

Colaboración internacional y diplomacia científica: participación de la academia peruana en la comprensión del clima antártico y la distribución de clorofila-a del océano Austral

International Collaboration and Science Diplomacy: Peruvian Academia's Involvement in Understanding the Antarctic Climate and Southern Ocean Chlorophyll-a distribution

Cinthya Bello^{1*}, Luzmila Rodríguez¹, Rosby Gomez¹,
Edwin Laines¹, Pablo Londoño-Bailon²

1 Carrera de Biología Marina, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.
2 Dirección de Asuntos Antárticos, Ministerio de Relaciones Exteriores, Lima, Perú.



Citar como: Bello, C. *et al.* (2026). «Colaboración internacional y diplomacia científica: participación de la academia peruana en la comprensión del clima antártico y la distribución de clorofila-a del océano Austral». *South Sustainability*, 7(2), e167.
DOI: 10.21142/SS-0702-2026-e167

Recibido: 5/3/2026
Revisado por pares
Aceptado: 4/9/2026



© Los autores, 2026. Publicado por la Universidad Científica del Sur (Lima, Perú)

*E-mail de correspondencia:
cbelloc@cientifica.edu.pe

Editor asociado:
Edgar Josymar Torrejón Magallanes

RESUMEN

Las regiones polares son cruciales para la regulación del clima en el planeta; sin embargo, son muy sensibles al cambio climático. Como parte de las iniciativas para mejorar nuestra comprensión de las interacciones entre la criosfera antártica y el océano Austral, se llevó a cabo la Expedición Internacional de Circunnavegación Costera Antártica (ICCE) entre noviembre de 2024 y enero de 2025, en la que participaron 56 investigadores de diferentes países. Este documento aborda la participación del Perú en la ICCE como un caso de diplomacia científica efectiva. A partir de dicha experiencia, se propone fortalecer la Política Nacional Antártica, el posicionamiento del Perú como Parte Consultiva del Tratado Antártico, la cooperación internacional y la generación de evidencia científica clave para la toma de decisiones climáticas.

Palabras clave: diplomacia científica, cooperación científica, cambio climático, Antártida

ABSTRACT

The polar regions play a crucial role in regulating the planet's climate; however, they are highly sensitive to climate change. As part of initiatives to improve our understanding of the interactions between the Antarctic cryosphere and the Southern Ocean, the International Antarctic Coastal Circumnavigation Expedition (ICCE) was conducted between November 2024 and January 2025, with the participation of 56 researchers from different countries. In this document, we examine Peru's participation in the ICCE as a case of effective science diplomacy. Based on this experience, we propose that Peru strengthen its National Antarctic Policy, its position as a Consultative Party in the Antarctic Treaty, its contribution to international cooperation, and the generation of key scientific evidence for climate-related decision-making.

Keywords: science diplomacy, scientific cooperation, climate change, Antarctica



1. Introducción

La diplomacia científica es un concepto emergente que se consolida a principios del siglo XXI, pero su práctica presenta una trayectoria histórica (Gluckman *et al.*, 2017). Esta es la convergencia entre la evidencia científica y la diplomacia para enfrentar desafíos globales y promover las prioridades estratégicas de las naciones (Turekian, 2018). En 2009, la Sociedad Americana para el Avance de la Ciencia y la Sociedad Real Británica establecieron los parámetros que hoy se consideran el estándar de referencia para entender este concepto, enmarcado en tres dimensiones: 1) ciencia en la diplomacia, que implica el uso del conocimiento científico en la toma de decisiones, 2) diplomacia para la ciencia, referida a la cooperación internacional que facilita la investigación, y 3) ciencia para la diplomacia, que utiliza la colaboración científica como herramienta para fortalecer las relaciones internacionales (AAAS, 2010).

Al respecto, el Tratado Antártico (1959) constituye uno de los referentes más emblemáticos de la diplomacia científica. Durante las últimas siete décadas, ha facilitado el desarrollo de la investigación en un marco sustentado en tres pilares fundamentales: la ciencia, la paz y la conservación del medioambiente. Por ello, este régimen internacional adoptó diversos tratados conexos y protocolos con la finalidad de garantizar su protección (Hughes *et al.*, 2018). Varios programas antárticos nacionales han desarrollado históricamente expediciones científicas conjuntas, pero estas iniciativas suelen limitarse a esquemas de cooperación de pequeña escala. Sin embargo, durante la última década se han realizado importantes expediciones para circunnavegar la Antártida, caracterizadas por un enfoque multidisciplinario y multinacional (Berkman *et al.*, 2011).

La Expedición Internacional de Circunnavegación Costera Antártica (ICCE) se desarrolló en el verano austral 2024/2025, a bordo del rompehielos ruso RV Akademik Tryoshnikov, y marcó un hito en la cooperación antártica. La misión congregó a 56 científicos de 24 instituciones de siete naciones —incluyendo a Argentina, Brasil, Chile, China, India, Perú y Rusia (todos países consultivos)—, con el objetivo de profundizar en el estudio multidisciplinario de la criosfera y el océano Austral. El océano Austral representa el 20 % del sistema oceánico global y es un regulador climático crítico a causa de la Corriente Circumpolar Antártica, que facilita el intercambio de calor, la circulación termohalina y el secuestro de aproximadamente 20 Gt de CO₂ anuales (Naëck *et al.*, 2025; Mayot *et al.*, 2023). Debido a su rol en la fijación del carbono y en la regulación del clima global, comprender la dinámica del fitoplancton en el océano Austral constituye una prioridad científica internacional, dado que estos organismos sustentan la productividad primaria y desempeñan un papel clave en los ciclos biogeoquímicos globales (Smith, 2022). Por

ello, la medición de la clorofila-a se consolida como la variable fundamental para evaluar la dinámica de estos microorganismos fotosintéticos. No obstante, la actual dependencia de estimaciones satelitales, carentes de un respaldo suficiente de validación *in situ* (Ferreira *et al.*, 2022), genera incertidumbres que limitan nuestra comprensión de los patrones espaciales y temporales de la productividad biológica en esta región.

En ese sentido, el presente documento presenta un caso de diplomacia científica efectiva que contribuye al fortalecimiento de capacidades regionales y a la generación de evidencia crítica sobre cambio climático y gobernanza antártica. Asimismo, se presentan resultados preliminares que demuestran cómo la colaboración multinacional fomenta el interés de las nuevas generaciones de investigadores, al aportar insumos esenciales para la toma de decisiones informadas y el posicionamiento del Perú como Parte Consultiva del Tratado Antártico. En consecuencia, el aspecto de política pública a abordar reside en el fortalecimiento de los mecanismos de cooperación internacional, orientados a articular la ciencia multinacional con la gobernanza, necesarios para la toma de decisiones estratégicas por parte de los países consultivos.

2. Enfoque y discusión

Los análisis satelitales de largo plazo (1997-2018) confirman una tendencia creciente en la concentración de clorofila-a en el océano Austral, con incrementos de hasta el 47 % (Del Castillo *et al.*, 2019) y variaciones regionales significativas que oscilan entre 0.049 y 11.647 mg m⁻³ (Lu *et al.*, 2020). La variabilidad mencionada anteriormente, influenciada por la Corriente Circumpolar Antártica, muestra picos en enero y febrero, registrados en el mar de Ross de 1.3 mg m⁻³ (1.2 mg m⁻³), Bellingshausen-Amundsen de 1.1 mg m⁻³ (0.5 mg m⁻³) y Weddell de 0.7 mg m⁻³ (1.8 mg m⁻³), respectivamente; aunque revela discrepancias significativas al contrastar datos satelitales con mediciones *in situ* (Priester *et al.*, 2017; Behera *et al.*, 2020). Además, la variación en dichas concentraciones puede verse influenciada por cambios estacionales del hielo marino y la velocidad del viento (Behera *et al.*, 2020), la intensa disponibilidad de luz estacional (Zeng *et al.*, 2016), la acumulación diferencial de polvo atmosférico en el hielo y diferencias en el afloramiento (Jena y Pillai, 2020). A pesar de los avances previos, persiste una limitada disponibilidad de datos *in situ* a escala circumpolar que permitan integrar la variabilidad de la clorofila-a con las condiciones ambientales del océano Austral.

En este contexto, la diplomacia científica constituye un componente estratégico para la investigación en regiones polares, donde los altos costos y condiciones extremas requieren optimizar recursos mediante la cooperación internacional. Este enfoque tiene precedentes exitosos desde el primer Año Polar Internacional (1882-1883) (Berkman *et al.*, 2011). Bajo esta premisa, la ICCE fomentó

la integración de esfuerzos multinacionales para abordar interrogantes clave sobre la variabilidad ambiental y biológica en el océano Austral, por su rol en la regulación climática y su sensibilidad frente al contexto del cambio climático (Murphy *et al.*, 2021). La participación peruana en la expedición fue respaldada por el Ministerio de Relaciones Exteriores (MRE), como ente rector de la Política Nacional Antártica. Este marco de cooperación internacional permitió evaluar la biomasa fitoplanctónica y su estructura comunitaria en relación con las condiciones ambientales del océano Austral durante el verano austral 2024/2025. A partir de los muestreos realizados del 1 de diciembre de 2024 al 15 de enero de 2025 durante la ICCE 2024/2025, y mediante el análisis de clorofila-a en muestras de agua de mar (método 10200 H; APHA *et al.*, 2017), los resultados preliminares mostraron concentraciones promedio en superficie de 1.0 mg m^{-3} , con valores elevados en zonas costeras y plataforma continental que alcanzaron rangos de 2.5 a 3.5 mg m^{-3} (Figura 1a). Asimismo, el máximo profundo de clorofila (DCM) se identificó en la columna de agua mediante el análisis de perfiles verticales de clorofila-a y su relación con la variación de la pycnoclina, presentando profundidades variables (15 y 80 m), con biomasa predominantemente situada entre 0 a 1.5 mg m^{-3} (Figura 1b). La identificación de sectores con concentraciones subsuperficiales superiores (1.5 a 2.25 mg m^{-3}) confirma la existencia de acumulación de biomasa fitoplanctónica que las observaciones satelitales suelen subestimar, lo que evidencia la importancia de contar con mediciones directas para mejorar la precisión de los modelos climáticos y biogeoquímicos.

Estos resultados contribuyen a reducir la brecha de conocimiento existente y constituyen una evidencia de que la diplomacia científica es una herramienta eficaz para superar las barreras logísticas y presupuestales

inherentes a la investigación antártica. La colaboración entre naciones con intereses diversos, pero objetivos científicos comunes, ha permitido reunir una colección de información oceanográfica y biológica a escala circumpolar.

3. Conclusiones y recomendaciones

La participación peruana en la expedición ICCE 2024/2025 demuestra que los mecanismos de cooperación internacional son indispensables para articular la ciencia multinacional con la gobernanza, ya que funcionan como un puente decisivo para superar las limitaciones de recursos (por ejemplo, logísticos, de infraestructura, otros). Para fortalecer el rol estratégico del Perú en el Sistema del Tratado Antártico, se proponen las siguientes acciones como prioritarias:

Operativización de instrumentos de cooperación y fortalecimiento académico: resulta prioritario que a corto plazo (1 a 2 años) el Estado peruano, a través del MRE como ente rector en materia antártica, fortalezca la participación de la academia en redes de cooperación internacional de alto nivel. Esta integración también permitirá la formación de capital humano especializado que contribuya al posicionamiento estratégico del país dentro del Sistema del Tratado Antártico. Para ello, sería importante que el MRE operativice los instrumentos de cooperación (por ejemplo, MoU, convenios, otros) vigentes, para garantizar una participación científica peruana continua, articulada y con impacto en la gobernanza antártica.

Establecimiento de un programa nacional de validación *in situ*: se propone que a mediano plazo (5 a 7 años) las instituciones académicas (universidades públicas y privadas) e instituciones públicas de investigación

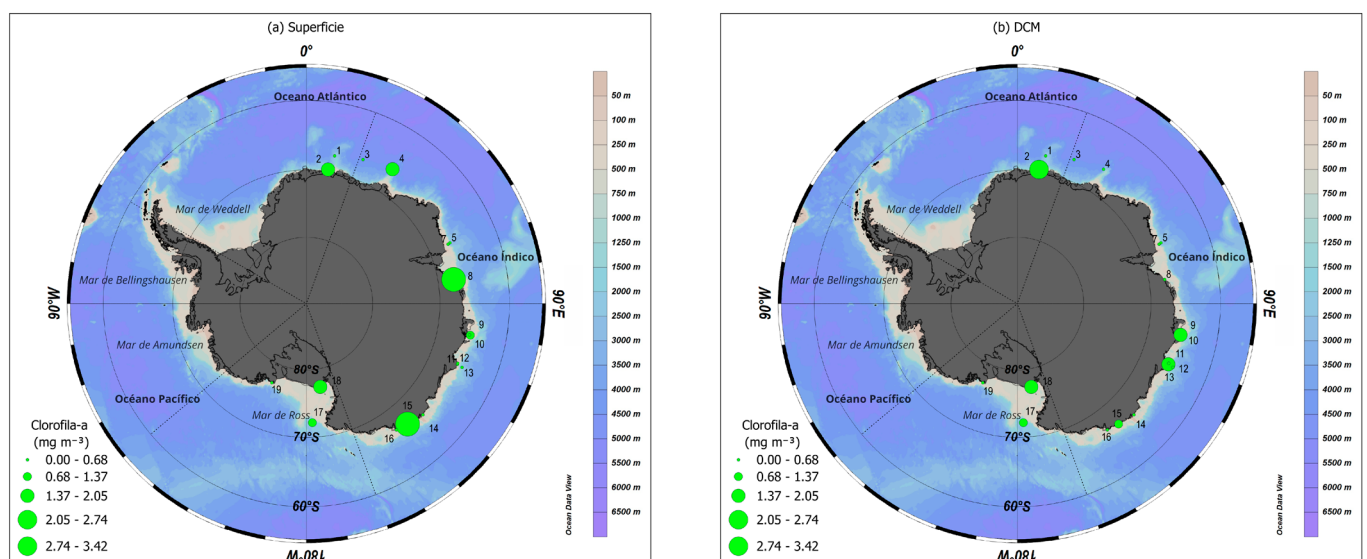


Figura 1. Resultados preliminares de la distribución de clorofila-a (en mg m^{-3}) a nivel de a) superficie y b) del máximo profundo de clorofila (DCM) en 19 estaciones de muestreo alrededor de la Antártida durante la ICCE (verano austral 2024/2025).

(como el Instituto del Mar del Perú, el Instituto Geofísico del Perú, entre otros) articulen esfuerzos que prioricen el establecimiento de un programa de validación de datos *in situ* frente a las estimaciones satelitales, para reducir la incertidumbre en la medición de la biomasa fitoplanctónica. Esta información es crítica, dado que permitirá mejorar la calidad de los productos grillados (modelos globales y regionales) a escalas semanales y climatológicas.

Integración en plataformas globales de datos abiertos: se requiere a mediano plazo (5 a 7 años) vincular los hallazgos científicos con plataformas de gestión abierta de datos antárticos (como el Sistema de Observación del Océano Austral [SOOS, por sus siglas en inglés]), lo que permitirá retroalimentar las bases de datos internacionales y visibilizar la producción científica peruana. De este modo, la toma de decisiones sobre el calentamiento global y la gobernanza oceánica se respaldará en evidencia técnica de alta precisión.

Contribución de autoría

CB: investigación, metodología, redacción del borrador original y de la edición final.

LR: redacción del borrador original, revisión y edición.

RG: redacción del borrador original, visualización, revisión y edición.

EL: redacción del borrador original, revisión y edición.

PLB: revisión y edición.

Fuente de financiamiento

ICCE fue financiada por la Fundación Suiza Albédo pour la Cryosphère y contó con el apoyo del Programa Antártico Brasileño (PROANTAR) y el Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq) de Brasil. El desarrollo de esta investigación fue financiado por la Dirección General de Investigación, Desarrollo e Innovación de la Universidad Científica del Sur. La Dirección de Asuntos Antárticos del Ministerio de Relaciones Exteriores del Perú gestionó la participación de Perú en ICCE y brindó soporte logístico para el traslado de las muestras colectadas.

Potenciales conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Declaración de uso de IA

Se declara que no se ha usado inteligencia artificial en ningún proceso de la elaboración de este manuscrito.

Agradecimientos

Se extiende un especial agradecimiento al profesor Jefferson C. Simões, coordinador científico de ICCE, por la invitación extendida para participar en ICCE.

Referencias bibliográficas

- American Association for the Advancement of Science (AAAS).** (2010). *New Frontiers in Science Diplomacy. Navigating the Changing Balance of Power*. Londres: The Royal Society. Disponible en: https://www.aaas.org/sites/default/files/New_Frontiers.pdf
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Environment Federation (WEF).** (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (23rd ed.). Washington, D. C.: American Public Health Association.
- Behera, N., Swain, D. y Sil, S.** (2020). «Effect of Antarctic sea ice on chlorophyll concentration in the Southern Ocean». *Deep Sea Research Part II*, 178, 104853. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2020.104853>
- Berkman, P. A., Lang, M. A., Walton, D. W. H. y Young, O. R.** (2011). *Science Diplomacy. Antarctica, Science, and the Governance of International Spaces*. Washington, D. C.: Smithsonian Institution Scholarly Press. Disponible en: <https://oceanfdn.org/wp-content/uploads/2019/08/Science-Diplomacy-Antarctica.pdf>
- Del Castillo, C. E., Signorini, S. R., Karaköylü, E. M. y Rivero-Calle, S.** (2019). «Is the Southern Ocean getting greener?». *Geophysical Research Letters*, 46(11), pp. 6030-6040. Disponible en: <https://doi.org/10.1029/2019GL083163>
- Ferreira, A., Brito, A., Mendes, C., Brotas, V., Costa, R., Guerreiro, C., Sá, C. y Jackson, T.** (2022). «OC4-SO: A new chlorophyll-a algorithm for the Western Antarctic Peninsula using multi-sensor satellite data». *Remote Sensing*, 14(5), 1052. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/rs14051052>
- Gluckman, P. D., Turekian, V., Grimes, R. W. y Kishi, T.** (2017). «Science Diplomacy: A Pragmatic Perspective from the Inside». *Science & Diplomacy*, 6(4). Disponible en: https://www.sciencediplomacy.org/sites/default/files/pragmatic_perspective_science_advice_dec2017_1.pdf
- Hughes, K. A., Constable, A., Frenot, Y., López-Martínez, J., McIvor, E., Njåstad, B., Terauds, A., Liggett, D., Roldan, G., Willemotte, A. y Xavier, J. C.** (2018). «Antarctic environmental protection: Strengthening the links between science and governance». *Environmental Science and Policy*, 83, pp. 86-95. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.02.006>
- Jena, B. y Pillai, A. N.** (2020). «Satellite observations of unprecedented phytoplankton blooms in the Maud Rise polynya, Southern Ocean». *The Cryosphere*, 14(4), pp. 1385-1398. Disponible en: <https://doi.org/10.5194/tc-14-1385-2020>
- Lu, Z., Liu, D., Liao, J., Wang, J., Li, H. y Zhang, J.** (2020). «Characterizing spatial distribution of chlorophyll a in the Southern Ocean on a circumpolar cruise in summer». *Science of the Total Environment*, 708, 134833. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134833>
- Mayot, N., Le Quéré, C., Rödenbeck, C., Bopp, L., Djeutchouang, L., Gehlen, M., Gregor, L., Gruber, N., Hauck, J., Ilyina, T., Keeling, R. F., Landschützer, P., Manning, A.C., Patara, L., Resplandy, L., Schwinger, J., Séférian, R., Watson, A. J., Wright, R. M. y Zeng, J.** (2023). «Climate-driven variability of the Southern Ocean CO₂ sink». *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 381(2249), 20220055, Disponible en: <https://doi.org/10.1098/rsta.2022.0055>
- Murphy, E. J., Johnston, N. M., Hofmann, E. E., Phillips, R. A., Jackson, J. A., Constable, A. J., Henley, S. F., Melbourne-Thomas, J., Trebilco, R., Cavanagh, R. D., Tarling, G. A., Saunders, R. A., Barnes, D. K. A., Costa, D. P., Corney, S. P., Fraser, C. I., Höfer, J., Hughes, K. A., Sands, C. J., Thorpe, S. E., Trathan, P. N. y Xavier, J. C.** (2021). «Global Connectivity of Southern Ocean Ecosystems». *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 624451. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.624451>
- Naëck, K., Boutin, J., Swart, S., du Plessis, M., Merlivat, L., Beaumont, L., Lourenco, A., d'Ovidio, F., Rousselet, L., Ward, B. y Sallée, J. B.** (2025). «Anomalous summertime CO₂ sink in the subpolar Southern Ocean promoted by early 2021 sea ice retreat». *Biogeosciences*, 22, pp. 1947-1968. Disponible en: <https://doi.org/10.5194/bg-22-1947-2025>
- Priester, C., Melbourne-Thomas, J., Klocker, A. y Corney, S.** (2017). «Abrupt transitions in dynamics of a NPZD model across Southern Ocean fronts». *Ecological Modelling*, 359, pp. 372-382. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.05.030>
- Secretaría del Tratado Antártico.** (1959). «Tratado Antártico». Disponible en: <https://www.ats.aq/s/antarctic treaty.html>
- Smith, W.** (2022). «Primary productivity measurements in the Ross Sea, Antarctica: A regional synthesis». *Earth System Science Data*, 14, pp. 2737-2747. Disponible en: <https://doi.org/10.5194/essd-14-2737-2022>
- Turekian, V.** (2018). «The Evolution of Science Diplomacy». *Global Policy*, 9, pp. 5-7. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/1758-5899.12622>
- Weijer, W., Sloyan, B. M., Maltrud, M. E., Jeffery, N., Hecht, M. W., Hartin, C. A., van Sebille, E., Wainer, I. y Landrum, L.** (2012). «The southern ocean and its climate in CCSM4». *Journal of Climate*, 25(8), pp. 2652-2675. Disponible en: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00302.1>
- Zeng, C., Xu, H. y Fischer, A.** (2016). «Chlorophyll-a estimation around the Antarctica Peninsula using satellite algorithms: Hints from field water leaving reflectance». *Sensors*, 16, 2075. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/s16122075>

