

Marine Insights

El mar profundo argentino: nueva frontera estratégica para el desarrollo sustentable

El mar profundo argentino sostiene biodiversidad y funciones ecológicas que son vitales para la sociedad. Su vulnerabilidad ante impactos ambientales hace imprescindible promover decisiones fundamentadas en ciencia y una gestión basada en enfoques ecosistémicos.

Por María Emilia Bravo, Lisa A. Levin, Viviana Alder, Graziella Bozzano, Alejandro D. Buren, Juan Cruz Carbajal, Paola Davila, Brenda L. Doti, Federico D. Esteban, Pedro Flombaum, Diego A. Giberto, Juliana Giménez, Micaela Giorgini, Valeria A. Guinder, Federico M. Ibarbalz, Lucía C. Kahl, María Eugenia Lattuca, Daniel Lauretta, Gustavo A. Lovrich, Mariano I. Martínez, Adriana Menoret, Guido Pastorino, Martha P. Rincón-Díaz, Laura A. Ruiz-Etcheverry, Sebastián E. Sabatini, Ricardo Sahade, Ornella Silvestri, Marcos Tatián, Valeria Teso, Diego G. Urteaga, Eleonora Verón, Sandra M. Vivequin y Chih Lin Wei

RESUMEN. Los ecosistemas del mar profundo argentino y su biodiversidad son sensibles a los efectos de la variación climática como el calentamiento, la pérdida de oxígeno y la acidificación oceánica. Esta vulnerabilidad se debe a características particulares como la presencia de especies longevas, con tasas de crecimiento y de reproducción muy lentas, que dependen de hábitats de configuraciones complejas. Como consecuencia, muchos ecosistemas del mar profundo afectados por perturbaciones tienen baja probabilidad de recuperarse, y si lo hicieran, requerirían cientos o miles de años. Este trabajo sintetiza los resultados de un Taller de Especialistas que permitió revisar el estado actual

de conocimiento científico y de su aplicación a la gestión del mar profundo argentino, desde un enfoque ecosistémico que contemple la variación climática. El mar profundo de la Argentina abarca profundidades de entre 200 y 6.000 m, lo que representa más del 70% del territorio marítimo nacional, con una superficie aproximada de 4,6 millones de km². En el fondo marino argentino, la complejidad geomorfológica y oceanográfica indica un alto potencial para sostener una enorme biodiversidad asociada al fondo. Sin embargo, el conocimiento sobre sus ecosistemas y las políticas de gestión ambiental de este vasto territorio argentino han sido limitados y fragmentados, especialmente en lo que respecta a la incorporación de la variable climática. Diseñar políticas efectivas que protejan su biodiversidad y los múltiples beneficios que aporta a la sociedad implica: i) un asesoramiento técnico robusto, para lo cual, es esencial fortalecer el conocimiento científico sobre los ecosistemas del mar profundo argentino y su interacción con la variación climática; y ii) una articulación y colaboración sostenida entre todos los sectores involucrados.

Palabras clave: Biodiversidad, calentamiento, acidificación, diplomacia científica, enfoque ecosistémico de gestión ambiental.

The Argentine deep sea: a new strategic frontier for sustainable development

ABSTRACT. The deep-sea ecosystems and biodiversity of Argentina are sensitive to the effects of climate variation such as warming, oxygen loss, and ocean acidification. This vulnerability is due to specific characteristics such as the presence of long-lived species, which can live for over 4,000 years, with very slow growth and reproduction rates, which depend on habitats with complex configurations. As a result, many deep-sea ecosystems affected by disturbances have a low probability of recovery, and if recovery occurs, it may take hundreds or even thousands of years. This document synthesizes the results of a Specialist Workshop that reviewed the current state of scientific knowledge and discussed its application to the management of Argentina's deep sea, from an ecosystem-based perspective that considers climate variability. Argentina's deep sea, spans depths ranging from 200 to 6,000 m, covering more than 70% of the national maritime territory, with an approximate area of 4.6 million km². In the Argentine seabed, geomorphological and oceanographic complexity indicates a high potential to support extensive benthic biodiversity. However, knowledge about its ecosystems and the environmental management policies for this vast Argentine territory have been limited and fragmented, particularly regarding the incorporation of climate-related variables. Designing effective policies to protect its biodiversity and the multiple benefits these ecosystems provide to society implies robust technical advice, for which it is essential to strengthen scientific knowledge on Argentina's deep-sea ecosystems and their interaction with climate

variability, as well as sustained coordination and collaboration among all relevant sectors.

Key words: Biodiversity, warming, acidification, scientific diplomacy, ecosystem-based environmental management.

El mar profundo comienza a los 200 m de profundidad desde la superficie del mar. Este ambiente, suele presentar condiciones naturales extremas para la vida como la conocemos (como oscuridad total y presión hidrostática muy elevada), representa más del 90% del volumen habitable del océano global (Levin y LeBris 2015). Su exploración expande las fronteras de la ciencia, la industria, la tecnología y la política, generando avances fundamentales para afrontar los retos más urgentes del presente. El mar profundo alberga una vasta biodiversidad que brinda beneficios esenciales a la humanidad. Muchos ecosistemas de las profundidades marinas capturan enormes cantidades de carbono producido por las actividades humanas, además de absorber el calor acumulado en la superficie del planeta. Si bien a priori podríamos pensar al mar profundo como un sistema muy estable, al carecer de luz en las profundidades, la vida depende en gran medida de la producción primaria y las condiciones fisicoquímicas en la superficie de los océanos. Esta conectividad también se observa en la distribución geográfica de algunas especies de mar profundo, con rangos de varios miles de kilómetros, mucho más amplios que sus contrapartes de aguas más someras. Muchas especies que componen los ecosistemas de mar profundo están fuertemente conectadas entre sí —en muchos casos mediante simbiosis— y pueden tardar cientos a miles de años en crecer y mantener sus poblaciones.

El mar profundo y sus formas de vida conforman un sistema natural complejo que depende del frágil equilibrio entre sus múltiples componentes y procesos, químicos, físicos y biológicos. Este equilibrio es particularmente susceptible a los efectos ambientales provocados por las actividades industriales, las prácticas pesqueras, el transporte marítimo, así como la presión climática, con la particularidad de que actualmente es imposible restaurar

ecológicamente a los ecosistemas de mar profundo. El potencial del mar profundo como fuente de energía (fósil y renovable), alimento, minerales, recursos genéticos y metabólicos de interés agrícola y farmacéutico, entre otros, expande y diversifica los intereses industriales sobre estos beneficios que prometen ganancias del orden de trillones de dólares. Garantizar la explotación de recursos del mar profundo de forma socialmente justa y ambientalmente sostenible constituye uno de los retos más significativos en los campos de la gobernanza, la ciencia y la tecnología en la actualidad.

Dentro de los esfuerzos en la Argentina por abordar la problemática del impacto climático en el mar profundo, en agosto de 2024 realizamos un Taller de Especialistas Científicos en la Universidad de Buenos Aires. Usando una aproximación holística, integrando múltiples disciplinas y expertos de más de 23 instituciones nacionales, arribamos a consideraciones y acciones prioritarias para el desarrollo sustentable del mar profundo argentino frente al riesgo climático. El presente artículo resume las perspectivas científicas del grupo de expertos como herramienta destinada a facilitar la comunicación entre ciencia y tomadores de decisiones.

La Argentina y sus derechos de soberanía sobre un extenso mar profundo

La Argentina, con sus 6.810 km de línea de costa atlántica y 11.235 km incluyendo la Antártida Argentina e Islas del Atlántico Sur, abarca 6.581.000 km² de territorio marítimo (COPLA 2017). Del total de territorio marítimo argentino, aproximadamente el 70% corresponde a mar profundo, con profundidades comprendidas entre 200 y 6.000 m. Es decir, el mar profundo de la Argentina abarca aproximadamente 4.600.000 km² (Figura 1), siendo tan extenso que incluso supera su superficie continental emergida (3.699.711 km²).

Para entender los derechos de soberanía de la Argentina sobre el mar profundo, es necesario considerar las diferentes Zonas Marítimas. Las zonas marítimas argentinas se definen en términos jurídi-

“Del total de territorio marítimo argentino, aproximadamente el 70% corresponde a mar profundo, con profundidades comprendidas entre 200 y 6.000 m”

cos, en base a las disposiciones de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR), y en función de características y procesos geológicos de la Argentina como Estado Ribereño. Solo abordaremos aquí algunas de estas disposiciones que consideramos más relevantes para entender los derechos y responsabilidades de la Argentina sobre el mar profundo ubicado entre los paralelos 35° S y 55° S.

La Argentina posee un amplio territorio marítimo que corresponde a la porción del Margen Continental Argentino. Este abarca el sector comprendido entre la línea de base, delimitada en relación de la línea de costa, hasta la emersión continental (Figura 2). Este espacio de soberanía nacional, a los efectos de la exploración, explotación y conservación de sus recursos naturales, comprende la Zona Económica Exclusiva (ZEE, 200 mn) y la Plataforma Continental Extendida (PCE, ~ 350 mn) (Figura 2; COPLA 2017). Dentro de la ZEE, la Argentina tiene derecho de soberanía de recursos del fondo y subfondo marino, así como sobre aquellos de la columna de agua suprayacente. En la PCE, la Argentina tiene derecho de soberanía sobre los recursos minerales y otros recursos no vivos del lecho del mar y su subsuelo, así como sobre los organismos vivos pertenecientes a especies sedentarias. Sin embargo, la columna de agua suprayacente que se extiende a partir de la “milla 201” –altamar, en términos jurídicos– es un espacio marítimo abierto a todos los Estados. El fondo y subfondo marino más allá del límite de la PCE –La Zona– es Patrimonio Común de la Humanidad, regulado por la Autoridad Internacional de Fondos Marinos, de la cual la Argentina es miembro activo (Figura 2).

La Argentina es bicontinental, ya que reivindica su soberanía sobre el denominado “Sector Antártico Argentino”, delimitado por los paralelos 60° S y el Polo Sur, y los meridianos 25° W y 74° W (Figura 1). El Sector Antártico Argentino, comprendido dentro de la Provincia de Tierra del Fuego Antártida e Islas del Atlántico Sur, se encuentra sujeto al Tratado Antártico de 1959, que reconoce las reivindicaciones de soberanía de varios países. La Argentina es Parte Consultiva del Tratado Antártico desde 1961 y administra trece bases o estaciones en la región, de las cuales siete son permanentes, y el resto solo operan en verano. Esfuerzos como el “Protocolo de Madrid” (incorporado dentro del derecho interno del Tratado Antártico desde 1998) y la “Convención para la Conservación y Manejo Ecológico de la Antártida y sus Recursos” (CCAMLR –por sus siglas en inglés) brindan marcos de cooperación internacional para enfrentar los desafíos ambientales antárticos, sistema cuya preservación y sustentabilidad es crítica ante la presión climática. La fuerte interacción entre el Mar Argentino y el Mar Antártico se refleja en rasgos geológicos compartidos, como la Cordillera de los Andes, así como en la dinámica de corrientes que facilita la conectividad entre organismos vivos de ambos mares. Es fundamental una gestión integrada que considere las interrelaciones entre el Mar Antártico y el mar profundo argentino.

Observaciones y proyecciones de riesgo climático en el mar profundo argentino

Si bien las variaciones climáticas son un fenómeno natural que caracteriza al sistema tierra-océano-atmósfera desde épocas geológicas, la tasa de aceleración de la variación climática impulsada por la presión de las actividades humanas hace que el sistema tenga una respuesta impredecible, que los modelos matemáticos tratan de simular para evaluar la gravedad de los posibles escenarios a futuro. Desde 2009, la Argentina lidera el programa de Circulación Meridional de Oscilación del Atlántico Sur (SAMOC), que realiza mediciones

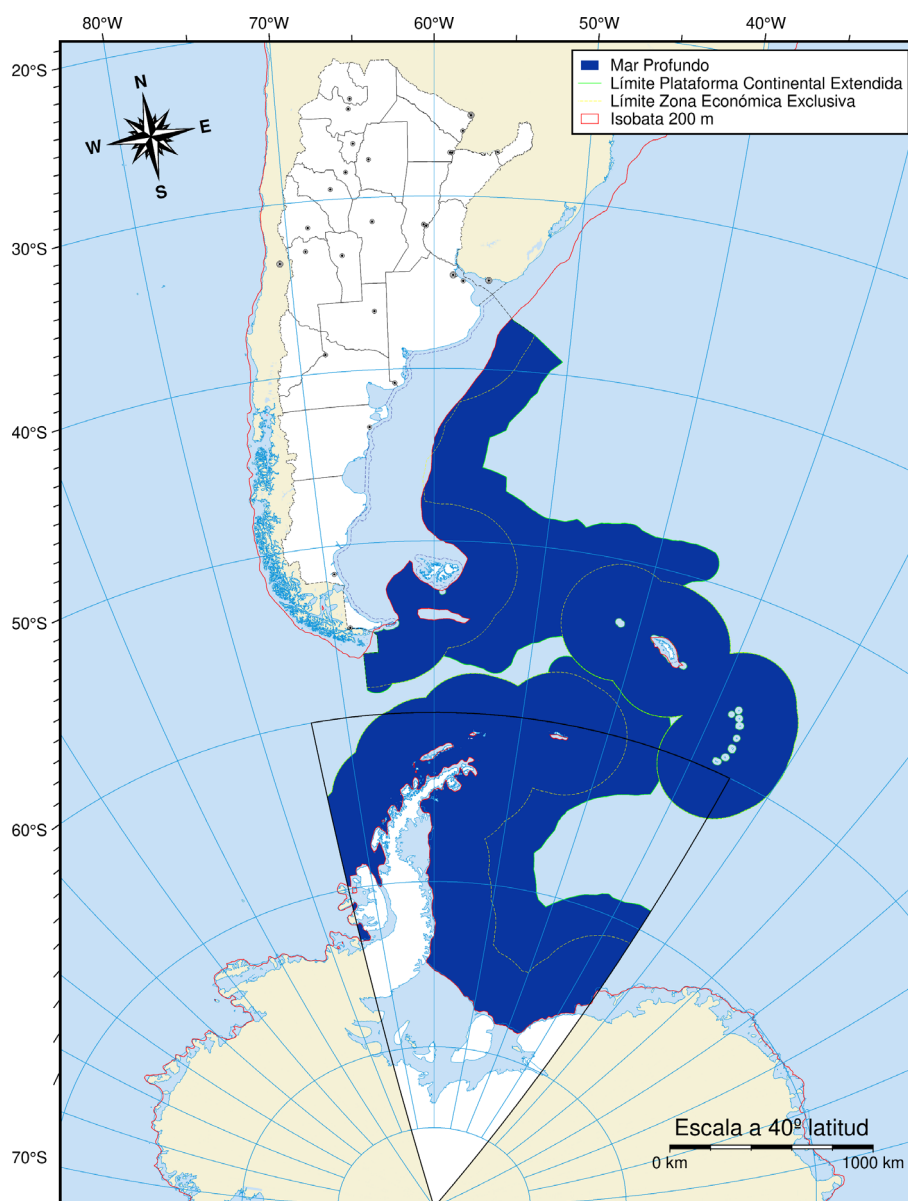


Figura 1. Mapa bicontinental indicando el área cubierta por el mar profundo argentino. El área se encuentra delimitada entre la isobata de 200 m de profundidad, que en parte se encuentra dentro de la Zona Económica Exclusiva de Argentina, y el límite externo de la Plataforma Continental Extendida presentado por la Comisión Nacional del Límite Exterior de la Plataforma Continental (COPLA) ante la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR) en 2009 y en gran parte aceptada por CONVEMAR en 2016. El área abarcada desde el paralelo 60° S hacia el sur, se encuentra bajo la gobernanza del Sistema del Tratado Antártico.

Figure 1. Bicontinental map indicating the area covered by the Argentine deep sea. The area is defined between the 200 m depth contour, which partly lies within Argentina's Exclusive Economic Zone, and the outer limit of the Extended Continental Shelf submitted by the National Commission on the Outer Limit of the Continental Shelf (COPLA) to the United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS) in 2009 and largely accepted by UNCLOS in 2016. The area south of the 60° S latitude is under the governance of the Antarctic Treaty System.

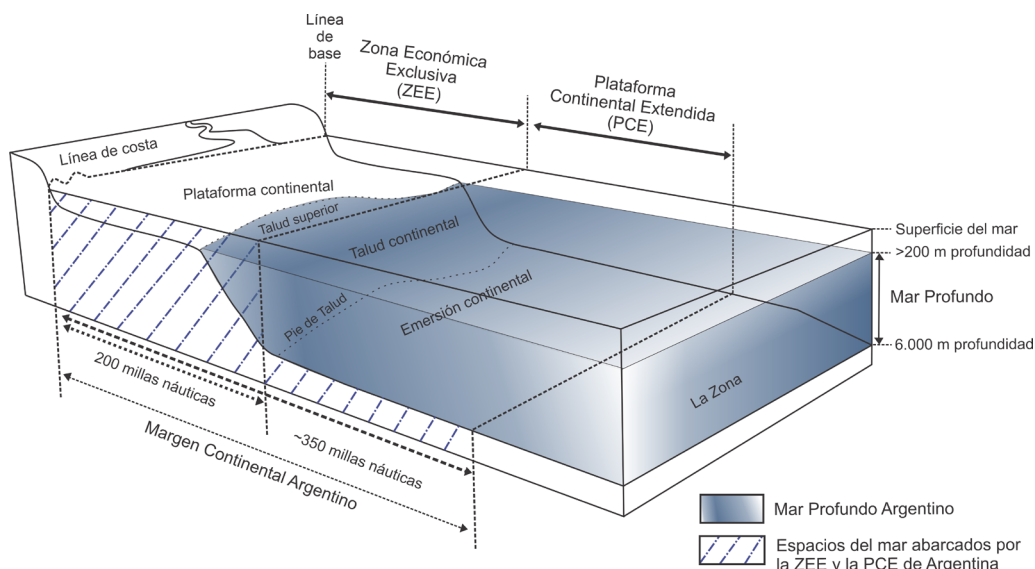


Figura 2. Esquema del área comprendida por el mar profundo dentro de las Zonas Marítimas del Margen Continental Argentino según la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR) que se mencionan en este trabajo. Nota: el esquema solo indica la línea de restricción de 350 mn (Artículo 76 inciso 5, CONVEMAR) pero excluye los criterios morfológicos de prolongación natural del territorio, comprendidos en el citado Artículo de la Convención para la delimitación de la Plataforma Continental Extendida entre otros instrumentos jurídicos empleados por COPLA.

Figure 2. Diagram of the area covered by the deep sea within the Maritime Zones of the Argentine Continental Margin referenced in this work according to the United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS). Note: the diagram only indicates the 350-nautical-mile restriction line (Article 76, paragraph 5, UNCLOS) but excludes the morphological criteria of natural prolongation of the territory, as outlined in the aforementioned Article of the Convention for the delimitation of the Extended Continental Shelf, among other legal instruments used by COPLA.

continuas sobre la circulación de corrientes en $34,5^{\circ}$ S, aportando conocimientos sobre el transporte de sal y calor y su variabilidad, dada la relevancia en el clima global. Sin embargo, la escasez de programas observacionales a largo plazo (mayores a 10 años), dificultan los estudios relacionados al riesgo climático en el mar profundo argentino. Algunos estudios muestran un aumento significativo de la temperatura en las aguas internacionales adyacentes al mar profundo argentino durante las últimas décadas, asociado a un calentamiento de la masa de Agua Antártica Profunda que circula cerca del fondo, una capa de agua que se encuentra entre 4.500 y 5.900 m de profundidad (Johnson 2022). Existen indicios de que la zona de confluencia entre las corrientes de Brasil y Malvinas (ubicada aproximadamente en 38° S) se está desplazando hacia el sur (Franco et al. 2020). Además, en las

aguas superficiales de dicha zona, la biomasa del fitoplancton, que es un aporte de alimento fundamental para las formas de vida del mar profundo, estaría aumentando significativamente (Delgado et al. 2023). Los efectos que los cambios mencionados en la superficie del mar tendrán sobre los ecosistemas del mar profundo argentino son aún inciertos. Para predecir los riesgos climáticos, es necesario aumentar las observaciones a largo plazo (series temporales), particularmente en ambientes marinos más allá de los 200 m de profundidad, dentro del territorio marítimo argentino.

Con el fin de evaluar los riesgos climáticos de nuestro mar profundo, se analizaron diferentes modelos climáticos bajo el escenario más adverso, es decir, sin políticas de acciones climáticas (que mitigan su creciente impacto sobre los ecosistemas marinos). Estos modelos los realizamos para

"Tanto la acidificación oceánica (la disminución en el pH del agua), como el aumento de temperatura (Figura 3) serían evidentes ya desde 2041. La disminución de oxígeno (desoxigenación) estaría ocurriendo a una tasa lenta, y la transferencia de alimento de superficie hacia el fondo podría aumentar en algunas partes de la ZEE. Estos cambios ambientales ocurrirían rápidamente, traducándose en pérdidas de hábitats aptos para varias especies a lo largo del margen continental argentino"

el sector de mar profundo comprendido entre los paralelos 33° S y 55° S aproximadamente (Figura 3). Los resultados sugieren que tanto la acidificación oceánica (la disminución en el pH del agua), como el aumento de temperatura (Figura 3) serían evidentes ya desde 2041. La disminución de oxígeno (desoxigenación) estaría ocurriendo a una tasa lenta, y la transferencia de alimento de superficie hacia el fondo podría aumentar en algunas partes de la ZEE. Estos cambios ambientales ocurrirían rápidamente, traducándose en pérdidas de hábitats aptos para varias especies a lo largo del margen continental argentino. En este escenario, muchas especies, para sobrevivir, deberán responder dentro de plazos temporales demasiado cortos para sus ciclos de vida, como así también a encontrar áreas aptas para su asentamiento en un mar profundo con hábitats cada vez más deteriorados y fragmentados. La mayoría de las especies de mar profundo tienen una sensibilidad alta a estos cambios ambientales impulsados por la presión climática, y sus respues-

tas condicionarán la capacidad de sostener en el tiempo la biodiversidad y las funciones de los ecosistemas (Gianelli et al. 2023).

La biodiversidad en el mar profundo argentino

Los ecosistemas del mar profundo y su biodiversidad asociada juegan un rol central en la fijación, transferencia, almacenamiento, y secuestro de carbono desde aguas superficiales, formando la más vasta reserva de carbono del planeta. Es decir que, a través de procesos naturales, la biodiversidad contribuye sustancialmente al almacenamiento a largo plazo de gases de efecto invernadero que, de otra manera, se encontrarían en la atmósfera. Desde la década de 1990, el océano absorbió más del 25% del dióxido de carbono (CO₂) emitido a la atmósfera por actividades antropogénicas, mediante quema de combustibles fósiles y cambios en el uso de la tierra (Doney et al. 2012). La resiliencia de los procesos biológicos marinos, que determinan esta absorción de carbono atmosférico, depende del mantenimiento de la biodiversidad y de las funciones ecológicas de los ecosistemas involucrados, entendidas como los roles que desempeñan en la regulación climática.

Como consecuencia de su rol en la mitigación del impacto climático, el mar profundo sufre alteraciones —experimentado en forma de calentamiento, disminución de oxígeno y acidificación oceánica (Levin y LeBris 2015)— que ponen en riesgo el sostenimiento de su biodiversidad. Esto lleva a cambios en la distribución de las especies, alterando patrones de reproducción, crecimiento e incluso llevando especies a la desaparición, al menos de manera local. Los cambios espaciales y temporales en la producción de alimento en la superficie del mar, derivados de la variación climática, afectan la provisión de alimento para los ecosistemas del fondo marino profundo. La pérdida de cualidades de los hábitats que permiten la supervivencia de las especies de mar profundo por causa del impacto climático, se ve agravada por la creciente presión ambiental derivada, tanto de actividades industriales para la ex-

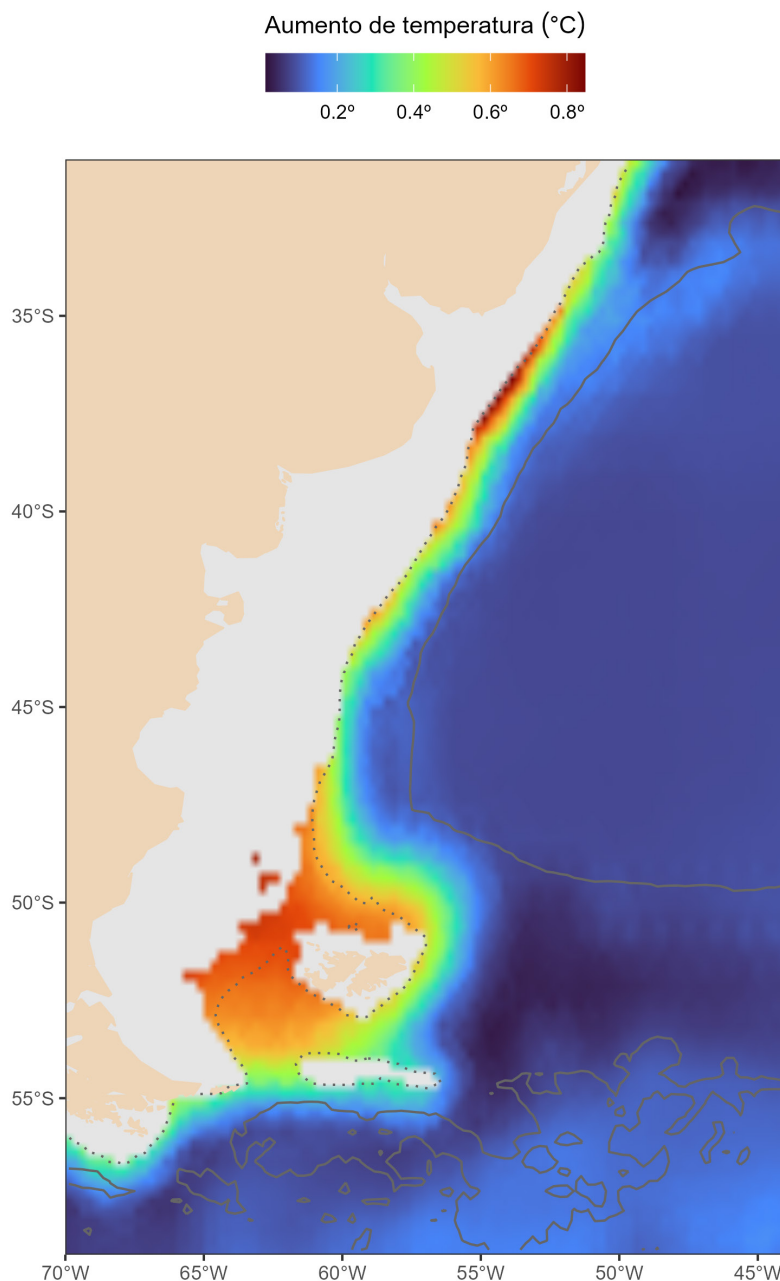


Figura 3. Proyección de riesgo climático para 2041-2060 con relación a la variabilidad histórica para el fondo marino profundo de la Argentina (escenario SSP5-8.5, escenario más adverso). La figura muestra la distribución del aumento de temperatura que se proyecta como derivado del impacto climático. Tomado con modificaciones de los modelos desarrollados por el Dr. Chih Lin Wei (Institute of Oceanography, National Taiwan University, Taiwan) para el Taller.

Figure 3. Climate risk projection for 2041-2060 relative to historical variability for the Argentine deep seafloor (SSP5-8.5 scenario, worst case scenario). The figure shows the distribution of projected temperature increase resulting from climate impact. Adapted with modifications from models developed by Dr Chih Lin Wei (Institute of Oceanography, National Taiwan University, Taiwan) for the workshop.

tracción de recursos como de la contaminación. Esto reduce la capacidad de las especies para adaptarse a un ambiente que cambia rápidamente, causando pérdidas de biodiversidad y biomasa, y disminuyendo la capacidad del océano para actuar como sumidero de carbono y regulador climático.

Las aproximaciones ecosistémicas se encuentran a la vanguardia y son muy eficientes para la gestión ambiental y la mitigación del impacto climático sobre la biodiversidad. La perspectiva basada en ecosistemas permite priorizar las variables de biodiversidad a estudiar para una comprensión integral de su composición y funcionamiento, y categorizar su vulnerabilidad ante impactos tanto industriales como derivados del clima. De su implementación en mar profundo, algunos ejemplos incluyen los criterios propuestos por el Convenio sobre la Diversidad Biológica para la identificación de “Áreas Marinas de Importancia Ecológica y Biológica” (EBSAs –por sus siglas en inglés, CDB 2009), y aquellos propuestos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO –por sus siglas en inglés) para la identificación de “Ecosistemas Marinos Vulnerables” (EMV) (FAO 2009). En ambos casos, se incluyen características como la productividad, la diversidad biológica, aspectos del ciclo de vida de las especies como su reproducción y longevidad, rasgos como la rareza y singularidad, el nivel de conectividad, los rangos de distribución espacial, entre aquellas más determinantes de la vulnerabilidad de los ecosistemas. Notablemente, ninguno incluye criterios explícitos para la protección de servicios de secuestro de carbono por más de 100 años. El mar profundo argentino es una de las pocas regiones oceanográficas del mundo donde, a la fecha, no se declararon EBSAs ni EMV (CBD 2024; FAO 2024).

Los estudios realizados hasta la actualidad en el mar profundo argentino muestran algunos indicadores de la existencia de áreas de importancia para la conservación de la biodiversidad y el alimento, en línea con los criterios internacionales mencionados anteriormente (CDB y FAO, respectiva-

“En el fondo marino argentino, la complejidad geomorfológica y oceanográfica indica un alto potencial para sostener una enorme biodiversidad asociada al fondo, la mayoría aún desconocida”

mente). Sin embargo, la información y comprensión de los ecosistemas es fragmentada y dispersa a lo largo del mar profundo argentino, con múltiples sectores aún inexplorados. En el fondo marino argentino, la complejidad geomorfológica y oceanográfica indica un alto potencial para sostener una enorme biodiversidad asociada al fondo, la mayoría aún desconocida. En nuestro talud (Figura 2), son numerosos los cañones submarinos, valles profundamente incisos, que son mundialmente reconocidos por sostener alta biodiversidad y productividad. Asimismo, algunas especies son capaces de formar ecosistemas con características propias que sustentan agregaciones de múltiples y diversas especies que dependen de ellas, como es el caso de corales de agua fría, briozoos y esponjas que forman arrecifes y jardines. Otro ejemplo, recientemente descubierto en nuestro país, es el de los ecosistemas quimiosintéticos, caracterizados por filtraciones naturales de hidrocarburos desde el fondo marino (gas metano y sulfuro de hidrógeno) que proveen alimento a microorganismos y animales especializados, dando lugar a hábitats y ensamblajes biológicos singulares (Bravo et al. 2024). Todos estos ecosistemas contribuyen al mosaico de la biodiversidad de especies del fondo marino, pero también suelen ser usados por especies de peces como áreas de cría, desove y alimentación. Los peces e invertebrados que usan el mar profundo argentino en distintos momentos de su ciclo de vida, incluyen especies de interés pesquero como calamar argentino, merluza negra, rayas, granaderos y abadejo.

En los últimos años, el establecimiento de Áreas Marinas Protegidas (AMP) resguarda parte de la biodiversidad del fondo del mar profundo en latitudes australes. Las AMPs Namuncurá/Banco Burdwood II y Yaganes comprenden taludes, cañones y montes submarinos, y planicies abisales a más de 200 m de profundidad. No obstante, la escasa información en la región requiere intensificar los esfuerzos en conservación e investigación para desarrollar medidas de gestión ambiental más efectivas desde una perspectiva basada en ecosistemas (o enfoque ecosistémico). Esto incluye la elaboración de planes para mitigar los impactos climáticos, como la detección de refugios climáticos y el establecimiento de límites adaptables a los potenciales cambios de distribución de especies de interés de conservación. Asimismo, es necesario el desarrollo de acciones concretas de capacitación, educación y alfabetización para diferentes sectores de la sociedad acerca del mar profundo argentino, y la relevancia de las expediciones científicas para su investigación científica básica y aplicada.

Servicios ecosistémicos provistos por el mar profundo argentino

Los servicios ecosistémicos, interpretados aquí como las contribuciones y beneficios que los ecosistemas (por sus componentes –incluida la biodiversidad– y procesos) brindan a la sociedad, requieren del mantenimiento de un ambiente sano. Entre estos servicios, las aguas profundas de la Argentina sustentan especies pesqueras de valor comercial, además de hábitats para alimentación, reproducción, cría y refugio de estos peces e invertebrados y de las especies de las cuales se alimentan. En 2023, los desembarques y exportaciones totales de las especies de pesca comercial, sostenidas por el mar profundo argentino, dieron ganancias de USD 700 millones, aproximadamente. Dentro de la ZEE Argentina, la actividad pesquera es regulada mediante diversas medidas de manejo, con el objetivo de alcanzar una explotación sostenible. Por fuera de la ZEE, en la columna de agua suprayacente a

la PCE Argentina o altamar (sector popularmente conocido como “la milla 201”, Figura 2), la actividad pesquera es realizada por otros países y, en muchos casos, no está regulada ni declarada. En este caso, la actividad pesquera representa una mayor amenaza para los ecosistemas y sus servicios ecosistémicos derivados, especialmente para aquellos asociados al fondo marino bajo jurisdicción argentina en la PCE. Cabe destacar que, en junio de 2023, los Estados miembro de Naciones Unidas, en el marco de CONVEMAR, firmaron un acuerdo para la conservación y uso sustentable de los ecosistemas y la diversidad biológica en estas áreas de mar profundo que se encuentran por fuera de las jurisdicciones nacionales (BBNJ –por sus siglas en inglés, Lothian 2023), áreas adyacentes y ecológicamente conectadas con aquellas comprendidas dentro de los límites territoriales de la Argentina.

Por otra parte, algunas de las principales fuentes de regulación climática son el secuestro de carbono y de gas metano en el margen continental. Se estima que el margen continental argentino es responsable de capturar más de 30 millones de toneladas de carbono por año (Martinetto et al. 2024). Esta captura es un incentivo que puede promover la conservación de estos ecosistemas al enfatizar su valor en pagos por servicios ecosistémicos, bonos verdes y créditos de biodiversidad. Como la biodiversidad, todos estos servicios ecosistémicos son vulnerables a los disturbios generados por la explotación de recursos que pueden liberar carbono y perturbar la vida marina.

Las fuentes de energía más conocidas del mar profundo argentino son las de combustible fósil (petróleo, gas, hidratos de metano), pero también existe una alta disponibilidad de fuentes renovables en sus aguas suprayacentes. El mar profundo subyace una superficie que brinda un enorme potencial para la transición energética mediante energía eólica, energía de corrientes y de olas, hidrógeno verde, energía solar y biomasa para biocombustibles. En el mar profundo existe potencial de generación de energía eléctrica mediante corrientes marinas y el uso de gradientes térmicos naturales entre aguas

"La Argentina está en lo más alto del ranking de potencial técnico para energía eólica costa afuera entre los países de América Latina y el Caribe"

superficiales y cercanas al fondo (OTEC –por sus siglas en inglés). La Argentina está en lo más alto del ranking de potencial técnico para energía eólica costa afuera entre los países de América Latina y el Caribe, con un potencial total para turbinas eólicas de 1.870 GW, de los cuales la mayoría (1.312 GW) corresponde a turbinas eólicas flotantes (tecnología para mar profundo) (Davis et al. 2023), cuya infraestructura sumergida afectaría el fondo marino profundo. Todas y cada una de las actividades industriales requeridas para la producción de energía pueden producir diferentes efectos ambientales cuyo impacto sobre los ecosistemas de mar profundo y sus servicios ecosistémicos derivados deben ser evaluados de forma integral y específica para cada sitio (Bravo et al. 2023). Sin embargo, se estima que la de producción de energía renovable (excepto por la OTEC) conllevaría mucho menos riesgo ambiental para los ecosistemas de mar profundo que la producción de petróleo y gas.

La gran y peculiar diversidad de hábitats y formas de vida del mar profundo argentino brindan un alto potencial para desarrollo biofarmacéutico y de novedades genéticas y biomiméticas, algunas de las cuales están recién empezando a ser investigadas. Los microorganismos y animales de mar profundo son fuente de compuestos químicos y proteínas únicas con propiedades de aplicación en un amplio rango de sectores como biotecnología, nutrición, cosmética y salud. En tanto que, gracias a las adaptaciones evolutivas a ambientes extremos (por ejemplo, en términos de presión, temperatura, y concentración de ciertos gases), los animales de mar profundo sirven de inspiración para el diseño ingenieril de tecnologías avanzadas, incluyendo la

robótica y la tecnología espacial. Este tipo de desarrollo tecnológico e industrial suele aplicar aproximaciones poco invasivas para el ambiente, que se fundamentan en el uso de pequeñas muestras de especies de interés del mar profundo para su posterior investigación científica y replicación artificial.

Los efectos de la presión climática e industrial alteran los hábitats, las especies (y sus interacciones), así como los procesos de los ecosistemas del mar profundo argentino, amenazando el mantenimiento de todos los beneficios directos e indirectos para la sociedad de formas inciertas. En consecuencia, es necesario ampliar los esfuerzos de investigación para conocer y entender mejor los ecosistemas de mar profundo argentino y los servicios ecosistémicos derivados de éstos. Ello permitirá una interpretación ambiental integral, ecosistémica y multisectorial, una herramienta muy poderosa para la toma de decisiones.

Tomadores de decisiones para la gestión ambiental

Una planificación espacial del mar profundo que sea transversal a todos los temas considerados a lo largo de este documento requiere de una perspectiva basada en ecosistemas y de un compromiso honesto y duradero de todas las partes interesadas. Entre los sectores que son clave están las instituciones gubernamentales que realizan política marina, el sector científico, tecnológico y académico, el sector energético (tanto de energías fósiles como renovables), el sector pesquero, los intereses mineros, las instituciones de defensa y seguridad nacional, los organismos responsables de la conservación, los reguladores de transporte, infraestructura submarina de telecomunicaciones (cableado submarino) y turismo marítimo y la sociedad civil. Conseguir que los representantes de todos los sectores involucrados trabajen juntos, resulta desafiante para cualquier país.

Es evidente que la gestión ambiental actual del mar profundo argentino debe incorporar de manera más integral la dimensión de los impactos y riesgo

climático, así como sus repercusiones en el medio ambiente y la sociedad. Las colaboraciones y el trabajo conjunto, tanto dentro de los sectores como entre ellos, son esenciales para abordar de manera más eficaz las problemáticas relacionadas con el

impacto climático en el mar profundo argentino. Para avanzar en esta dirección, consideramos crucial implementar acciones concretas que impulsen el avance científico, la conservación ambiental, y la articulación intersectorial (Tabla 1).

Tabla 1. Acciones prioritarias sugeridas para una mejora integral en la gestión del mar profundo argentino.
Table 1. Suggested priority actions for comprehensive improvement in the management of Argentina's deep sea.

Objetivos estratégicos	Acciones prioritarias
Avanzar en el conocimiento científico del mar profundo argentino	La conformación de una red científica nacional e interdisciplinaria abocada a construir conocimiento, que sirva como línea de base ambiental del mar profundo argentino La creación de un programa de biodiversidad y hábitats de mar profundo, con colecciones, imágenes y bases de datos unificadas Fortalecimiento de recursos humanos a través de la capacitación en mar profundo en contextos académicos Programas y líneas de financiación para temas relacionados al mar profundo Actualización y mantenimiento tecnológico (por ejemplo, mediante uso vehículos operados remotamente ROVs)
Proteger los ecosistemas del mar profundo y su biodiversidad frente a la presión ambiental derivada del clima	El mapeo de ecosistemas de mar profundo y sus servicios ecosistémicos derivados Uso de sistemas globales de modelado de proyecciones del riesgo climático, y de sus efectos sobre las especies de mar profundo Uso de sistemas de imágenes para obtención de información científica y para la concientización del público general La planificación espacial marina como una herramienta fundamental para promover la protección ambiental, el uso sostenible de los espacios marinos y sus recursos y la adaptación al impacto climático La adaptación de las medidas de manejo ambiental a un marco eficiente para la mitigación de los impactos de la presión climática, así como, para aumentar la resiliencia y la conservación de sumideros de carbono Optimizar los planes de manejo existentes para áreas marinas protegidas, integrando la mitigación de los impactos climáticos (por ejemplo, estableciendo límites flexibles y dinámicos que abarquen cambios de distribución de especies de interés)
Facilitar el asesoramiento intersectorial sobre la política y la gestión del mar profundo argentino	Diseñar un Plan Nacional Estratégico para el desarrollo sustentable del mar profundo argentino Creación de un Consejo Nacional abocado al mar profundo argentino Fomentar el diálogo entre científicos argentinos e interlocutores internacionales regionales y globales Ofrecer capacitación académica en diplomacia científica, política internacional y redes de trabajo científico internacionales Divulgar el conocimiento científico del mar profundo argentino

AGRADECIMIENTOS. El Taller de Especialistas Científicos del mar profundo de Argentina fue realizado en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires con el aval de dicha institución y de los institutos IGeBA-CONICET, DG-UBA, IBBEA-CONICET, DBBE-UBA, CIMA-CONICET, IQUBICEN-CONICET e IFAECI-CONICET. El comité organizador del Taller estuvo conformado por MEB, BD, FI, JCC, SS, Dra. Gabriela Amodeo (IBBEA-CONICET, DBBE-UBA) y Dr. Roberto Scasso (IGeBA-CONICET, DG-UBA). La profesora emérita Lisa Levin realizó su visita a la FCEyN con una beca de Fulbright-Specialists Program. El Taller contó con financiamiento por parte de la red científica internacional Deep Ocean Stewardship Initiative (DOSI) a la cual pertenecen MEB y LAL. El Taller también contó con un subsidio de UBA-CYT. Las reuniones luego del Taller fueron facilitadas por el aula virtual de IBBEA-DBBE-CONICET. Agradecemos la colaboración de Kristen Johannes durante el Taller. Agradecemos a los revisores anónimos y al editor por sus valiosos comentarios y sugerencias, que contribuyeron a mejorar la calidad del manuscrito. Contribución INIDEP N° 2441.

Nota de los autores. Todas las afirmaciones expresadas en este artículo son exclusivamente las de los autores y no necesariamente representan las de sus organizaciones afiliadas.

Contribución de autores. María Emilia Bravo: conceptualización; investigación; redacción-borrador original; redacción-revisión y edición; visualización; administración del proyecto; adquisición de fondos. Lisa A. Levin: conceptualización; investigación; redacción-borrador original; redacción-revisión y edición; visualización; administración del proyecto; adquisición de fondos. Viviana Alder: redacción-revisión y edición; Graziella Bozzano: redacción-revisión y edición. Alejandro D. Buren: redacción-revisión y edición; visualización. Juan Cruz Carbajal: redacción-revisión y edición. Paola Davila: redacción-revisión y edición. Brenda L. Doti: redacción-revisión y edición. Federico D. Esteban: redacción-revisión y edición; visualización. Pedro Flombaum: redacción-revisión y edición. Diego A. Giberto: redacción-revisión y edición. Juliana Giménez: redacción-revisión y edición. Micaela Giorgini: redacción-revisión y edición. Valeria A. Guinder: redacción-revisión y edición. Federico M. Ibarbalz: redacción-revisión y edición. Lucía C. Kahl: redacción-revisión y edición. María Eugenia Lattuca: redacción-revisión y edición. Daniel Laurretta: redacción-revisión y edición. Gustavo A. Lovrich: redacción-revisión y edición. Mariano I. Martínez: redacción-revisión y edición. Adriana Menoret: redacción-revisión y edición. Guido Pastorino: redacción-revisión y edición. Martha P. Rincón-Díaz: redacción-revisión y edición. Laura A. Ruiz-Elcheverry: redacción-revisión y edición. Sebastián E. Sabatini: redacción-revisión y edición. Ricardo Sahade: redacción-revisión y edición. Ornella Silvestri: redacción-revisión y edición. Marcos Tatian: redacción-revisión y edición. Valeria Teso: redacción-revisión y edición. Diego G. Urteaga: redacción-revisión y edición. Eleonora Verón: redacción-revisión y edición. Sandra M. Vivequin: redacción-revisión y edición. Chih Lin Wei: redacción-revisión y edición.

REFERENCIAS

- BRAVO ME, BRANDT MI, VAN DER GRIENT JM, DAHLGREN TG, ESQUETE P, GOLLNER S, JONES DO, LEVIN LA, McCLAIN CR, NARAYANASWAMY BE, et al. 2023. Insights from the management of offshore energy resources: toward an ecosystem-services based management approach for deep-ocean industries. *Front Mar Sci.* (9): 994632. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.994632>
- BRAVO ME, PRINCIPI S, LEVIN LA, ORMAZABAL JP, FERRONATO C, PALMA F, ISOLA J, TASSONE A. 2024. Discovery of deep-sea cold seeps from Argentina host singular trophic linkages and biodiversity. *Deep-Sea Res Pt I.* 211 (2024): 104361. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2024.104361>
- [CBD] CONVENCIÓN SOBRE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA. 2009. Scientific criteria for identifying ecologically or biologically significant marine areas (EBSAs) and guidance for designing representative networks of marine protected areas. Anexo I de la Decisión IX/20 de la Conferencia de las Partes. Montreal: CBD. <https://www.cbd.int>.
- [CBD] CONVENCIÓN SOBRE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA. 2024. Ecologically or biologically significant marine areas (EBSAs) [consultado diciembre 2024]. Montreal: CBD. <https://www.cbd.int/ebsa/>.
- [COPLA] COMISIÓN NACIONAL DEL LÍMITE EXTERIOR DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL. 2017. El margen continental argentino entre los 35° y 55° de latitud Sur en el contexto del Artículo 76 de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar. Buenos Aires: COPLA. 528 p.
- DAVIS NN, BADGER J, HAHMANN AN, HANSEN BO, MORTENSEN NG, KELLY M, LARSÉN XG, OLSEN BJ, FLOORS R, LIZCANO G, et al. 2023. The global wind atlas: a high-resolution dataset of climatologies and associated web-based application. *Bull Am Meteorol Soc.* 104 (8): E1507-E1525. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-21-0075.1>
- DELGADO AL, HERNÁNDEZ-CARRASCO I, COMBES V, FONT-MUÑOZ J, PRATOLONGO PD, BASTERRETXEA G. 2023. Patterns and trends in chlorophyll-a concentration and phytoplankton phenology in the biogeographical regions of southwestern Atlantic. *J Geophys Res C Oceans.* 128 (9): e2023JC019865. DOI: <https://doi.org/10.1029/2023JC019865>
- DONEY SC, RUCKELSHAUS M, EMMETT DUFFY J, BARRY JP, CHAN F, ENGLISH CA, GALINDO HM, GRABMEIER JM, HOLLOWED AB, KNOWLTON N, et al. 2012. Climate change impacts on marine ecosystems. *Annu Rev Mar Sci.* 4 (1): 11-37. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-041911-111611>
- [FAO] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2009. Management of deep-sea fisheries in the high seas. Rome: FAO.
- [FAO] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2024. Vulnerable marine ecosystems (VMEs) database. [consultado octubre 2024]. Rome: FAO. <https://www.fao.org/in-action/vulnerable-marine-ecosystems/vme-database/en/vme.html>.
- FRANCO BC, DEFEO O, PIOLA O, BARREIRO AR, YANG M, ORTEGA H, GIANELLI LI, CASTELLO JP, VERA C, BURATTI C, et al.

2020. Climate change impacts on the atmospheric circulation, ocean, and fisheries in the southwest south Atlantic Ocean: a review. *Clim Change*. 162 (4): 2359-2377. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02783-6>
- GIANELLI I, ORLANDO L, CARDOSO LG, CARRANZA A, CELENTANO E, CORREA P, DE LA ROSA A, DOÑO F, HAIMOVICI M, HORTA S. 2023. Sensitivity of fishery resources to climate change in the warm-temperate Southwest Atlantic Ocean. *Reg Environ Change*. 23 (2): 49. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-023-02049-8>
- JOHNSON GC. 2022. Antarctic bottom water warming and circulation slowdown in the Argentine Basin from analyses of deep argo and historical shipboard temperature data. *Geophys Res Lett*. 49 (18): e2022GL100526. DOI: <https://doi.org/10.1029/2022GL100526>
- LEVIN LA, LE BRIS N. 2015. The deep ocean under climate change. *Science*. 350 (6262): 766-768. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aad0126>
- LOTHIAN S. 2023. The BBNJ agreement: through the prism of deep-sea vulnerable marine ecosystems. *Ocean Develop Int Law*. 54 (4): 58 469-499. DOI: <https://doi.org/10.1080/00908320.2023.2296400>
- MARTINETTO P, KAHL C, ALEMANY D, BOTTO F. 2024. Patagonian shelf-break front: the ecosystem services hot-spot of the south west Atlantic Ocean. En: ACHA EM, IRIBARNE OO, PIOLA A, editores. *The Patagonian shelfbreak front: ecology, fisheries, wildlife conservation*. Cham: Springer Nature. p. 211-227. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-71190-9_9
- por María Emilia Bravo^{1, 2, *, ‡}, Lisa A. Levin^{3, ‡}, Viviana Alder^{4, 5, 6}, Graziella Bozzano^{7, 8}, Alejandro D. Buren^{6, 8}, Juan Cruz Carbajal⁹, Paola Davila⁷, Brenda L. Doti^{10, 11}, Federico D. Esteban^{1, 2}, Pedro Flombaum^{4, 9, 12}, Diego A. Giberto^{13, 8}, Juliana Giménez^{10, 11}, Micaela Giorgini¹³, Valeria A. Gunder¹⁴, Federico M. Ibarbalz^{4, 9, 12}, Lucía C. Kahl^{15, 7}, María Eugenia Lattuca¹⁶, Daniel Lauretta¹⁷, Gustavo A. Lovrich¹⁶, Mariano I. Martínez¹⁷, Adriana Menoret^{10, 11}, Guido Pastorino¹⁷, Martha P. Rincón-Díaz¹⁸, Laura A. Ruiz-Etcheverry^{15, 9, 12}, Sebastián E. Sabatini^{19, 10}, Ricardo Sahade^{20, 21}, Ornella Silvestri^{7, 8, 15}, Marcos Tatián^{20, 21}, Valeria Teso¹⁷, Diego G. Urteaga¹⁷, Eleonora Verón²², Sandra M. Vivequin^{6, 23} y Chih Lin Wei²⁴
- ¹Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (UBA), Buenos Aires, Argentina. ²Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGeBA), CONICET-Universidad de Buenos Aires (UBA), Buenos Aires, Argentina. ³Center for Marine Biodiversity and Conservation, Scripps Institution of Oceanography, UC San Diego, 9500 Gilman Drive, La Jolla, CA, 92093-0206, USA. ⁴Departamento de Ecología, Genética y Evolución, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (UBA), Intendente Güiraldes 2160, Buenos Aires, Argentina. ⁵Instituto de Ecología, Genética y Evolución de Buenos Aires (IEGEB), CONICET-Universidad de Buenos Aires (UBA), Buenos Aires, Argentina. ⁶Instituto Antártico Argentino, Dirección Nacional del Antártico (MRECIC), 25 de Mayo 1143, San Martín, Buenos Aires, Argentina. ⁷Servicio de Hidrografía Naval (SHN), Buenos Aires, Argentina. ⁸Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina. ⁹Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA), CONICET-Universidad de Buenos Aires (UBA), Buenos Aires, Argentina. ¹⁰Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires (UBA), Buenos Aires, Argentina. ¹¹Instituto de Biodiversidad y Biología Experimental y Aplicada (IBBEA), CONICET-Universidad de Buenos Aires (UBA), Buenos Aires, Argentina. ¹²Instituto Franco-Argentino de Estudios sobre el Clima y sus Impactos (IFAECI)-IRL 3351-CNRS-CONICET-IRD-UBA, Buenos Aires, Argentina. ¹³Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), Mar del Plata, Argentina. ¹⁴Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), CONICET-Universidad Nacional del Sur (UNS), Bahía Blanca, Argentina. ¹⁵Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (UBA), Buenos Aires, Argentina. ¹⁶Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC-CONICET), Ushuaia, Argentina. ¹⁷Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia" (MACN-CONICET), Buenos Aires, Argentina. ¹⁸Centro para el Estudio de Sistemas Marinos (CESIMAR), Centro Científico Tecnológico CONICET-Centro Nacional Patagónico, Puerto Madryn, Argentina. ¹⁹Instituto de Química Biológica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (IQUIBICEN), CONICET-Universidad de Buenos Aires (UBA), Buenos Aires, Argentina. ²⁰Instituto de Diversidad y Ecología Animal (IDEA), CONICET-Universidad de Córdoba, Córdoba, Argentina. ²¹Departamento de Diversidad y Ecología, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina. ²²CONICET-Facultad de Humanidades, Universidad Nacional de Mar del Plata, Mar del Plata, Argentina. ²³Universidad de la Defensa Nacional, Buenos Aires, Argentina. ²⁴Institute of Oceanography, National Taiwan University, Taipei, Taiwan. mebravo@gl.fcen.uba.ar (MEB), llevin@ucsd.edu (LAL), viviana.alder@gmail.com (VA), grazi.hidro.gov.ar@gmail.com (GB), aburen@conicet.gov.ar (ADB), carbajaljuancruz@gmail.com (JCC), pdavila.oc@gmail.com (PD), dotibrenda@gmail.com (BLD), federico.esteban@gmail.com (FDE), pflombaum@cima.fcen.uba.ar (PF), diegogiberto@inidep.edu.ar (DAG), jgimenez@bg.fcen.uba.ar (JG), mggiorgini@inidep.edu.ar (MG), vgunder@criba.edu.ar (VAG), federico.ibarbalz@cima.fcen.uba.ar (FMI), carolina.kahl@gmail.com (LCK), elattuca@gmail.com (MEL), dlauretta@gmail.com (DL), gustavolovrich@gmail.com (GAL), osiculos@gmail.com (MAM), menoret.a@gmail.com (AM), guidulipastorino@gmail.com (GP), princon7@gmail.com (MPRD), laura.agustina.ruiz@gmail.com (LARE), sabatini@bg.fcen.uba.ar (SES), rsahade@unc.edu.ar (RS), ornesilvestri@gmail.com (OS), marcostatian@gmail.com (MT), valeriateso@gmail.com (VT), dieourteaga@macn.gov.ar (DGU), eleonoraveron@gmail.com (EV), sandramarvivequin@gmail.com (SMV), clwei@g.ntu.edu.tw (CLW). ORCID *María Emilia Bravo*  <https://orcid.org/0000-0003-2760-1212>, *Lisa A.*

Levin  <https://orcid.org/0000-0002-2858-8622>, Viviana Alder  <https://orcid.org/0000-0002-7375-3279>, Graziella Bozzano  <https://orcid.org/0000-0002-9286-5380>, Alejandro D. Buren  <https://orcid.org/0000-0003-4561-2978>, Juan Cruz Carbajal  <https://orcid.org/0000-0001-9647-2755>, Paola Davila  <https://orcid.org/0009-0007-8146-2037>, Brenda L. Doti  <https://orcid.org/0000-0002-5101-829X>, Federico D. Esteban  <https://orcid.org/0000-0002-0641-7371>, Pedro Flombaum  <https://orcid.org/0000-0001-5307-4319>, Diego A. Giberto  <https://orcid.org/0009-0003-5664-3910>, Juliana Giménez  <https://orcid.org/0000-0002-2385-4178>, Micaela Giorgini  <https://orcid.org/0000-0003-4594-0162>, Valeria A. Guinder  <https://orcid.org/0000-0002-3852-9570>, Federico M. Ibarbalz  <https://orcid.org/0000-0003-4326-5490>, Lucía C. Kahl  <https://orcid.org/0009-0008-3205-1247>, María Eugenia Lattuca  <https://orcid.org/0000-0002-8670-840X>, Daniel Lauretta  <https://orcid.org/0000-0001-5344-2425>, Gustavo A. Lovrich  <https://orcid.org/0000-0001-8424-6566>, Mariano I. Martínez  <https://orcid.org/0000-0003-4438-4504>, Adriana Menoret  <https://orcid.org/0009-0002-7977-6348>, Guido Pastorino  <https://orcid.org/0000-0003-3341-777X>, Martha P. Rincón-Díaz  <https://orcid.org/0000-0002-6179-8197>, Laura A. Ruiz-Etcheverry  <https://orcid.org/0000-0003-2570-1199>, Sebastián E. Sabatini  <https://orcid.org/0000-0003-3969-6829>, Ricardo Sahade  <https://orcid.org/0000-0001-5650-8135>, Ornella Silvestri  <https://orcid.org/0000-0002-1150-7515>, Valeria Teso  <https://orcid.org/0000-0002-7210-9721>, Diego G. Urteaga  <https://orcid.org/0000-0003-2111-9150>, Eleonora Verón  <https://orcid.org/0000-0002-2932-0820>, Sandra M. Vivequin  <https://orcid.org/0009-0003-8987-1303>, Chih Lin Wei  <https://orcid.org/0000-0001-9430-0060>

Levin  <https://orcid.org/0000-0002-2858-8622>, *Viviana Alder*  <https://orcid.org/0000-0002-7375-3279>, *Graziella Bozzano*  <https://orcid.org/0000-0002-9286-5380>, *Alejandro D. Buren*  <https://orcid.org/0000-0003-4561-2978>, *Juan Cruz Carbajal*  <https://orcid.org/0000-0001-9647-2755>, *Paola Davila*  <https://orcid.org/0009-0007-8146-2037>, *Brenda L. Doti*  <https://orcid.org/0000-0002-5101-829X>, *Federico D. Esteban*  <https://orcid.org/0000-0002-0641-7371>, *Pedro Flombaum*  <https://orcid.org/0000-0001-5307-4319>, *Diego A. Giberto*  <https://orcid.org/0009-0003-5664-3910>, *Juliana Giménez*  <https://orcid.org/0000-0002-2385-4178>, *Micaela Giorgini*  <https://orcid.org/0000-0003-4594-0162>, *Valeria A. Guinder*  <https://orcid.org/0000-0002-3852-9570>, *Federico M. Ibarbalz*  <https://orcid.org/0000-0003-4326-5490>, *Lucía C. Kahl*  <https://orcid.org/0009-0008-3205-1247>, *María Eugenia Lattuca*  <https://orcid.org/0000-0002-8670-840X>, *Daniel Lauretta*  <https://orcid.org/0000-0001-5344-2425>, *Gustavo A. Lovrich*  <https://orcid.org/0000-0001-8424-6566>, *Mariano I. Martínez*  <https://orcid.org/0000-0003-4438-4504>, *Adriana Menoret*  <https://orcid.org/0009-0002-7977-6348>, *Guido Pastorino*  <https://orcid.org/0000-0003-3341-777X>, *Martha P. Rincón-Díaz*  <https://orcid.org/0000-0002-6179-8197>, *Laura A. Ruiz-Etcheverry*  <https://orcid.org/0000-0003-2570-1199>, *Sebastián E. Sabatini*  <https://orcid.org/0000-0003-3969-6829>, *Ricardo Sahade*  <https://orcid.org/0000-0001-5650-8135>, *Ornella Silvestri*  <https://orcid.org/0000-0002-1150-7515>, *Valeria Teso*  <https://orcid.org/0000-0002-7210-9721>, *Diego G. Urteaga*  <https://orcid.org/0000-0003-2111-9150>, *Eleonora Verón*  <https://orcid.org/0000-0002-2932-0820>, *Sandra M. Vivequin*  <https://orcid.org/0009-0003-8987-1303>, *Chih Lin Wei*  <https://orcid.org/0000-0001-9430-0060>

*Correspondence:
mebravo@gl.fcen.uba.ar

‡Estos autores contribuyeron de forma igualitaria, el resto de los coautores aparece en orden alfabético.

Received: 14 April 2025

Accepted: 17 July 2025