINA GALLO

Nina Gallo es licenciada en Artes por la Universidad Macquarie y actualmente cursa una maestría en Política Marítima en el Australian National Centre for Ocean Resources and Security (ANCORS). Su trabajo se centra en la comunicación científica antártica y la defensa ambiental, con especial atención a los impactos de los micropoluentes en los ecosistemas antárticos y a la regulación del tratamiento y vertido de aguas grises en el marco del Sistema del Tratado Antártico.

Email: ninagallo@gmail.com

VIRGINIA GASCÓN

Virginia Gascón es licenciada en Derecho por la Universidad Autónoma de Madrid y posee maestrías en Derecho Internacional y Europeo por la Universidad Libre de Bruselas y la Universidad de Georgetown. Su carrera profesional se ha centrado en la gobernanza internacional de los océanos, con amplia experiencia en la lucha contra la pesca ilegal, no declarada y no reglamentada (INDNR) y en la promoción de la gestión pesquera basada en ecosistemas en la región antártica. Ha colaborado con The Pew Charitable Trusts, la Antarctic and Southern Ocean Coalition (ASOC) y la FAO. Más recientemente, su trabajo ha examinado los impactos de la contaminación por microplásticos en la Antártida.

Email: virginia.antarctica@gmail.com

MARY LIESEGANG

Mary Liesegang se incorporó a ASOC en 2023 como Coordinadora de Proyectos. Inspirada por una expedición a la Antártida en 2019, se dedica a promover la conservación antártica mediante el desarrollo de políticas, la investigación colaborativa y la divulgación científica accesible. Su experiencia incluye investigación en arrecifes de coral en el Pacífico central, estudios de ballena franca del Atlántico Norte y conservación de ecosistemas de carbono azul en San Diego. Es licenciada en Biología por la Universidad de Boston y posee una maestría en Ciencias Marinas por Scripps Institution of Oceanography (UC San Diego).

Email: mary.liesegang@asoc.org

JOSÉ LUIS LÓPEZ

José Luis López es bioquímico por la Universidad Nacional del Sur y doctor en Virología por la Universidad de Buenos Aires. Es Profesor Asociado de Virología en el Instituto de Bacteriología y Virología Molecular (IBAVIM), Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires.

Email: jlopez@ffyb.uba.ar

JUAN LUCCI

Juan Lucci es el fundador de Fundación Agenda Antártica, una organización sin fines de lucro dedicada a promover la investigación científica, la protección ambiental y la concientización pública sobre los asuntos antárticos, donde se desempeñó como su Director Ejecutivo durante diez años hasta 2012. Su investigación se centra en el despliegue de energías renovables en la Antártida y en los impactos ambientales de la presencia humana en el continente. Su trayectoria profesional incluye experiencia en el sector público, banca de inversión y bancos multilaterales de desarrollo. Es máster por la Universidad de Stanford, máster en Economía por la Universidad de San Andrés y actualmente es doctorando en Land Economy en la Universidad de Cambridge.

Email: jlucci@agendaantartica.org

WALTER MAC CORMACK

Walter Mac Cormack es biólogo y doctor por la Universidad de Buenos Aires, donde realizó su tesis sobre la biodegradación microbiana de hidrocarburos en suelos antárticos contaminados por combustibles. Su investigación también ha abordado la ecología microbiana acuática, los bacteriófagos antárticos y el potencial biotecnológico de los microorganismos antárticos. Es investigador del Instituto Antártico Argentino (IAA) desde 1986, donde fundó el Grupo de Microbiología Ambiental,

AUTORES

y es miembro del Instituto Nanobiotec (UBA–CONICET). Ha publicado más de 120 artículos científicos y actualmente es Director del Instituto Antártico Argentino, delegado argentino ante SCAR y Vicepresidente de COMNAP.

Email: wpc@mrecic.gov.ar | wmac@ffyb.uba.ar | walter541959@gmail.com

FRANCISCO MASSOT

Francisco Massot es investigador del Instituto Antártico Argentino (IAA) y docente auxiliar en la cátedra de Biotecnología de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad de Buenos Aires. Se especializa en microbiología ambiental y biotecnología, con énfasis en las interacciones planta–microorganismo y sus aplicaciones en ambientes fríos. Su investigación se centra en el uso de bacterias y hongos antárticos para la fitorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos y otros contaminantes orgánicos, contribuyendo al desarrollo de estrategias sostenibles de restauración de ecosistemas en ambientes extremos.

Email: fkx@mrecic.gov.ar | franmassot@gmail.com

NICOLÁS ANTONIO NAPOLITANO

Nicolás Antonio Napolitano es licenciado en Biología por la Universidad CAECE y actualmente es doctorando en la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad de Buenos Aires. Es becario doctoral del CONICET.

Email: nicolasnapolitano1@gmail.com

RODRIGO PAIDANO ALVES

Rodrigo Paidano Alves es biólogo e investigador indígena, licenciado y magíster en Ciencias Biológicas por la Universidad Federal de Pampa (Brasil). Actualmente es doctorando en la Universidad Tecnológica de Graz (Austria) y cursa una segunda maestría en Estudios Europeos en la Universidad de Graz. Su trabajo se centra en cambio climático, microbiología ambiental, justicia climática, pueblos indígenas y divulgación científica en entornos polares, alpinos, desérticos y tropicales. Es autor o coautor de más de veinte publicaciones científicas.

Email: paidanoalves@tugraz.at

CECILIA QUIROGA

Cecilia Quiroga es licenciada en Ciencias Químicas por la Universidad del Salvador y doctora en Microbiología por la Universidad de Buenos Aires. Es investigadora independiente del CONICET en el Instituto de Investigaciones en Microbiología y Parasitología Médica (IMPAM), Facultad de Medicina, Universidad de Buenos Aires, y Profesora Adjunta en la Cátedra de Microbiología, Inmunología y Parasitología de la misma institución.

Email: cquiroga@fmed.uba.ar

ELISA SEYBOTH

Elisa Seyboth es investigadora posdoctoral en el Mammal Research Institute Whale Unit de la Universidad de Pretoria. Es licenciada en Oceanografía y especialista en Oceanografía Biológica. Su investigación se centra en la ecología de cetáceos, particularmente en la distribución, dieta y éxito reproductivo de grandes ballenas en el hemisferio sur en el contexto del cambio climático. Es miembro del Brazilian High Latitudes Oceanography Group (GOAL) y representante nacional de

Brasil ante la CCAMLR.

Email: elisaseyboth@gmail.com

JULIANA SOUZA-KASPRZYK

Juliana Souza-Kasprzyk es bióloga con doble doctorado en Biofísica y Química. Cuenta con más de catorce años de experiencia en investigaciones sobre contaminación en ambientes polares y ha participado en siete expediciones científicas a la Antártida y al Ártico. Actualmente es investigadora en el Departamento de Química Analítica de la Universidad Adam Mickiewicz (Polonia) y ha publicado más de veinte artículos científicos. También participa activamente en divulgación científica y fue seleccionada para el proyecto internacional “100 Women in Polar Science”.

Email: juliana.souza-kasprzyk@amu.edu.pl

MATT SPENCER

Matt Spencer trabaja en gobernanza oceánica, planificación espacial marina y sostenibilidad pesquera. Ha colaborado con el Gobierno del Reino Unido en asuntos polares, apoyado coaliciones de ONG ambientales en la implementación de políticas polares y contribuido a la agenda global 30x30. Su trayectoria incluye trabajo en la Ley de Pesca del Reino Unido con Environmental Defense Fund, el desarrollo de Proyectos de Mejora Pesquera (FIP) en el Marine Stewardship Council y diversas iniciativas de defensa ambiental antes de incorporarse a ASOC.

Email: matt.spencer@asoc.org

RODOLFO WERNER

Rodolfo Werner es licenciado en Biología por la Universidad de Buenos Aires, doctor en Biología por la Universidad de Múnich (Alemania) y realizó su posdoctorado en Zoología Marina en la Universidad de Guelph (Canadá). Durante más de veintitrés años ha centrado su trabajo en la fauna antártica, con especial énfasis en la conservación del krill antártico, pingüinos, focas y merluza negra, así como en la promoción de áreas marinas protegidas en la región de la Península Antártica. Actualmente se desempeña como asesor de The Pew Bertarelli Ocean Legacy y de la Antarctic and Southern Ocean Coalition (ASOC).

Email: rodolfo.antarctica@gmail.com

ASUNTOS ANTÁRTICOS

REGLAS DE PUBLICACIÓN

- Los artículos, que deben ser inéditos, pueden tener una extensión máxima de 10.000 palabras.
- Cada artículo debe ir precedido de un máximo de cinco palabras clave y un resumen, que no debe exceder las 200 palabras.
- El autor o autores deben incluir una biografía para la sección Colaboradores del Journal. La biografía no debe exceder las 300 palabras y debe incluir al menos la institución académica, agencia gubernamental o empresa en la que trabaja, y un correo electrónico.
- Los artículos pueden estar escritos en inglés o español.
- En caso de utilizar materiales de terceros en el artículo, los autores deben obtener el permiso requerido.
- Los artículos pueden incluir tablas y gráficos.
- Para los títulos y la estructura de los artículos, los autores deben consultar la plantilla de ejemplo. La misma se puede descargar de la página web del Journal o solicitándola al Editor.
- Las referencias deben incluirse en el texto por apellido y año entre paréntesis (citas dentro del texto), por ejemplo (Werner, 2010). Cuando se citan más de tres autores, utilice “et al.”: (Roura et al. 2012). La lista de todas las referencias debe aparecer al final del artículo bajo el título “Referencias”. La lista debe estar ordenada alfabéticamente. Las citas deben seguir el estilo APA: autor o autores, año de publicación del artículo (entre paréntesis), título del artículo, título de la revista, volumen de la revista, número de edición de la revista entre paréntesis, rango de páginas del artículo, DOI o URL.
- El Journal utiliza notas al final, no notas al pie, para proporcionar información adicional. Las notas finales deben reducirse al mínimo y numerarse consecutivamente. Todas las notas deben aparecer al final del artículo bajo el título “Notas finales”.
- Todos los agradecimientos o declaraciones de interés deben incluirse al final, antes de las Referencias.
- Los manuscritos deben enviarse electrónicamente en “Microsoft Word” o compatible. Las imágenes deben enviarse en formato jpg y en alta resolución.
- El Journal se reserva el derecho de editar y corregir los artículos, incluidas ciertas partes que separan y cuadran el texto particularmente relevante o en negrita, respetando el espíritu original del mismo.
- El Comité Editorial del Journal de Asuntos Antárticos llevará a cabo un pier-review de todos los artículos y seleccionará los que se publicarán.
- La Journal no cobra a los autores por publicar y todos los artículos son de acceso abierto.

Consultas

- Dirija todas las consultas a los editores del Journal a jlucchi@antarcticaffairs.org

VOLUME XI - 2025

ASUNTOS ANTÁRTICOS

MATT SPENCER, CLAIRE CHRISTIAN, HOLLY CURRY Y MARY LIESEGANG

Protegiendo un Océano Austral en constante cambio

(P. 6)

VIRGINIA GASCÓN, NINA GALLO, RODOLFO WERNER Y JUAN LUCCI

La RCTA y el régimen emergente sobre contaminación por microplásticos en la Antártida: una revisión de desafíos y oportunidades

(P. 17)

NICOLAS ANTONIO NAPOLITANO, FRANCISCO MASSOT, CECILIA QUIROGA,
WALTER MAC CORMACK Y JOSÉ LUIS LÓPEZ

Bacteriófagos antárticos: su papel ecológico y su potencial biotecnológico

(P. 38)

FRANCYNE ELIAS-PIERA, JULIANA SOUZA-KASPRZYK, ELAINE ALVES DOS
SANTOS, CRISTIANE FONSECA CAETANO DA SILVA, MARIA JIMENA CRUZ,
ELISA SEYBOTH, RODRIGO PAIDANO ALVES, SANDRA FREIBERGER-AFFONSO
Y SÍLVIA DOTTA

Educación y divulgación de la ciencia antártica mediante seminarios web

(P. 51)

www.agendaantartica.org



www.asoc.org