

# Libros

## Angry Weather: Heat Waves, Floods, Storms, and the New Science of Climate Change

Tiempo airado: olas de calor, inundaciones,  
temporales y la nueva ciencia del cambio climático

AUTOR: FRIEDERIKE OTTO. GREYSTONE BOOKS, CANADA (2020).

TAPA DURA, 256 PÁGINAS, ISBN-13: 978-1771646147.

La autora de este interesante libro, Friederike Otto, es física, investigadora climática y actualmente profesora titular (*senior lecturer*) del Instituto Grantham de Cambio Climático y Medio Ambiente perteneciente al *Imperial College* de Londres. Otto codirige el proyecto de Atribución Global del Tiempo (<https://www.worldweatherattribution.org>) que evalúa la influencia humana en episodios meteorológicos extremos. Fue incluida en 2021 por la revista *Time* en la lista de las cien personas más influyentes del mundo.

El núcleo central de este libro se dedica a presentar la línea de investigación emergente relativa a la atribución de los eventos meteorológicos extremos, incluyendo sus orígenes, su desarrollo reciente y las consecuencias que en un futuro próximo pueda tener. En términos generales, se define la atribución como el proceso de evaluación de las contribuciones relativas de múltiples factores causales a un cambio o evento incluyendo una evaluación de la confianza. La evidencia de la influencia humana en el reciente cambio climático se ha reforzado desde el Segundo (SAR) hasta el Quinto (AR5) Informe de Evaluación del IPCC concluyendo este último que la influencia humana es clara evidenciándose en el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero, en el forzamiento radiativo positivo, en el calentamiento observado y en la comprensión física del sistema climático. Esta atribución, hasta recientemente, se ha circunscrito a los cambios en el clima y no a eventos meteorológicos aislados.

En términos generales, se puede decir que es imposible determinar si un evento meteorológico individual podría -o no- haber tenido lugar sin la influencia humana como habitualmente se demanda por parte de los medios de comunicación tras la ocurrencia de un episodio meteorológico extremo de gran impacto, tal como una ola de calor, una precipitación excepcional, una sequía intensa y prolongada, etc. Ante esta imposibilidad siempre podemos preguntarnos, como alternativa razonable y factible, en qué medida el riesgo de un evento extremo -expresado en términos probabilísticos- ha cambiado debido a factores externos. Este último tipo de atribución es de lo que trata este libro.

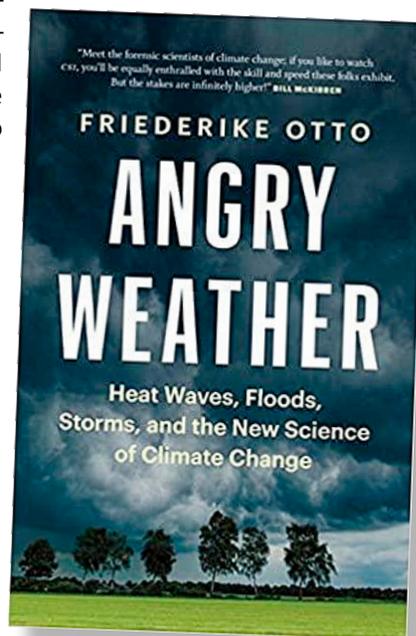
La obra está organizada en diez capítulos agrupados a su vez en dos bloques de cinco capítulos cada uno. El primer bloque nos presenta la nueva rama de investigación dedicada a la atribución de eventos meteorológicos aislados, mientras que el segundo explora las diferentes consecuencias del nuevo campo de la atribución de eventos en particular desde el punto de vista de la comunicación, de las implicaciones legales y de las negociaciones internacionales sobre el cambio climático. La ola de calor que asoló Europa en el verano de 2003 causando un exceso estimado de 70 000 muertes respecto a los valores medios, se puede considerar que fue el punto de partida para los estudios de atribución de eventos meteorológicos extremos. Myles Allen, un año

después del evento, concluyó que la frecuencia de olas de calor como la del 2003 se duplica por efecto del cambio climático. Diferentes autores propusieron con posterioridad una variedad de métodos y enfoques para establecer en qué medida un evento meteorológico aislado puede atribuirse o no al cambio climático antropogénico. En general, estos estudios de atribución hacen uso de observaciones y de simulaciones climáticas tanto en condiciones reales -y por lo tanto afectadas por las alteraciones antropogénicas- como ficticias sin perturbaciones antropogénicas. Solo simulando un hipotético mundo sin cambio climático -que nunca ha existido- se puede determinar cómo éste influye a los eventos meteorológicos actuales. La realización de ambos tipos de simulaciones supone una gran carga de cálculo que demora grandemente la realización de tales estudios. Las observaciones se utilizan para comprobar cómo de bien los modelos simulan el clima real ya que no todos los modelos simulan igualmente bien los eventos extremos en los que podemos estar interesados. Se explica en el libro que la realización de análisis de atribución rápidos en tiempo casi real tiene un gran impacto desde el punto de vista de la comunicación cuando los impactos debidos a un evento extremo son recientes y todavía atraen la atención de los medios, de los gobernantes y de la población general. La única alternativa viable para responder con este tipo de estudios de forma inmediata es hacer uso de simulaciones precalculadas con y sin los efectos antropogénicos en el clima.

Un elemento esencial de los estudios de atribución de eventos meteorológicos extremos es la actual capacidad de los modelos climáticos para simularlos adecuadamente. Esto restringe actualmente el tipo de eventos sobre los que se pueden hacer este tipo de estudios a eventos de gran escala, como olas de calor, precipitaciones intensas no de tipo local, etc. descartando

eventos tales como ciclones tropicales, tornados, episodios convectivos, etc. cuya simulación se escapa a los modelos climáticos actualmente disponibles.

La consecuencia natural de la atribución de un evento extremo específico es el incremento de la litigación ya que estos estudios apuntan a ciertos responsables y de hecho los tribunales en diferentes países del mundo están empezando con cada vez mayor frecuencia a tramitar estos casos en paralelo con la maduración de los estudios de atribución. Por ejemplo, supongamos que somos capaces de cuantificar económicamente con gran exactitud los daños asociados a un evento extremo específico, que somos capaces de atribuir el evento al cambio climático antropogénico con una muy alta probabilidad y que podemos seguir trazando la causalidad del evento con la contribución proporcional a las emisiones acumuladas de gases de efecto invernadero de un determinado país o corporación. Esta línea de causalidad rela-



# Libros

→ ciona claramente unos daños con un responsable facilitando que los tribunales empiecen a tramitar este tipo de demandas.

El libro nos introduce de forma subjetiva -y siguiendo la secuencia histórica de los hechos- en el papel que ha jugado la autora en el desarrollo e impulso del nuevo campo de investigación de la atribución de eventos meteorológicos extremos, en el desarrollo del proyecto de Atribución Global del Tiempo y en la organización de un servicio de atribución rápida desarrollado en el marco del Servicio Copernicus de Cambio Climático de la Unión Europea. En los últimos años se ha llegado a alcanzar un consenso entre los científicos relativo a los elementos que se deben incluir en los estudios de atribución de eventos meteorológicos extremos para que sean suficientemente robustos. La evaluación realizada por la Academia Nacional de Ciencias de EE.UU. (véase <https://doi.org/10.17226/21852>) del método de atribución descrito en este libro y desarrollado por el proyecto de Atribución Global del Tiempo concluyó que las estimaciones de los cambios en los riesgos son fiables y robustas.

La publicación del informe de la Academia Nacional de Ciencias de EE.UU., en el que se evaluaba positivamente la nueva línea de la atribución de eventos meteorológicos extremos, tuvo una repercusión

más allá de la comunidad científica. De hecho, en un extenso artículo del diario *New York Times* (publicado el 1 de agosto de 2016) comparaba al equipo del proyecto de Atribución Global del Tiempo con la unidad policial de intervención rápida de la famosa serie televisiva SWAT por la prioridad que tenían en tener disponibles los análisis de atribución en tiempo casi real.

Con posterioridad a la aparición de este libro, el sexto y último informe del IPCC estableció claramente en 2021 que estudiando caso por caso se puede cuantificar la contribución de las influencias humanas a la magnitud y probabilidad de muchos eventos extremos estimando y comparando la probabilidad o magnitud del mismo tipo de evento entre el clima actual, incluidos los aumentos en las concentraciones de gases de efecto invernadero y otras influencias humanas, y un mundo alternativo donde los gases de efecto invernadero atmosféricos permanecieron en niveles preindustriales.

Finalmente, se puede concluir que el libro que aquí se reseña es muy recomendable ya que introduce muy fácilmente al lector en un novedoso campo de investigación que tiene -y tendrá cada vez más- repercusión en los aspectos legales y políticos del actual cambio climático.

**Ernesto Rodríguez Camino**

## Observando los polos

EDITORAS: VANESSA BALAGUÉ, CLARA CARDELÚS Y MAGDA VILA.

CSIC CATARATA COLECCIÓN DIVULGACIÓN. MADRID, 2021. 318 PÁGINAS PRECIO: 26, 00 EUROS.

Como puede leerse en la contraportada, *Observando los polos* aspira a dar una visión integral y multidisciplinar del estado del conocimiento de las zonas árticas y antárticas: su evolución geológica, los problemas de contaminación de estos territorios, la caracterización de los diversos ecosistemas terrestres y marinos, así como la evolución pasada, presente y futura del clima polar o el papel que las pioneras han tenido en su investigación. El objetivo final es explicar de forma clara y amena, las similitudes y diferencias entre ambos polos y concienciar sobre las alteraciones que están sufriendo debido al cambio global y plantear la necesidad de una investigación especialmente enfocada a comprender y evaluar su papel en el futuro incierto de nuestro planeta en un contexto de transformación derivada del cambio climático.

Asimismo, se quieren dar a conocer las investigaciones de gran relevancia científica y social realizadas por el personal científico y técnico del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), aproximándonos a la historia y situación actual de la investigación polar en España. Un total de 56 especialistas entre personal científico y técnico pertenecientes a la plataforma temática interdisciplinar POLARCSIC, han participado en la elaboración de este nuevo título, número 34 de la colección "Divulgación" (CSIC-Catarata). La esmerada edición ha corrido a cargo de Vanessa Balagué, Clara Cardelús y Magda Vila, investigadoras del CSIC en el Instituto de Ciencias del Mar.

El libro se estructura en prólogo y doce capítulos: "Descubrir los polos. Introducción al Ártico y a la Antártida", "Investigación española en zonas polares", "Tierra, océano y hielo. Estructura y geodinámica de las zonas polares", "Mares de hielo, motores del clima global. Dinámica física y química de los océanos polares", "Vida en los polos. Ecosistemas terrestres", "Vida en los polos. Ecosistemas acuáticos", "Eventos ex-

tremos", "Polos y clima global: pasado, presente y futuro", "Criosfera: el hielo polar y su papel en el clima terrestre", "Contaminación en los polos: alcance, impacto y perspectivas", "Observaciones al límite. Instrumentación para la observación en zonas polares", "El soporte para la investigación en los confines del planeta. Infraestructuras polares", acabando con "Sobre los autores y autoras".

La publicación incluye una espectacular colección de diagramas, esquemas, figuras e imágenes tanto de la flora, fauna y paisajes del Ártico y de la Antártida, como de las instalaciones, equipamientos científicos y de las campañas llevadas a cabo por el personal investigador del CSIC. Igualmente se incluye al final de cada capítulo, un cuadro con referencias bibliográficas.

En el prólogo redactado por la Plataforma Temática Interdisciplinar POLARCSIC, se menciona que este libro nace como consecuencia del curso que, con el mismo nombre, organizó la PTIPOLARCSIC, el CSIC y la Universidad Internacional Menéndez Pelayo (UIMP) en noviembre de 2019 en la Delegación del CSIC en Cataluña.

La Antártida y el Ártico son regiones tan remotas e inhóspitas como atractivas. Numerosas expediciones han llegado hasta los confines de nuestro planeta en busca de recursos naturales, con el fin de abrir nuevas vías de transporte marítimo y comercio, o simplemente por el mero interés de explorar y descubrir lugares ignotos. Pero, sobre todo, las zonas polares han sido visitadas por su gran interés científico en los últimos tiempos.

A través del recorrido por los lugares más recónditos e inhóspitos del planeta se ponen de manifiesto tanto sus similitudes como sus diferencias. Ambos están cubiertos de nieve o hielo, no tienen luz durante los seis meses invernales, y en ellos habita una fauna y una flora que han conseguido adaptarse a condiciones extremas, pero los dos extre-

mos son muy distintos. El Ártico, ubicado en el Polo Norte, está formado por un océano rodeado de tierra, el más pequeño del planeta, mientras que la Antártida, donde se sitúa el Polo Sur, es un continente rodeado de mar. Por otra parte, el primero tiene zonas terrestres pertenecientes, entre otros, a Canadá, Rusia, Noruega, Dinamarca (Groenlandia), Suecia, Finlandia, Islandia y Estados Unidos (Alaska); mientras que la Antártida no pertenece a ningún país, como lo establece el Tratado Antártico, que regula este continente desde 1959.

El océano que rodea la Antártida comprende unas masas de agua que circulan en el sentido de las agujas del reloj y que hacen que el continente quede aislado. Este fenómeno hace que la región sea la más fría de las dos. Por el contrario, el Ártico no muestra este aislamiento, ya que tiene una gran conexión con el resto de tierras que lo rodean. Asimismo, el Ártico ha estado habitado por pueblos nativos y en él se pueden encontrar gran cantidad de mamíferos terrestres y plantas vasculares, a diferencia de la Antártida.

En la actualidad, estas dos grandes regiones polares se están viendo amenazadas por las actividades humanas y sus consecuencias, como el calentamiento global, que causa un impacto muy negativo en estas zonas con una gran cantidad de hielo que, al fundirse, tiene importantes repercusiones sobre la circulación oceánica, el clima global y el aumento del nivel del mar.

La conquista de ambos polos jugó un papel fundamental en la historia de la exploración humana. En las grandes exploraciones de finales del siglo XIX y principios del XX aparecen figuras como Amundsen, Shackleton, Peary, Franklin, etc. Respecto a la presencia de las mujeres fue muy escasa porque no dispusieron de las mismas oportunidades, y en el caso de las que lo consiguieron, su labor se vio un tanto invisibilizada.

La primera en pisar la Antártida fue Caroline Mikkelsen (1906-1998), en el año 1935, acompañando a su marido, en la exploración de tierras donde poder instalar estaciones noruegas para la pesca de ballenas. La historiadora estadounidense Jackie Ronne (1919-2009) fue la primera en pisar el continente antártico en 1946, y Mariya Kliónova (1898-1976), geóloga

rusa, primera mujer participante en una expedición antártica en 1955. Marta Estrada, Josefina Castellví y Charo Nogueira fueron las tres primeras mujeres españolas en llevar a cabo proyectos de investigación en la Antártida. Por su parte, Josefina Castellví fue la primera mujer en dirigir una base antártica, la BAE Juan Carlos I, durante las décadas de los ochenta y los noventa, siendo también gestora del programa nacional antártico.

En cuanto a la exploración ártica, la primera expedicionaria fue Josephine Diebitsch (1863-1955) de origen prusiano pero formada en los Estados Unidos. Viajó con Robert Peary, su marido, al Ártico siendo también una pionera de la etnografía, llegando a convivir con los inuit. A pesar de ser las regiones más remotas del planeta y, en principio, bastante ajenas a la frenética actividad humana, las zonas polares también reflejan la huella característica que el impacto de nuestro estilo de vida imprime a nivel global. Las regiones polares pueden considerarse como centinelas de la contaminación global, porque son especialmente susceptibles de sufrir los efectos nocivos de contaminantes generados a miles de kilómetros de distancia, una característica que es aprove-

chada por la comunidad científica. “El carácter aislado de estas zonas permite que actúen como una especie de ‘lienzo en blanco’ para el estudio de la presencia y la dinámica global de los contaminantes que son capaces de llegar hasta allí”, señala el texto. Actualmente se considera que el transporte a larga distancia constituye la principal vía de entrada de la mayor parte de los contaminantes que se encuentran en las regiones polares, especialmente en la Antártida. Dicho transporte depende de los grandes sistemas de circulación atmosférica y oceánica del planeta Tierra y de las características propias de los contaminantes. “Los ecosistemas polares ofrecen un escenario simplificado respecto a otras regiones del planeta más antropizadas. Por ello, buena parte del conocimiento que tenemos sobre el comportamiento de algunos contaminantes a nivel global se ha confirmado y validado a través de investigaciones polares”. Es bien sabido que los tipos de contaminantes químicos que se pueden encontrar en los polos son diversos. Incluyen desde compuestos sintetizados a compuestos de origen natural, pasando por compuestos que son el resultado no deseado de procesos de combustión, como las dioxinas y furanos. Además según estudios recientes, la basura marina y los plásticos de distintos tamaños han sido identificados en los ecosistemas polares.

Las cadenas tróficas marinas en la región polar y circumpolar ártica se encuentran entre las primeras en las que se pudo observar y cuantificar

cómo se biomagnifican muchos contaminantes. En concreto, los depredadores, que ingieren los compuestos contaminantes dan la voz de alarma sobre el estado de salud del ecosistema polar. “Un ejemplo son los efectos detectados en los osos polares, porque presentan altos niveles de contaminantes orgánicos persistentes que afectan a su crecimiento, a la reproducción y a su sistema inmunitario”, explica el libro.

La Antártida es la mayor reserva de hielo de la Tierra. Comprender la dinámica de su capa de hielo es crucial para entender los cambios climáticos mundiales del pasado y hacer predicciones sólidas sobre el clima y las variaciones del nivel del mar. La Antártida está compuesta por dos grandes elementos continentales, la Antártida oriental y la Antártida occidental. La Antártida oriental constituye un cratón formado por terrenos antiguos de

edad precámbrica mientras que la Antártida occidental es más reciente. El Ártico se caracteriza por una transición brusca entre las zonas continentales o cratones, con una litosfera resistente y engrosada, y las zonas tectónicamente activas con una litosfera adelgazada, caliente y débil que corresponden a las plataformas continentales y a las crestas oceánicas actualmente en expansión.

La intrusión de corrientes marítimas subtropicales en la región subpolar y la tendencia positiva al calentamiento del océano Atlántico norte en las últimas décadas son las principales causas del aumento de temperatura observado en los primeros 1 000 m de profundidad en las zonas costeras de Groenlandia.

Entre los años 2003 y 2019 la Antártida ha contribuido con unos 5 mm al aumento del nivel del mar global, casi la mitad que Groenlandia. A diferencia de esta, las temperaturas del aire de la Antártida son tan bajas que prácticamente no existe fusión superficial.

Las distintas fuentes observacionales ponen de manifiesto la existencia de pérdidas sustanciales del espesor de hielo en el sector occidental



→ de la Antártida, especialmente en los mares de Amundsen y Bellingshausen. En menor medida, y con mayor incertidumbre, se ha constatado, también, la pérdida de espesor de hielo en algunos sectores de la Antártida oriental, como en la Tierra de Wilkes. Se ha observado que todos estos sectores que cuentan con reducciones importantes en el espesor de las plataformas flotantes coinciden con regiones con presencia de agua circumpolar antártica (en inglés, *Circumpolar Deep Water* (CDW)) en la plataforma continental.

Una característica muy interesante es que la presencia de CDW en las plataformas continentales, en las llamadas *cavidades cálidas*, se ha relacionado con modos de variabilidad internos en el Pacífico tropical, modos que fuerzan cambios remotos de la circulación atmosférica, en particular sobre el océano Antártico, pero a su vez las proyecciones muestran una tendencia creciente de las temperaturas tropicales que favorecen la penetración de CDW en la plataforma continental. Los océanos polares están experimentando una profunda transformación desde mediados del siglo XX. La rápida disminución de la extensión y el volumen del hielo marino del Ártico es una realidad y el aumento de temperatura en el Ártico es el doble de la observada en los trópicos. Los cambios en el hielo marino del Ártico tienen el potencial de modificar el clima de latitudes medias. Por el contrario, la capa de hielo marino antártico total no muestra una tendencia significativa en la masa de hielo global durante el periodo de observaciones satelitales, manteniéndose estable.

La amplificación ártica explica que los cambios observados en el Ártico crecen de forma no lineal, es decir, siguen las pautas de un sistema de retroalimentación. Simultáneamente, las regiones continentales circundantes también están sufriendo preocupantes cambios: el aumento de la temperatura está produciendo que el permafrost se derrita. Estos cambios producen variaciones en los patrones naturales tanto atmosféricos como oceánicos, provocando sucesos (textualmente acontecimientos) extremos en las latitudes medias del hemisferio norte. Conforme suben las temperaturas en el Ártico, de manera más brusca que en el resto del planeta, la circulación de la corriente en chorro se desestabiliza. La corriente oceánica del Golfo puede verse también afectada, corriente que es fundamental para la circulación termohalina global.

Asimismo, en las últimas décadas se han observado grandes anomalías en los flujos de agua dulce en el océano Ártico.

La velocidad de la reducción del hielo marino, tanto en grosor como en extensión, y de la fusión (fundición) de los mantos de hielo de Groenlandia y en la Antártida, sigue siendo una fuente importante de incertidumbre en las proyecciones futuras del cambio climático. Una mejor comprensión de la criosfera en un clima cambiante es claramente un "gran desafío", declarado por el Programa Mundial de Investigación del Clima. Una brecha importante de conocimiento identificada es el impacto del deshielo del permafrost en el ciclo global del carbono. La magnitud de la retroalimentación positiva entre un clima más cálido y la emisión de gases de efecto invernadero de fuentes naturales, en particular las emisiones de metano del deshielo del permafrost, está comenzando a estudiarse sistemáticamente.

La mayor fuente de incertidumbre en las proyecciones futuras de la subida del nivel del mar viene de la contribución de los dos mantos de hielo polares. Proyecciones recientes estiman que para el año 2100 el manto de hielo de Groenlandia podrá contribuir al aumento del nivel del mar entre 3 y 4 cm bajo el escenario de concentración de gases de

efecto invernadero más favorable (RCP2.6) y hasta 9-10 cm bajo el escenario de concentración más crítico (RCP8.5).

Por su parte, la Antártida es la mayor fuente de incertidumbre respecto a las proyecciones de aumento del nivel del mar. Esto se debe principalmente a que desconocemos cuándo se podría iniciar una inestabilidad marina del manto occidental. En la Antártida occidental es donde se está midiendo un mayor deshielo de las plataformas de hielo flotantes. Todos los estudios coinciden en que a mayor emisión de gases de efecto invernadero mayor es la probabilidad de que ocurra un colapso de la Antártida occidental y su consiguiente subida del nivel del mar.

Por último, quisiera acabar con un comentario sobre las bases antárticas españolas. La Base Antártica Española (BAE) Juan Carlos I, situada en la isla Livingston fue inaugurada en enero de 1988. Josefina Castellví se encargó de su dirección entre 1989 y 1994.

En la actualidad España cuenta con dos infraestructuras fijas en territorio polar: la BAE Juan Carlos I en la isla Livingston, y la BAE Gabriel de Castilla, ubicada en la isla Decepción. Su singular emplazamiento en la península Antártica posibilita un amplio y diverso campo para el estudio y desarrollo de distintas disciplinas científicas. Dichas bases están situadas dentro de un área muy sensible a los efectos del cambio climático y con una elevada complejidad y actividad geofísica. La isla Decepción cuenta con un volcán activo que alberga grandes colonias de pingüinos. Por su parte, "la isla Livingston está cubierta casi en su totalidad por glaciares", como se detalla en la publicación.

En el caso de la BAE Juan Carlos I, su funcionamiento y ocupación se limita al verano austral, de noviembre hasta principios de marzo, pero parte de su equipamiento está activo todo el año registrando parámetros físicos, ambientales y meteorológicos que nutren a distintas bases de datos internacionales y proyectos de investigación.

El Buque de Investigación Oceanográfica (BIO) Hespérides, construido en el seno del CSIC y transferido a la Armada Española para gestionar su operación, es otro de los soportes de la comunidad científica española para poder investigar en los confines del planeta. Ya desde 2017, el BIO Hespérides ha compartido su labor antártica con el B/O Sarmiento de Gamboa, que, a pesar de no haber sido diseñado para la navegación polar, fue acondicionado para cumplir normativas polares y dar soporte en las zonas libres de hielos.

Con el fin de promover la cooperación internacional en materia científica, tal y como contempla uno de los artículos del Tratado Antártico, las bases están accesibles para el personal científico de otros países.

Muchas de las investigaciones realizadas en la Antártida tienen una componente muy importante de cooperación internacional, siendo básica la relación entre los programas antárticos nacionales en el seno de COMNAP (*Council of Managers of National Antarctic Programs*). En este sentido, una de las últimas iniciativas de COMNAP consiste en poner en práctica un sistema que permita a los programas nacionales antárticos en el ámbito de la península Antártica intercambiar recursos entre ellos sin que medie compensación económica; sistema que supone un cambio de paradigma en la gestión de los recursos propios.

En suma, un libro muy interesante, cuidado y actualizado que se lee con entusiasmo y que nos descubre nuevos aspectos de la ciencia polar y que creo que no dejará indiferente a nadie. Como subrayaba Lorena Cabeza, en su obra *Científicos en el fin del mundo*, "La puesta en marcha de la maquinaria de la ciencia es un proceso largo, lento y costoso. Una vez, que se ha lanzado, sin embargo, es difícil de frenar".

**María Asunción Pastor Saavedra**