



Diez apuntes científicos sobre los riesgos y oportunidades para la vida en la Antártida

Julian Gutt¹, Enrique Isla², José C. Xavier^{3,4}, Byron J. Adams⁵, In-Young Ahn⁶, C.-H. Christina Cheng⁷, Claudia Colesie⁸, Vonda J. Cummings⁹, Huw Griffiths⁴, Ian Hogg^{10, 11}, Trevor McIntyre¹², Klaus M. Meiners¹³, David A. Pearce¹⁴, Lloyd Peck⁴, Dieter Piepenburg¹, Ryan R. Reisinger¹⁵, Grace K. Saba¹⁶, Irene R. Schloss^{17, 18, 19}, Camila N. Signori²⁰, Craig R. Smith²¹, Marino Vacchi²², Cinzia Verde²³ and Diana H. Wall²⁴

(1) Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Columbusstr., 27568 Bremerhaven, Germany. Julian.Gutt[at]awi.de

(2) Institute of Marine Sciences-CSIC, Passeig Maritim de la Barceloneta 37-49, Barcelona, 08003, Spain

(3) University of Coimbra, MARE - Marine and Environmental Sciences Centre, Faculty of Sciences and Technology, Portugal

(4) British Antarctic Survey, Natural Environmental Research Council, High Cross, Madingley Road, Cambridge CB3 0ET, UK

(5) Department of Biology and Monte L. Bean Museum, Brigham Young University, Provo, USA

(6) Korea Polar Research Institute, 26 Songdomirae-ro, Yeosu-gu, Incheon 21990, Republic of Korea (South Korea)

(7) University of Illinois, Department of Evolution, Ecology and Behavior, Urbana, USA

(8) School of GeoSciences, University of Edinburgh, Alexander Crum Brown Road, Edinburgh, EH9 3FF, UK

(9) National Institute of Water and Atmosphere Research Ltd (NIWA), 301 Evans Bay Parade, Greta Point, Wellington, New Zealand

(10) School of Science, University of Waikato, Private Bag 3105, Hamilton 3240, New Zealand

(11) Canadian High Antarctic Research Station, Polar Knowledge Canada, PO Box 2150, Cambridge Bay, Nunavut, X0B 0C0, Canada

(12) Department of Life and Consumer Sciences, University of South Africa, Private Bag X6, Florida, 1710, South Africa

(13) Australian Antarctic Division, Department of Agriculture, Water and the Environment, and Australian Antarctic Program Partnership, University of Tasmania, 20 Castray Esplanade, Battery Point, TAS 7004, Australia

(14) Department of Applied Science, Faculty of Health and Life Sciences, Northumbria University at Newcastle, Northumberland Road, Newcastle-upon-Tyne, NE1 8ST, UK

(15) Centre d'Etudes Biologique de Chizé, UMR 7372 du Centre National de la Recherche Scientifique - La Rochelle Université, 79360 Villiers en Bois, France

(16) Center for Ocean Observing Leadership, Department of Marine and Coastal Sciences, Rutgers University, 71 Dudley Rd., New Brunswick, NJ 08901, USA

(17) Instituto Antártico Argentino, Buenos Aires, Argentina

(18) Centro Austral de Investigaciones Científicas, Bernardo Houssay 200, Ushuaia, Tierra del Fuego CP V9410CAB, Argentina

(19) Universidad Nacional de Tierra del Fuego, Ushuaia, Tierra del Fuego CP V9410CAB, Argentina

(20) Oceanographic Institute, University of São Paulo, Praça do Oceanográfico, 191, CEP: 05508-900, São Paulo, Brazil

(21) Department of Oceanography, University of Hawaii at Manoa, 1000 Pope Road, Honolulu, HI 96822, USA

(22) Institute for the study of the anthropic impacts and the sustainability of the marine environment (IAS), National Research Council of Italy (CNR), Via de Marini 6, 16149 Genoa, Italy

(23) Institute of Biosciences and BioResources (IBBR), National Research Council (CNR), Via Pietro Castellino 111, I-80131 Naples, Italy

(24) Department of Biology and School of Global Environmental Sustainability, Colorado State University, Fort Collins, USA

DOI: [10.48361/2cpq-8t02](https://doi.org/10.48361/2cpq-8t02)

Traducción supervisada técnicamente por el Dr. Luis Cardona (Universitat de Barcelona, Spain)

Síntesis

- Veintiséis expertos sintetizan los conocimientos sobre los efectos y los riesgos del cambio climático para los procesos biológicos y las funciones ecosistémicas de la Antártida¹, a partir del programa de investigación “Umbrales antárticos: Resiliencia y adaptación del ecosistema” (AnT_ERA, 2013-2021), del SCAR.
- Los diez principales apuntes científicos tratan sobre: 1) la aceleración de los ciclos biogeoquímicos marinos y terrestres; 2) la respuesta a la acidificación de los océanos; 3) las variaciones ecológicas en las zonas más sensibles al cambio climático; 4) el inesperado dinamismo de las comunidades del fondo marino; 5) la cambios en la biodiversidad; 6) la limitación de la síntesis proteica debido a las bajas temperaturas; 7) la vida intrínsecamente ligada al cambio de las condiciones de la banquisa; 8) la contaminación; 9) las amenazas para las poblaciones de especies terrestres con una fuerte estructuración genética; y 10) ciertas comunidades ecológicas recientemente descubiertas.
- Dos terceras partes de la bibliografía que se cita en esta síntesis ha sido publicada entre 2010 y 2020; únicamente el tercio restante es anterior.
- El creciente número de indicios que se ha ido acumulando en las últimas décadas sugiere que varias comunidades biológicas antárticas ya están experimentando estrés climático o lo harán en las próximas décadas.
- La respuesta de los organismos y de las funciones y los servicios ecosistémicos a los cambios ambientales es compleja y diversa, y todavía persisten importantes lagunas de conocimientos que deben colmarse para valorar adecuadamente las perspectivas que depara el futuro para la vida en la Antártida.

Descripción detallada

Veintiséis expertos, de todas las disciplinas científicas antárticas en su conjunto, recogen los resultados de los estudios más destacados sobre los procesos y funciones biológicas y ecológicas que se producen en todos los niveles de organización biológica, tanto en los ecosistemas marinos como terrestres y limnéticos de la Antártida¹ (figura 0). Dichos estudios abordan desde la biosíntesis molecular, que cumple una importante función en la adaptación y la plasticidad de los organismos que estructuran la biodiversidad,² hasta los ecosistemas, en especial, su resiliencia (o capacidad de autorreparación), pasando por las interacciones biológicas, tales como las relaciones presa-depredador, los ciclos biogeoquímicos y los servicios ecosistémicos^{3, 5, 6}. Los resultados que poseen mayor trascendencia científica, suponen una novedad concreta o presentan importancia para la gestión se han agrupado en diez apuntes clave, que se sintetizan en este documento. Únicamente se cita la bibliografía general; para un listado exhaustivo, consúltese *Gutt et al.*¹

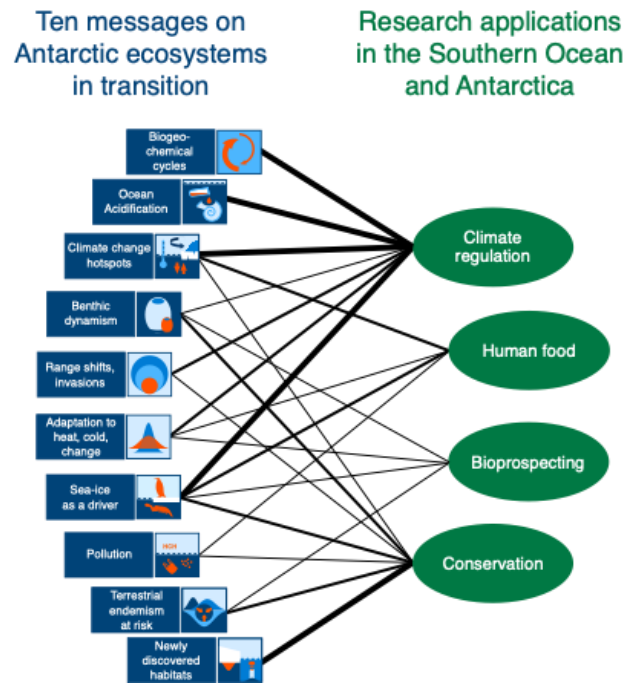


Figura 0. Vínculos entre los diez apuntes científicos clave sobre la Antártida y el Océano Glacial Antártico (abreviado) y campos de la investigación aplicada que engloban fundamentalmente bienes y servicios ecosistémicos (contribuciones de la naturaleza al bienestar humano). Los trazos más gruesos denotan una relación más intensa.

(1) El estrés climático intensifica el flujo de elementos entre los organismos y el entorno (ciclos biogeoquímicos).

El deshielo aumenta la cantidad de nutrientes que se liberan al medio, tanto en los ecosistemas terrestres como en los marinos (figura 1). Con la pérdida de hielo, aparecen nuevos hábitats terrestres y marinos, lo que combinado con un mayor aporte de nutrientes, conlleva un aumento neto de la fotosíntesis y la biomasa. Solo en periodos excepcionales de elevada turbidez de las aguas, o cuando concurren determinadas condiciones meteorológicas, la actividad biológica puede verse inhibida.

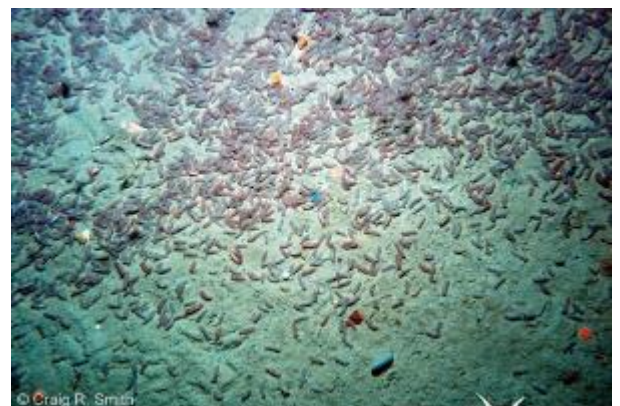


Figura 1. Por lo general, las holoturias colonizan los fondos marinos profundos, pero también alcanzan grandes densidades en zonas someras, en especial, cuando abunda el alimento. Contribuyen enormemente a la remineralización de partículas orgánicas, que se hunden desde la capa superficial de la columna de agua hasta el lecho marino. © Craig R. Smith

(2) Las especies responden de distintas formas a la acidificación de los océanos: es posible que algunas se aclimaten, pero se desconocen las respuestas de los ecosistemas.

Las respuestas de los productores primarios a la acidificación, entre la que se encuentran el crecimiento y la actividad fotosintética, varían de una especie a otra y también en función del tiempo de exposición a la acidificación. Durante las primeras fases del ciclo vital de los organismos (por ejemplo, tras la eclosión y durante la formación del caparazón en el caso del krill), la vulnerabilidad es, por lo general, mayor. Los estudios a largo plazo han revelado la posibilidad de que surjan respuestas compensatorias a la acidificación, pero para predecir los cambios a nivel de comunidad y ecosistema, es necesario conocer qué especies y grupos funcionales clave se verán afectados por la acidificación y cuales no, así como la acción conjunta de otros agentes estresantes, y la capacidad de adaptación de cada especie a largo plazo.



Figura 2. En distintos lugares del Océano Glacial Antártico existe una gran profusión de corales, que son especialmente vulnerables a la acidificación de los océanos por su estructura calcárea. © J. Gutt y W. Dimmler, AWI/MARUM

(3) Los cambios en los ecosistemas marinos y terrestres se están sucediendo con rapidez en las zonas más afectadas por el cambio climático.

La región occidental de la Península Antártica muestra ya el futuro que les espera a otras zonas antárticas ricas en biodiversidad. La variación de las condiciones locales, así como de los vientos regionales, de la calidad y de la extensión de la banquisa y de la estratificación de la columna de agua modulan la proliferación de algas frente a dicha península (figura 3). Sus zonas costeras, como los fiordos, albergan elevadas biomásas de krill y de ballenas, así como comunidades singulares en el bentos marino. El cambio climático puede suponer una amenaza para estas zonas tan ricas, especialmente allí donde los glaciares están retrocediendo.

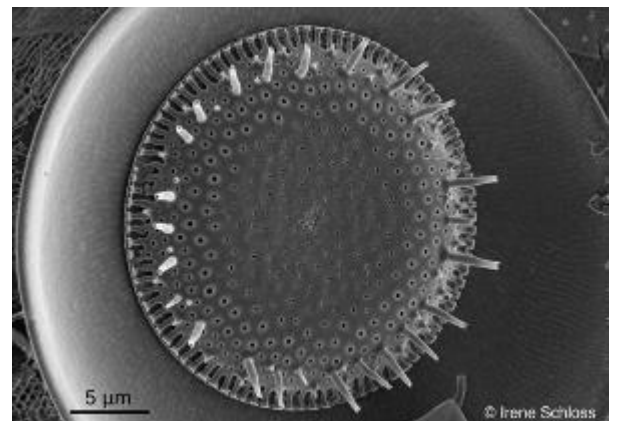


Figura 3. La composición y el crecimiento de las microalgas, como la especie de diatomea *Thalassiosira scottia*, son sensibles a los cambios térmicos y de las dinámicas del hielo marino. © Irene Schloss

(4) Las comunidades del fondo marino presentan un dinamismo inesperado, que abarca desde el crecimiento explosivo hasta la mortalidad masiva.

Durante décadas, se ha considerado que los organismos y las comunidades del fondo marino antártico crecían despacio (figura 4). No obstante, una serie de estudios recientes, que abarcan periodos comprendidos entre unos años y varias décadas, han demostrado que las esponjas y las ascidias pueden crecer más rápido de lo esperado, además de sufrir altas tasas de mortalidad por los cambios que provoca el clima en las condiciones de las plataformas de hielo anclado al continente y la banquisa, así como por el retroceso de los glaciares.



Figura 4. Las esponjas vítreas son sensibles a los cambios en las condiciones ambientales. Algunas especies crecen más rápido de lo que se pensaba hasta ahora, pero también sufren mayores tasas de mortalidad. © J. Gutt y W. Dimmler, AWI/MARUM

(5) Los cambios ambientales y el aumento del impacto humano provocan cambios en la distribución de las especies y facilitan las invasiones biológicas.

Se espera que la distribución de la mayoría de las especies marinas se desplace hacia los polos y se contraiga, aunque se ha observado que algunas se están contrayendo en el norte. En tierra, la disponibilidad de hábitats aumenta con el retroceso de los glaciares. Si las condiciones son favorables, como sucede en la Península Antártica, puede aumentar la productividad vegetal terrestre, fenómeno también conocido como "reverdecimiento de la Antártida" (figura 5), con la posibilidad de que se establezcan allí especies no autóctonas (fundamentalmente terrestres) transportadas por los visitantes humanos y se altere así la dinámica del ecosistema original.



Figura 5. La vegetación del continente antártico está formada fundamentalmente por líquenes y musgos, cuya distribución regional está en expansión debido al calentamiento. © Claudia Colesie.

(6) La respuesta de las especies en términos de resiliencia térmica es insuficiente, compleja y variable.

Las especies terrestres poseen una importante capacidad para sobrevivir al calentamiento, no así las marinas; en cambio, las primeras son vulnerables a los ciclos de hielo y deshielo. Es improbable que las adaptaciones genéticas se produzcan a un ritmo lo suficientemente rápido como para ajustarse a los cambios ambientales, debido a los dilatados tiempos de generación que necesitan la mayoría de las especies. Tanto las altas temperaturas como las bajas pueden alterar la estructura de las proteínas o dañarlas. En las especies marinas, las bajas temperaturas afectan al funcionamiento de los organismos, por ejemplo ralentizando el crecimiento y afectando al suministro de oxígeno por las citoglobinas proteínas que además ayudan a controlar el daño celular (figura 6). Ahora bien, las limitaciones que suponen las bajas temperaturas pueden estimular la innovación funcional proteica, y la generación de proteínas a bajas temperaturas. En concreto, es posible que las enzimas activas en frío se encuentren entre los objetivos más prometedores para la bioprospección.

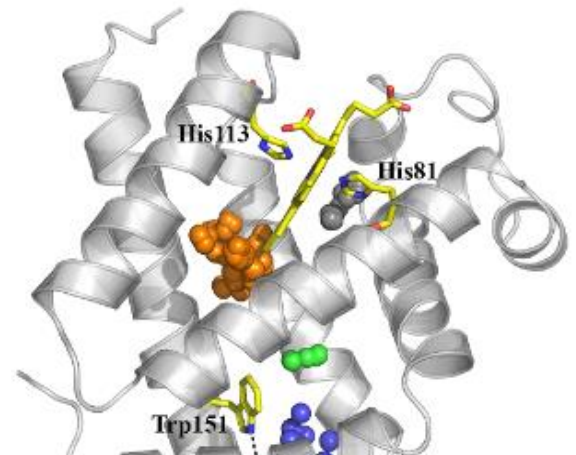


Figura 6. Estructura de la citoglobina del róbalo de profundidad (*Dissostichus mawsoni*). Las citoglobinas desempeñan una función importante para el suministro de oxígeno y el control del daño de las proteínas en los peces antárticos. © Daniela Giordano y Cinzia Verde.

(7) El hielo marino controla eficazmente casi todos los componentes de los ecosistemas marinos.

El cambio de las condiciones del hielo marino, en especial, su extensión, concentración y duración, afecta en sumo grado a las cadenas tróficas marinas, como puede ser el sistema diatomeas-krill-consumidores secundarios, así como a las comunidades del fondo marino (figura 7). La variabilidad en las condiciones de la banquisa incide, asimismo, en la disponibilidad y la calidad de las zonas de alimentación y reproducción de ciertos depredadores, como las focas y los pingüinos.



Figura 7. La foca cangrejera (*Lobodon carcinophagus*) vive en la banquisa y, por tanto, es sensible a los cambios en la extensión y las dinámicas del hielo marino. © Ryan Reisinger.

(8) La presencia de agentes contaminantes, ya sean nuevos o conocidos, en el medio antártico es cada vez mayor, pero sigue sin estudiarse suficientemente la respuesta de los organismos y las comunidades.

Los ecosistemas antárticos actúan como sumideros de contaminantes orgánicos persistentes y de metales pesados bioacumulativos, cuya presencia es fruto de la actividad humana. En paralelo, los macro y microplásticos son cada vez más abundantes en los hábitats y organismos marinos y terrestres de la Antártida.



Figura 8. Las aves marinas, tales como el albatros de ceja negra (*Thalassarche melanophris*), padecen los efectos de los contaminantes y basuras marinas, como, por ejemplo, los microplásticos y los aparejos de pesca perdidos. © José Xavier.

(9) La biota continental presenta alto grado de endemismo y, por tanto, se ve amenazada por el cambio climático.

La mayor conectividad de los hábitats terrestres entre sí causada por el deshielo facilita la dispersión de los organismos y provoca la mezcla de poblaciones que se hallan genéticamente más diferenciadas de lo que se pensaba hasta ahora (figura 9). Por consiguiente, cabe la posibilidad de que aumente la competencia por los recursos entre poblaciones y especies, particularmente como consecuencia del incremento de la conectividad entre los hábitats. Además, es probable que surjan nuevos nichos y hábitats favorables para especies invasoras.



Figura 9. El incremento del retroceso del hielo terrestre y lacustre propicia la mezcla de poblaciones de nematodos hasta entonces aisladas por los glaciares. © Byron Adams.

(10) Las comunidades de especies inusuales, dispersas y de pequeña extensión descubiertas en los últimos tiempos y que florecen en unas condiciones ambientales muy concretas, son especialmente vulnerables a los riesgos climáticos.

En algunos hábitats específicos, se ha descubierto una biota con un elevado nivel de adaptación que se caracteriza por una biodiversidad singular y que realiza funciones ecosistémicas concretas. Entre otros, cabe mencionar los lagos subglaciares; el subsuelo o la superficie bajo las plataformas de hielo; las fuentes hidrotermales y las surgencias submarinas; los hábitats geotérmicos terrestres; las agregaciones coralinas; y los montes submarinos (figura 10).



Figura 10. Esta estrella de mar (*Freyella fragilissima*) vive únicamente bajo las plataformas de hielo ancladas al continente y en aguas profundas. La rotura de estas plataformas por el calentamiento climático amenaza la supervivencia de esta especie. © J. Gutt y W. Dimmler, AWI/MARUM.

Desafíos

La investigación realizada en años anteriores pone de manifiesto de una forma cada vez más acusada que, en la Antártida y en el océano Glacial Antártico, varios componentes importantes del ecosistema ya están sometidos a estrés ambiental o es de esperar que el riesgo de que lo estén aumente en el futuro^{7, 8, 9, 10, 11}. Para mejorar las previsiones sobre la respuesta de la vida en la Antártida al cambio climático, es necesario no solo contar con más datos básicos sobre la variabilidad natural a largo plazo de los patrones y los procesos ecosistémicos, sino también conocer mejor su funcionamiento¹². Para lograr este objetivo, deben efectuarse más observaciones anuales y plurianuales. En el terreno de la ecología, los estudios de campo transversales y sinópticos deben ofrecer una elevada resolución temporal y espacial, y sentar las bases para analizar y detectar el impacto de múltiples estresores¹³. Además, disponer de una información adecuada sobre la capacidad de adaptación de las especies y las funciones ecológicas clave, incluidas las interacciones, puede ser el punto de partida para formular, en el futuro, hipótesis fiables.

Ciertos temas de investigación están infrarrepresentados en la bibliografía científica, como por ejemplo, la remineralización de la biomasa muerta en forma de nuevos nutrientes (reciclaje) en el fondo marino y la respuesta de los organismos a la contaminación, aspectos que se consideran importantes en el contexto ambiental, así como ciertos datos básicos necesarios para responder a cuestiones acuciantes. Entre las técnicas que abren grandes posibilidades de avanzar en el progreso científico en este ámbito se encuentran la proliferación de plataformas autónomas de muestreo (por ejemplo, flotadores robotizados y vehículos aéreos y subacuáticos no tripulados), la rápida mejora de los métodos no invasivos de obtención de imágenes y sonidos para la realización de censos e inventarios de ciertas especies, los análisis de ADN ambiental y la modelización ecológica; todas ellas pueden resultar de utilidad no solo en la formulación de predicciones espacialmente explícitas, sino también en la detección de funciones ecológicas clave.

Conclusión

La última década ha sido testigo de grandes éxitos en la investigación de los procesos biológicos y ecológicos y en el funcionamiento de los ecosistemas de la Antártida y del océano Glacial Antártico. Ahora sabemos que el cambio climático traerá consigo vencedores y vencidos entre las especies clave desde un punto de vista ecológico, lo que a su vez aumentará o reducirá la biodiversidad y la producción primaria, además de alterar los ciclos biogeoquímicos^{14, 15, 16}.

En conclusión, lo que se sabe actualmente sobre la huella antrópica es fundamental para orientar las estrategias del Tratado Antártico y la legislación nacional con el fin de garantizar que los ecosistemas antárticos gocen de buena salud, lo que, de por sí, ya justifica ampliar la protección de la biota antártica frente a los riesgos del cambio climático, la contaminación y otras perturbaciones antropogénicas^{17, 18}.

Asimismo, hemos conseguido conocer mejor en qué procesos, regiones u organismos de la Antártida debemos centrarnos para dilucidar el futuro de todos los ecosistemas antárticos y para diseñar nuevos estudios ecológicos innovadores e integradores^{4, 19}.

Por último, esta síntesis subraya que los avances significativos en la investigación antártica orientada a responder preguntas concretas requiere un equilibrio entre la investigación aplicada destinada a resolver problemas como la gestión del clima, la conservación de la biodiversidad o de manejo de ecosistemas, y la libertad académica para llevar a cabo investigación básica, la cual, a su vez, permite orientar la investigación aplicada.

Referencias

1. J. Gutt, E. Isla, J. Xavier, B. Adams, et al, Antarctic ecosystems in transition – life between stresses and opportunities. *Biological Reviews* (2020). Doi: 10.1111/brv.12679
2. L.S. Peck, Antarctic marine biodiversity: adaptations, environments and responses to change. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* **56**, 105–236 (2018)
3. G.K. Saba, W.R. Fraser, V.S. Saba, R.A. Iannuzzi, et al, Winter and spring controls on the summer food web of the coastal West Antarctic peninsula. *Nature Communications* **5**, 4318 (2014). Doi: 10.1038/ncomms5318
4. A.J. Constable, D.P. Costa, O. Schofield, L. Newman, et al, Developing priority variables (“ecosystem Essential Ocean variables” – eEOVs) for observing dynamics and change in Southern Ocean ecosystems. *Journal of Marine Systems* **161**, 26–41 (2016). Doi: 10.1016/j.jmarsys.2016.05.003.
5. C.K. Lee, D.C. Laughlin, E.M. Bottos, T. Caruso, et al, Biotic interactions are an unexpected yet critical control on the complexity of an abiotically driven polar ecosystem. *Communications Biology* **2**, 62 (2019). Doi: 10.1038/s42003-018-0274-5
6. A.D. Rogers, B.A.V. Frinault, D.K.A. Barnes, N.L. Bindoff, et al, Antarctic futures: an assessment of climate-driven changes in ecosystem structure, function, and service provisioning in the Southern Ocean. *Annual Review of Marine Science* **12**, 87–130 (2020). Doi: 10.1146/annurev-marine-010419-011028
7. J. Turner, N.E. Barrand, T.J. Bracegirdle, P. Convey, et al, Antarctic climate change and the environment: an update. *Polar Record* **50**, 237–259 (2014). Doi: 10.1017/S0032247413000296
8. P. Convey, L.S. Peck, Antarctic environmental change and biological responses. *Science Advances* **5**, eaaz0888 (2019). Doi: 10.1126/sciadv.aaz0888
9. M. Meredith, M. Sommerkorn, S. Cassotta, C. Derksen, et al, Polar regions. In: H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M., Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J., Petzold, B. Rama and N. M. Weyer (eds) *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. (2019), pp 203–320.
10. S.L. Chown, C.M. Brooks, The state and future of Antarctic environments in a global context. *Annual Review of Environment and Resources* **44**, 1–30 (2019). Doi: 10.1146/annurev-environ-101718-033236
11. S.A. Morley, D. Abele, D.K.A. Barnes, C.A. Cárdenas, et al, Global drivers on Southern Ocean ecosystems: changing physical environments and anthropogenic pressures in an earth system. *Frontiers in Marine Science* **7**, 1–24 (2020). doi: 10.3389/fmars.2020.547188
12. M.C. Il Kennicutt, D. Bromwich, D. Liggett, B. Njåstad, et al, Sustained Antarctic research: a 21st century imperative. *One Earth* **1**, 95–113 (2019). Doi: 10.1016/j.oneear.2019.08.014
13. J. Gutt, N. Bertler, T.J. Bracegirdle, A. Buschmann, et al, The Southern Ocean ecosystem under multiple climate stresses - an integrated circumpolar assessment. *Global Change Biology* **21**, 1434–1453 (2015). Doi: 10.1111/geb.12794
14. H.J. Griffiths, A.J.S. Meijers, T.J. Bracegirdle, More losers than winners in a century of future Southern Ocean seafloor warming. *Nature Climate Change* **7**, 749–755 (2017). Doi: 10.1038/NCLIMATE3377
15. M.A. Hindell, R.R. Reisinger, Y. Ropert-Coudert, L. Hückstädt, et al, Tracking of marine predators to protect Southern Ocean ecosystems. *Nature* **580**, 87–92 (2020). doi: 10.1038/s41586-020-2126-y

16. S.F. Henley, E.L. Cavan, S.E. Fawcett, R. Kerr, et al, Changing biogeochemistry of the Southern Ocean and its ecosystem implications. *Frontiers in Marine Science* **7**, 581 (2020). Doi: 10.1098/rsta.2017.0168
17. H. Flores, A. Atkinson, S. Kawaguchi, B.A. Krafft, et al, Impact of climate change on Antarctic krill. *Marine Ecology Progress Series* **458**, 1–19 (2012). Doi: 10.3354/meps09831
18. K.A. Hughes, A. Constable, Y. Frenot, J. López-Martínez, et al, Antarctic environmental protection: strengthening the links between science and governance. *Environmental Science & Policy* **83**, 86–95 (2018). Doi: 10.1016/j.envsci.2018.02.006
19. J. Gutt, E. Isla, N. Bertler, G.E. Bodeker, et al, Cross-disciplinarity in the advance of Antarctic ecosystem research. *Marine Genomics* **37**, 1–17 (2018). Doi: 10.1016/j.margen.2017.09.006