La aventura de la ciencia en la Antártida

XXX Expedición Científica Española a la Antártida

Valentín Carrera

LA AVENTURA DE LA CIENCIA EN LA ANTÁRTIDA

Valentín Carrera

LA AVENTURA DE LA CIENCIA EN LA ANTÁRTIDA

XXX Expedición Científica Española a la Antártida

Madrid, 2017

Esta obra no puede ser reproducida total ni parcialmente sin la autorización de los propietarios del *copyright*.

© Primera edición, 2017, Valentín Carrera
© Primera edición, 2017,
Ministerio de Economía, Industria y Competitividad
© Foto de cubierta: *Expedicionarios en Caleta Cierva (Península Antártica).*
Autor Oscar Martínez Forcada
© Diseño de cubierta: Rosa Chumillas Zamora
© Fotos del autor y cortesía de Asís Fernández Riestra, José Luis Lorenzo Colón, David Salvador, Carlos San José e investigadores de la XXX Expedición Científica Española a la Antártida

ISBN: 978-84-92546-38-1
NIPO: 057-17-173-x
eNIPO: 057-17-174-5
Depósito Legal: M 26721-2017
http://www.horizonteantartida.es

Impreso en España - *Printed in Spain*
Impresión y maquetación: Safekat
Calle Laguna del Marquesado, 32 - 28021 Madrid

Índice

Nota del autor 9

1. La Aventura de la Ciencia 11
2. CO_2: remando al viento 13
3. La UTM: el iceberg logístico 15
4. Científicos sin fronteras: arranca la 30.ª campaña en la Antártida 17
5. Navegando por el volcán Decepción en zapatillas 21
6. Sismología: viaje al centro de la Tierra 25
7. Iván Runner: «He visto icebergs llorar nieve en Caleta Cierva. Es hora de vivir» 29
8. La geodesia como arte: treinta años escuchando el volcán 33
9. La veda total en el Mar de Ross señala el camino a la comunidad internacional 35
10. El IHM cartografía los corredores marítimos de la Antártida 39
11. El nuevo mapa expresionista del tesoro antártico: la batimetría del Paso Drake 43
12. Del agujero de ozono al cambio global 47
13. La constelación de satélites Galileo también se mueve 49
14. En el ecuador de la campaña antártica más ambiciosa de nuestra historia 53
15. Para qué sirve un glaciar 57
16. CONGEO: en busca del big bang oculto bajo el hielo de la Península Antártica 61
17. El estudio del permafrost en la Antártida explica el calentamiento global 65
18. La vuelta a la Antártida en 80 días 69
19. Byers: sobrevivir en Campamento Paciencia 73
20. El trabajo de campo en una colonia de pingüinos barbijo en la Antártida 77

21. El mensaje de Ciudadano Ping: «Somos vuestros aliados, somos los vigilantes del cambio climático» 81

22. TOPSTEP. Fotosíntesis extrema: cómo algunas plantas resisten el estrés climático en la Antártida 85

23. La increíble vida de los tardígrados antárticos, la especie animal más resistente del planeta 89

24. ALIENANT evalúa la introducción humana de nuevas especies en la Antártida 93

25. SENTINEL: La Antártida interpela nuestro analfabetismo medioambiental 97

26. Macroalgas en Isla Decepción: un modelo para predecir los efectos del calentamiento global 101

27. DISTANTCOM: Los alegres buceadores del bentos antártico 105

28. Mujer y ciencia: cuatro investigadoras pioneras en la Antártida 109

29. Alejo Contreras: el hombre que más sabe del Polo Sur 111

30. Fauna de la Antártida: la increíble complejidad de un ecosistema frágil y aislado 115

Índice onomástico 119

Nota del autor

No deseo llamar prólogo a estas líneas que solo quieren expresar el agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible mi segundo viaje a la Antártida, treinta años después del primero (en la Campaña 1986-87), como cronista de la XXX Expedición Científica Española.

Casi cinco meses, de noviembre de 2016 a marzo de 2017, a bordo de los buques oceanográficos *Sarmiento de Gamboa* y *Hespérides*, con estancias en las bases Juan Carlos I (Isla Livingston) y Gabriel de Castilla (Isla Decepción), visitando la Patagonia y Tierra del Fuego, los canales fueguinos y el Estrecho de Magallanes, Isla Rey Jorge, una decena de bases internacionales, el Estrecho de Gerlache y poniendo pie en la Península Antártica.

Cinco meses de convivencia con hombres y mujeres marineros, militares, científicos e investigadores. Los treinta textos que se recogen en este volumen son el fruto de su generosidad, de nuestros apasionantes paseos y conversaciones sobre la Aventura de la Ciencia en el Continente Blanco. Un trabajo en equipo.

Para divulgar los grandes temas de la ciencia antártica ante nuestra sociedad he procurado contarlos de modo ameno y riguroso: cada artículo ha sido revisado por uno o varios de los investigadores de cada disciplina. Ya lo he dicho: un trabajo en equipo.

La publicación de este libro, que agradezco al Ministerio de Economía, Industria y Competitividad y al Comité Polar Español, completa mi trabajo como cronista de la XXX Expedición Científica Española a la Antártida.

Sin embargo, me queda por delante una tarea para la que desconozco mis fuerzas: madurar y saborear en plenitud la experiencia y el crecimiento personal que he sentido en este viaje. Quizás algún día escriba el relato de la Antártida Emocional. Pero necesitaré años… entretanto, os invito a conocer esta Aventura de la Ciencia.

1. La Aventura de la Ciencia

No caben en esta primera crónica de la XXX Campaña Científica Española a la Antártida los enunciados de los veinte proyectos que los investigadores llevarán a cabo en aguas del Círculo Polar. Menciono uno al azar, dirigido por el biólogo Andrés Barbosa: «Respuesta inmune, parasitismo, contaminantes y comportamiento de búsqueda de alimento de pingüinos antárticos». Así se las gastan los del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), y no les hablo ahora de la evolución geodinámica o la homogenización biótica; pero no se alarmen: si están interesados en saber en qué trabajan nuestros científicos en la Antártida mi trabajo consiste en contarles el relato de treinta años de investigación polar, tres decenios de Aventura de la Ciencia.

Si las veintinueve expediciones anteriores han sido valiosas una tras otra, construyendo un patrimonio científico del que debemos sentirnos orgullosos como país —esto sí que es «Marca España», y nos sitúa en la vanguardia entre los Estados del Tratado Antártico—, la XXX Campaña romperá todas las previsiones.

Dos buques oceanográficos, el *BIO Hespérides* de la Armada Española, que apura preparativos en Cartagena, y el *Sarmiento de Gamboa*, del CSIC y la Xunta de Galicia, que zarpa el 5 de noviembre del puerto de Vigo con este cronista a bordo, para contar la campaña en Efe Verde y en el blog #HorizonteAntártida.

Dos bases polares: Juan Carlos I, establecida desde 1988 en la Península Hurd de Isla Livingston, Shetland del Sur, latitud 62º Sur (el Círculo Polar está en

latitud 66º), gestionada por la Unidad de Tecnología Marina del CSIC; y Gabriel de Castilla, que gestiona un año más el Ejército de Tierra en las faldas volcánicas de Isla Decepción.

Dos buques, dos bases polares, cinco meses de campaña (de noviembre 2016 a finales de marzo de 2017), con todo el trabajo previo y posterior, y más de doscientos profesionales involucrados, entre dotaciones e investigadores, en esta Aventura de la Ciencia. Todo ello bajo la dirección del Comité Polar Español, cuyo timón gobierna el veterano almirante Manuel Catalán, y con participación del CSIC, la Armada y el Ejército de Tierra, ya citados, el Instituto Hidrográfico de la Marina, el Instituto Geológico y Minero (IGME), la Agencia Española de Meteorología (AEMET) y una docena de universidades (Barcelona, Madrid, Baleares, Granada, Cádiz, Vigo, Alcalá…) y equipos invitados de Holanda, Portugal y Colombia.

Es de nuevo una campaña multidisciplinar, en la que interactúan biólogos, químicos, oceanógrafos, vulcanólogos, geólogos, etc. Unos estudiarán la tectónica de placas en el Paso Drake, otros la descarga de las masas glaciares al océano, la absorción de aerosoles procedentes de regiones remotas, la descomposición de algas o, en fin, la Antártida como centinela de la contaminación global.

Porque eso es la Antártida, un gran laboratorio sensible a todo cuanto hagamos bien o mal en la otra punta del planeta Tierra, nuestra casa común. La impecable labor del Comité Polar Español y de todos los miembros de esta XXX Campaña Antártica solo tiene un objetivo: la investigación, el conocimiento científico, la Aventura de la Ciencia.

En 1914, cuando Ernest Shackleton estaba a punto de zarpar en el *Endurance* para la expedición más heroica de la historia, estalló la Primera Guerra Mundial: de inmediato, Shack puso su barco a disposición del Gobierno. La respuesta del lord del Almirantazgo, Winston Churchill, fue contundente: «Prosiga».

Nada, ni siquiera aquella terrible guerra podía detener aquella valiosa expedición. Nada podía detener ya, en 2016, nuestra Aventura de la Ciencia.

2. CO_2: remando al viento

En 1816, hace doscientos años, el poeta inglés Lord Byron viajó a Suiza para pasar el verano con sus amigos Percy y Mary Shelley, autora de la novela *Frankestein*, concebida precisamente en aquellos días, durante sus paseos por el Lago Lemans. Pero el verano nunca llegó y los tres románticos hubieron de refugiarse en Villa Diodati, donde llegaron a encender fuego en el salón para calentarse.

El verano más gélido del milenio en Europa se debió a «la erupción de un volcán en los Mares del Sur, que provocó un tsunami en las costas de Bali, inundó vastas extensiones de China y llenó los cielos del mundo entero de ceniza y azufre», según narra William Ospina en *El verano que nunca llegó*. El director Gonzalo Suárez dedicó en 1987 a este episodio poético-climático la película *Remando al viento*. El verano de Byron en la villa maldita de Lemans suele tomarse como ejemplo de lo que ahora llamamos «cambio climático» con cierta imprecisión, puesto que nunca existió, que sepamos, una «estabilidad climática».

Quien me lo cuenta es el oceanógrafo gallego Antonio Padín —mitad poeta, mitad científico—, especialista en el estudio de la captura de CO_2 en los océanos. Padín viaja en el *Sarmiento de Gamboa* en el primer trayecto (Vigo-Punta Arenas) de esta XXX Expedición Científica a la Antártida, y su tarea prueba que el trabajo

científico ya está en marcha y nuestros investigadores aprovechan al máximo las sinergias de estas primeras singladuras cruzando el Atlántico de norte a sur.

La investigación de Padín está integrada en un proyecto europeo, SOCAT *(*A Collection of Surface Ocean CO_2 Observations Quality Controlled by the Science Community*)*, con el que España está firmemente comprometida, con dieciséis campañas realizadas desde el año 2000.

La reciente Cumbre de la ONU en Marrakech, COP22, sobre cambio climático, indica la actualidad y urgencia de un asunto no siempre tratado con el debido rigor. «El efecto invernadero no es malo *per se*» —dice Toni Padín—. «Sin ese efecto, la temperatura de la Tierra sería de –18º. Lo que debe preocuparnos es el efecto producido por el humano. El aumento exponencial de la población y un estilo de vida, al que nadie parece querer renunciar, que conllevan una constante emisión de CO_2. Lo que estudiamos es cómo se comportan los océanos en la captación de ese CO_2. El anhídrido carbónico está en la atmósfera o en el agua: el océano retira de la atmósfera en torno al 30% del CO_2, digamos que lo metaboliza; pero esa absorción tiene una segunda derivada, la acidificación de las aguas. Cuanto más CO_2 traga el mar, más baja el pH, y eso afecta a la vida marina.»

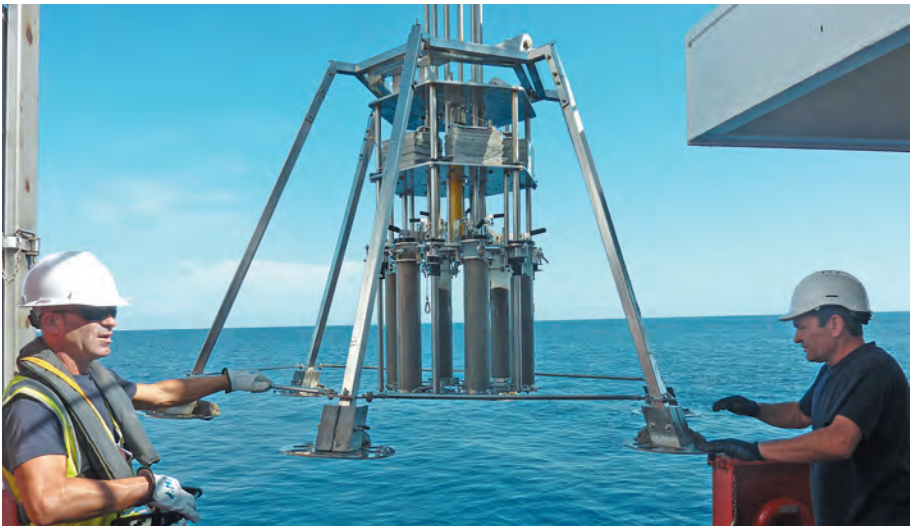
La emisión de CO_2 se ha disparado desde la Revolución Industrial: las combustiones de carbón, petróleo o gas no han sido inocuas y la amenaza global pende sobre nuestro modelo de civilización como una anhídrida espada de Damocles. De eso hablaron los 55 países presentes en la Cumbre de Marrakech (noviembre de 2016), de cómo afrontar el calentamiento global.

«Nosotros aportamos los datos —señala Padín—. Ahora mismo el equipo lleva una toma de agua en el casco del *Sarmiento*, a cuatro metros de profundidad, que recoge en continuo datos de temperatura, salinidad, clorofila, oxígeno y niveles de CO_2 en el agua y en la atmósfera; y transmite los datos en directo a la base de datos del SOCAT.»

Le pido una conclusión, ¿debemos preocuparnos?: «Todo apunta a que la capacidad de absorción de CO_2 por los océanos está mermando y eso ya está produciendo efectos nocivos. En el CSIC de Vigo estudiamos los cambios, que ya se notan, en las Rias Baixas. Sí, creo que debemos preocuparnos».

Doscientos años después del verano que nunca llegó, del interminable invierno que atrapó a Byron en Suiza, parece que sí debemos estar preocupados y ocupados por el calentamiento global. Nuestros científicos lo están haciendo ya, dentro de proyectos internacionales, como haremos los próximos meses en ese gigantesco laboratorio natural que es la Antártida. Allá vamos, como los poetas románticos, «remando al viento».

3. La UTM: el iceberg logístico



La sopa de siglas que sigue es árida; pero les pido dos minutos de lectura para situar la investigación polar en sus coordenadas administrativas. La investigación científica española se aloja actualmente en el amplio contenedor del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad.

La decisión puede ser discutida: muchos científicos añoran un verdadero Ministerio de Ciencia o, al menos, de Educación e Investigación, como en Alemania, donde existe desde 1962; o el francés de Enseignement Supérieur et Recherche; pero *Spain is different*. Lo de menos es el nombre, lo importante es el presupuesto dedicado a investigación y, acampando en Economía, se supone que los recursos están en el despacho de al lado…

Dentro del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, se ocupa de la Ciencia la Secretaría de Estado de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i), de la que depende el CSIC, la Agencia Estatal para la investigación, donde trabajan más de tres mil científicos. De la misma Secretaría depende el Comité Polar Español, creado en 1998 para coordinar e impulsar la actividad española en el Ártico y en el Antártico.

Los campos de estudio del CSIC abarcan desde la física a la biomedicina, pasando por las humanidades y las ciencias sociales. El Área de Recursos Naturales es la

que se ocupa de I+D+i en ciencia y tecnología marinas y polares, es decir, de la Antártida, hacia cuyos mares navega estos días el buque oceanográfico *Sarmiento de Gamboa* para emprender en diciembre la XXX Campaña Antártica.

En estas coordenadas nos queda una última y enigmática sigla, la UTM, de cuya existencia supe en la primera reunión preparatoria de esta expedición, la Unidad de Tecnología Marina, el cerebro gris que se encarga de la gestión logística y tecnológica de los buques *Hespérides* y *Sarmiento de Gamboa*, y de la Base Juan Carlos I, entre otras. Cerebro gris, o tal vez *ice brain*, cerebro de hielo, la UTM (coloquialmente «la uteeme») es el nervio conductor de gran parte de la campaña antártica. Si algo falla hay que llamar a la uteeme.

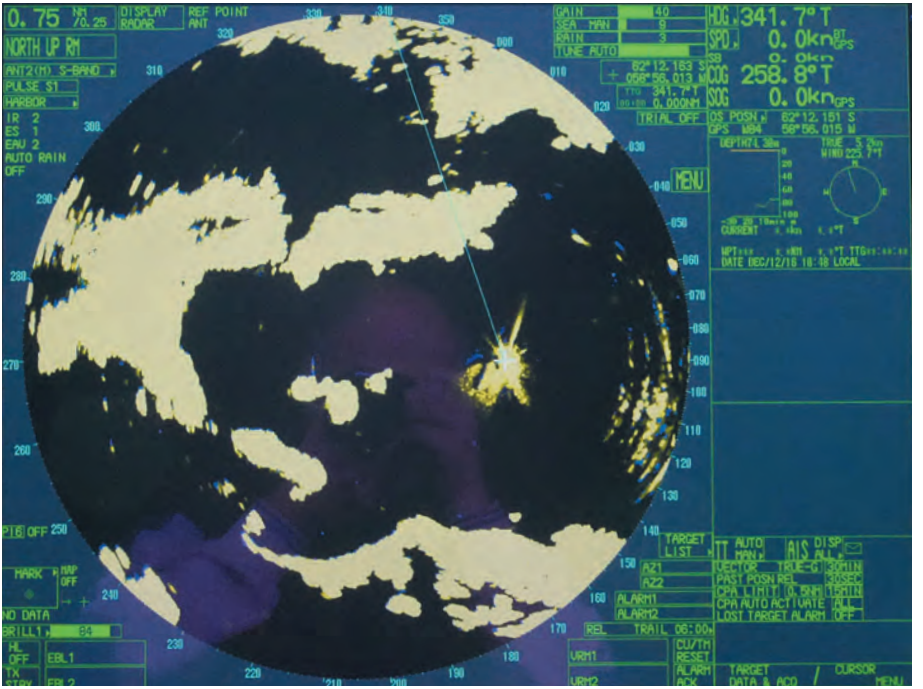
Hablamos de un *think tank* logístico que, desde sus dos bases operativas, la mediterránea en Barcelona y la atlántica en Vigo, suministra a los investigadores aparejos e instrumentos de laboratorio, acústica, geofísica, sísmica, oceanografía…

Nos relata la vida y milagros de la UTM, con mucho entusiasmo, el especialista en informática y telecomunicaciones Antonio P. Sandoval Díaz, con quien comparto las primeras y pacíficas singladuras a bordo del *Sarmiento de Gamboa*. Sandoval es el responsable de dar soporte técnico al buque, en especial a la toma de muestras para el estudio de la captura de CO_2 por el mar, que realiza el oceanógrafo Toni Padín desde que partimos de Vigo. Que los equipos estén a punto y la compleja maquinaria investigadora funcione sin que se note es el trabajo cotidiano de Sandoval y de todos los técnicos y especialistas de la UTM en cada una de las campañas.

Las antárticas, coordinadas desde hace años por Miguel A. Ojeda, son las de mayor relieve y alcance: forman parte del ADN de la Unidad de Tecnología Marina. Cada vez que llega de nuevo el verano austral no puede concebirse una campaña en la Antártida sin ese trabajo previo, riguroso y discreto, de la UTM: un trabajo iceberg, sumergido bajo las aguas polares, que hace posible el trabajo científico de una veintena de proyectos.

El día a día de Sandoval a bordo del Gamboa, la planificación logística en manos de Miki Ojeda, o el apoyo de todo el equipo de la UTM desde Vigo y Barcelona, son ese iceberg que hoy queríamos aflorar, el *ice brain* que convierte la Antártida en un gigantesco laboratorio.

4. Científicos sin fronteras: arranca la 30.ª campaña en la Antártida



A las 23:35 (hora local, las 3:35 en España) del 6 de diciembre de 2016, el buque oceanográfico *Sarmiento de Gamboa* hacía su entrada en la amplia ensenada de la Bahía Sur de Isla Livingston. ¡La XXX Expedición Científica Española ya está en la Antártida!

Mientras el *Hespérides* ultima preparativos en Cartagena para zarpar rumbo a Ushuaia, el *Sarmiento de Gamboa* ha tenido este año la alta responsabilidad de poner en marcha el reloj de la campaña antártica y abrir las tres sedes científicas españolas: la base Juan Carlos I y el campamento internacional Byers, en Isla Livingston, y la base Gabriel de Castilla en Isla Decepción. La primera ya está operativa: toda la maniobra se ha realizado con la mar en calma y sin un solo incidente, con eficacia y mucho ánimo.

Amaneció (en realidad no llegó a anochecer) con un sol espléndido, con esa luminosidad purísima que solo aquí es posible contemplar, protegidos, eso sí, con gafas

polarizadas. El primero en saltar desde la zódiac a tierra fue el jefe de la Base Juan Carlos I, Jordi Felipe Álvarez, biólogo con más de doce campañas de experiencia y un modo suave de ejercer el liderazgo con una sonrisa. Seny, catalán con raíces gallegas de Meira, donde nace el río Miño para ser exactos. Mientras escribo, Jordi Felipe ha venido a dar las últimas instrucciones: me tocará bajar en la tercera zódiac y, cuando el generador esté encendido y la base en marcha, clavaremos la bandera de España al tiempo de transmitir al Comité Polar Español: «La Base Juan Carlos I está abierta».

«No olvides las llaves», —bromeo—. Pero las puertas de la Base no tienen llave: están abiertas, como los refugios de montaña, para cualquiera que pueda necesitarlo. Es la ley antártica: solidaridad, puertas abiertas, nos sentimos parte de una ONG global, científicos sin fronteras.

Después de treinta y tres días de navegación, desde que zarpamos el 5 de noviembre del puerto de Vigo, todos a bordo del *Sarmiento de Gamboa* aguardábamos este momento con impaciencia y lo estamos viviendo con emoción. La mía personal es legítimo orgullo: me dice Luis Ansorena, «el conseguidor», veterano en esta aventura antártica, que soy el primer periodista que va a cubrir en directo la apertura de las dos bases y la navegación completa hasta el final de la campaña. Pues a eso he venido, a empaparme de los «treinta años de España en la Antártida».

Durante la travesía del Paso Drake, que esta vez no hizo gala de ser el más peligroso, disfrutamos el espectáculo de las primeras ballenas. Un hermoso ejemplar se acercó, bufando orgullosa, hasta casi rozar la proa y, haciendo una «s» con flexibilidad de gimnasta china, se hundió en las profundidades y desapareció. Todo es ya un espectáculo a cero grados. La impaciencia del equipo de Jordi Felipe por bajar a tierra y poner la infraestructura en marcha en tiempo récord se mezcla con la alegría y la curiosidad que compartimos, cámaras y móviles en ristre, haciendo caso del consejo amigo: «¡Bébetelo todo!».

Para eso he venido, para beberme esta mar de emociones y contarlo, para compartir a través de la Agencia EFE, de Televisión de Galicia y de las redes sociales del blog #HorizonteAntártida esta Aventura de la Ciencia.

Para tratar de comprender y explicar las razones profundas del conocimiento y la investigación que mueven la complejísima y delicada maquinaria de esta expedición científica. No caben en esta nota, ni en un informe: la dimensión global de este gigantesco laboratorio que es la Antártida se mide en teras de información y sensaciones, pero ¿qué pasión nos impulsa?

¿Qué resorte empujaba a Scott y Amundsen, y al no menos heroico Shackleton? ¿Qué afán de conocimiento científico movió la rueda del timón de Alejandro Malaspina, Darwin o Humboldt, por citar a tres de los más grandes? ¿O el propio don Pedro Sarmiento de Gamboa, que da nombre a este barco elegante, inasequible al

desaliento, tenaz, marinero como el de don Pedro, descubridor de las Islas Marquesas con aquel mi paisano de Congosto, don Álvaro de Mendaña?

Tengo la certeza de que la convivencia con los biólogos, vulcanólogos, químicos y ornitólogos que despliegan ya sus laboratorios sobre la piel helada de Livingston será una fuente inmensa de conocimiento: en busca de claves para entender problemas vitales, cotidianos, como ese cambio global que aún no sabemos bien cómo explicarnos. Ellos son la esencia de esta XXX Expedición Científica Española a la Antártida; pera también los anónimos carpinteros, fontaneros y electricistas, como mis compañeros de camarote, los valencianos Cristóbal y Juan; y el médico; y los que hacen todos los días en la cocina el milagro de los panes y los peces para darnos de comer a cincuenta pingüinos.

De eso les hablaré en la próxima entrega, de los pingüinos barbijo y de Papúa, y de cómo hacerles un análisis de sangre indoloro.

5. Navegando por el volcán Decepción en zapatillas

Apaguen un rato la calefacción y abran las ventanas de par en par para que su salón o su oficina cojan temperatura ambiente. Pónganse guantes y bufanda, y unos cubitos de hielo dentro de las zapatillas. Desconecten el maldito «wasap». Respiren hondo. Nos vamos de paseo científico, ronda de vigilancia sísmica y geodésica por los entresijos del volcán Decepción.

De las tres capas térmicas de la cebolla —la moda antártica— le sobran dos: el polar y el goretex. Al borde de la playa de arena volcánica, piroclasto, hay un contenedor para cambiarse: usted y yo nos quedamos en camiseta y mallas, bailarines de un improvisado ballet sobre la banquisa polar. Un par de manos amigas nos ayudan a embutirnos, del verbo embutir, en el «viking» o «teletubby»: nuestro seguro de vida en el mar de hielo. Es de una pieza, desde las botas al gorro, impermeable, estanco, calentito. Incluye linterna, silbato, cuchillo, arnés de seguridad: 1400€ la unidad. Si te caes al agua helada sin el «viking» tu horizonte vital es de veinte minutos. En la Antártida todo es extremo. También la belleza que nos aguarda…

Hace rato que los hombres de la Base Gabriel de Castilla han arriado la zódiac en la orilla: cinco científicos y cuatro soldados aguardan; el comandante, de

puntualidad británica, disimula su impaciencia tras una sonrisa amable. Sabe que no es fácil embutir a un periodista con una costilla lesionada en un «viking». Varias manos solidarias me izan a bordo y la zódiac se aleja de la playa despacio, poniendo proa al centro de la Bahía Foster. En babor se sientan los sismólogos Enrique Carmona y Benito Martín, de la Universidad de Granada; en estribor los vulcanólogos Amós de Gil y Mirenchu Soto, de la Universidad de Cádiz. Cortan el viento de proa y las olas que nos salpican a capricho, el cabo 1.º Álex Garrido, el timonel Juan Carlos Sánchez de Lucas, el sargento 1.º Pedro Portillo, el brigada Fernando Suárez y el comandante Daniel Vélez. Sobre las tablas de la zódiac media docena de baterías, «neveras» conteniendo GPS y diverso instrumental.

¿Sigue usted en su salón, con unos cubitos de hielo en las zapatillas? Cuando Isla Decepción se enoja el lago interior puede ser más peligroso que una tempestad en el Lago Lemans, a punto de engullirse a Guillermo Tell. La mar no tiene amigos. El viento y el oleaje cambian en pocos minutos. Son apenas seis millas de punta a punta: una eternidad si el viento se atraviesa; una delicia en esta mañana fresca de enero.

Isla Decepción es el cono de un volcán: navegamos sobre un río de lava ardiente, a pocos kilómetros de profundidad, y escuchamos su respiración: el tremor incesante de la Tierra, la exhalación anhídrida de las fumarolas; de vez en cuando, un rugido que los sismógrafos registran en una gráfica oscilante y temblorosa. Temblorosa… Cuatro millas más tarde saltamos a la playa de piroclasto en Bahía Balleneros, donde en tiempos hubo una factoría ballenera, obvio, y una base británica abandonada tras las últimas erupciones. Un crucero de turistas noruegos, la Antártida ya no es lo que era, alborota la serenidad de las ruinas sepultadas por lava y cenizas. El comando de la Base Gabriel de Castilla se despliega en abanico: los montañeros Daniel, Pedro y Fernando exploran la zona para completar sus informes al Comité Polar Español. Es una de las tareas del Ejército de Tierra: anticipar las próximas campañas.

Amós de Gil y Mirenchu atornillan un GPS a un vértice fijado con cemento en el punto de observación. La operación es sencilla, pero hay que venir hasta aquí para hacerla cada dos o tres días, con el «viking», por mar, con buen o mal tiempo; comprobar que funciona, reponer baterías, chequear datos. Tras el primer GPS colocaremos otros cuatro esta misma mañana entre Punta Penfold y Cerro Ronald. Los vulcanólogos tienen la isla triangulada y mareógrafos fondeados bajo el agua helada para obtener series de datos geodésicos y geotérmicos. Observan la deformación superficial de la isla, registran las anomalías térmicas, la variabilidad del mar y los efectos del cambio climático.

Recogemos las «neveras» y subimos a la zódiac sin molestar a dos focas que duermen perezosas, indolentes. Una tercera se arrastra hasta el agua y se sumerge, desconfiada. Navegamos la costa este, prodigiosa de tonos y colores producidos por la nieve veteada de capas volcánicas: Glaciar Verde, Glaciar Rojo, Glaciar Negro, Punta del Buen Tiempo. La Antártida se mejora a sí misma, se reinventa en estas

tartas glaciares, de las que se desprenden enormes trozos de banquisa. Todos los poros de la percepción se ensanchan ante este regalo de la Naturaleza.

La mañana atareada prosigue en Caleta Péndulo: Enrique y Benito revisan los sismómetros en una colina cercana a la antigua base chilena, desaparecida bajo un manto de cenizas en 1967. Cada tanto la isla se reinventa a sí misma: donde había un lago, el Lago Escondido, aparece un cráter; y donde había una playa, una colina de lava. Bajo la capa de piroclasto toda la isla es un macizo impenetrable de permafrost, suelo helado permanentemente. Glaciares de colores sobre lechos de lava incandescente, paradojas de la Antártida.

Recogemos en Péndulo a tres investigadores chilenos que cosechan crustáceos del tamaño de una uña y otros bichitos polares. A falta de un bocata, compartimos frutos secos y chocolates, y saltamos, es un decir, a la zódiac. Los «vikings» estancos se empapan en la maniobra; pero ya nada importa, a dos millas nos espera la Base Gabriel de Castilla, nuestro hogar. Menú del día: fideuá y rabo de toro. Pueden sacar los pies de los cubitos de hielo y secar las zapatillas. Los «vikings» endulzados cuelgan de las perchas; mañana harán otra ronda, y otra, y otra más: se llaman «series temporales de datos». Las misiones antárticas españolas llevan treinta años haciéndolas, acumulando conocimiento compartido: «Somos obreros de la investigación», rubrica el veterano Amós de Gil.

Ya puede cerrar las ventanas del salón o de la oficina, y volver a encender la calefacción; pero no gaste más de la cuenta: aquí estamos controlando su contribución al cambio climático.

6. Sismología: viaje al centro de la Tierra

La primera vez que entré en Isla Decepción escuché en el puente que, debido al Protocolo de Seguridad del Comité Polar para zonas volcánicas, antes de entrar en la isla debíamos dar una vuelta de reconocimiento y que los sismólogos dictaminaran si el semáforo estaba en verde. Corrijo: la primera vez que yo entré en la Bahía formada por el cono del volcán, en enero de 1987, no había protocolos, ni semáforos, ni existía el Comité Polar; información mínima y cartas marinas, las justas; de modo que el *Pescapuerta IV* entró a pelo, con la pericia del capitán Juan y nuestra buena estrella.

La segunda vez que crucé los Fuelles de Neptuno, treinta años después, a bordo del buque oceanográfico *Sarmiento de Gamboa*, para abrir la Base Gabriel de Castilla a la XXX Expedición Científica Española a la Antártida, comenzó a circular por el puente una fotocopia del Protocolo, uno de esos papeles de gabinete cuya aplicación literal es sencillamente imposible. El capitán del *Sarmiento*, Pablo Fernández, el comandante de la Base, Daniel Vélez, y el sismólogo Enrique Carmona constituyeron el gabinete de crisis e interpretaron la áspera normativa con sentido común. Tras dar una vuelta al perímetro exterior y otra al círculo interior de la Bahía Foster, y enviar

dos exploradores a tierra, llegó el *nihil obstat*, «semáforo verde», y comenzó el despliegue operativo del Ejército de Tierra para abrir la Base Gabriel de Castilla, instalada en el corazón de un volcán.

Aquella tarde, cuando cruzamos los Fuelles de Neptuno —la estrecha y peligrosa entrada a la Bahía—, con la infinita emoción de volver a ver Caleta Balleneros treinta años después, mientras el barco hacía el reconocimiento entendí parte del trabajo de los sismólogos que venían a bordo, algunos con veinte campañas de experiencia, auscultando los latidos del corazón de la Tierra. De un volcán activo, con erupciones recientes en 1967 y 1970, que podría volver a estallar mañana. Como una «vieja del visillo» geológica —observando a través de las rendijas de los sismogramas—, los sismólogos ven lo que el ojo humano no ve y oyen lo que los demás no oímos, escuchan el movimiento de las placas tectónicas, la circulación de la sangre caliente que acecha en forma de ríos de lava, detectan y anticipan posibles terremotos y erupciones volcánicas.

Esta es la tarea principal, preventiva, del Instituto Andaluz de Geofísica (Universidad de Granada), que tiene a su cargo la vigilancia sísmica de Andalucía, donde la falla de Gibraltar nos da de vez en cuando sustos y disgustos. Un equipo de estos sismólogos granadinos investiga también la actividad sísmica de las Shetland del Sur desde hace veinte años, y han regresado, durante la campaña 2016-17, para mantener y completar las series de observaciones en la muy volcánica, compleja y espectacular Isla Decepción y en su cuenca geológica, el Estrecho de Bransfield. El investigador principal (IP) del proyecto es el físico Javier Almendros, que este año no ha viajado a la Antártida, pero ha enviado a lo mejor de su departamento: Enrique Carmona, José Benito Martín («Beni») e Iván Fernández Melchor en la primera fase; y Manuel Titos Luzón y Luis Vizcaíno Davila en la segunda. Cinco encantadoras «viejas del visillo» que se han metido al resto de la expedición en el bolsillo izquierdo de la camisa, el que está pegado al corazón. Cinco investigadores, dignos herederos de Humboldt y Darwin, los primeros científicos que susurraban a los volcanes…

He visto a Enrique, Beni, Iván, Manuel y Luis trabajar día a día, codo con codo, con verdadero entusiasmo: una piña en el laboratorio, arrebujados ante las pantallas donde los sismógrafos pintan su extraño visillo (un histograma gris, indescifrable para los profanos: «Esta noche han caído bloques de hielo en el Glaciar Negro —dice Beni señalando puntitos en el sismograma—, ¿lo ves?»; veo los puntitos, pero no escucho el movimiento del glaciar); un equipo todo terreno en el trabajo de campo, acudiendo en las zódiacs a revisar su red sísmica, carreteando baterías sobre la nieve o mimando al mítico *array*; y una zambra cantarina el resto del día, aportando a la Base Gabriel de Castilla alegría y buen humor, virtudes que no son incompatibles con el rigor científico y que provocan en el ser humano pequeños movimientos sísmicos, la risa, y algún que otro terremoto en forma de carcajada.

El mítico *array*

Converso con los sismólogos «granaínos» en el laboratorio de Isla Decepción, en cuya mesa contigua trabajan los geodestas de la Universidad de Cádiz. Trato de entender la diferencia entre sismología y geodesia: ambas disciplinas escuchan a la Tierra, pero digamos, resumiendo mucho, que trabajan en distinta longitud de onda. La geodesia estudia las deformaciones de la corteza terrestre en magnitudes de tiempo que pueden medirse con GPS o con mareógrafos, por días, años o milenios. La sismología estudia las oscilaciones producidas en la corteza o bajo la corteza, en el magma, en las placas, oscilaciones que se miden en microsegundos, en una frecuencia entre 0 y 50 Hz, imperceptible para el oído humano. Por eso, en Decepción la Universidad de Granada ha desplegado un complejo sistema de escucha: sismómetros que detectan el desplazamiento, la velocidad o la aceleración del suelo, con puntos de observación en Obsidiana, Caleta Teléfono y Caleta Chilenos, y el mítico *array*, el ojito derecho de Enrique Carmona, instalado en Fumarolas.

El *array*, o antena sísmica, es una nube de sismógrafos —doce en Fumarolas— fijados en una zona a distintas distancias entre sí (40, 60 y 100 m), formando triángulos: el modelo conoce por GPS la posición de cada sensor y las distancias entre ellos. Cuando se produce una onda sísmica, generalmente un frente de ondas que avanza hacia el *array* desde algún origen próximo o lejano, cada uno de los doce sensores registra el paso de esa onda. Las diferencias entre unos y otros permiten saber la dirección de la onda sísmica (de dónde viene el seísmo) y la velocidad aparente de propagación (su intensidad o tipo).

Un sencillo sistema de triangulación aplicado ingeniosamente a la prevención y al conocimiento de los seísmos. Recordando una histórica frase de Priestley, uno de los expedicionarios que sobrevivió a la expedición de Shackleton («Como jefe de una expedición científica, yo elegiría a Scott; para un raid polar rápido, a Amundsen; pero si en la Antártida llega la adversidad, ponte de rodillas y reza para que Shackleton esté contigo»), Enrique Carmona proclama: «Para predecir la actividad volcánica, dame una red geodésica; para una vigilancia rápida y eficaz, dame una red sísmica; pero en medio de la adversidad y ante una posible erupción volcánica, ponte de rodillas y reza para que el *array* esté contigo».

Con los datos de toda la red de vigilancia, incluido el *array*, los sismólogos están en condiciones de conocer varios parámetros: el origen de los terremotos (volcánico o tectónico), el tipo de eventos (VT, LP, híbridos…), el número de eventos (si son aislados o en enjambres) y la intensidad y duración del tremor volcánico.

Sabemos que Isla Decepción se encuentra en un *rift* activo, un gigantesco desfiladero submarino, con una anchura de 5 a15 km, que está en expansión, es decir, que se está abriendo desde el centro hacia la superficie; ambas orillas están separándose,

con una velocidad de 0,25-0,75 cm/año, durante los últimos dos millones de años. Parece poco y nada que el *rift* de Bransfield se abra apenas 0,75 cm/año, pero a ese ritmo se abrió toda la zona del Paso Drake, casi mil kilómetros; y todo el Estrecho de Bransfield es una serie de placas y microplacas con una dinámica muy compleja, en la que trabajan los científicos del programa polar español

La Tierra no permanece firme bajo nuestros pies, está en continuo movimiento —los sismólogos lo detectan; lo saben bien cada año las víctimas de los terremotos y maremotos—; los continentes que llevan millones de años a la deriva aún no han dejado de desplazarse hacia su propio ombligo, y cuando dos o más placas colisionan, mucho antes de que bajo nuestros pies se mueva la tierra, los sismógrafos dan la voz de alarma. Esta parte de la geofísica aplicada, que forma parte de la labor preventiva del Instituto Andaluz de Geofísica, extiende su escucha hasta la Antártida y nos transmite un mensaje fácil de entender: todo en la Tierra, y en la naturaleza, decía Humboldt, está profundamente relacionado.

No era fácil de entender en la época de Humboldt o de Darwin, los dos primeros observadores globales, obsesionados con los volcanes y el geomagnetismo, capaces de «leer el paisaje». El gran naturalista alemán fue el primero en observar una erupción en el Cotopaxi, en 1803, y desde entonces en todos sus viajes no dejó de buscar y observar otros volcanes, en Sicilia o en Siberia. A Humboldt debemos el primer concepto de cambio global, ahora tan de moda; y si hubiera tenido la ocasión de viajar hasta Isla Decepción, y de escuchar el *array*, habría formulado con brillantez la teoría de placas tectónicas que entrevió: supo adivinar que todo estaba relacionado. Hoy sabemos, y Decepción lo corrobora en cada sismograma dibujado en la pantalla del ordenador, que los ríos de magma y las placas se mueven en el centro de la Tierra. No es posible hacer el viaje al antro que soñó Julio Verne, pero tenemos, en cambio, la opción aún más apasionante de escuchar con precisión el interior del planeta y establecer relaciones tectónicas globales. A eso hemos venido también a la Antártida: a hacer nuestro propio viaje fantástico al centro de la Tierra, a través del cráter Decepción.

7. Iván Runner: «He visto icebergs llorar nieve en Caleta Cierva. Es hora de vivir»

Fue mi primera excursión a bordo del buque oceanográfico *Hespérides* y, desde luego, no podía soñar una bienvenida tan fantástica: Caleta Cierva. Después de dos meses en el honorable *Sarmiento de Gamboa*, cruzando el Atlántico, el Estrecho de Magallanes, el Canal Beagle y el Mar de Hoces, donde pirateaba Drake, y de quince días más conviviendo en la Base Gabriel de Castilla, todo eran impaciencias por subir al *Hespérides*. La acogida fue muy cordial, aunque sin tiempo apenas para las presentaciones: aún no desechas las maletas en mi nuevo apartamento con vistas al mar —cubierta roja, camarote quince, a popa—, el *Hespérides* dejó la Bahía Foster y en pocas horas amanecimos en una cala irreal, rodeados de icebergs, por entre los que resoplaban las ballenas, en una mañana soleada, brillante, luminosa, con esa luz purísima de la Antártida: sin filtros. Amanecimos en Caleta Cierva.

En esta XXX Expedición Española a la Antártida los sismólogos de la Universidad de Granada, cuyo equipo dirige Javier Almendros, estudian la actividad sísmica en Isla Decepción y Estrecho de Bransfield, donde tienen colocados distintos sismómetros que detectan y registran el desplazamiento, la velocidad o la aceleración del suelo. Uno de esos sensores está en el propio Continente Antártico, al otro lado del

estrecho, de modo que en cada campaña el *Hespérides* traslada a los investigadores a revisar el aparato, volcar los datos de los nueve meses de invernada y preparar la siguiente. Este año los veteranos Enrique Carmona y Benito Martín acabaron la campaña antes, y la responsabilidad recayó en el joven físico Iván Fernández, de la Universidad Nacional de Río Negro (Argentina), que resolvió la tarea, con ayuda del brigada David Salvador, con solvencia y sin perder la sonrisa. Con maestros generosos, como Enrique Carmona, el relevo está garantizado: los becarios de hoy serán los IP del futuro. También en la Antártida, los jóvenes han venido para quedarse.

Así pues, amanecimos en Caleta Cierva extasiados ante un paisaje de Julio Verne: si sus personajes fueron capaces de viajar por el interior de un diamante hueco, aquí el interior de la gema se abría ante nosotros como una granada de dientes blancos, inmensos, navegando a la deriva, cubriendo toda la ensenada que se domina desde Cabo Spring.

Caleta Cierva —bautizada así por los ingleses en 1960, en homenaje al inventor español Juan de la Cierva— está al norte de la Península Antártica, esa mano tendida, cuyos dedos rotos quieren estrechar, al otro lado del Drake, los dedos también quebrados de Tierra del Fuego y Patagonia. Entre esta península y las Islas Shetland, donde están las bases científicas españolas, discurre el Estrecho de Bransfield: toda la zona es un *rift* volcánico bajo el que arde un gigantesco río de lava a más de 1000º. Disponer de un buque oceanográfico de alta gama, como el *Hespérides*, para colocar un sismógrafo en Cabo Spring, es como ir a comprar el periódico en un Ferrari; pero allí estábamos los tres expedicionarios, tomando el sol en la borda, en compañía de los marineros y marineras que, francos de servicio, aprovechaban para hacerse fotos y saludar a las ballenas.

—¡Le cuestas una pasta al Estado español, solo para poner tu sismógrafo! —bromeé con Iván, cuya juventud me recuerda a mí mismo en estos mares hace treinta años.

—Recuerda lo que nos dijo don Manuel Catalán en la reunión de Madrid: «Nuestro primer y único objetivo es la ciencia» —repuso el becario precario y, sin oír más, saltó a las rocas de Cabo Spring, con ayuda de David, con sus baterías y cajas de instrumental.

Como es una zona de especial protección, los demás entretuvimos la espera paseando en la zódiac por entre los icebergs, fotografiando pingüinos de Adelia en la ladera del cabo, o contemplando el espectáculo de luz y sonido del mar en la rompiente de los glaciares, allá donde forman cuevas de un intenso azul translúcido. Ninguna película puede superar en efectos especiales este campo de diamantes que humanizan el paisaje: guiños, besos y abrazos cristalizados en formas caprichosas, geométricas o humanas, redondamente dulces o afiladas como campanarios góticos. Me pareció ver, en un castillo de hielo, las agujas de la catedral de León y unas cuantas almenas templarias.

El viaje acabó donde había comenzado: los sismógrafos quedaron funcionando, Iván y David regresaron con la misión científica cumplida, la zódiac, hábilmente gobernada por el veterano Santi, nos devolvió al *Hespérides*; brindamos con agua de glaciar por la Aventura de la Ciencia y amanecimos de nuevo, un *deja vu*, en la Bahía Foster de Isla Decepción, de donde habíamos zarpado 24 h antes.

Caleta Cierva, la nueva Ítaca antártica, nos había regalado la excursión más hermosa del viaje, y créanme que es difícil superar el alto listón; pero la Antártida se reinventa a sí misma cada mañana de modo implacable: ayer nos deslumbró con un éxtasis de luz cegadora; hoy nos envuelve un cielo gris perla que invita a la meditación contemplativa. Evocando a *Blade Runner*: «He visto cosas que vosotros jamás creeríais. He visto icebergs llorar nieve en Caleta Cierva. He visto sensores sísmicos en Cape Spring. Todos esos momentos se guardarán en el tiempo como lágrimas en la lluvia. Es hora de vivir».

8. La geodesia como arte: treinta años escuchando el volcán

Cuando conocí a Amós de Gil, en la sala de investigadores del *Sarmiento de Gamboa*, me pareció un sabio despistado, protagonista de una novela de Verne, que se había extraviado en el barco y no encontraba la salida. Luego, conversando y conviviendo en la Base Gabriel de Castilla, supe que este «obrero de la investigación» es un enamorado de la Antártida, de cuya historia y tiempos heroicos lo sabe casi todo. Un admirador de Scott.

Amós de Gil —uno de los más veteranos entre los expedicionarios españoles— forma parte del equipo de geólogos del Laboratorio de Astronomía, Geodesia y Cartografía de la Universidad de Cádiz, ubicado en el Departamento de Matemáticas, lo que me hace pensar que debe haber alguna extraña conexión entre los volcanes y esta ciencia, más allá de su perfección estética. Las matemáticas, tan desconocidas para los que somos profanos, están siempre en la base del conocimiento.

El equipo de la campaña 2016-2017 está formado por Amós de Gil, Mirenchu Soto, Miguel Ángel Jiménez, Belén Rosado, Águeda Vázquez y Javier Benavente, coordinados desde Cádiz por el IP Manuel Berrocoso. Estos geólogos y matemáticos del Laboratorio de Cádiz, además de ser muy queridos y abrazados en las bases, son

una referencia en los estudios antárticos, pues llevan casi treinta años realizando registros y mediciones, las llamadas «series temporales». Treinta años escuchando al volcán.

Series temporales en geodesia, geotermia y oceanografía: observaciones con GNSS-GPS y con mareógrafos sumergidos, instalados en una red, cada vez más tupida, en las islas Decepción y Livingston. El mantenimiento de las series temporales se ha convertido en un clásico de las campañas antárticas: los datos suministrados durante tres decenios son una valiosa fuente de análisis para conocer la geodinámica tectónica en las Islas Shetland del Sur. Desde el año 2000 el sistema incorpora una nueva serie temporal 3D que registra la deformación superficial, de modo que el Laboratorio de Cádiz tiene en estos momentos un conocimiento exhaustivo del comportamiento volcánico en Decepción. Además de los datos geodésicos, los mareógrafos fondeados en Bahía Foster y Caleta Española registran la temperatura y el nivel medio del mar: su variabilidad es un modo de conocer los efectos del cambio climático.

Pero hay un dato que suele obviarse y conviene destacar: para escuchar el volcán, para hacer ciencia, los investigadores idean sus propios equipos. Los vértices no se venden en un kit de Ikea, todo incluido. Ellos conocen sus necesidades, saben lo que quieren medir y cómo; y desarrollan un I+D+i casero, con pocos recursos y mucho ingenio. El instrumental y el propio método de observación han ido madurando durante estos treinta años, de suerte que el Laboratorio de Cádiz atesora hoy un sistema de registro y almacenamiento de datos, con mucha seguridad y bajo consumo, que debiera patentarse. Hará falta una nevera de picnic, además de un bidón, placas solares, una base de cemento, algunas piedras alrededor y mucho tesón y laboriosidad para recoger los datos y volcarlos a los programas de análisis. Con mar rizada, con nieve, con viento… o disfrutando de la luminosidad de Isla Decepción, cuando amanece soleada y acogedora.

Esta isla, cono de un volcán que emerge entre el Continente Antártico y el archipiélago de las Shetland, es una chimenea por la que el magma trepa cuando quiere sin avisar. Decepción, isla del desengaño, refugio de balleneros y acaso de piratas, el lugar más literario y matemático de la Antártida. Si Julio Verne hubiera conocido a Amós de Gil Lidenbrock, un científico enamorado de una isla, y a todo el ameno y currante equipo del Laboratorio de Cádiz, habría situado aquí, en Deception Island, *El volcán de oro*, *La isla misteriosa* y *Viaje al centro de la Tierra*.

9. La veda total en el Mar de Ross señala el camino a la comunidad internacional

En el siglo XXI llega a la Antártida, por primera vez, el turismo de lujo: un safari blanco de una semana al Polo Sur cuesta solo 50 000 dólares; el siglo XX fue el de la conquista terrestre, desde la época heroica de Amundsen y Scott hasta el Tratado Antártico (1959); y el siglo XIX la época de las grandes navegaciones polares.

Una de las más memorables fue la del capitán James Clark Ross, el hombre más apuesto de la Marina inglesa, dice la historiadora Eleanor Honnywill. Ross recibió en 1838 el mando de la expedición organizada por el Almirantazgo para fijar la posición del polo magnético norte (que se encuentra en la Antártida, a cierta distancia del polo sur geográfico, pues la polaridad de la Tierra está invertida). Ningún barco había conseguido hasta entonces atravesar la barrera de hielo, salvo los protagonistas de Julio Verne en *La esfinge de los hielos* (1840), por lo que el Almirantazgo construyó dos buques sólidos: el *Erebus* y el *Terror*, unidos *forever* a la historia de la Antártida como Monte Erebus y Monte Terror, dos volcanes activos, de más de 4000 metros de altura, que Ross divisó desde la banquisa.

Siguiendo la travesía atlántica, el acceso natural desde Europa al continente austral es el Mar de Weddell, al sur de Orcadas y Malvinas, donde quedó atrapado el

Endurance, que hubo de abandonar Shackleton; pero Ross escogió la ruta de Tasmania y en enero de 1841 estaba ante el cinturón de hielo, que embistió de frente: «A Ross le bastaron cuatro días para pasar a través de la barrera y salir a navegar en aguas abiertas» —escribe Honnywill—. Los navegantes vieron asombrados que el mar continuaba después de la barrera y divisaron una cadena de montañas. Ross bautizó aquella estepa blanca como Tierra Reina Victoria, y así figura en los mapas; pero la historia de la cartografía reservó al propio James la gloria de dar su apellido al mar y a la capa de hielo flotante más extensas de la Antártida: el Mar de Ross y la Barrera de Ross.

Si observamos el mapa del continente helado, el Mar de Ross es justo el mordisco que le falta a la Antártida para ser redonda: una inmensa bahía que se adentra en el corazón continental, el punto de desembarque más cercano al polo sur geográfico. Por ello, Amundsen y Scott, aunque por distintas rutas y con distinta fortuna, cruzaron el Mar de Ross en su afán por alcanzar el polo. Con el tiempo, Nueva Zelanda, país que reclama la soberanía de la Dependencia Ross, congelada por el Tratado Antártico, estableció allí la Base Scott y, muy cerca, Estados Unidos la estación McMurdo. Es, pues, una zona estratégica se mire como se mire, desde la que se controla el acceso más practicable —fácil nunca sería la palabra— al Polo Sur y al resto del continente austral.

La barrera de hielo que protege ese acceso es un área de quinientos mil kilómetros cuadrados (equivalente a la Península Ibérica), donde vive un tercio de la población mundial de pingüinos de Adelia, además del pingüino emperador, el petrel gigante y la foca que lleva el nombre del ilustre marino, la foca de Ross, actualmente en peligro de extinción. Otras especies, como las ballenas, están también al borde de ser exterminadas; pero, por una vez, la comunidad internacional, pacíficamente unida en torno al Tratado Antártico, ha tomado en sus manos la responsabilidad de preservar el Mar de Ross para las generaciones futuras.

Lo ha hecho en la reunión anual de la CCAMLR, celebrada en Hobart, Australia, en octubre pasado. CCAMLR («camelar») son las siglas en inglés de la Comisión para la Conservación de los Recursos Marinos Antárticos, creada en 1982 por veinticinco países miembros de pleno derecho y once adheridos, de la que forma parte España.

A propuesta de Estados Unidos y Nueva Zelanda, la CCAMLR ha creado, por unanimidad de los 36 países presentes en Hobart, un Área Marina Protegida (AMP), zona de exclusión de pesca y de cualquier otra explotación económica, de 1,55 millones de kilómetros cuadrados: tres veces España.

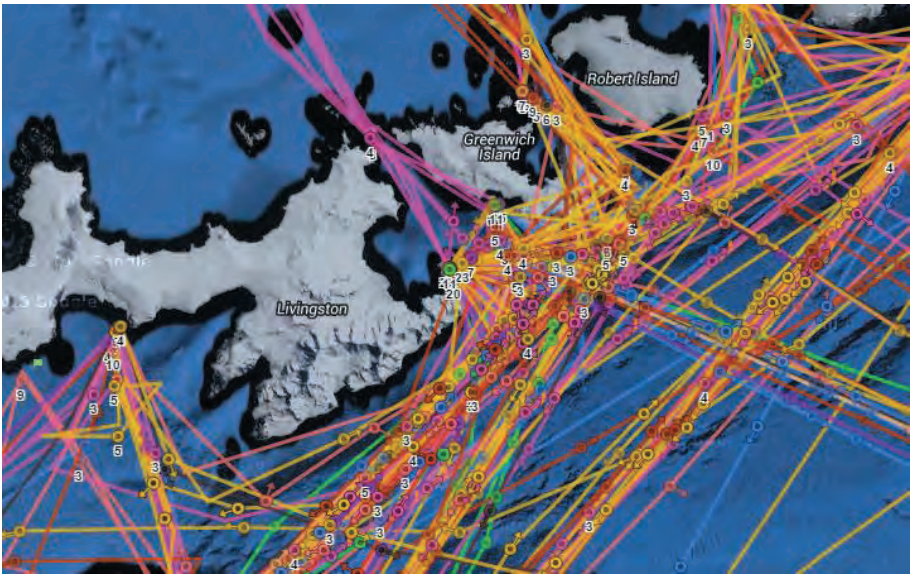
«La AMP —ha explicado Andrew Wright, secretario ejecutivo de la CCAMLR— tiene por objeto ofrecer protección a las especies marinas, la biodiversidad, los hábitats y las áreas de alimentación y cría de animales, así como también preservar sitios de valor histórico y cultural. Esta decisión representa un nivel de cooperación

internacional casi sin precedentes en la gestión de un extenso ecosistema marino con importantes hábitats bénticos y pelágicos.»

Tras la decisión de Hobart, el 72% de esta inmensa, descomunal, área marina protegida estará, a partir del 1 de diciembre de 2017, completamente vedada para la pesca, que se permite en la zona restante solo para fines científicos. La decisión de la CCAMLR solo tenía un precedente, el Área Marina Protegida de Orcadas del Sur (94 000 km^2), acordada en 2009; pero señala el camino a seguir por la comunidad internacional en su toma de conciencia frente al cambio climático y al cambio global. Se trata de preservar el ecosistema intacto, como un verdadero santuario de kril, ballenas, focas, pingüinos de Adelia y miles de especies, en contraste con otras zonas de la Antártida que empiezan a estar castigadas por la presencia humana, por la pesca clandestina o por la incontinencia del turismo.

Si se animan, no es difícil ver a diario, durante el verano austral, uno o dos cruceros, con base en Punta Arenas, tomando fotos en Isla Decepción. Y por cincuenta mil dólares, vacaciones exclusivas en el Polo Sur. No es la aventura que soñó Julio Verne, quien acertó en tantas previsiones, anticipando submarinos, reactores y hasta la llegada del hombre a la Luna, pero no supo predecir la invasión de la Antártida por miles de turistas, móvil en ristre, ellas con pamela plumífera, ellos vestidos de safari. Tal vez la decisión firme adoptada por 36 Estados en Howard servirá en el futuro para poner coto a algunos excesos actuales, y permitirá ampliar algún día el mismo nivel de protección al resto del continente y a todos los mares de la Antártida.

10. El IHM cartografía los corredores marítimos de la Antártida



Uno por ciento: retenga usted ese dato. Es habitual referirse a la Antártida como el gran Continente Blanco, pero la Antártida, además de continente —esa tarta de hielo que en algunos puntos alcanza los 4500 m de espesor—, es lo que rodea a la tarta, el Océano Antártico, es decir, los hielos flotantes, las aguas y las tierras sumergidas al sur del paralelo 52º Sur (aceptado como límite de la Convergencia Antártica, la zona donde las aguas son más frías). Aunque el propio Océano Antártico está en discusión, más por razones políticas que científicas, la extensión de estas aguas está en torno a los 20 000 000 km².

Pues bien, aunque desde el capitán Cook —el primer navegante que alcanzó la latitud 71º, en 1774— llevamos casi un cuarto de milenio navegando por estas peligrosas aguas, solo tiene una buena cartografía el 1% de los mares antárticos (en torno a 200 000 km², es decir, menos de la mitad de España). Quedan zonas muy muy extensas que nunca han sido cartografiadas: «Conocemos mejor la superficie de Marte que el fondo del océano», afirma Gene Feldman, oceanógrafo de la NASA [*Marsh Report. Plumbing the Depths*].

La metáfora del iceberg sumergido, del que apenas vemos una séptima parte, aquí se multiplica. Con estos datos, y con un tráfico marítimo en continuo crecimiento —ya sea científico, turístico, deportivo o incluso pesquero—, se entiende la necesidad de cartografiar los mares de la Antártida para garantizar una navegación segura. Hay tarea para varios siglos.

Toda la zona está sometida a las directrices de la Constitución Polar, el Tratado Antártico, de modo que los lectores supondrán que los países presentes en la Antártida no hacen la guerra cartográfica por su cuenta, como en los tiempos de Colón o Drake, de Malaspina o Newton, cuando las cartas marinas eran alto secreto de Estado, sino que existe cierta coordinación internacional. En efecto, el órgano supervisor es la Comisión Hidrográfica de la Antártida (HCA en las siglas inglesas), integrada en la Organización Hidrográfica Internacional (OHI o IHO, si lo prefiere usted en inglés), con sede en Mónaco y encargada de recibir las propuestas de los Estados, valorar las prioridades y decidir la lista de cartas y pasillos marítimos más necesarios o urgentes. Luego, cada país ejecuta lo suyo.

España forma parte de ambas organizaciones, representada por el Instituto Hidrográfico de la Marina, con sede en Cádiz, cuna de la cartografía marina española. Si en Compostela es arte la lluvia, en Cádiz la cartografía es arte. Y para demostrarlo, también en aguas heladas, un equipo del Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM) viaja desde enero a bordo del buque oceanográfico *Hespérides*, poniendo cara y ojos a la cartografía marina de una extensa zona de las Islas Shetland del Sur y la costa de la Península Antártica.

Dirige el equipo el capitán de fragata Juan Conforto, jefe de la Sección de Hidrografía del IHM, y le acompañan en esta misión antártica 2017 —continuación de la campaña de 2016— cinco hidrógrafos del mismo Instituto: el capitán de corbeta Gustavo Gómez-Pimpollo, los subtenientes Jesús Gálvez y Manuel Asencio, y los sargentos 1.º Diego Muñoz y Javier Monroy. Completan el equipo Ignacio Romero, ingeniero técnico de arsenales; la geóloga del Instituto Español de Oceanografía (IEO) María Gómez Ballesteros; y el hidrógrafo portugués Telmo Geraldes, del Instituto Hidrográfico de Portugal (IHPT) con sede en Lisboa.

Han instalado un centro de datos en la planta noble del *Hespérides*, con unas vistosas pantallas que traducen los datos del fondo marino a representaciones en 3D. Llevo casi un mes viéndolos trabajar a diario, sin parar, a ritmo frenético, incluyendo guardias las 24 h del día, porque el barco sonda y navega, navega y sonda; y me admira su entrega profesional y el buen ambiente que han sido capaces de generar. Trabajar con alegría y vocación es media vida ganada. La convivencia a bordo nos ha permitido compartir bajadas a tierra, a instalar un mareógrafo, tomar puntos en el litoral o llevar un relevo de personal, de una zódiac a otra, después de varias horas sondando al borde de la costa, entre glaciares y pingüineras, con un frío que pela, y pela mucho más si eres de Cádiz.

Para cartografiar el Océano Antártico, por parcelas, los herederos de Vicente Tofiño y Domingo Fontán —pioneros de la cartografía en los años de la Ilustración— han venido equipados con un sondador interferométrico portátil: un equipo con forma de piano con GPS, instalado en una zódiac del *Hespérides*, desde el que se recorren las zonas planificadas leyendo franjas del fondo submarino, con amplitud variable dependiendo de la profundidad.

A su vez, el *Hespérides* lleva instalados en la quilla dos sondadores, un EM1002 de aguas someras y un EM120 de aguas profundas, ambos de fabricación noruega. Todo ello se completa con dos mareógrafos que han sido instalados en la bahía del glaciar Johnson, en Isla Livingston, y en la Isla de la Media Luna; y multitud de ordenadores para procesar los datos en tiempo real. Sé que toda esta prosa es ardua: quédense los lectores y lectoras con que, dentro de la XXX Campaña antártica, este equipo de hidrógrafos, amantes de su oficio, está haciendo el mapa submarino de lugares estratégicos en la Antártida para la seguridad de la navegación; zonas adjudicadas a España, como Isla Livingston, Decepción y toda la costa de la península contigua a las Sandwich del Sur.

Gracias a ellos, a este ambicioso programa que España aporta a la cartografía antártica, en el seno de la HCA, hemos tenido el privilegio de navegar muchos días por alguno de los lugares más hermosos de la Antártida: Gerlache, Cuverville, Caleta Cierva; y gracias a ellos numerosas ballenas, focas y miles de pingüinos han venido a saludarnos gozosos.

Se preguntará alguien cómo escoge sus prioridades el HCA antes de asignarlas a cada país: en el Antártico, como en todos los demás mares y océanos, está trazada sobre el agua toda una red de caminos, las autopistas del mar por las que circula la mayor intensidad de barcos. Esas autopistas radiales, o puntos calientes en el tráfico antártico (el Drake, Bahía Foster, los Fuelles de Neptuno, la Isla de la Media Luna, Costa Danko…), son zonas de gran densidad en verano: es fácil ver un crucero diario y algún pequeño velero de vez en cuando.

Además, en el caso de Isla Decepción, al ser un volcán activo, que entró en erupción hace veinte años y podría volver a vomitar fuego mañana, es prioritario cartografiar las zonas contiguas a las vías de evacuación: en caso de erupción, los barcos deberían poder acercarse con seguridad, lo máximo posible, a esas zonas de escape.

En otros casos son autopistas turísticas, un mal menor en la Antártida, 50 000 visitantes al año, en cruceros y barcos de todo tipo que trazan sobre las aguas surcos, rutas, singladuras, un tráfico continuo. La autoridad internacional, el citado HCA, clasifica estas autopistas (Maritime Shipping Routes) en tres tipos: corredores principales, ramales o corredores de enlace entre dos principales, y rutas de seguridad o emergencia. En todos ellos ha trabajado el IHM en esta intensa campaña a bordo del

Hespérides, en la que hemos recorrido más de 6000 millas cartografiadas con sondas multihaz de alta precisión, dibujando la belleza del relieve submarino.

La impresionante belleza de la cartografía, esa ciencia que en Cádiz es arte, es la garantía de una navegación cada vez más segura en el futuro, aunque es tanta la mies por segar que uno no puede evitar tener la sensación de que estamos barriendo el océano con una escoba.

11. El nuevo mapa expresionista del tesoro antártico: la batimetría del Paso Drake

Cuando se habla —¡y se habla tanto!— del cambio climático los geólogos se preguntan si de verdad estamos viviendo en el periodo más cálido de los últimos milenios o cuándo podríamos entrar en una nueva glaciación, y cuál puede ser el efecto del factor humano en una tendencia o en la otra: «Para evaluar el efecto antrópico se requiere tener una perspectiva más amplia que la de aproximadamente un siglo, en el que disponemos de medidas instrumentales. Hay que recurrir al estudio de las rocas y del hielo, para saber cómo fueron los acontecimientos del pasado remoto, previo a la acción humana».

Gracias a la XXX Expedición Científica Española a la Antártida, que me permite ver, observar y estudiar el trabajo de cada proyecto de investigación, voy entendiendo el valor de la geología, de las ciencias de la Tierra, a las que el geólogo Jerónimo López ha dedicado toda su vida académica, que no cabe aquí: más de 250 publicaciones desde su primer viaje a la Antártida en 1989; secretario del Comité Polar Español,

presidente del SCAR (siglas en inglés del Comité Científico Internacional de Investigación en la Antártida), la máxima autoridad mundial en la materia (Premio Príncipe de Asturias). Que un investigador español haya presidido el SCAR hasta 2016 dice mucho de la ciencia española y de la labor realizada en estos treinta años, desde que en 1986 se hizo la primera expedición científica, de la que tuve el honor de ser cronista.

También desde entonces, desde sus primeros contactos en Cambridge con el Bristish Antartic Survey, Jerónimo López es el «espejo a lo largo del camino», en palabras de Stendhal, en el que se reflejan estos tres decenios de pasión científica por la Antártida. Desde su grupo de investigación GEA (Geología y Antártida; pero también Gea, la Tierra) despliega su actividad en áreas tan diversas como geodinámica, impactos ambientales, geomorfología, neotectónica, cartografía, patrimonio geológico, geodiversidad y geología ambiental, entre otras.

Estos datos he tenido que indagarlos en su currículum; no me los cuenta él, que ni siquiera me ha dicho que es uno de los pocos mortales que ha subido al monte Vinson y al Everest. Ha hecho varias expediciones con Eduardo Martínez de Pisón, de quien es buen amigo.

—*¡Touché!* —le digo—. Martínez de Pisón, otro antártico de pro, es el autor de *La tierra de Jules Verne*, mi libro de cabecera en este viaje.

Al calor de Verne y de la amistad la conversación retorna al origen, inagotable, fecunda, paseando con Jerónimo López por las fallas del Arco de Scotia; pero ningún viajero camina sobre el fondo del mar sin un buen mapa. A la hora justa en que el *Hespérides* surca el Paso Drake, el comandante Aurelio F. Dapena se reúne con oficiales y científicos en la camareta principal. Sobre la amplia mesa nuestro geólogo despliega una carta batimétrica del Estrecho Drake, que trae consigo cuidadosamente plegada, como un verdadero mapa del tesoro. La escena evoca la cámara de sir James Clark Ross o la del *Challenger*, que hicieron aquí los primeros sondeos hace poco más de un siglo: este saber nuestro de la «Terra Incógnita» es tan reciente que la primera carta batimétrica es la de Murray en 1895. Anteayer.

Quizás por ello siento que es un momento histórico contemplar el primer mapa submarino de la zona, mientras cruzamos el Drake, a bordo del *Hespérides*, contado por uno de sus autores, cuyas explicaciones escuchamos admirados. El mapa del tesoro es el *Bathymetry and Geological Setting of the Drake Passage*: la primera representación batimétrica fiel del fondo marino en la franja comprendida entre el continente americano (Tierra del Fuego) y la Península Antártica, un área de 1 470 000 km^2, enmarcada entre los paralelos 52º S y 63º S y los meridianos 70º O y 50º O. Cinco institutos de otros tantos países han participado en su elaboración: el prestigioso British Antarctic Survey, el Korea Polar Research Institute, el Alfred Wegener Institute, el Programa Antártico de Estados Unidos y el Instituto Geológico y Minero de España. Se trata de una relevante contribución colectiva, que ha contado con el apoyo

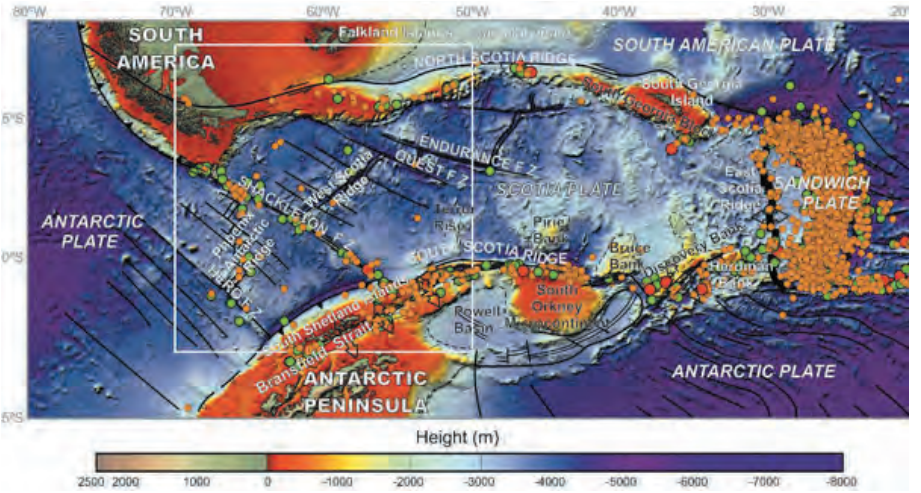
del SCAR y que ha sido posible gracias a la labor realizada desde España y al empuje de su principal autor, el geólogo Fernando Bohoyo del IGME.

Siguiendo la estela del *Challenger* y del *Discovery II*, la información del mapa ha sido recopilada durante más de cien campañas, en los últimos veinticinco años, por seis barcos, entre ellos el *Hespérides*, cuyo comandante recoge hoy con orgullo el fruto de su trabajo. Guiados por el dedo de Jerónimo, recorremos la dorsal llamada Zona de Fractura Shackleton, una cadena montañosa de 700 km bajo el océano, con picos de más de 3 000 metros de altura. Como si colocáramos los Pirineos sobre el fondo del mar, entre Cabo de Hornos y las Shetland del Sur.

Este mapa del Paso Drake, estéticamente vistoso, parece un cuadro expresionista, es un hito en la historia de la batimetría. Los investigadores profesionales, pero también los aficionados y curiosos, pueden descargarlo en alta resolución en la web del IGME o en la del SCAR. Quizás no haga que la navegación sea más segura, eso depende de los vientos y de las corrientes, pero ayuda a entender mejor la dinámica de las aguas sobre las que el *Hespérides* navega sin miedo a las profundidades abisales. Con esta carta en la mano el marino español Francisco de Hoces no se habría perdido en la tormenta, y el corsario inglés sir Francis Drake nunca habría dado su nombre al más peligroso de todos los mares.

Links

Web del SCAR: <www.scar.org> [Consulta: septiembre 2017].
Comité Español del SCAR: <www.uam.es/cn-scar/> [Consulta: septiembre 2017].



12. Del agujero de ozono al cambio global

Hace exactamente treinta años el físico Javier Cacho navegaba por estas mismas fechas en el *Nuevo Alcocero*, haciendo a diario, si la nubosidad lo permitía, mediciones de la radiación ultravioleta. Mediante un radiómetro —juego de filtros que permite seleccionar la banda ultravioleta del espectro solar— registraba la radiación directa e indirecta que alcanza la superficie terrestre.

Entonces, cuando navegábamos formando parte de la Primera Expedición Científica Española a la Antártida (1986-87), el agujero de ozono era un asunto de preocupación mundial con versión doméstica: había que protegerse, se decía a bordo, de aquella terrible radiación que producía cáncer. El adelgazamiento de la capa de ozono había sido detectado en 1971, coincidiendo con la primavera austral, y confirmado de modo alarmante en los años siguientes, hasta convertirse en una prioridad científica y social, que viene a ser lo mismo.

En la base argentina Orcadas pude ver imágenes del satélite *Nimbus*, donde se observaba la alteración de la capa de ozono en la zona antártica, atribuida entonces a los clorofluorocarbonados (CFC), también conocidos como gas freón, los malditos aerosoles e insecticidas, también llamados «la talidomida de la atmósfera». Sin embargo, recuerdo la prudencia del profesor Cacho: la falta de una secuencia histórica de datos, pongamos de los últimos cien años, impide sacar conclusiones apresuradas, más

aún si consideramos períodos de miles de años para algunos fenómenos atmosféricos, geológicos o climáticos.

Cuando nos acercamos de nuevo al paralelo 60º S me pregunto qué ha sido del agujero de ozono y qué ha cambiado en estos tres decenios.

En primer lugar, ha cambiado el conocimiento científico: lo que entonces eran primeras series de datos, captadas por la Estación McMurdo y la Expedición del Ozono, hoy son cuarenta años de trabajo sistemático y registros acumulados sobre los que fundar nuevas hipótesis.

En segundo lugar, ha cambiado la percepción social: la destrucción de la capa de ozono obligó a la prohibición industrial de los CFC, acordada ya en 1986 por el Protocolo de Montreal, primer acuerdo suscrito por unanimidad en la Cumbre del Clima. Desde entonces, los investigadores, los Gobiernos y la sociedad tenemos una percepción completa de un cambio climático global. No hay lugar para el negacionismo; ni siquiera la nueva Administración Trump podrá sustraerse a esta preocupación global que hemos dado en llamar «calentamiento». El vicepresidente americano Kerry ha liderado el acuerdo para declarar la reserva natural de 1,55 millones de km^2 en el Mar de Ross, aprobado en octubre de 2016 en Australia por los veintidós Estados miembros del Comité para los Recursos Vivos Marinos Antárticos. Otras señales optimistas han llegado desde la Cumbre de Marrakech sobre cambio climático, y la conciencia social no deja de extenderse.

Ya no hablamos solo de un agujero de ozono en la Antártida, sino de un verdadero «cambio global»: el impacto de la actividad humana sobre la biosfera. En la obra *Cambio global*, valiosa colección de ensayos publicada por el CSIC, el profesor Carlos M. Duarte explica cómo estamos ante un nuevo escenario que desborda los análisis de los años ochenta del siglo XX. El crecimiento exponencial de la población sobre el planeta, 6700 millones de habitantes que podrían ser 10 000 a final de siglo, indujo a los Nobel Crutzen y Stoermer a bautizar este período como el Antropoceno: la era geológica actual, en la que la especie humana tiene capacidad para influir sobre el clima. Esta inmensa masa humana que somos ha multiplicado el consumo de agua, de 600 a 5200 km^3 durante el siglo XX, o el uso masivo de fertilizantes a base de nitrógeno (generando óxido nitroso, gas de efecto invernadero).

Todo ello pone en cuestión la sostenibilidad del planeta: además del agujero de ozono, del calentamiento y del cambio climático, el Antropoceno nos sitúa —dice Duarte— ante un verdadero cambio global, para el que no sirven respuestas locales o parciales. De ahí que la Declaración de París sobre Cambio Climático o la conservación de la Antártida como gigantesco pulmón natural sean ya una cuestión de supervivencia.

En este escenario cobra mayor peso y significado social el trabajo de los científicos de la XXX Campaña de España en la Antártida, que zarparon desde Punta Arenas (Chile), a bordo del *Sarmiento de Gamboa*, y a los que se unió pronto el contingente del *Hespérides*. Cuatro meses de investigación apasionante, bañados por la aurora boreal, cuatro meses de Aventura de la Ciencia para tomarle el pulso al cambio global.

13. La constelación de satélites Galileo también se mueve

Podríamos vivir sin teléfono móvil, como podríamos vivir sin televisión, sin agua corriente en las casas o sin Seguridad Social. Basta mirar cien años atrás, a la España de nuestros abuelos y bisabuelos: muchos nunca fueron a la escuela, nunca viajaron en avión y, desde luego, ninguno tuvo GPS para llevar las vacas al prado.

Si nos lo proponemos, también nosotros podríamos vivir sin móvil, sin Internet y sin GPS, pero ya cuesta trabajo imaginarlo: esta triple adición —móvil, red y GPS, el tres en uno de la modernidad— se ha fijado a nuestra dermis y a nuestra conducta como si nos hubieran implantado un microchip bajo la piel. Es más, de seguir creciendo la adicción, la próxima generación de bebés traerá el microchip incorporado de serie. Puede usted imaginar el momento ecografía: «Es un niño y viene con GPS» o «Va a ser niña, y viene con Galileo…». Todo se andará.

Converso sobre el futuro del GPS, a bordo del buque *Hespérides*, con el capitán de fragata Juan Conforto Sesto, jefe de la Sección de Hidrografía del Instituto Hidrográfico de la Marina, responsable del proyecto Galileo-IHM, que se desarrolla desde enero a marzo de 2017 en la Antártida.

«Decimos GPS por costumbre, porque fue el primero y el único durante mucho tiempo, pero deberíamos hablar de GNSS (Global Navegation Satellite System, no necesita traducción), cualquier sistema de localización y posicionamiento por satélite:

hay cuatro ya, el GPS, propiedad de EE. UU. , el GLONASS ruso, el Beidou chino, en fase de lanzamiento, y el Galileo, "el nuestro", es decir, el europeo, propiedad de la Comisión Europea.»

«Ya no podemos concebir la vida sin alguno de estos cuatro sistemas GNSS —explica Conforto—, porque la navegación vía satélite es omnipresente en nuestras vidas: la usan trenes, aviones, barcos, automóviles; un bar para captar clientes, una gasolinera para guiar a los conductores, Google Maps, cualquier cajero de banco; tal vez el reloj que lleva usted en la muñeca; su móvil, por supuesto; y la red eléctrica que le permite cocinar, calentarse y ver la tele, cuyo flujo y sincronización fina se hace con GPS o con un reloj atómico. Sin saberlo, somos hiper dependientes del GNSS, por no citar policía, bomberos, ambulancias, todos los servicios de protección civil y telecomunicaciones, y los ejércitos.»

El uso militar del GNSS es la pieza incómoda, pero central, del puzle: el GPS nace en Estados Unidos al servicio del Pentágono, que en algún momento libera un canal (o, por así decirlo, regala su chorro de satélite) gratis (nadie paga un canon por llevar GPS en el móvil) con la única contrapartida de controlar el cotarro. Dicho coloquialmente, «eres un barco oceanográfico, estás navegando por la Antártida con mis datos, con mi GPS, y si mañana hay un grave conflicto bélico, cierro el grifo y ahí te quedas».

En algún momento de esta sofisticada historia Europa, a través de la Comisión Europea, toma conciencia del riesgo de apagón GPS. Un apagón sin aviso previo y sin derecho a reclamar. Ya se ha dicho que es un sistema gratuito y con propietario: un regalo del imperio americano a sus amigos en todo el mundo... mientras no afecte a sus intereses militares. ¿Sería impensable un corte del servicio? «No estamos en el escenario de un conflicto global —me explica Juan Conforto—, pero es fácil entender que las comunicaciones son lo primero que se corta, para evitar los ataques de *jamming* y *spoofing*, formas de alterar la señal para engañar al enemigo, etc.»

Tan claro lo tuvo Rusia que lanzó su propia red GNSS, el sistema GLONASS, y China hizo lo mismo en 2006, tras una escaramuza a medias con Europa que no prosperó. Por ese carácter militar del GPS —aunque todos disfrutamos de sus favores civiles—, hemos llegado a la situación de cuatro sistemas de satélites redundantes entre sí: cuatro constelaciones de chatarra orbitando en el espacio. La europea lleva el nombre del genial cosmógrafo y astrónomo Galileo Galilei, a quien la Inquisición obligó a retractarse de su absurda afirmación de que la Tierra se mueve alrededor del Sol. «Eppur, si mouve», musitó en voz baja tras haberse librado de la hoguera. «Y, sin embargo, se mueve.» La nueva constelación europea también se mueve.

«El sistema Galileo —prosigue el jefe de la misión antártica española del IHM— nació en el seno de la Agencia Espacial Europea en 2003 y estará plenamente operativo dentro de tres años, en 2020, pero ya hay dieciocho satélites orbitando de los treinta previstos. Cualquier dispositivo que disponga del chip adecuado puede

recibir la señal ya. Tu móvil actual no tiene Galileo, pero cuando cambies de móvil o de coche, los próximos vendrán con Galileo.»

De hecho, los seis hidrógrafos del IHM, dirigidos por Conforto, han venido a la Antártida provistos de diez móviles dotados con el chip Galileo fabricado por la empresa española BQ, por ahora la primera y única empresa europea en ofrecer el sistema Galileo al mundo. A su vez, la empresa GMV, también española, prueba en estas latitudes un prototipo de receptor, de cuyo trabajo de campo se ocupa el ingeniero Carlos Moriana; y completan el equipo el capitán del Ejército de Tierra Miguel Ángel Cabeza, el ingeniero José Ignacio Romero y la geóloga María Gómez Ballesteros, del Instituto Español de Oceanografía.

Esta misión antártica, brindada por España a la Comisión Europea —es más fácil calibrar la señal en París o Valencia que en Caleta Cierva—, comenzó en la campaña de 2016, cuando había solo cuatro satélites en órbita (el número mínimo para fijar una posición GSNN), y continúa este año con once satélites enviando señales, por lo que los resultados están siendo mucho mejores. Siempre que el mar y el viento lo permiten el equipo del IHM baja a una isla, o a la Península Antártica, con alguno de los tres receptores de Galileo, y los ponen a «escuchar» la señal, como usted y yo con nuestra radio, o mejor con nuestro móvil. Una señal que es una onda de radio, como la de su FM habitual, en frecuencia muy alta, que ha de atravesar la ionosfera y la troposfera, lo que conlleva algunas distorsiones que el sistema debe corregir. Los diez móviles de BQ, del modelo Aquarius X5Plus, programados con distintas configuraciones (GPS + Galileo, GPS + GLONASS, solo GPS, etc.), registran la señal y todo ello se monitoriza mediante ordenadores. El objetivo es evaluar la mejora que supone a distintos niveles una señal más robusta que el actual GPS.

Esta será una de las ventajas del nuevo Galileo frente al viejo GPS, la precisión, puesto que la señal que el Pentágono regala no es la misma que usan sus naves y comandos, la señal que permitió capturar a Osama Bin Laden, o al menos eso es lo que nos ha contado Kathryn Bigelow en *La noche más oscura*.

Los ciudadanos europeos, que no necesitamos la precisión de un misil mortífero, tendremos con Galileo un sistema GNSS de posicionamiento por satélite muy avanzado (precisión de un metro para el servicio gratuito; un cm en el de pago), con garantía de uso civil, que mejorará nuestra calidad de vida: desde la predicción del tiempo a las ambulancias, pasando por los futuros coches sin conductor, ¡y su nuevo móvil! No tendrá que pagar más por ello, ni dejará de perderse al girar en la próxima rotonda, pero llevará en el bolsillo la onda codificada de alguno de los treinta satélites europeos bautizados con el nombre de un niño o una niña, ganadores de un concurso de dibujo. Galileo Galilei se moriría de ganas por tener un móvil así colgado en su telescopio.

14. En el ecuador de la campaña antártica más ambiciosa de nuestra historia

Hola, familias agobiadas por la cuesta de enero. ¿Tenéis en casa un «ni-ni» adolescente? Nos lo mandáis quince días a la Antártida y ya veréis qué pronto se le pasa la tontería. Os hablo de un lugar donde todo es paz, pero no hay un minuto de sosiego; donde se trabaja sin tregua y sin una mala palabra. Os hablo, desde el corazón del volcán, de la Base Gabriel de Castilla, la misión antártica del Ejército de Tierra, uno de los pulmones del programa antártico español.

Un programa científico que este año ha batido todos los records. Nos lo avisaron en las reuniones preparatorias los responsables del Comité Polar Español: «Es la campaña más larga, compleja y ambiciosa de todas las realizadas hasta ahora». Alguien añadió: «Tienes suerte: vas a ver de todo».

La profecía se está cumpliendo: la vida —«baraja las cartas la mano de Dios», decía René Lavand— me ha puesto en primera línea para cumplir mi divisa: «Viajar para ver, ver para comprender, comprender para compartir».

Ver, comprender y compartir esta Aventura de la Ciencia que durará cinco meses, desde noviembre de 2016 hasta finales de marzo de 2017, de modo que esta semana cruzamos el ecuador. Han sido setenta días viajando por una montaña rusa de

sensaciones y emociones, los «siete picos» del volcán Decepción, subiendo y bajando en la noria emocional, con visión panorámica en vivo de pingüinos, focas y ballenas, bebiendo agua de iceberg, tocando la piel del volcán, sintiendo en la cara la caricia de la nieve o la herida del viento cuando se enfada.

El balance de estos días es formidable: la navegación desde Vigo a Tierra del Fuego, a bordo del buque oceanográfico *Sarmiento de Gamboa*, cuya dotación entrañable fue mi familia durante dos meses, incluyendo una Nochebuena inolvidable en la que hubo regalos navideños para todos. Magia polar. Con ellos surqué dos veces el Estrecho de Magallanes, con la misma emoción que Juan Sebastián Elcano encaramado a la cofia de *La Trinidad*. Vinieron luego días de risas y rosas, y cerveza roja, en Punta Arenas. Cruzamos el Paso Drake, o Mar de Hoces si lo prefieren, aunque Francisco de Hoces (1525), más que descubrir este paso, se perdió en el Cabo de Hornos y anduvo capeando tormentas hasta que logró volver al continente.

En estos meses he cruzado cuatro veces el Drake y las cuatro con buen tiempo, la mar en calma y óptima visibilidad. En el primer viaje transportamos a Livingston y Decepción una voluminosa carga (víveres, equipos técnicos y materiales de construcción) y el personal de apertura de las dos bases científicas. Luego regresamos por el Canal Beagle a Tierra de Fuego, haciendo escala en la ciudad del fin del mundo, Ushuaia, donde visité turberas, presas de castores y lugares de oxígeno puro como el Lago Esmeralda o Bahía Lapataia. A su belleza natural se une el factor Darwin, quien concibió aquí la Teoría de la Evolución, y eso confiere a Tierra del Fuego un peso específico en esa historia de Humanidad que transita del estado gaseoso de las emociones al estado líquido de la naturaleza glaciar, para acabar en el estado sólido del saber y la ciencia.

En esas semanas visité también Isla Rey Jorge y las bases chilena, rusa y coreana; Villa Las Estrellas, la ciudad más austral; cruzamos de nuevo el Drake, con más investigadores, soldados, montadores y más carga para acabar la nueva Base Juan Carlos I y para instalar una nave almacén en Decepción, donde los especialistas del Equipo Cobra clavan puntales, tiran cordeles, trazan la planta de la nave sobre el escurridizo suelo de piroclasto o clavan piquetas en un suelo más duro que el acero: el permafrost congelado. Es el trabajo de cada día: hacer que las bases funcionen como un reloj y que los equipos de científicos puedan hacer su trabajo, primer objetivo de esta intensa campaña.

Una vez pasado el ecuador comienza la segunda fase, la más dura: los días blancos empiezan a ser más cortos y las noches más largas; y, lo que es peor, más frías. Estamos rolando de verano a otoño. Esta semana llegan nuevos grupos de investigadores y las bases, ya saturadas, se desbordan. El iglú donde habito (encogido para no dar con la cabeza en el techo y con cinco mantas) lo compartimos fraternalmente cuatro pingüinos. No hay protesta posible: nos adaptamos conscientes del privilegio de vivir en un iglú en Isla Decepción, escuchando la respiración de los Fuelles de Neptuno.

Y esta semana, por fin, entra en acción el buque oceanográfico *Hespérides*, de la Armada Española, con nuevos refuerzos, más materiales y más proyectos de investigación: largas singladuras por la proa, incluyendo la costa del continente y el Estrecho de Bransfield, el Estrecho de Gerlache, Caleta Cierva... acogido a la hospitalidad de los marinos españoles, dignos herederos de Hoces, Elcano, Sarmiento de Gamboa, Gabriel de Castilla, Malaspina o Gravina.

Nos esperan dos meses más escuchando y tratando de comprender cada día un nuevo aspecto del quehacer científico, complejo, inmenso: el estudio del Permafrost y la evolución térmica de los suelos congelados; el proyecto ALIENANT, sobre la presencia de especies no nativas en zonas antárticas; el estudio de los glaciares, de la actividad geomagnética e ionosférica, de la meteorología; pruebas del satélite europeo *Galileo*, series temporales geodésicas, geotérmicas y oceanográficas; o, en fin, el estudio del parasitismo, la respuesta inmune y la conducta de los pingüinos buscando alimento. Son algunas de las misiones; la lista es inacabable: el cambio climático a través de las algas, buceadores en busca de muestras de ADN, paleomagnetismo… De paso, como quien no quiere, la base está construyendo los nuevos módulos y almacenes; acogiendo investigadores portugueses, chilenos y argentinos; apadrinando pingüinos en los centros escolares, eliminando residuos y basuras con un exigente protocolo de medio ambiente…; en resumen, la campaña polar más ambiciosa y potente de los últimos treinta años.

Este apretado balance provisional, al cruzar el ecuador, apenas resume una parte mínima de lo vivido, sentido, sorbido y, sobre todo, metabolizado. Sí, la Antártida en vena, bebida a sorbos; gozada en plenitud, sabiendo que lo más duro de la campaña aún no ha comenzado. Padres que tenéis en casa «ni-nis» adolescentes: enviadlos quince días a la Base Gabriel de Castilla y veréis qué pronto se les pasa la tontería.

Y vosotros, jóvenes que tenéis en casa a padres y madres menores de edad mental, que no son capaces de emanciparse: mandadlos a la Antártida sin billete de vuelta.

15. Para qué sirve un glaciar

«Es muy peligroso, pero vale la pena; ¡lo haría toda la vida! Es apasionante.» No hablamos de ir al cine los domingos, ni de tumbarse en la toalla al sol en verano, sino de caminar con crampones y arnés, encordados, por la superficie de un glaciar, procurando no caer en una grieta, como le ocurrió hace poco al glaciólogo Gordon Hamilton, «un tío genial», que murió en el empeño. Quien me lo cuenta, y se le ilumina el rostro ovalado al decir «¡Lo haría toda la vida!», es la glacióloga Cayetana Recio Blitz. El apellido materno es de origen holandés, añade.

Cayetana es ambientóloga por la Universidad de Alcalá de Henares, donde tuvo como profesores a dos especialistas en permafrost de extenso currículum antártico, Miguel Ramos y Miguel Ángel de Pablo; y completó un master en Restauración de Ecosistemas, cuyo trabajo final la encaminó hacia la Antártida: restaurar la ladera de la primera línea de playa en Isla Decepción, construyendo un muro de gaviones para evitar el desplome de la ladera bajo la Base Gabriel de Castilla. El muro es desmontable

y el impacto visual mínimo, pero evita que la marea vaya lamiendo la escasa ladera sin alterar el ecosistema. En aquel primer trabajo Cayetana fue abducida por la Antártida, orientando su tesis doctoral al estudio de los glaciares, y esta es ya su tercera campaña.

Conversamos a bordo del *Hespérides*, en el despacho que nos presta el jefe científico, con inmejorables vistas sobre el único sitio del planeta en el que puedes dar la vuelta al globo por un paralelo sin ver tierra: el Paso Drake. Nos acompaña Pablo Sánchez Gámez, topógrafo e ingeniero especializado en geodesia, con un master en Hidrografía por la Universidad de Hamburgo. Pablo y Cayetana pertenecen a la nueva generación de científicos españoles hipotecados por un Gobierno miope e ignorante, con la disculpa de no sé qué crisis económica. Ambos forman parte del Proyecto DinGlac (Dinámica Glaciar) y del grupo de investigación GSNCI (Grupo de Simulación Numérica en Ciencia e Ingeniería), que lidera en la Universidad Politécnica de Madrid Francisco Navarro, «Paco Polo», «un encantador de serpientes, un hacedor de equipos —asevera Cayetana—, dinamizador de una red que conecta a glaciólogos en todo el mundo»; la WWG, imagino, aunque el nombre exacto sea WGMS (World Glaciar Monitoring Service). Los datos que durante los últimos quince años han monitorizado los glaciólogos españoles y de todo el mundo se integran en esta red de conocimiento global.

Pero, ¿qué datos son esos? En síntesis, lo que estudia el proyecto DinGlac es el balance de masas de los glaciares Johnsons y Hurd en Isla Livingston. El balance de masa glaciar, como un balance económico, es lo que el glaciar gana o pierde en un año hidrológico; durante la invernada la nieve reciente se acumula en superficie, mientras que en el fondo del glaciar se derrite: «El glaciar es un río de hielo, está vivo, se mueve». El Hurd acaba en tierra, mientras que el Johnsons desemboca directamente en el mar, en una fantástica bahía contigua a la Base Juan Carlos I, lo que complica su «metabolismo».

Para saber cómo y cuánto se mueven los glaciares, Pablo y Cayetana, y antes sus compañeros Javier Lapazarán y Eva de Andrés, suben cada día al glaciar en jornadas agotadoras, siempre acompañados de uno o dos montañeros muy expertos, como Hilo Moreno, que el año pasado cruzó Groenlandia con la expedición Trineo del Viento. Atados con cuerdas de seguridad, de dos en dos, con un montañero avanzando delante y otro detrás, los glaciólogos se mueven por la cresta del glaciar haciendo mediciones y clavando estacas de 3,67 metros de largo y de unos diez cm de diámetro. Hay más de sesenta estacas en los glaciares de Livingston, lo que permite saber cuánto y cómo avanza el río de hielo (los glaciares se mueven a distinta velocidad, desde pocos cm al año hasta los 50 m/año del Johnsons). «Cada glaciar tiene su personalidad», insiste Cayetana.

Además de fijar estacas con un taladro en la piel del glaciar, establecer sus coordenadas exactas con DGPS (un GPS diferencial, con precisión milimétrica) y regresar al año siguiente para ver el avance, hay otros métodos de estudio que amplían la perspectiva, como las imágenes por satélite. En esta campaña también han contado

con el apoyo de un helicóptero de las Fuerzas Aéreas chilenas, que sobrevoló Livingston en enero con un georradar (un impulso magnético de ida y vuelta), aportando al grupo información sobre el espesor y la posición del frente del glaciar.

«Nuestro objetivo es la modelización del glaciar, es decir, a partir de distintas fuentes de datos, construir un modelo matemático que nos permita saber cómo se ha comportado el glaciar en el pasado y predecir su comportamiento en el futuro» —me explica Pablo, desde su matriz de geodesta—. Es difícil visualizar la complejidad del modelo matemático, comprender cómo modificando distintas variables se altera el resultado. Conociendo el estado de salud del glaciar podemos diagnosticar otros escenarios, jugar con el modelo base: ¿qué pasaría si…. si la temperatura de Livingston sube 2º? Y si en 2017 y siguientes volvemos a tener un invierno como el de 2016, con muy poca nieve, ¿podría la Península Antártica llegar a ser como Nunavut? El cambio climático ya es visible en Alaska y Patagonia, peor en Nunavut, donde se detecta todo un cambio de tendencia. De extenderse, ¿qué consecuencias tendría en los ecosistemas?

Asoma una y otra vez por las grietas del glaciar la bicha del cambio climático. Esta es una de las claves del trabajo del DinGlac, que Cayetana explica con apasionamiento: «Es sencillo: en el glaciar hay una zona de acumulación de nieve y una zona de ablación (pérdida de nieve); en medio hay una línea en constante movimiento, muy frágil e inestable. La Península Antártica es una zona crítica: al estar en la temperatura límite, en torno a 0º, todo es más sensible, cualquier oscilación de la temperatura puede tener consecuencias enormes».

Es fácil entender que pasar en Madrid de 18º a 19º, o en Canarias de 23º a 22º, un día cualquiera, apenas tiene consecuencias, pero si en todo el litoral de la Antártida, en todos los glaciares periféricos, la temperatura subiera un grado, tendríamos serios problemas en el resto del planeta, especialmente en las zonas costeras. Pablo describe el caso de las Islas Ellesmere en Canadá: «Desde la segunda mitad del siglo XX se detecta un cambio, pérdida neta de masa glaciar, y las predicciones actuales dicen que en torno al año 2150 no habrá ningún casquete de hielo en estas islas. Hablamos de una masa de hielo de 90 000 km^2, equivalente a Andalucía. Que en apenas cien años desaparezcan 90 000 km^2 de nieve en Nunavut es muy relevante».

Percibo en la conversación que tanto Cayetana Recio como Pablo Sánchez son muy prudentes en todo lo relativo al cambio climático. La glaciología nos permite hacer predicciones sobre el nivel medio del mar: si hay más deshielo el agua del mar ocupa más volumen. Este factor, unido a la expansión térmica, eleva el nivel del mar. Pienso en los Países Bajos o en Venecia. «Piensa mejor en la India —matiza Pablo—, donde una subida del nivel del mar de 30 cm tendría un impacto tremendo para millones de personas.»

Cada vez que en esta XXX Expedición Científica Española a la Antártida me acerco a una disciplina, ya sea la biología, la ecología de los pingüinos, el latido de los

volcanes o el estado de salud de un glaciar, reaparece como una constante la máxima de Humboldt, el primer ecologista global: «En la naturaleza todo está profundamente relacionado». La salud de los glaciares Johnsons y Hurd en Isla Livingston, y de todos los demás glaciares, nos aporta claves sobre el cambio climático, cuyo efecto amenaza a millones de personas en la India. Efecto mariposa glaciar.

«Sin sacar conclusiones apresuradas, nuestros estudios muestran que, a corto plazo, en los últimos 15 años en la Península Antártica no ha habido calentamiento, sino enfriamiento, pero necesitamos un período más largo, como mínimo 30 años, para observar la tendencia real. Los períodos de enfriamiento puede ser una falsa apariencia. Otros muchos datos indican que hay un calentamiento significativo, inequívocamente de origen humano, porque esto no pasaba hace…» —corrige Cayetana—. Esta perspectiva a largo plazo rebaja las alarmas: nuestra generación y nuestros hijos y nietos no verán la Antártida sin hielo; pero ello no debe relajar nuestra vigilancia: «Seríamos unos irresponsables. Hay cambios que ya se notan en los ecosistemas animales» —concluye Cayetana.

Agradezco a Pablo y a Cayetana su pasión didáctica y cierro el cuaderno de notas con la sensación de haber aprendido algo sobre un mundo que me empieza a parecer fascinante, el de los glaciares. Ya de pie, contemplando el mar desde la atalaya del *Hespérides*, dejo caer una última pregunta: ¿qué os aporta, como científicos y como personas, el estudio de los glaciares?

«Como científico —dice Pablo—, una mayor resistencia a la adversidad y capacidad de adaptación a trabajar en condiciones complicadas. En lo personal, en un lugar tan remoto y desierto te reencuentras con lo básico que hay en ti, con la familia, con lo que llevas dentro.»

Cayetana tiene claro que ha hecho la apuesta más buena y segura de su vida. No teme el trabajo duro en las grietas peligrosas, bajo cero, de diez de la mañana a siete de la tarde, ni teme al viento que no pregunta. «¡Vale la pena! ¡Lo haría toda la vida!», concluye con una sonrisa tan optimista y vehemente que el albatros que pasaba ante nosotros ha congelado el vuelo por un instante. Él también está preocupado por el estado de salud de los ríos de hielo.

Links

Grupo de Simulación Numérica en Ciencia e Ingeniería, http://www.etsit.upm.es/investigacion/grupos-de-investigacion/simulacion-numerica-en-ciencias-e-ingenieria.html [Consulta septiembre 2017].

Universidad Politécnica de Madrid, <www.upm.es> [Consulta: septiembre 2017].

16. CONGEO*: en busca del *big bang* oculto bajo el hielo de la Península Antártica

La película *Aterriza como puedas* empieza con una secuencia digna de los Monty Phyton: un avión acaba de estrellarse y humea aparatosamente al final de la pista. El director del aeropuerto, sudando, ordena a un testigo: «¡Cuéntemelo todo, desde el principio!». El testigo, agobiado, traga saliva y comienza a relatar al espeluznado director: «En el principio fue el *big bang*…». Al fondo de la pista el avión sigue ardiendo.

Mientras la realidad climática arde al fondo de la escena, he pedido al geólogo Jerónimo López —sin duda, el principal referente de la ciencia antártica española— que me cuente todo «desde el principio», de modo que lo entienda incluso un periodista; porque no es posible dar un solo paso en el conocimiento de la Tierra sin comprender la secuencia de acontecimientos que comenzó hace 4600 millones de años.

---

* Programa CONGEO-UAM: «Evolución geodinámica reciente, efectos geomorfológicos, edáficos e hidrogeológicos de los cambios ambientales y geoconservación en el norte de la Península Antártica», Universidad Autónoma de Madrid.

Jerónimo López, profesor de Geodinámica Externa en la Universidad Autónoma de Madrid (UAM), se encuentra en la Antártida, en su décima campaña, con el equipo del ambicioso proyecto multidisciplinar CONGEO, que estudia la evolución geodinámica de la Península Antártica, los cambios medioambientales que se están produciendo y sus efectos en la morfología, el suelo y la hidrogeología de la zona, incluyendo el estudio del cambio climático en el funcionamiento hidrogeológico en áreas libres de hielo. Comparte equipo con los geólogos Belén Oliva, también de la UAM; Javier Lambán, del Instituto Geológico y Minero de España; y el suizo Thomas Schmid, actualmente en el CIEMAT (siglas del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) de Madrid.

Viajo con ellos a bordo del buque oceanográfico *Hespérides* y los he acompañado en sus salidas al campo en las islas Cuverville, Pléneau, Booth y otras de la Tierra de Palmer y Costa Danco, donde nos encontramos navegando. Jerónimo López —experto montañero que ha coronado el Everest y el macizo Vinson (4987 m), el más alto de la Antártida— salta a tierra cada vez que fondeamos ante un islote, feliz como niño con zapatos nuevos, estrenando su «juguete» científico, un sofisticado espectro-radiómetro que el atlético Thomas porta a cuestas en una mochila, mientras Belén muestrea con un sensor, como zahorí en busca de manantiales ocultos, en cuadrículas de diez metros, y Lambán recoge los datos, creando verdaderas bibliotecas del terreno.

Los manantiales de datos son aquí las mediciones de radiación en áreas libres de hielo (se descubre apenas un 1% del territorio antártico y solo durante los dos meses del fugaz verano), precisamente las más sensibles al cambio climático.

Uno de los objetivos de CONGEO es caracterizar y cartografiar áreas de distintos materiales —permafrost (suelo congelado), afloramientos rocosos, playas, morrenas— para confeccionar, con un buen conocimiento directo del terreno, un mapa predictivo que permita, por analogía sobre fotos satelitales, deducir la composición y características de otros suelos equivalentes en zonas de difícil acceso. «Caracterizamos el terreno por zonas homogéneas, extrapolables, lo que nos permite mejorar las cartografías.» Un artículo reciente de este grupo de investigadores clasifica el suelo de las Shetland en siete tipos: playas del Holoceno, suelos ordenados periglaciares (campos de piedras), hielo y nieve, lagos, etc. Todo esto es relativamente novedoso, como todo nuestro saber antártico, que se mide por decenios; cada nueva campaña completa el precario conocimiento de la Antártida, en el que se han dado pasos de gigante, pero que sigue teniendo inmensas lagunas.

¡Cuéntamelo todo desde el principio!, insisto, y Jerónimo saca su mejor lado didáctico para ubicar mi mente, de andar por casa, en los parámetros temporales de la geología: «Estudiamos la evolución del relieve terrestre en los últimos millones de años, del final del Terciario al Cuaternario, el período Cenozoico; en la Antártida, en concreto, medimos las fallas y buscamos indicadores cinemáticos en el Arco de Scotia, para saber cómo se formaron, cómo actuaron los campos de fuerza que originaron las

deformaciones de las rocas; en otros puntos, como Isla Bridgeman o Isla Penguin, dos diminutos islotes volcánicos, y en Isla Decepción, las mediciones de paleomagnetismo nos permiten datar eventos geológicos del pasado; por ejemplo, cuando se formó la caldera volcánica en Isla Decepción».

Estudiar el paleomagnetismo no es gratis: he visto a Jerónimo y a su equipo regresar al *Hespérides* de noche, desde Isla Penguin, con una sonrisa de satisfacción, tras una jornada de catorce horas a la intemperie, con el mar cubierto de espesa niebla, gobernando la zódiac con GPS a través de una superficie helada. Todo para recoger sus muestras de rocas y de aguas, y medir los isótopos estables de la molécula de agua durmiente en lecho de permafrost, lo que nos aporta una valiosa información sobre su origen.

Me cuenta Jerónimo que el hielo más antiguo conocido de la Antártida tiene en torno a 800 000 años. La cifra me da vértigo, y se la muestro anotada en mi cuaderno: ¿He entendido bien, ochocientos mil años? ¿Cómo eres capaz de visualizar esa dimensión temporal?:

—Considerando que el planeta tiene 4600 millones de años —sonríe— y que las rocas y las formas de vida más antiguas tienen 3700 millones de años, hablar solo de 800 000 como antigüedad del hielo no me da vértigo, es razonable.

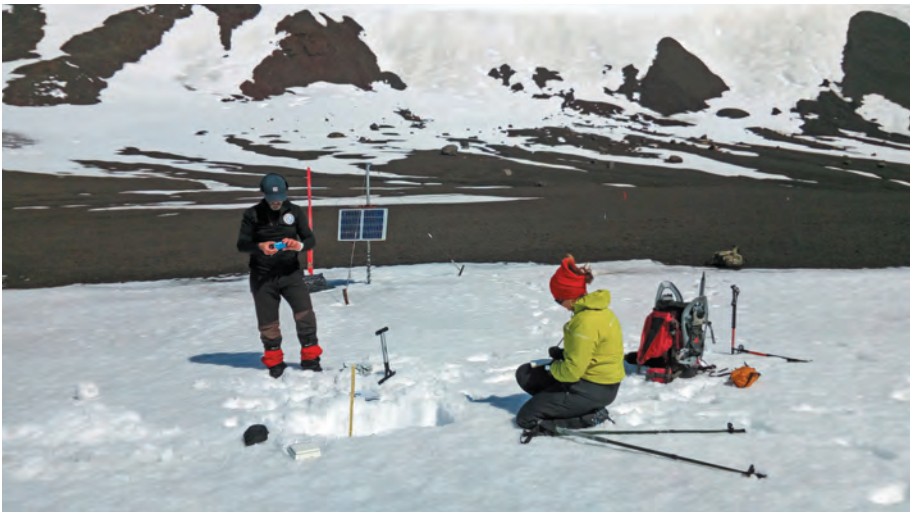
Escéptico ante el abismo geológico, le pido una razón para estudiar la geología austral: «Conocer la geología de la Antártida es determinante». Territorios como Sudamérica, África, la India, Australia y la Antártida estaban unidos en un supercontinente, Gondwana. Hace 180 millones de años comenzó la fragmentación de Gondwana: es conocida la deriva de la India, que «viajó» hacia el norte y al «chocar» con Eurasia provocó el levantamiento del Himalaya; desde que se desgajó de Gondwana, la India se ha desplazado 9000 km en 180 millones de años; Jerónimo me invita a calcular cuánto se ha movido la India por año: muy poco, una media de cinco milímetros al año.

Pues bien, la Antártida era el núcleo central de Gondwana, el corazón de aquel continente, tierra hermana de Sudamérica o Sudáfrica: durante el Cretácico, hace unos noventa millones de años, en la Antártida había árboles y fauna de climas templados. En la Península Byers (Isla Livingston), donde hay un campamento internacional, se encuentran muchos fósiles. Yo mismo he visto en Isla Rey Jorge un tronco fósil de *Laurlioxylon antarcticum*, con 54 millones de años de antigüedad.

Cuando se abrió lo que hoy llamamos Paso Drake, el Atlántico y el Pacífico entraron en comunicación, lo que generó la Corriente Circumpolar Antártica: el corazón de Gondwana quedó aislado y se creó el sexto continente (a menudo olvidado en los mapas y libros de texto). En torno a la Antártida, aislada de sus tierras hermanas, solitaria, se generan nuevas cuencas: la batimetría muestra ese aislamiento circumpolar, causa principal del enfriamiento.

«¡Fíjate si tiene interés la Antártida, el corazón de Gondwana! — concluye Jerónimo López—. Aquí todo está guardado, atesorado bajo siete llaves de hielo. Por eso decimos que es un gran laboratorio. El hielo de 800 000 años nos permite saber cómo ha sido el clima desde entonces. El paleomagnetismo nos dice cómo ha variado la posición de las rocas y permite datar ciertos acontecimientos geológicos. Estudiar el pasado es necesario para tener modelos predictivos más fiables del futuro; y es clave para conocer mejor la evolución de las especies, y los cambios de las corrientes marinas y del clima. La morfología de la Tierra y su dinámica conectan con el clima, lo determinan. ¿Por qué hay hielo en la Antártida? ¿Desde cuándo hay hielo? La geología estudia los cimientos del clima y de la biota, de la vida antártica y, por extensión, del resto del planeta.»

17. El estudio del permafrost en la Antártida explica el calentamiento global



Decía Julio Verne —que también anticipó la llegada de Donald Trump al poder, encarnado en Schulze, el belicista sin escrúpulos que construye la Ciudad de Acer— que «los botánicos, los especialistas en historia natural, los físicos, los químicos y los matemáticos han compuesto horrorosas mezclas de palabras». Para descifrar el criptograma de la Antártida, he tenido que familiarizarme con alguna de esas palabras horrorosas, como «permafrost».

En el trayecto hasta Isla Decepción, a bordo del buque *Sarmiento de Gamboa*, viajaban en el hangar una docena de cajas metálicas rotuladas con el palabro «PERMASNOW». Ni siquiera Verne se atrevió a tanto. El día de los Santos Inocentes hice la travesura de escribir en una de las cajas «espermasnow», por dar sentido al jeroglífico; nuestra mente limitada completa lo que no entiende.

Permasnow es el proyecto de investigación de la Universidad de Alcalá dentro de la XXX Expedición Científica Española, esta compleja campaña en la que nos hallamos inmersos cerca de doscientos aventureros, entre marinos, técnicos, soldados y científicos. El proyecto Permasnow da continuidad a una línea de trabajo que cuenta ya con 24 campañas antárticas: el estudio de la capa helada, es decir, ahora sí ¡el permafrost!

El físico Miguel Ramos, una de las mentes mejor amuebladas del panorama científico antártico, cuyo magisterio, transmitiendo el saber con generosidad, ha creado escuela en Alcalá, me hace una descripción sencilla: permafrost es cualquier tipo de material, como roca o arcilla, por debajo de 0º; es decir, la superficie y el subsuelo helados que persisten desde la última glaciación, hace 15 000 años, principalmente en zonas de Canadá, China, Siberia, Alaska y la Antártida.

El suelo y subsuelo están en alteración permanente: cualquier elemento que se ponga encima lo altera (un edificio, una carretera o una nevada). Para explicarme esto de modo gráfico, y aunque no era exactamente permafrost, Miguel Ramos evoca el avance de los tanques de Hitler sobre Moscú durante el crudo invierno 1941-42: en noviembre de 1941 la temperatura de la estepa descendió de modo inusual (el general von Bock anotó en su diario -29º el 5 de noviembre), lo que congeló los caminos y permitió el avance rápido de las tropas. Cuando comenzó el deshielo, en la primavera de 1942, la retirada alemana fue penosa, las imágenes de la época muestran los tanques enterrados en el fango, al volverse el suelo blandito.

En las zonas del planeta donde queda permafrost, desde la última glaciación, la capa superficial del suelo se congela y descongela como las carreteras de Moscú y forma mosaicos de hexágonos u otros polígonos, cuya cartografía permite conocer sus procesos dinámicos. Pero, ¿para qué nos sirve su estudio?, pregunto a Ramos.

La pregunta nos lleva a Marte. Los investigadores han detectado que el patrón del permafrost terrestre se repite en Marte, lo que induce a pensar que en Marte hay roca helada y posiblemente agua, pero ¿dónde? Los geólogos y astrónomos trabajan con la hipótesis de que hace 4000 millones de años la Tierra no tenía agua, era un planeta seco, de modo que el agua tuvo que venir de alguna parte del universo; durante mucho tiempo se pensó que podía proceder de algún cometa; el consenso científico admite hoy que el agua llegó a la Tierra a bordo de un asteroide como Ceres, una bola de hielo y agua de 900 km de diámetro. «Cuando tomes un vaso de agua piensa que estás tomando zumo de asteroide», asevera Susana Fernández, geóloga del proyecto Permasnow.

Los permafrostólogos han conseguido datos microbiológicos a partir de testigos obtenidos a centenas de metros de profundidad. El cultivo de estos testigos ha permitido revivir vida microbiológica en estado latente durante dos millones de años. Escribo otra vez la cifra en mi cuaderno de notas, delante de Miguel y Susana, para confirmar que he entendido bien el dato: 2 000 000 de años. Si hemos revivido bacterias latentes durante dos millones de años, «microdinosaurios», podemos obtener mucha información sobre una vieja cuestión, solo bien resuelta en el Génesis, que ya inquietaba a los presocráticos, ¿cómo llegó la vida a la Tierra?

A Miguel Ramos se le iluminan los ojos cuando deja caer una hipótesis, entre las migas de galletas, sobre la mesa del comedor del *Sarmiento de Gamboa*: pudo ser que

la vida llegara a la Tierra en forma de bacteria latente, a bordo de un trozo de permafrost, un asteroide. Zumo con bichos. Y como parte de los meteoritos que llegan a la Tierra proceden de Marte, bueno será estudiar el permafrost en Marte y en la Antártida. Para esto sirven las veinte cajas metálicas que viajan con nosotros en el hangar: estudiar el origen de la vida en Marte desde la Antártida.

En esta campaña Miguel Ramos ha cedido el testigo como IP a Miguel A. de Pablo, que ahora mismo está tomando muestras en uno de los lugares más delicados de las Shetland, la Península Byers, zona especialmente protegida. Los datos se integran desde 2016 en las redes CALM (Círculo Polar Activ Layer Monitoring) y TSP (Thermal State Permafrost), así como en la base de datos de la Organización Mundial de Meteorología. Es importante saber que la ciencia en 2017 no es una guerra de guerrillas, sino un trabajo de cooperación transnacional que, en el caso de la Antártida, da sentido a la afirmación de que es tierra sin fronteras.

Para concluir, pido a Susana y Miguel que me avancen alguna conclusión. ¿Qué apuntan los datos?: «La capa que se descongela, en los últimos seis u ocho años, es cada vez más fina. La regla es sencilla: a más calor, más capa activa; a menos calor, menos capa de permafrost que se descongela. Si los datos de la última década registran una capa activa de permafrost cada vez más fina, es que ha recibido menos calor, luego estamos en un escenario de enfriamiento —"en esta zona", recalca Ramos—, que no es incompatible con el calentamiento global en el conjunto del planeta».

Eso es lo que ahora está en estudio, las causas de ese enfriamiento, pero en todo caso les atizo una conclusión que no será preciso corregir: no hagan caso de simplificaciones; el asunto del calentamiento global es complejo. Quizás por eso a Donald Trump le cuesta tanto entenderlo.

18. La vuelta a la Antártida en 80 días

Don Benito Pérez Galdós, que bajo su flemático bigote era un guasón muy divertido, comparaba los antiguos buques de la flota española en la batalla de Trafalgar con catedrales góticas, y al buque insignia, el *Santísima Trinidad*, con El Escorial. Más modesto, hace unas semanas llamé en estas crónicas «catedral del mar» al buque *Sarmiento de Gamboa*, sin conocer el texto de don Benito: hay que escribir menos y leer más. De modo que me he puesto a leer *Trafalgar* en el mejor sitio que pueda imaginarse: a bordo del nuevo Escorial de la Armada Española, el *Hespérides*.

La lectura acompaña deliciosa este fin de semana, tan pacífico a bordo que nada interrumpe la calma, ni siquiera el mar encrespado que veo por el portillo, fondeados a dos millas de la Península Byers, donde un grupo de investigadores inicia hoy una estancia en un campamento internacional: quince días a la intemperie, tiendas ligeras y laboratorios en iglús, a temperatura ambiente. Vivirán sin redes, apenas un hilo de comunicación con la Base Juan Carlos I para emergencias, cocinando por turnos en un hornillo, recogiendo todos los residuos, incluidos los humanos, para su reciclaje; conviviendo entre ellos y haciendo amistades entre focas, pingüinos y elefantes marinos.

Quince días duros, pero no vi a ninguno ir con pena: antes de partir la camareta de oficiales y científicos del *Hespérides* era una fiesta; echaban humo teléfonos y portátiles con los últimos recados; se preparaba el instrumental, desde un delicado y exclusivo percutor para medir la antigüedad de las rocas, comprado en Suiza, hasta ingeniosos sistemas caseros de I+D+i, como soportes construidos con tapones de botella para sensores *i-buttom*, capaces de registrar datos durante dos invernadas. Nadie se iba a Byers preocupado, todos contentos, centrado cada uno en su especialidad, y hay unas cuantas: geógrafos, físicos y glaciólogos que estudian el permafrost (suelo congelado) o el avance y retroceso de los glaciares; especialistas en paleomagnetismo, como el veterano Jerónimo López y su equipo; o biólogos y ecólogos preocupados por la introducción en la fauna antártica de especies invasoras y sus posibles efectos en la biodiversidad.

Mientras el buque *Sarmiento de Gamboa* regresa al puerto de Vigo, de donde partimos en noviembre, el *Hespérides* ocupa este tramo central de la campaña antártica, la más extensa y ambiciosa de la historia española, y acoge con hospitalidad a los equipos de distintas universidades y disciplinas que van y vienen, cada cual con sus objetivos, sus equipos, sus necesidades distintas y su imposible calendario, que el responsable de la campaña, Miki Ojeda, va cuadrando milagrosamente.

Los equipos van y vienen y las aventuras se suceden; escucho extasiado de cada uno su historia, su proyecto y sus vivencias: los chilenos que hacen submarinismo bajo el hielo para encontrar cangrejos diminutos; los locos del temerario velero *Geluk* bailando el vals de las nueve olas, rescatados por el *Hespérides* de un naufragio seguro; o la «pingüinóloga» que en la Base Gabriel de Castilla etiqueta frascos, tubos y muestras, y hace las mochilas para regresar a casa tras cruzar de nuevo el Paso Drake, o el Mar de Hoces si lo prefieren, no pienso discutir a cuenta de un marino extraviado en una terrible tormenta. Todo el mundo tiene derecho a perderse en sus mares.

Esta semana, en la que se cumplen ochenta días de campaña, será de transición: equipos que se van y relevos que vienen. Haremos dos veces el Drake, ¡con buen tiempo!, no hay otra alternativa posible en esta campaña que se desenvuelve con tan buena estrella y en la que nos esperan aún días de navegación en las espectaculares zonas del Estrecho de Bransfield y la Tierra de Palmer.

Van y vienen amigos y amigas de los que me costará despedirme, ¡ni con cuatro pintas de cerveza calafate servida en El Colonial!; pero vienen nuevos investigadores, como el vigués Mariano Lastra, y haremos una nueva familia. Por ahora solo este cronista permanece a bordo desde el primer día, 80 singladuras y aún me quedan unas cuantas, cosa de la que algunos se extrañan, sin advertir que ha sido el tiempo más rápido y gozoso que he pasado en mi vida, en decenios. Necesitaría seis blogs para contarlo todo: por ejemplo cómo hoy, al despertar, vi por el portillo resoplar a una ballena. Preparé un café potente, me abrigué bien y salí a la proa del *Hespérides*, a devolverle los buenos días.

No es fácil acostumbrarse a desayunar con cetáceos; y como estos días he leído uno de los libros más espléndidos que recuerdo en muchos años —*La tierra de Jules Verne*, de Eduardo Martínez de Pisón, del que si hay tiempo hablaremos otro día—, tengo a cada momento la tentación de pensar que vivo en una novela de Verne, en la que los buceadores chilenos son amigos del capitán Nemo, rescatamos a los náufragos del *Geluk*, y el Kraken nos acecha entre los icebergs de Caleta Cierva. Me despiertan del sueño el resoplido de una ballena, el vuelo de un skúa, los saltitos de un pingüino barbijo, el crujir de los huesos del *Hespérides*: cosas tan increíbles que empiezo a dudar, ¿dónde acaba la ficción y dónde empieza la realidad?

Como diría Galdós, «¡Cuánto misterio!».

19. Byers: sobrevivir en Campamento Paciencia

¿Cuántos kilómetros tiene que nadar un pingüino en aguas heladas para conseguir comida? ¿A qué profundidad necesita bucear para sobrevivir? Retenga una cifra en su mente y luego veremos si acierta. Todas las especies se mueven incesantemente en busca de alimento. También nosotros hemos recorrido 13 000 km para trabajar en esta latitud extrema, en la que nada es fácil.

¿Cuánto cuesta una cerveza? En un supermercado 30 céntimos, en la Antártida no tiene precio. Cada cosita que llega aquí, desde una tirita al más sofisticado sistema de georradar, supone un gran esfuerzo económico pero, sobre todo, logístico y humano. Cuando el ilustrado Malaspina organizó la primera verdadera expedición científica española, en 1789, al tiempo que en la Bastilla prendía la Revolución Francesa, encargó los equipos a instrumentistas de Londres y París. La lista es digna de Verne: dos higrómetros, un aerómetro, una escafandra de corcho, un presómetro de faltriquera, un eudiómetro, dos escopetas de viento…, y una colección de atlas botánicos que haría las delicias de Humboldt. Nosotros llevamos a bordo todo eso multiplicado por mil.

La Bahía Sur de Isla Livingston nos ha recibido con tiempo soleado, apenas viento y atardeceres dorados, y esto facilita las pesadas tareas de carga y descarga que la dotación del *Sarmiento de Gamboa* y de la base científica realizan sin cesar, pero el trabajo es tan extremo como el de los pingüinos. No hay margen de error para sobrevivir.

He observado el arte de la estiba: los palés entran y salen en orden inverso, el tiempo es escaso, la maniobra peligrosa, parece que las eslingas van a estallar cuando la grúa iza un depósito de gasoil de varias toneladas y lo posa con una caricia en la barcaza miniada. Para acabar la construcción de la nueva base Juan Carlos I, que lleva diez años en obras, hace falta de todo: cemento, tubos, paneles, bombillas, colchones, neveras… y todo ha de traerse desde algún puerto, Vigo, Cartagena, Punta Arenas, Ushuaia… Un despiste y la lavadora empaquetada o la mesa de laboratorio caerían sin remedio al mar de hielo. La tragedia sería que cayera uno de los expedicionarios: para bajar a tierra hemos de calzar, más que vestir, un pesado y rígido traje impermeable, el «teletubby», porque enfundados nos parecemos a los muñecos de la tele, con andares de pingüino.

Precisamente para visitar una colonia de pingüinos bajé a la isla con dos reputados ornitólogos que trabajan desde la perspectiva de la ecología: el madrileño Andrés Barbosa (Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC), que lleva veinte años estudiando la fisiología de los pingüinos, principalmente dos especies, el barbijo, ese que tiene una rayita negra en la barbilla, y el papúa, de inconfundible pico amarillo; y el argentino Juan F. Masello (Universidad de Giessen), experto en parasitología y comportamiento ecológico. Dos libros abiertos, un lujo impagable, que en vísperas de Navidades parten hacia el Campamento Internacional Byers, en la otra punta de la isla, donde vivirán en completo aislamiento durante veinte días.

«Los pingüinos —me explica Barbosa— son los centinelas de la salud del ecosistema antártico. A través de la fisiología de los pingüinos podemos estudiar los efectos del cambio global en una zona tan sensible como esta de la Antártida, donde se están produciendo cambios ambientales de mayor magnitud.» ¿Cómo obtienen su alimento y el de sus crías?: sobrevivir y reproducirse, la incesante lucha por la vida, pero en las condiciones más duras del planeta. Estos pingüinos papúa nadan hasta 40 kilómetros (más de 90 en Malvinas) o bucean a una profundidad de 150 metros para conseguir comida: su manjar es el kril, un camarón diminuto, indigesto para nosotros.

Pero la investigación va más allá, estamos hablando de cambio global: determinados parásitos, enfermedades y contaminantes están alterando la conducta de los pingüinos y de otras especies. Barbosa y Masello analizan la presencia de esos parásitos, por ejemplo garrapatas, y cómo afectan las funciones fisiológicas de estos animalejos a su respuesta inmunitaria o a su capacidad de termorregulación.

Supondrá usted que colocar un GPS o hacer análisis de sangre a un pingüino no es fácil: yo les digo que es heroico. Andrés, Juan y el montañero Iñaqui Irastorza —más de veinte Aconcaguas— van a pasar en 2016 una Navidad muy especial. Van a convivir en un pequeño iglú, con comida enlatada, bajo cero, yendo a diario a la pingüinera para atrapar a los afortunados que durante cinco días llevarán implantados dispositivos GPS, acelerómetros y profundímetros, con los que registrar su posición en el mar, las zonas donde procuran el alimento y el gasto energético que

supone ese desplazamiento. Procurando que no se pierda ningún GPS, a razón de 3000€ la unidad, y evitando accidentes. «En la Antártida todo requiere mucha paciencia», filosofa Andrés.

Campamento Paciencia se llamó el de Shackleton y sus hombres, que sobrevivieron más de un año sobre un iceberg a la deriva. Presencio los preparativos de nuestros científicos para invernar en el Campamento Paciencia de Byers. Práctica para colocar una vía o un parche de calor con Daniel, médico de la Base: «Mejor que no tengáis que usarlo. El año pasado —sonrió Irastorza— tuve que ponerle 40 puntos de sutura a la médica de la Base, que se cayó en unas rocas». Por si la vida en Byers fuera poco espartana, el protocolo del Tratado Antártico exige un absoluto cuidado ambiental: nada puede contaminar la zona, de modo que los tres expedicionarios tendrán que ir guardando «todo», y todo es todo, que será recogido para depuración y reciclaje a su regreso. Comida seca y fría, tienda de campaña húmeda, hacer pipí a media noche en una botella, y los temporales que vengan, son el precio que Andrés, Juan e Iñaki pagan gustosos por la sensación única de estar solos en la pingüinera y escuchar el coro de papúas cantores, o despertar con el saludo cariñoso de un elefante marino moviendo la tienda.

20. El trabajo de campo en una colonia de pingüinos barbijo en la Antártida

La excursión científica comienza recogiendo en la cocina de la Base Gabriel de Castilla un termo con caldo muy caliente, algo de pan, queso y bebida. La mochila ha de llevar siempre, es la orden, «todo lo que puedas necesitar si fueras a pasar el peor día de tu vida». En la Antártida, las ventiscas de 40 nudos no avisan. Los ecólogos Andrés Barbosa, Josabel Belliure y Jesús Benzal llevan también unos GPS sofisticados, *loggers* y diverso instrumental para el trabajo de campo: tubos, espátulas, hisopos, jeringuillas, báscula y muchas más cosas que voy descubriendo durante la jornada.

Me sumo al grupo a la puerta del módulo científico y emprendemos el camino felices y contentos como conejos, bordeando la orilla de la playa de Bahía Foster: las botas se hunden en el lecho de piroclasto. Andrés y Jesús avanzan con paso firme; Josabel me va contando su amor por los pingüinos, y me distraigo tanto que meto los pies en todos los charcos. Dejamos atrás la base argentina Decepción, que reluce recién pintada, y bordeamos un lago glaciar de intenso color esmeralda, el Irízar.

Decepción es una isla formada sobre un cráter, casi circular, con forma de herradura, como un donut con un mordisco. En el círculo interior están las bases, las bahías históricas, como Balleneros o Caleta Péndulo: en los días claros, las dos orillas se miran sin pudor. Sin embargo, los pingüinos necesitan para comer el mar abierto, donde nadan incesantemente en busca de los bancos de kril, por lo que las pingüineras están en el círculo exterior. En Decepción hay ocho colonias inmensas de barbijos, las dos más grandes son la del Morro Baily, al este, en la llamada Costa Recta, porque la rotura de la placa terrestre dibuja una recta con tiralíneas; y la de Vapour Col, o Collado Vapor, en la parte oeste de la isla, hacia donde nos encaminamos. Para llegar desde la base a la pingüinera hay que salvar un collado de 300 m, en la falda del monte Irízar. Los investigadores hacen este recorrido todos los días, una hora y media de ida y otro tanto de vuelta si el viento no empuja en contra.

Acompaño a Andrés, Josabel y Jesús consciente del privilegio de pasar un día en la pingüinera viendo de cerca su trabajo. El día es soleado y la temperatura agradable, tres grados, de modo que el camino se convierte en un paseo: nos detenemos, sin prisa, a contemplar el paisaje, a respirar hondo, a sentir la Naturaleza, que estalla en borbotones cuando cambiamos de vertiente y, de pronto, contemplamos el mar inacabable y a nuestros pies, en vertical, la Rada Pingüinera. Allá vamos, en zigzag, con cuidado de no pisar los delicados musgos y líquenes, única vegetación visible.

Dirige el equipo Andrés Barbosa Alcón, del Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC), que lleva casi veinte años estudiando los pingüinos y los ecosistemas de la Antártida. El técnico Jesús Benzal, de la Estación Experimental de Zonas Áridas de Almería, conoce cada nido y cada pareja de pingüinos, y se mueve por entre las colonias con naturalidad pasmosa. Josabel Belliure es profesora de Ecología en la Universidad de Alcalá, y no es que les hable a los pingüinos: los coge en brazos y mantiene con ellos entretenidas charlas. Estos son mis guías en esta Aventura de la Ciencia. La jornada pasa como un encantamiento: contemplo extasiado cada gesto, cada maniobra.

La pingüinera de Collado Vapor está formada por unas veinte colonias de distintos tamaños en las que anidan veinte mil parejas: cuarenta mil pingüinos, con una o dos crías por nido. El equipo de Barbosa lleva doce campañas estudiando estas colonias, o sea, que los individuos están censados y casi tienen nombre y apellido. En los nidos señalados con estacas se escoge un pingüino afortunado y se le coloca un *logger*: una mochilita en la espalda que contiene un GPS capaz de registrar durante cinco días toda la actividad del pingüino, dónde va, cómo nada, a qué profundidad se sumerge… los exploradores son observados y, a los cinco días, cuando vuelven al nido, traen consigo todos los datos. De vez en cuando alguno se fuga…

Hoy toca recuperar un pingüino con *logger*. Jesús se adentra con paso suave en la pingüinera, sin producir alboroto, y captura al pingüino espía. De inmediato Josabel se hace con los dos polluelos y los recoge con delicadeza en su regazo. Nos sentamos los cuatro cerca: Jesús sujeta al pingüino adulto mientras Andrés extrae

muestras de sangre y heces que va depositando en viales. Luego, por medio de una centrifugadora, la sangre se separa en plasma y glóbulos rojos, como un análisis humano, obteniendo datos de ADN, alimentación, enfermedades y parásitos. Mientras Josabel pesa y mide a los dos polluelos, los marca con rotulador azul indeleble bajo el ala, casi aleta, y les coge muestras de caquitas. Todo esto se hace con tranquilidad —«en la Antártida hace falta mucha paciencia», es el lema de Barbosa—, hablando con los animales como si fueran viejos conocidos. «Para quieto», dice Josabel a un polluelo, «ven, tú ahora te vas con Jesús», y Jesús lo pesa suspendido en la balanza. En la libreta se van anotando todas las medidas, la fecha y la hora: hoy el cuaderno de campo está seco y yo me tumbo en la arena volcánica placentera, pero los tres investigadores hacen lo mismo cada día, durante uno o dos meses, con lluvia y viento, o con nieve, y entonces las páginas del cuaderno lloran de frío.

Rescatamos tres *loggers* con información preciosa; un cuarto bandido se ha fugado, pero los biólogos volverán mañana y pasado y al otro día, hasta que aparezca. Antes de comer damos un paseo por la orilla de la playa, respetando los caminos, casi autopistas, por donde una incesante procesión de «pingüis» va y viene de la colonia al mar, en busca de comida, y del mar a la colonia. Domina el paisaje una corona rocosa, New Rock, esbelta y solitaria. Las rocas, como toda la isla, son volcánicas, redondeadas por la erosión de las mareas. Un elefante marino duerme en la orilla y no se inmuta con nuestra presencia.

Al mediodía montamos el pícnic en una ladera soleada, al abrigo del viento: un consomé nutritivo, bien caliente, queso y frutos secos. Aporto al convite un trozo de lomo embuchado de mi tierra y chocolate de postre. Mientras comemos, vemos los surtidores de las ballenas sobre la lámina del mar: es imposible mejorar el espectáculo. Los skúas y petreles sobrevuelan las colonias al acecho de algún polluelo incauto y, de vez en cuando, algún pingüino miope se acerca a nosotros y nos curiosea la merienda. Tal es la placidez que, mientras ellos revisan otros nidos, duermo la siesta.

El viaje de regreso, con la misión cumplida, es aún más agradable. La tarde sigue soleada, regalo generoso de la Antártida; no es habitual: cojo resuello en cada recodo de la subida que salva el collado. Otra vez oteamos el horizonte, ahora ya del lado este, con toda la isla ante nuestros ojos y al fondo la Bahía Foster. En la bajada al Lago Irízar, por un terraplén de piroclasto, rodamos divertidos: bajando todos los santos ayudan.

Pero el trabajo no ha acabado: al llegar a la Base, después de duchas y de la obligada reunión vespertina, donde se coordina el trabajo de todos los equipos, hay que volcar los datos a los ordenadores, procesar las muestras, centrifugar la sangre, ordenar fotos, revisar *loggers*… y preparar los del día siguiente. Luego, ya en casa o en el departamento, vendrán también el proceso de estudio de los datos y la elaboración de las hipótesis y conclusiones. Son muchas horas de entrega a la investigación, que no sería posible sin una auténtica vocación, sin vivir con pasión, en este gran laboratorio de la Antártida, la Aventura de la Ciencia.

21. El mensaje de Ciudadano Ping: «Somos vuestros aliados, somos los vigilantes del cambio climático»

Vapour Col (Collado Vapor) es una gran ciudad, aunque muy desconocida, cuyos habitantes gozan de una especial protección de las autoridades civiles, eclesiásticas y militares. A Vapour Col solo se puede llegar por mar: el Collado Vapor se alza sobre dos salientes rocosos, cuyos nombres recuerdan las corbetas de Malaspina, el primer explorador científico español: punta La Descubierta y punta La Atrevida, en la costa oeste de Isla Decepción. El emplazamiento de la ciudad es óptimo, abrigado de los vientos y los hielos, y desde la colina se contempla un incesante desfile de ballenas y atardeceres de oro y plata, cuya luz brillante recorta la silueta de New Rock, una atrevida roca solitaria con forma de corona real. Así es.

Ya tienen ustedes las coordenadas geográficas, déjenme ahora que les hable de los habitantes de Vapour Col: la ciudad tiene 60 000 según el último censo; veinte mil parejas con sus hijos, y cada pareja habita un pequeño apartamento construido sobre terreno volcánico, sin cimientos. Son veinte mil viviendas unifamiliares cuya forma

recuerda la de un nido, hechas con sillares labrados en lava y piroclasto. Dentro de la gran urbe, las familias se agrupan en colonias. La ciudad se construye y deconstruye a sí misma cada año, como en un cuento de Borges o una «ciudad imaginaria» de Ítalo Calvino; y, aunque nadie conoce los planos secretos, ninguna familia se equivoca de casa.

Los vecinos de Vapour Col son gente de mar, ruda, habituada a navegar en los mares más fríos del planeta. Están equipados genéticamente para soportar temperaturas bajo cero, muy superiores a las de los inuits. Cuando a Isla Decepción llega la invernada, la larga noche polar, varios meses de oscuridad con vientos gélidos y huracanados, los «vapourinos» se refugian en el mar, donde encuentran abrigo y comida; casi anfibios, pasan la invernada entrando y saliendo del agua, en el borde de la banquisa de hielo.

Con la llegada del buen tiempo los habitantes de Collado Vapor comienzan una actividad frenética: saben que disponen de apenas cuatro meses para reproducirse, criar a sus hijos, cambiar su gastado plumífero por uno nuevo y regresar al mar. En cuanto la colina se deshiela, los más aventurados empiezan a acarrear piedras y construyen la casa; poco después llegan las hembras y el reencuentro de las parejas —se reconocen entre los veinte mil congéneres y nunca se confunden entre sí—, es una fiesta de besos, piquitos y abrazos. Es una danza amorosa que precede a la cópula: los habitantes de Vapour Col practican el nudismo sexual en las colonias y copulan unos a la vista de otros, en una orgía reproductiva envidiada por el resto de las especies del planeta.

Aunque fieles a sus parejas, los «vapourinos» practican la promiscuidad por placer y por economía biológica: las hembras seleccionan a varios candidatos y en su útero se produce una competencia espermática, es la Naturaleza, la selección natural, la que decide quién es el espermatozoide ganador. Como no hay mucho tiempo para la crianza, el invierno acecha de nuevo, ninguna pareja tiene más de dos críos, que los padres alimentan por turno, viajando desde la colina al mar en busca de marisco y pescaditos. Mientras el padre va, la madre cuida la casita, o al revés: llevan puesto un plumífero tan sólido que es imposible distinguir el sexo de los «vapourinos», sociedad muy avanzada en igualdad de género porque todas las tareas domésticas son compartidas.

Cuando los hijos han crecido lo suficiente para tener temperatura corporal propia, dejan la casa paterno-materna y se alojan en guarderías colectivas. Muchos adultos van y vienen a buscar comida y otros cuidan en grupo de la nueva generación: los jóvenes comen voraces, el crecimiento es rápido y, antes de que caiga la primera nevada, ya han cambiado los pañales por un flamante abrigo de plumón —también los padres renuevan su vestuario cada verano— y están dispuestos para nadar bajo los témpanos. El uniforme es común para todos, la moda damero, blanco y negro, que ha sido copiada en China y en Corea del Norte.

Entre los «vapourinos» hay distintas profesiones: los filósofos se reconocen por su modo de caminar peripatético; hay científicos ávidos, de curiosidad infinita, todo lo miran y observan como niños extasiados ante un escaparate en vísperas de Reyes; hay deportistas, atrevidos y saltarines; y también muchos payasos, que divierten a la comunidad con sus cantares y gorgoritos. Las disputas familiares se resuelven a guantazos, pero las colonias viven felices, ajenas al mundo, sin internet y sin leer los periódicos, como Buck, el perro de Jack London.

Esta semana he visitado la ciudad acompañando a una delegación científica integrada por Andrés Barbosa, Jesús Benzal y Josabel Belliure; y el presidente de Vapour Col, Ciudadano Ping, nos ha dado un mensaje de paz y amistad: «Nosotros somos los vigilantes del cambio climático. Contad al mundo quiénes somos, cómo vivimos y qué hacemos. Pedid a los Gobiernos que respeten nuestras colonias, que no nos invadan con sus humos, plásticos y aerosoles. Somos vuestros mejores aliados para conservar limpio el planeta».

22. TOPSTEP*. Fotosíntesis extrema: cómo algunas plantas resisten el estrés climático en la Antártida

Navegando el Drake, se sientan frente a mí, en el comedor del *Hespérides*, a estas horas vacío y tranquilo, dos biólogos mallorquines, Jaume Flexas y María José Clemente, para intentar explicarme —y lo consiguen; cosa distinta es que yo logre transmitirlo bien— la importancia que tiene para la Humanidad la tolerancia al estrés de unas delicadas plantas, muy pocas especies, que consiguen vivir, o mejor sobrevivir, en el inclemente medio de la Antártida.

Me gusta la expresión «tolerancia al estrés» aplicada a la botánica; hasta oírla en boca de Jaume pensaba que solo nos estresábamos los autónomos y los funcionarios. La clave es relacionar los conocimientos, decía Humboldt, y el lenguaje transversal nos ayuda a establecer nuevas relaciones: un tuit se viraliza, un musgo tiene estrés, una vocación científica florece.

---

* Programa TOPSTEP: «Bases mecanísticas para la compensación entre fotosíntesis y tolerancia al estrés: completando lagunas de conocimiento para la Biología Evolutiva y la Biotecnología de Plantas».

La hipótesis de partida es la siguiente: en las plantas existe una correlación entre la fotosíntesis y la tolerancia al estrés. Cuanto más productiva es una especie (realiza más fotosíntesis) menos resistente es, y viceversa. Pensemos en el maíz, el tomate o la vid, especies bien estudiadas (por su interés económico): se cultivan en zonas extensas propicias, poco estresantes, por lo que son muy productivas, pero muy poco resistentes, vulnerables a una plaga, una niebla o cualquier alteración. Muy productivas, poco resistentes.

Por el contrario, hay especies, como los musgos y líquenes, poco productivas pero capaces de resistir, no una niebla baja —capaz de quemar una cosecha de tomates—, sino una invernada polar. Como no se comen (su valor económico es nulo), estas plantas han sido poco estudiadas. Uno de tantos agujeros negros de la ciencia, cuyas prioridades también son dictadas por los mercados. Más concreto, lo desconocemos casi todo sobre los musgos y líquenes de la Antártida, que sin embargo son de alto interés científico por su hábitat extremo, límite.

Otro equipo español —liderado por Leopoldo García Sancho, Universidad Complutense— trabaja desde hace más de veinte años sobre los líquenes: el estudio de su fisiología, añade Flexas, nos da información sobre cómo mejorar los cultivos adaptándose a los cambios, incluido el actual cambio climático.

Volvamos al estrés: todas las plantas están sometidas al estrés climático o ambiental de naturaleza abiótica (sin vida; un estrés biótico sería, por ejemplo, una plaga): calor, frío, agua, nutrientes, radiación. Sometidas a ese entorno, unas plantas se especializan en producir (como la frondosa, abundante y frágil lechuga) y otras en resistir, aguantar hasta el límite, bajo cero o a 40º, ya sea en un desierto o en la Antártida: son las «plantas sherpa».

Los fisiólogos miden la correlación productividad/resistencia mediante la tasa de fotosíntesis, que ya estudiábamos en el bachillerato pero conviene recordar: las plantas capturan CO_2 y lo convierten en oxígeno, por eso nos gustan y sientan bien los bosques oxigenados. Para medir la fotosíntesis, el equipo desplazado a la base española en Isla Livingston —María José Clemente Moreno, Rafael Coopman Ruiz-Tagle, Javier Gulías y Jaume Flexas; además de Marc Carriquí y el gallego Xurxo Gago en Isla Rey Jorge— selecciona lugares sometidos de modo permanente a un determinado estrés: muestrean en distintos lugares del mundo, desde los Andes a Australia, o Tierra de Fuego, donde han permanecido algunas semanas, recorriendo 2000 km por las islas patagónicas en una *roulotte*. Pero ningún lugar más extremo que la Antártida, como ocurre en otras disciplinas; de ahí que podamos hablar siempre del Gran Laboratorio.

Cuando hablamos aquí de la Antártida, los lectores saben que nos referimos solo a la pequeña parte que se deshiela durante el verano austral: no existe vida vegetal, es decir, no existe vida en la mayor parte del continente, allí donde el hielo es eterno, o al menos la eternidad se cuenta por millones de años. Solo en zonas como la

Península Antártica y las Shetland del Sur (donde están las bases españolas) algunas partes se deshielan, y en el breve paréntesis del verano, tres meses escasos, florecen musgos y líquenes y dos especies de plantas vasculares (las que tienen raíz, tallo y hojas), ¡solo dos!: *Colobantus chitensis* y *Deschamsia antarctica.*

Repensemos la biodiversidad: la Antártida no es el Amazonas; aquí la biodiversidad es un bien muy escaso, necesitado de máxima protección (se entienden así mejor los rígidos protocolos medioambientales del Tratado Antártico). No hay más de mil especies en toda la Antártida; Flexas y María José estiman que no hay más de cien especies en Isla Livingston, de las que en esta campaña están muestreando apenas diez, en busca de tres parámetros.

Uno, ya mencionado, la tasa de fotosíntesis: la capacidad de fijación de CO_2. Dos, la tolerancia al estrés, mediante un test en invernaderos de fabricación casera —el I + D + i artesanal tan socorrido entre nuestros investigadores: la necesidad agudiza el ingenio—. El test consiste en someter a la planta a un proceso de desecación intensiva; lo que hacen los productores de algas a pequeña escala. En atmósfera cerrada reducen el agua de la planta a menos de un 10% y luego la rehidratan con agua destilada. Algunas no resisten y se mueren: es el precio de la ciencia para poder medir la interacción clorofila/luz (la capacidad de la clorofila para absorber luz, otro bien escaso en la Antártida) y producir la fotosíntesis. Esa capacidad se mide antes, durante y después de desecar y rehidratar. Y, en tercer lugar, toman muestras para su posterior estudio en laboratorio: cuando acaba el trabajo de campo, la campaña antártica sigue durante meses, a veces años, en los departamentos y laboratorios de todas las universidades que han enviado sus equipos. Añadamos que ninguna lechuga, tomate o arroz aguantaría una desecación del 90% de su agua: mueren sin remedio, mientras que todas las plantas australes sometidas a esa misma desecación resisten y sobreviven. Otra lección de la biodiversidad.

La hipótesis final sobre la que ahora trabaja el equipo de Flexas es que esa resistencia, si algún día fue respuesta a la necesidad de resistir durante tres meses de verano, ha evolucionado hasta convertirse en un rasgo estructural. El conocimiento de esta evolución, cómo la Naturaleza ha logrado desarrollar esta capacidad de resistencia extrema, es muy útil para comparar con la fisiología de otras plantas y animales. A largo plazo los investigadores esperan saber cómo mejorar la tolerancia de otros cultivos en condiciones más adversas que las actuales, por ejemplo en el escenario de un cambio climático potente, que ya sabemos que no existe, porque el presidente americano Donald Trump lo ha borrado de su mapa mental. Pero si por azar o necesidad se diera el cambio climático, bueno será conocer mejor la fisiología de las plantas, su capacidad de adaptación y tolerancia al estrés climático que se nos vendría encima y que llueve ya sus lluvias ácidas sobre los campos y sobre nuestras cabezas.

Cierro el cuaderno de notas y miro de frente a Jaume y a María José. Además de todo este conocimiento nuevo, ¿qué os ha aportado la Antártida?:

—La ilusión de trabajar en el ambiente más extremo del planeta, por excelencia el último refugio de la biosfera no alterado. Desde que estábamos en la carrera, venir a la Antártida era un sueño, y se ha cumplido. Para nuestra especialidad, la Antártida es como las Galápagos para Darwin.

—En dos palabras —concluye María José, con una sonrisa franca que realza la belleza de su rostro sereno—: ¡Es… pectacular!

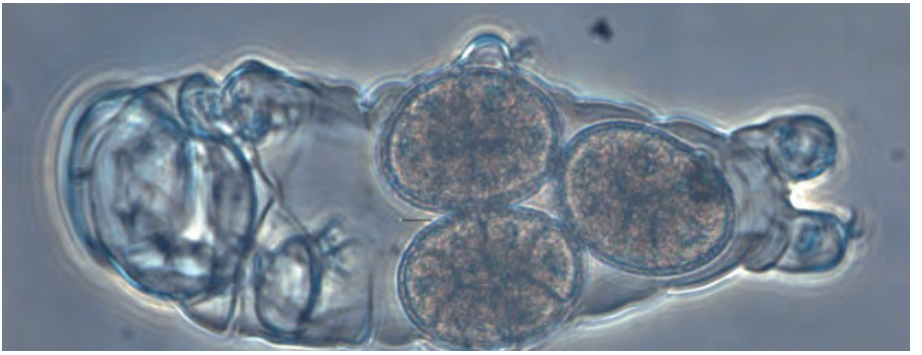
Tags

#ecosfera #fisiología #fotosíntesis #Antártida #Flexas #Universitat de las Illes Balears

Links

AXENA, <www.axenablog.com> [Consulta septiembre 2017].

23. La increíble vida de los tardígrados antárticos, la especie animal más resistente del planeta



Comenzó hablando de los tardígrados, personajes de los que nunca habíamos oído, que no salen en ninguna novela, ni siquiera en las de Julio Verne, en las que están todos los mundos imaginables. Comenzó hablando de los tardígrados y he de confesar que, al principio, a bordo del *Hespérides* la veíamos con una mezcla de curiosidad y extrañeza, por no decir desconfianza… Luego, con su sonrisa, con su laboriosidad, con su continua presencia amable, se fue ganando el corazón de todos. Hacia la mitad de la campaña impartió en la cámara de oficiales, con asistencia del comandante y todos los investigadores y periodistas a bordo, una magnífica conferencia sobre su trabajo de investigación y, además del respeto, se ganó la admiración de todos.

Pero no es suficiente: Rosa quiere que, además de admirar su trabajo, que es ciertamente digno de aplauso, le cojamos cariño a sus tardígrados. Tal es así que ya no hay nadie a bordo que no sepa qué es un tardígrado y para qué sirve: ya son de la familia. De esta gran familia antártica con la que llevo semanas conviviendo, aprendiendo cada día una cosa nueva, y cada una más apasionante que la anterior. Hoy les hablaré de los tardígrados.

Rosa es la bióloga colombiana Rosa Acevedo Barrios, de la Universidad Tecnológica de Bolívar, en Cartagena de Indias, ciudad soñada, que asocio siempre a Gabriel García Márquez. Trabajadora incansable, siempre con una sonrisa, derrochando

---

Foto tardígrado: Eliana Beltrán, Directora de Investigación, Colscience Institute.

amabilidad; su acento de Cartagena me trae memorias de Macondo. Con su pasión y entusiasmo, Rosa ha convertido el estudio de los tardígrados en un Macondo científico, sin dejar de movernos en el realismo mágico. ¡De haber conocido a García Márquez, el gran novelista podría haber escrito *Entre tardígrados: veinte siglos de soledad!*

En efecto, los tardígrados —ya les explico en seguida quiénes son estos «animalículos» amigos, ya casi de la familia— llevan en torno a dos mil años sobre la Tierra, veinte siglos resistiendo, evolucionando, desarrollando tales capacidades de resistencia, adaptación e hibernación que es considerada una de las especies animales más resistente del planeta. No es para menos: podrían vivir en Marte, como veremos.

Los tardígrados, ahora sí, son unos bichitos microscópicos (entre 1 y 1,5 mm), invertebrados, ovíparos (se reproducen por huevos), que mudan (cambian el caparazón) y se alimentan de microalgas, musgos y rotíferos (protozoos). Son cosmopolitas, hay más de mil especies en todo el planeta, de ellas cincuenta identificadas en la Antártida, donde Rosa Acevedo lleva varias campañas localizando muestras en algas, musgos, líquenes y sedimentos marinos, puesto que también pueden vivir a grandes profundidades. «Se llaman tardígrados —explica Rosa— porque son de movimientos muy lentos; en el siglo XVII pensaban que eran tortugas diminutas, pero no son tortugas, aunque se parecen un poco.» Observo la imagen, el bichejo con sus ocho pares de patas, con minúsculas garras, y más que tortugas me parecen animales antediluvianos, de cuando el diluvio anegó Macondo.

Ahora los lectores y lectoras deben armarse de algo más que fe científica: «Los tardígrados son extremófilos —afirma la profesora Acevedo—, capaces de resistir las condiciones más extremas, como la exposición a los rayos gamma o ultravioleta; el humano resiste una radiación de 4,5 Gy; una cucaracha, 50 Gy; un tardígrado, hasta 6900 Gy. Tienen cuatro características extremas: 1.- Criobiosis: resisten temperaturas desde –273º hasta 150º, ningún otro organismo animal aguantaría estas temperaturas propias de Marte; 2.- Anhidrobiosis: sobreviven a una deshidratación o pérdida de agua de hasta el 97%, ninguna otra especie conocida puede vivir con el 3% de agua; 3.- Anoxibiosis: ausencia de oxígeno y vacío; un experimento de la NASA mostró que podían sobrevivir durante diez días en el vacío; y 4.- Osmobiosis: resisten el estrés osmótico, las presiones de entrada y salida de agua de la membrana celular».

Ya les avisé. Y una quinta característica que Rosa Acevedo añade con vehemencia, la criptobiosis: pueden durar hasta 150 años en estado de hibernación. En el siglo XVII se pensaba que morían y resucitaban, pero su resistencia es de otro planeta, de hecho, podrían vivir en la atmósfera de Marte. Se comprende fácilmente el interés de su estudio como fuente potencial de proteínas y metabolitos aplicables en biomedicina o en cosmética. Le pregunto a Acevedo por esas posibles aplicaciones: «De momento es prematuro, estamos identificando a los tardígrados, viendo su caracterización ecológica —diversidad, distribución, identificación taxonómica, secuenciación de ADN, etc.—. Más adelante podremos ver su composición estructural, aplicable a la

reparación del ADN, la conservación de órganos o de semillas, a paliar los efectos de los tratamientos anticancerígenos en pacientes radiados o en trabajadores de centrales nucleares… Y en cosmética; si son tan longevos no envejecen, algún día se fabricará crema de tardígrados, mucho más eficaz que el bótox».

Es un proyecto a largo plazo, veinte años, «me pensiono con los tardígrados», bromea Rosa enamorada de su trabajo científico; enamorada también de la Vida, con mayúscula, y de su hijo, del que me enseña fotos jugando en Cartagena, con ganas ya de volver a verlo. Esta campaña en el Hespérides ha sido larga, pero fructífera: Rosa Acevedo está encantada porque ya ha podido comprobar que en las muestras recogidas en distintos puntos de la Península Antártica hay tardígrados vivos.

Los miro una vez más al microscopio, espiando la criptobiosis que haría las delicias del criogenizado cuerpo de Walt Disney, y no me quedo muy convencido de que tan diminuto bichejo pueda vivir el doble que un humano. Son la vanguardia de la evolución descrita por Darwin: si han sabido adaptarse al hábitat de la Antártida y sobrevivir, es probable que resistan también los efectos del cambio climático. Por eso su estudio es necesario y urgente. Necesitamos saber cómo lo hacen, cuáles son esos sofisticados mecanismos biológicos por los que llevan miles de años sobre la Tierra. Para ser unos simples y diminutos «animalículos» son unos verdaderos «supertardígrados», ciudadanos de un Macondo científico apasionante, escrito desde la Antártida por Rosa Acevedo. Con acento de Cartagena de Indias.

24. ALIENANT* evalúa la introducción humana de nuevas especies en la Antártida

Las afinidades biodiversas. La conversación sobre Humboldt empieza en el comedor del buque *Hespérides*, alargando la tertulia hasta que el cocinero nos echa con una mirada con subtítulos: «Tenemos que limpiar».

—Pues precisamente —me dice Miguel Olalla— he traído para leer en el barco una nueva biografía de Humboldt, *La invención de la naturaleza*.

—¡No puede ser! ¿La de Andrea Wulf? Es un libro excepcional, lo estoy acabando —respondo.

Seguimos la charla en el laboratorio, donde Javier Benayas, abrigado (hace fresquito en la cubierta, estamos a -1º), recuenta colémbolos, manías y rarezas que tienen los científicos: escalan volcanes o prueban en su propio brazo el calambre de una

---

* Programa ALIENANT: «Pronosticando el establecimiento de invasoras en una Antártida cambiante».
Foto colémbolos: Javier Benayas.

anguila eléctrica, como hacía Alexander, otros cuentan colémbolos. Nos une la admiración por el gran naturalista del siglo XIX, tan actual y tan moderno, que Olalla pone como ejemplo a sus alumnos de la Universidad Rey Juan Carlos de Madrid; y nos une, en el caso de Benayas, el parentesco generacional. «Del 58», dice este veterano de guerras políticas y universitarias: vicerrector, concejal, responsable en gestión de parques naturales, un extenso currículo, incluidas varias campañas en la Antártida desde 2008.

Javier Benayas y Miguel Olalla han sido profesor y alumno, respectivamente, y se tratan con la confianza y el respeto mutuo de quienes comparten un valioso objetivo: avanzar en el camino del conocimiento, vivir juntos la Aventura de la Ciencia. Esta vez los han reunido, en la XXX Expedición Científica Española a la Antártida, unos bichitos microscópicos, artrópodos de un milímetro, los inquietos y preocupantes colémbolos, los nuevos *aliens* de la Antártida.

La campaña tiene dos patas: Benayas, que trabaja en la gestión preventiva, en la que es experto reconocido internacionalmente; y Olalla, que se ocupa de hacer modelos predictivos y validarlos: ¿qué pasaría si…

…si de repente se dan las condiciones adecuadas y una nueva especie, introducida casi siempre por el humano (en las botas, en el velcro de una prenda, en las ruedas de una maleta…), se hace fuerte en el territorio antártico, lo coloniza y elimina a las demás? «Las invasoras producen una pérdida de biodiversidad; son un peligro para la Antártida.»

Antes de hablar de los malditos colémbolos —Javier sigue concentrado en el microscopio y levanta la vista de vez en cuando para intervenir—, les pido algunos ejemplos de especies invasoras más cercanas, y es para ponerse a temblar: la garrapata que produce la enfermedad de Lyme, el mosquito tigre, el mejillón cebra, los peces gato, los galápagos de Florida, las cotorras argentinas, la avispa asiática, el cangrejo americano, la trucha arcoíris, los visones americanos… El modelo se repite: el calentamiento facilita que una especie tropical, transportada por humanos, se aclimate en latitudes más al norte, y suframos nuevas enfermedades y pandemias que causan alarma social.

Lo que hacen los investigadores del proyecto ALIENANT es estudiar este mismo comportamiento en la Antártida, «un modelo en sí misma que nos permitirá validar hipótesis sobre cómo funcionan esos *aliens*, aplicables a otras zonas del planeta». De ahí el interés de estudiar los colémbolos existentes en otras partes, también en zonas árticas, que se cuelan en el santuario de hielo. A diferencia de otras especies que no sobreviven —como alguna mosca o mosquito—, los colémbolos forasteros se encuentran a gusto en su nuevo espacio: falta por evaluar si realmente son ya especies invasoras o, por ahora, son simplemente inmigrantes sin papeles.

Javier Benayas, que llegó a la Antártida a través de la gestión turística, ha estudiado el impacto humano sobre los ecosistemas australes desde que en 1819 se

descubrió el Continente Blanco. En el artículo «Equilibrios sobre el hielo» [con P. Tejedo, L. Pertierra y M. Boada, *Ecosistemas*, n.º 20, 2011], los autores dan la cifra de 250 000 focas cazadas en tres meses de 1820, al año siguiente del descubrimiento. Cien años después, en 1912, había seis balleneras y más de 60 barcos faenando: «46 000 ballenas masacradas en la campaña de 1937-38». Este expolio humano se ha frenado desde el Tratado Antártico (1959), que inauguró la Etapa Científica tras el Año Geofísico Internacional.

Pero el Tratado no ha impedido una segunda invasión de turistas y científicos. Más de cien bases y estaciones, más de 5000 investigadores durante la campaña de verano y más de 1000 en la invernada, y en torno a 50 000 turistas al año tienen presencia e impacto constantes. Esta huella humana incluye accidentes, como el del *Bahía Paraíso*, que derramó 600 000 litros de petróleo en Arthur Pot, y otros riesgos. Los análisis del equipo citado, que empezó a trabajar en la campaña 2007-08, «muestran que la huella media de carbono de los turistas antárticos es de 6,18 toneladas de CO_2 por pasajero, tasa muy superior a la media mundial, de 4,38 toneladas de CO_2».

Sin embargo, matiza Benayas, no toda la culpa es de los turistas: se han detectado metales pesados en excrementos de pingüinos, procedentes por tanto de su alimentación, que no pueden achacarse al turismo. La realidad es más compleja: la contaminación llega desde muy lejos, desde cualquier lugar del planeta, y esto significa que en la Antártida se han detectado ya, en los últimos años, metales pesados como cobre, plomo, cadmio, mercurio y arsénico; además de hidrocarburos y pesticidas con cloro. También se ha analizado cómo esa presencia humana altera la conducta de los petreles, pingüinos y otras aves, que debido al estrés llegan a abandonar el nido.

¿Cuál es la relación entre estos cambios en el ecosistema y la aparición de nuevas especies? El estudio de los colémbolos sirve de test a nuestros investigadores para evaluar ese mecanismo y el alcance del impacto humano.

El primer efecto comprobado es la homogeneización biótica, que sería más fácil llamar Efecto Corea del Norte, donde tanto escasea la biodiversidad política y cultural.

En la naturaleza, como en las películas de alienígenas, los invasores toman el control y eliminan a las demás especies. Son especies oportunistas, aprovechadas y previsiblemente nocivas para el ecosistema. Algo similar a la proliferación de tiendas y restaurantes chinos en cualquier barrio o rincón, poniendo contra las cuerdas al comercio local. Cada vez que abre un chino cierra un colmado; la biodiversidad comercial se reduce; la especie invasora acaba por echar del terreno a las demás, ya sea una tienda o un cangrejo de río.

La traducción en la Antártida, donde la pirámide alimenticia es muy corta, podría ser trágica: una reducción de biomasa que afectara al kril, tendría impacto

directo en las poblaciones de pingüinos y ballenas, y de todas las demás especies en cadena. Se trata, pues, de prevenir para que esto nunca ocurra, mediante la detección temprana: estudiando los colémbolos, que son la avanzadilla del invasor, la vanguardia del proceso de homogeneización.

De la prevención se ocupa el proyecto ALIENANT en dos formas. Javier Benayas y su equipo formulan recomendaciones que el Comité Polar Español eleva al Tratado Antártico y se convierten en nuevos protocolos: eliminar un sendero, ampliar una reserva, crear una nueva «zona santuario», es decir, de veda absoluta, o erradicar una planta invasora, como se hizo en 2015, y se completará en esta campaña, con una poa adventicia detectada en Caleta Cierva.

Por su parte, Miguel Olalla, como biogeógrafo, elabora modelos predictivos sobre la distribución de especies, modelos bioclimáticos y ecofisiológicos orientados a facilitar una gestión preventiva para proteger la biodiversidad antártica. Ese es el reto científico y político al que nos enfrentaremos en los próximos decenios.

Mientras Miguel me muestra cómo consiguen extraer los colémbolos de una muestra de tierra o de unos líquenes, Javier sigue contando bichitos. Me invita a mirar por el microscopio y se abre ante mis ojos otro mundo: diminuto, de colores y formas «monstruoides», Colembolandia.

La conversación no concluye, se alarga en la cubierta del *Hespérides*, en el comedor, en el laboratorio: la campaña antártica es un punto de encuentro enriquecedor. Además de la convivencia a flor de piel, con esa especial emotividad que despierta el saberse en territorio límite, se aviva en todos nosotros un afán de aprender y saber. Aquí Humboldt sería feliz.

Tags

#colémbolos #contaminación #ecosfera #biodiversidad

Bibliografía

Pertierra, L. R., Hughes, K. A. & Olalla-Tárraga, M. Á. «High Resolution Spatial Mapping of Human Footprint across Antarctica and Its Implications for the Strategic Conservation of Avifauna», *PLoS ONE*, enero 2017.

25. SENTINEL*: La Antártida interpela nuestro analfabetismo medioambiental

¿Está usted dispuesto a vivir sin contaminantes químicos? Posiblemente usted, a título personal, sí, aunque tendría que renunciar a un cierto estilo de vida, pero seguro que los fabricantes de «cosas» (desde ropa a móviles) y la industria química no están tan dispuestos.

¿Qué son los COP y por qué habría de renunciar usted a seguir expuesto a estos contaminantes nocivos? Me lo cuenta en Isla Decepción, ante el amplio ventanal de la Base Gabriel de Castilla, desde el que se domina Bahía Foster, el joven doctor José Luis Roscales, y me lo transmite con brillo intenso en la mirada, con convicción, con pasión científica y ecológica.

El mundo desarrollado en el que vivimos ha sintetizado más de 100 000 sustancias químicas, algunas de ellas peligrosas para el medio ambiente y la salud. Los COP, Contaminantes Orgánicos Persistentes, son la élite de los contaminantes químicos, una auténtica amenaza latente, global. Sustancias como el DDT y otros pesticidas, o

* Programa SENTINEL: «La Antártida como centinela de la contaminación global».

como los llamados PBDE (Polibromodifenil éteres), retardantes de llama bromados, empleados en los circuitos de móviles y ordenadores; o compuestos fluorados aplicados por los fabricantes a miles de productos para, por ejemplo, dotar a la ropa de montaña de repelencia al agua. Mire bien lo que compra la próxima vez que vaya a «Triatlón»: podría ser usted un senderista amante de la Naturaleza y andar liberando COP por los parques naturales de medio mundo…

La cuestión —me explica José Roscales— es que los COP se caracterizan por una gran persistencia en el medio; una alta toxicidad para el hombre y la fauna, de hecho pueden ser cancerígenos y capaces de imitar nuestras hormonas (disrupción endocrina); son acumulativos, es decir, una vez que entran en la cadena trófica se acumulan en los organismos que las forman, y arriba de casi todas ellas se sitúa el ser humano; y pueden encontrarse de polo a polo, ya que se transportan a larga distancia desde sus fuentes, viajando por aire y agua y pasando con facilidad de un medio a otro. Ahora entenderán mejor ustedes la amenaza global latente.

Desde el naturalista Humboldt, el primero que observó el cambio climático global, sabemos que todo en la Naturaleza, en el planeta, está relacionado. Cada vez que mi vecino masacra con pesticidas las malas hierbas (lo que él considera «malas hierbas», otro concepto a revisar: mi amiga Marga Camba se las come y son muy nutritivas) envía una dosis a la Antártida. Sí, a 14000 km de distancia.

«La Antártida —dice Roscales— es un lienzo en blanco. Hay evidencias de que algunos COP se están acumulando preferentemente en las regiones polares, debido a la "condensación fría": a causa de las bajas temperaturas, los contaminantes quedan atrapados en los polos, sin posibilidad de revolatilización.» Aunque se ha detectado contaminación de COP a través de la presencia humana directa (científicos, turistas…), «la principal vía de entrada de COP a la Antártida es el transporte a larga distancia». Mi ordenador, su móvil, la máquina de sulfatar de mi vecino y los miles de aviones que fumigan masivamente los campos en medio mundo.

La Antártida es uno de los sumideros donde puede acabar toda esa basura letal y esto es lo que están investigando los científicos del equipo SENTINEL, centinelas del medio ambiente en la Antártida y, puesto que todo está relacionado, en el planeta. Forman el proyecto SENTINEL investigadores del CSIC en institutos de Barcelona (Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua) y Madrid (Instituto de Química Orgánica General): los IP Jordi Dachs Marginet y Begoña Jiménez Luque, con mando remoto desde el laboratorio; y los tres desplazados en esta campaña 2016-17 a Isla Decepción, Elena Cerro Gálvez, Mariana Pizarro y mi introductor en la materia, José Luis Roscales, tres promesas de la investigación que lo están dando todo, en la Base Gabriel de Castilla, con un entusiasmo contagioso.

Su trabajo consiste en tomar muestras de aire, agua, plancton, suelos, sedimentos, nieve, lluvia, vegetación… Como auténticos detectives de un imaginario CSI antártico, Elena, Mariana y José Luis no dejan nada sin inspeccionar. Han instalado

captadores de aire de alto volumen (más de 20 000 m^3 de aire procesados en la toma de muestras), además de captadores de aire pasivos, incluyendo el interior del módulo de vida de la Base. Toman muestras de agua dulce en lagos como el Cráter Lake o el Lago Irizar, y lo hacen a pie de lago, sumergiendo membranas semipermeables que adsorben los contaminantes.

El estudio incluye muestras de agua marina y plancton, tomadas con ayuda de las zódiacs de la Base; de suelo, sedimentos y nieve; de invertebrados marinos (estrellas y erizos, principalmente), recogidos por los buceadores del proyecto DISTANTCOM de Conxita Ávila; y, por último, de guano y huevos infértiles de pingüino, recolectados por el equipo del proyecto PINGUCLIM de Andrés Barbosa. Conviene subrayar, como muy valiosa, esta colaboración habitual entre equipos y proyectos presentes en la Antártida, que genera sinergias muy fructíferas para todos.

Pueden imaginar los lectores el volumen de material muestreado, por tierra, mar y aire —los detectives de SENTINEL aspiran hasta el interior de los iglús—, muestras que habrán de ser analizadas luego en el laboratorio para rastrear COP, esos peligrosos delincuentes medioambientales.

La hipótesis de trabajo del equipo SENTINEL es que «La Antártida, y en especial la Península Antártica, pueden actuar como centinela de la contaminación global por sustancias químicas orgánicas. Por su condición de aislamiento, de lienzo en blanco, la Antártida es un escenario esencial para comprender el comportamiento de estos contaminantes a escala planetaria».

La investigación durará tres años, con una segunda campaña en el verano austral 2017-18, centrada en la base española Juan Carlos I, en Isla Livingston: al finalizar, la comunidad científica habrá dado un paso más en el camino del conocimiento, aún muy escaso, de fenómenos recientes como esta contaminación global que Humboldt supo ver, aunque jamás pudo imaginar el efecto demoledor que ha alcanzado en los últimos decenios.

Aunque los Gobiernos y Estados expresan su preocupación firmando con una mano protocolos como el Tratado Antártico o el Convenio de Estocolmo [sobre salud humana y medio ambiente, ratificado por 150 países, incluida España en 2004], con la otra mano permiten los desafueros más calamitosos de la industria petroquímica, agrícola, electrónica o textil.

Precisamente en la industria textil, la empresa Ternua, colaboradora del proyecto SENTINEL, ha dado un paso en la dirección adecuada, asumiendo su responsabilidad social con la producción de ropa deportiva libre de contaminantes químicos tipo PFOA/PFOS o basada en materiales reciclados. Algunas de estas prendas, más respetuosos con el medio ambiente, forman parte de la equipación técnica de los investigadores de SENTINEL que trabajan en Decepción. Un ejemplo de compromiso ambiental digno de imitar por otros fabricantes.

Es de esperar que las conclusiones de SENTINEL ayuden a valorar mejor la eficacia de las medidas tomadas y, sobre todo, iluminen las zonas en sombra de esta contaminación global galopante, atacando el origen del problema allí donde se genera: en la fabricación, venta y consumo indiscriminado de productos que contienen contaminantes químicos. Productos tóxicos como mi móvil, el pesticida del vecino y el insecticida de la vecina, pero tal vez también ese plumífero y esas botas del senderista alegre. La belleza, singularidad y fragilidad del ecosistema de la Antártida interpelan nuestro analfabetismo medioambiental y nos invitan a una toma de conciencia y responsabilidad colectiva.

Tags

#COP #contaminación #Convenio de Estocolmo #ecosfera

Links (ternua–commitent)

<https://www.facebook.com/sentinelprojectCSIC/> [Consulta septiembre 2017].
<https://twitter.com/SENTINELcsic> [Consulta septiembre 2017].
<https://www.instagram.com/sentinelproject/> [Consulta septiembre 2017].
<http://www.idaea.csic.es/> [Consulta julio 2017].
<http://www.iqog.csic.es/iqog/es/aiqa [Consulta septiembre 2017].

26. Macroalgas en Isla Decepción: un modelo para predecir los efectos del calentamiento global

Los verdaderos avances en la historia de la ciencia se producen cuando hay un cambio de escala, de dimensión, de perspectiva, un giro copernicano, un nuevo paradigma. Galileo y Copérnico son los ejemplos clásicos: los primeros en ver que la Tierra no ocupa el centro del universo. Las manzanas llevaban muchos años cayendo hacia abajo cuando Newton fue capaz de establecer una relación causal, la gravedad. Humboldt y Darwin, con sus observaciones globales, dieron saltos de gigantes. La evidencia que mueve la rueda del saber estaba ahí, los fósiles siempre estuvieron visibles, pero solo Darwin supo formular la pregunta adecuada… y encontrar la respuesta.

«El impacto antrópico —producido por el hombre— se está dando a una nueva escala que aún no estamos observando; no se trata de ver si hay o no nuevos insectos, o de hacer una investigación concreta y finalista, sino de detectar cambios en otra escala que solo aparecen cuando se hace investigación básica. Para esto "sirve" la ciencia», me asegura, convencido, el biólogo santanderino, afincado en Galicia, Mariano Lastra.

Lastra es uno de los cuatro bentólogos que viajan conmigo en el *Hespérides*, rumbo a Isla Decepción, dispuestos a encontrar el paradigma del cambio climático a

través del estudio de la descomposición de las algas. Forman parte de esta intensa y multidisciplinar campaña, la XXX Expedición Científica Española a la Antártida, y su proyecto tiene nombre de empresa constructora: DECALDEC (Descomposición de Algas en Decepción).

Durante una tranquila travesía por el Drake, converso con Mariano Lastra y mi compañero de camarote, Jesús Souza Troncoso, catedrático de Zoología de la Universidad de Vigo y director de la Estación de Ciencias Marinas de Toralla. «Pon que soy de Goian, que es lo más importante.» Completan el equipo vigués Jesús López Pérez, del Departamento de Ecología de la Universidad de Vigo, y Luis Sampedro Pérez, de Ribeira, investigador del CSIC: cuatro ases de la baraja científica, con acreditada experiencia y trayectoria.

Antes de explicarme en qué consiste su trabajo antártico, Mariano Lastra insiste en el valor de la investigación básica, abandonada durante decenios en laboratorios y departamentos, con grave pérdida de tejido científico. Me parece entender que la ciencia básica es como la filosofía: no sirve para nada, para nada concreto, no se come; pero ambas son los pilares del edificio del conocimiento.

Su objeto de estudio es el efecto del calentamiento global, producido por el cambio climático, en los ciclos del carbono y el nitrógeno. ¿Qué pasaría en la Tierra si la temperatura media del planeta subiera 2º? A despecho de los negacionistas, convendría ir pensando en ello.

El International Panel for Climate Change de la ONU (IPCC) prevé un aumento de temperatura —en la zona de la Península Antártica, donde nos encontramos— de entre 0,5º y 1,5º para los próximos años. Si los datos se confirman, cambiarán algunas cosas: estamos hablando de ese cambio de paradigma climático, ese giro copernicano en la biodiversidad que empieza a ser una fuente de preocupación constante.

Los bentólogos —biólogos que trabajan con bentos, el sustrato de la vida marina— de la Universidad de Vigo han venido a Decepción para chequear esa hipótesis: qué pasaría aquí si aumentara la temperatura. Decepción es una isla volcánica que en sí misma es un perfecto laboratorio; reúne condiciones únicas en el mundo y nuestros bentólogos estudiarán durante las próximas semanas la descomposición de las algas en el borde marino, en la intermareal.

He paseado por las playas de Decepción, en el camino entre la base española Gabriel de Castilla y la base argentina, o en las zonas de Fumarolas, donde harán su trabajo de campo: con la bajada de la marea, la breve franja intermareal queda cubierta de una buena capa de macroalgas, pobladas por infinidad de bichitos, que con el calor generado por el suelo volcánico entran en descomposición.

«Es el proceso de mineralización: las plantas, orgánicas, se transforman en materia inorgánica (nitritos, nitratos, amonio, fosfatos, CO_2…) que vuelve a entrar en el

ciclo, materia reaprovechable como combustible para crear nueva vida vegetal, es decir, más biomasa.» El ciclo digestivo —pues se trata de una digestión— es similar al del compost para hacer abono casero: necesita humedad y temperatura adecuada para fermentar. La humedad y la temperatura en Isla Decepción son únicas, pero ¿qué pasaría si la temperatura subiese 1º, como pronostica la ONU?

El equipo vigués recolecta algas en la intermareal de Decepción, las pesa y cuantifica, y monta unas campanas, pequeños invernaderos, en los que la temperatura sube un 1º con respecto a otros montones de control sin campana. Como si les echaran unas pastillas digestivas de Almax, los montones con campana invernadero se descomponen antes.

«Lo que hemos comprobado en campañas anteriores —me explica Lastra— es que el calentamiento geotérmico, que en Decepción es local, volcánico, produce una aceleración de la descomposición de las algas, que el ciclo de materia y energía es más rápido.»

El experimento se completa en el laboratorio midiendo la descomposición en la columna de agua: se analiza cómo se comporta, a distintas temperaturas, el organismo que consume el agua, el anfípodo; y posteriormente en Vigo, con las muestras tomadas en Decepción, transportadas a -20º en los congeladores del *Hespérides* hasta Cartagena y desde Cartagena a Vigo en un camión frigorífico. «Estas mediciones nos permiten construir un modelo nuevo para predecir los efectos del cambio climático, la liberación de CO_2 a la atmósfera, la acidificación del mar. Cuanto más baje el pH del mar, más problemas habrá para la vida marina tal y como hoy la conocemos, lo cual se traducirá de forma inmediata en pérdida de biodiversidad. La hipótesis final es que, si se confirma o se produce ese calentamiento anunciado de 0,5º a 1,5º, se acelerará la descomposición de las algas y de la biomasa en la Antártida y, por extensión, en los demás mares. Tendremos pérdida de biodiversidad.»

Este es el nuevo paradigma a considerar, en una nueva escala que trasciende el marco local de Decepción: cómo las macroalgas de la Antártida nos pueden ayudar a entender qué va a pasar en cuanto entre por la puerta, y por la ventana, el cambio climático. «Para esto sirve la investigación básica», concluye Lastra. Nuestros científicos plantean las hipótesis y analizan las preguntas: la sociedad debería empezar a dar algunas respuestas.

27. DISTANTCOM*: Los alegres buceadores del bentos antártico

«Si nos cargamos la biodiversidad nos cargamos también moléculas no descritas, potencialmente beneficiosas», me explica Conxita Ávila mientras inspecciona uno de sus botes de muestras, de espaldas a la cámara para no salir en las fotografías, de modo que retrato a otros miembros de su equipo porque es el único grupo *fifty-fifty* chicos-chicas, y el único de los casi treinta proyectos de esta campaña dirigido por una mujer. Cuando hablamos de igualdad significa que la paridad rompe el techo de cristal y alcanza los puestos de mando una mujer (o dos si incluimos a la colombiana Rosa Acevedo) entre treinta investigadores principales; no es para echar cohetes. Queda dicho.

Había oído hablar de Conxita Ávila bastante antes de conocerla: cuando llegó, en enero, le precedía una fama contundente. El runrún que los periodistas estamos obligados a sintonizar traducía ecos de una mujer de carácter fuerte y muy catalana, dos virtudes que levantan ampollas en un mundo masculino y con sello estatal.

Pero la ciencia no tiene fronteras, como demuestra el proyecto DISTANTCOM que lidera Conxita Ávila en esta campaña, su novena en la Antártida, con

* Programa DISTANTCOM: «Diversidad y Estructura de Comunidades Bentónicas Antárticas», Universidad de Barcelona.

investigadores de la Universidad de Barcelona. Uno de los equipos más joven y dinámico, y añadiré por mi cuenta alegre y divertido, formado por Carlos Angulo, Rafael Martín, Joana Vicente, Blanca Figuerola, Joan Giménez y Elisenda Ballesté. Biólogos y oceanógrafos enamorados del misterioso fondo submarino.

En ese fondo, que los mortales solo podemos conocer a través de fotos y vídeos, habita todo un mundo vegetal y animal, infinitas comunidades de algas, erizos, estrellas, esponjas, corales, briozoos, moluscos…; todos estos organismos forman el bentos, no tan popular como los pingüinos y las focas, pero imprescindible para la vida oceánica: el bentos es un eslabón clave en la cadena trófica, de modo que, sin ese secreto conglomerado vegetal y animal, no habría kril, ni pingüinos, ni ballenas.

Durante su estancia en Isla Decepción, arropados por el trabajo formidable de los soldados de la Base Gabriel de Castilla, las buceadoras y buceadores de DISTANTCOM se sumergen cada día a 20 o 25 metros de profundidad, con temperaturas de 0º a –2º, para tomar muestras de ese bentos marino, que inmediatamente son trasladadas para su estudio, en vivo, al laboratorio húmedo instalado en la propia Base. El laboratorio helado, a temperatura ambiente, donde converso con Conxita Ávila y donde Joan y Blanca me muestran sus experimentos con líquidos de colorines.

«Tenemos cuatro líneas de investigación —explica la doctora Ávila—: 1.- Ecología química: extraer productos naturales, estudiar su papel ecológico y su posible aplicación farmacológica, que puede derivar en alguna futura patente; 2.- Biodiversidad y efectos del cambio climático en estas comunidades bentónicas; 3.- Evolución y filogeografía: contribuir al mejor conocimiento de la distribución de las distintas especies; y 4.- Ecología trófica: cómo funciona la cadena alimenticia.»

El equipo DISTANTCOM ocupa tres áreas de la Base: el módulo de buceo, repleto de trajes de inmersión, botellas y compresores; el laboratorio seco, donde Eli y Rafa fotografían al microscopio algas y bacterias cultivadas en ambiente estéril; y este módulo húmedo, con urnas, bañeras y pequeñas piscinas donde las estrellas, los moluscos y los erizos capturados durante el buceo viven tan contentos, en agua de mar a temperatura ambiente, sin sospechar que de un momento a otro van a ser cogidos con unas pinzas, eso sí, con mucha delicadeza, para estudiar su ecología.

«La epibiosis —Conxita va poniendo subtítulos didácticos cada vez que tropiezo con un vocablo o concepto desconocido— es la capacidad que tiene un organismo de crecer encima del otro: si el invasor logra colonizarlo, el que hace de "hotel" puede morirse, por lo que el organismo que es atacado o invadido genera a menudo defensas, productos naturales. Guerra química.»

El concepto guerra química me ha quedado claro; y sobre los organismos que colonizan a otros se me ocurren unos cuantos ejemplos en la política nacional, pero no quiero distraerme: es fascinante pensar —tenemos que ser capaces de

imaginarlo— que organismos mínimos, a diez o cien metros de profundidad, en aguas heladas, libren una sofisticada guerra química para protegerse del mal vecino. Les explico por qué hay que echarle cierta imaginación a la ciencia: las bacterias que cultiva Eli no llegan a una micra de tamaño, me muestra un filtro de 0,22 μ que retiene bacterias de alrededor de 0,5 μ. «En el mar hay en torno a 10^7 bacterias por litro de agua.» Traduzco 10^7 (diez millones de bacterias por litro) y se lo muestro a Eli en mi cuaderno: «Sí, son muchas; pero solo podemos aislar del 1% al 10%», replica con la naturalidad de quien conversa con las bacterias como si fueran de su pandilla. Lo mágico viene ahora: con su micro filtro, Eli, Conxita y todo el equipo, a partir del ADN de estas bacterias, pueden conocer a fondo la comunidad bacteriana de la Antártida.

En distintos frascos y estuches de muestras, los bentólogos de DISTANTCOM buscan moléculas que puedan tener aplicación en medicina, como nuevos antibióticos o sustancias «antifouling» (el *fouling* es el recubrimiento de cualquier sustrato en el mar, mediante una capa de bacterias sobre la que se asientan organismos colonizadores, un *biofilm* que sirve de soporte y sobre el que se crean verdaderos ecosistemas. Un ejemplo conocido son los cascos de los barcos, donde se acumulan colonias de muchos organismos, todo un ecosistema, que son tratados o se limpian con métodos «antifouling»). Con subtítulos se entiende mucho mejor.

Otras moléculas son virtualmente anticancerígenas. Medicamentos conocidos, como el Yondelis —antitumoral— o el Ziconotide —para el dolor crónico, más activo que la morfina, encontrado en un caracol marino del género *Conus*—, son fruto de investigaciones como la que están desarrollando las biólogas y ecólogos liderados por Conxita Ávila. A partir de moléculas naturales, la industria farmacéutica elabora moléculas sintéticas; es fácil entender el alto valor de todo este nuevo conocimiento generado en campañas como esta XXX Expedición Científica Española a la Antártida, que vive ya sus últimas jornadas.

Campaña durante la que también hemos podido comprobar la colaboración entre diferentes equipos, preocupados todos por un mismo factor: el cambio climático y cómo pueden afectar, por ejemplo, la acidificación del agua del mar o el incremento de su temperatura a posibles especies invasoras, y cómo todo ello podría alterar un ecosistema tan frágil y complejo como el de la Antártida.

Como decía Humboldt, el primer ecologista que avanzó la idea de cambio climático global, en la Naturaleza todo está relacionado: «Si nos cargamos la biodiversidad nos cargamos también moléculas no descritas, potencialmente beneficiosas —concluye Conxita Ávila—. Nos queda mucho por estudiar: cada vez que se levanta una piedra aparece una especie nueva con nuevas y desconocidas moléculas. La biodiversidad en la Antártida es brutal, mucho mayor de lo que podíamos imaginar. Es apasionante».

La sonrisa catalana de Conxita esquiva al fotógrafo, pero se queda flotando en el ambiente del laboratorio helado, como un «antifouling» protector de la biodiversidad. Tales son los vericuetos por los que transcurre la Aventura de la Ciencia.

Links

Twitter: DISTANTCOM
Facebook: DISTANTCOM

28. Mujer y ciencia: cuatro investigadoras pioneras en la Antártida

«La ciencia y la igualdad de género son vitales para realizar los Objetivos de Desarrollo Sostenible, incluidos en la Agenda 2030», proclama Naciones Unidas en su declaración con motivo del Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia. «De acuerdo con un estudio realizado en catorce países —añade la ONU—, la probabilidad de que las estudiantes terminen una licenciatura, una maestría y un doctorado en alguna materia relacionada con la ciencia es del 18%, 8% y 2%, respectivamente, mientras que la probabilidad para los estudiantes masculinos es del 37%, 18% y 6%.»

Celebro este 11 de febrero, Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia, surcando el ancho Drake a bordo del buque de investigación *Hespérides*, formando parte de la XXX Expedición Científica Española a la Antártida. Hace treinta años pasé también en el Drake esta misma fecha, a bordo del buque *Pescapuerta IV*, entonces como cronista de la I Expedición. ¿Qué ha mejorado, en estos treinta años, con respecto a la igualdad de género en la investigación antártica? Les anticipo la respuesta: poco.

Los datos fríos: en 1986-87 formábamos la expedición 96 personas, de los que 24 eran científicos, 20 hombres y 4 mujeres, es decir, eran mujeres el 17% de los investigadores y el 5% de toda la expedición.

En 2016-17 participamos en la campaña 221 personas, de las que 26 son mujeres, el 12% (ninguna en las dotaciones de las bases Gabriel de Castilla y Juan Carlos I, y muy pocas en las tripulaciones de los barcos). Hay 17 científicas sobre un total de 70 investigadores: el 24%, cifra similar a la media del CSIC (23%, aunque la proporción baja al 15% de catedráticas). Queda mucho por hacer.

El Instituto Español de Oceanografía ha abanderado desde Madrid una iniciativa por la igualdad en la ciencia, a la que nos hemos sumando desde la Antártida, posando junt@s en cubierta. Pero en esta ocasión tan señalada quiero rendir un pequeño homenaje a las cuatro biólogas pioneras de la ciencia antártica en la campaña de 1986-87: Ana M. Giráldez, Milagros Millán (Maruchi) y Ana Ramos, las tres del IEO de Fuengirola; y Carmen Gloria Piñeiro, del IEO de Vigo.

Cuatro mujeres estupendas, que nos dejaron un recuerdo imborrable, trabajadoras incansables en el laboratorio, competentes y resolutivas, alegres en la convivencia, decididas de ánimo, afectuosas, elegantes, simpáticas… Me parece estar viendo aún sus sonrisas iluminando cada ángulo del *Pescapuerta IV.* Cuatro pioneras que abrieron camino en un medio hostil de «shackletones» y «amundses», un mundo tradicionalmente reservado a hombres.

Queda mucho por hacer, sí; no hay ninguna razón, y sí muchas sinrazones, para que se mantenga este techo de cristal también en la ciencia. Es corresponsabilidad de todos y todas romperlo. Desnudos de prejuicios y anteojeras masculinas, la vida cotidiana en los buques y en las bases demuestra cómo las mujeres marineras o investigadoras, o periodistas, se integran más que perfectamente; facilitan y completan la convivencia, mejoran la calidad emocional del grupo; y, sobre todo, ¡qué rayos!, es su derecho y el nuestro. Nuestro derecho a la igualdad también en la ciencia.

Espero que dentro de treinta años mis hijas, y toda su generación, hayan conquistado una igualdad real y no tengan que celebrar nunca más el Día de la Mujer y la Niña en la Ciencia. Mientras tanto, ¿qué tal, señores del IEO, del CSIC y de las universidades, si la próxima campaña duplicamos el número de investigadoras?

29. Alejo Contreras: el hombre que más sabe del Polo Sur

Entre las inagotables sorpresas que la Antártida nos depara, viajando con la XXX Expedición Científica Española a la Antártida, el paso por Isla Rey Jorge me ha regalado conocer y entrevistar al hombre que más sabe del Polo Sur, Alejo Contreras, de profesión nivólogo (estudioso de la nieve), el primer chileno en alcanzar el Polo Sur a pie, esquiando, en 1989: «Tuve la suerte de nacer en Chile, imagínese, 4000 kms de cordillera y 4000 volcanes, uno por km, un país lleno de picos nevados, fumarolas y aguas termales».

La conversación transcurre antes de una conferencia a jóvenes de secundaria, en la base chilena Frei, en Isla Rey Jorge, donde Alejo vive en un módulo que ha ido preparando en simbiosis con el medio (un contenedor reciclado, con calefacción y pequeñas comodidades), en el que afirma sentirse «en casa»: el hogar de quien ha recorrido todos los caminos del desprendimiento de placeres, consumos y esos cansinos objetos cotidianos que atestan nuestros armarios; el hogar de quien conoce bien los caminos de adaptación al medio, a la dura ley antártica.

Foto: Valentín Carrera con Alejo Contreras en Isla Rey Jorge.

Instinto de supervivencia, Alejo es darwinismo en estado puro. Su aspecto físico me recuerda al de Shackleton al acabar sus desgracias en el Mar de Weddell, cuando llegó desencajado, pero firme, ante los balleneros de Isla San Pedro. Conversamos junto a unos troncos fosilizados de *Laurlioxylon Antarcticum*, árboles con 54 millones de años de antigüedad, cuando en estas latitudes había coníferas, araucarias, teca, laurel…

Sonríen, más que hablan, los ojos chispeantes de este chileno tallado en teca o en lenga del cuaternario, nacido en Recoleta, cerca de Santiago, hijo de agricultores acomodados, o mejor «desacomodados por la reforma agraria de 1973». En aquellos años Alejo leyó un libro sobre Scott y Amundsen que iluminó su vocación: «Esa lectura me inspiró, fue como un sueño; pero los sueños pueden realizarse si pones trabajo en ellos», añade como un consejo que luego repetirá ante la mirada extasiada de una veintena de estudiantes chilenos, premiados en un concurso antártico, que han venido hasta Rey Jorge para escuchar su magisterio. «En la vida —les asevera— las oportunidades (la formación, el estudio) hay que tomarlas al vuelo; si no, se escapan.»

Antes de conocer a Alejo todos los relatos que había leído sobre viajes a la Antártida eran desplazamientos por mar, prolongados por tierra; pero este nivólogo, de larga barba blanca, solo ha viajado por aire hasta el continente blanco, continuando después hasta el Polo en largas travesías a pie.

Alejo es un apasionado de la aviación: actualmente trabaja en Aerovías DAP, la compañía polar por excelencia, fundada en 1985 por Domingo Andrés Pivcevic, y en los ratos libres construye trineos de madera. Pero antes Alejo ya había viajado al Polo Sur, por primera vez en 1980; y desde entonces ha estado casi veinte veces más en el Polo y ha ascendido otras tantas al Macizo Vinson (4897 m), el más alto de la Antártida, en los Montes Ellsworth, habiendo sido también el primer sudamericano, chileno matiza, en coronar la cumbre del Vinson en 1985, acompañando a Pat Morrow y Steven Fosset.

«Cada uno de estos viajes requiere años de preparación: hay que conseguir el presupuesto y los medios; y antes del viaje, establecer durante los dos veranos anteriores pistas de hielo, depósitos de víveres y combustibles, una compleja logística.» En aquella época, como voluntario del Cuerpo de Socorro Andino, Alejo Contreras fue nombrado representante chileno ante el Tratado Antártico para expediciones no gubernamentales.

Las pistas de hielo azul

Se preguntará el lector cómo aterriza un avión en la Antártida, que no es precisamente Heathrow. Decir magia sería un mal resumen porque, siendo todo telúrico y alucinante, hay poco espacio para los trucos. Si acaso, acepten como truco llevar dos

avionetas un verano y enterrar una de ellas en la nieve hasta el año siguiente. Conservar un avión en el hielo significa cortar grandes bloques con sierras (a mano, ni radiales, ni grúas, ni poleas, ni enchufes), hasta hacer un enorme hangar de hielo y luego cubrirlo de nuevo. Las imágenes de los expedicionarios sacando el avión de la nevera al año siguiente son espectaculares.

Mágicas son las pistas de hielo azul, aeródromos naturales donde puede aterrizar una avioneta con ruedas (como hizo un Boeing 757 en 2016); hay 82 pistas de hielo azul localizadas en la meseta antártica, de tres kilómetros de espesor medio; y gracias a ellas aviadores intrépidos, como Alejo, cruzan el continente a saltitos, hasta cubrir las 1700 millas desde Punta Arenas.

Cuando todo ha sido transportado al último campamento, Alejo Contreras y su grupo recorren el tramo final a pie: tirando de un trineo con 120 k de peso, avanzando a razón de 11 kms diarios, durante 72 días. «Ocho horas caminando, ocho horas de sueño y ocho para comer y organizar la acampada. Cada noche hay que construir un refugio: armar una carpa que se protege con un sólido muro de nieve.» Eso significa cortar bloques de hielo y formar un paravientos, protegiendo la tienda. «En la Antártida el frío no es un problema, basta con abrigarse; el único problema serio es el viento.» Lo dice, convencido, este nivólogo optimista, férreo, con buena estrella, pues nunca ha tenido un accidente, un soñador «que va a la montaña a pasarlo bien, no a cometer imprudencias».

Alejo habla de la Antártida con tanta familiaridad que los estudiantes y el cronista lo vemos como a un héroe de la conquista del Polo, un pariente del yeti, el eslabón perdido de la expedición de Scott. «¿Cómo veo el futuro de la Antártida? ¡Absolutamente optimista! Los jóvenes están cada vez más sensibilizados, el Tratado Antártico se cumple y se respeta, la Antártida es pública, los Gobiernos toman las decisiones por unanimidad. La Antártida nunca se va a privatizar.»

Se queja, sin embargo, de la contaminación cada día más visible y alecciona a los futuros científicos: «En vuestras casas, ¿metéis la basura en el congelador para que se conserve? Pues en la Antártida ocurre algo así: aquí la basura se conserva pero que muy bien. Y está llegando mucha, porque no se recicla adecuadamente. Ponen un logo en el envase y creen que con eso el cartón o el plástico se reciclan solos…».

No puedo evitar interpolarlo acerca del cambio climático y su respuesta me sorprende. Alejo es ecologista, comprometido a su manera: «He estado en los últimos quince derrames de petróleo en el mar, ayudando a limpiar. ¡Pues claro que hay cambio climático!, es innegable, pero no creo que esté producido por el hombre. Es un envejecimiento natural del planeta. Estamos viviendo un cambio de la madre Naturaleza».

30. Fauna de la Antártida: la increíble complejidad de un ecosistema frágil y aislado

Lo primero que sorprende al viajero que llega a la Antártida es la escasez de animales: quizás no espera las manadas del Serengueti, pero ¡ni siquiera un mosquito! No, en la Antártida no hay moscas, ni mosquitos, ni abejas, no hay insectos voladores, salvo algún dron reciente. Descontada la absoluta falta de árboles, plantas y flores —el paisaje antártico desconoce el verde, los rojos y amarillos de la primavera, y los ocres y dorados del otoño—, el viajero tampoco verá animales domésticos o de granja: perros, gatos, vacas, cerdos, ni siquiera un pollo.

En los tiempos heroicos las expediciones llevaban perros o ponis para el tiro de trineos, gatos de compañía y ovejas o conejos para la despensa: son famosas las fotos de Hurley con los cachorros nacidos a bordo del *Endurance* de Shackleton. Pero el Tratado Antártico prohibió introducir cualquier especie y los últimos perros fueron evacuados en marzo de 1994. Más lejos aún quedan los tiempos de tal abundancia: en 1820, en apenas tres meses, los cazadores mataron 250 000 focas; o 46 000 ballenas en la campaña de 1937, con un centenar de barcos faenando en la zona, datos que hoy causan estupor. Desde la Ventana del Chileno, en la Cala Balleneros de Isla Decepción, los vigilantes observaban las ballenas en grandes manadas: ver hoy una sola minke o una jorobada, de vez en cuando, es motivo de alegría; y si se reúnen media docena de yubartas en la Bahía de Cuverville, una fiesta.

La Antártida es, o debiera ser, un santuario de flora y fauna autóctona (especies que tienen en esta latitud su ciclo natural, incluidas las migraciones naturales), y eso que, aunque la presencia humana sigue siendo la principal amenaza, ya no se cazan focas —las ballenas siguen en el punto de mira de los arponeros japoneses— ni se comen pingüinos, que eran parte de la dieta de los expedicionarios: en Port Locroy venden a los turistas un libro de recetas a base de carne de pingüino, elaboradas por los soldados ingleses en los años 50 del siglo XX.

La prohibición del Tratado Antártico se cumple en la fauna visible, ni perros ni caballos; pero hay un mundo animal invisible al ojo, microscópico, que pasa desapercibido. Los investigadores del INACH (Instituto Antártico Chileno) han detectado más de doscientas especies ajenas, potenciales invasores, en la región subantártica, antesala del Continente Blanco y puerta de entrada de todas las calamidades. *Aliens* que han llegado en el casco de un barco, en las botas de un visitante, en el velcro de una prenda. Casi siempre de origen antrópico, traído por alguno de los 5000 investigadores o de los 50 000 turistas que vienen cada año; el impacto alienígena sigue creciendo por mucho que se extremen los protocolos de limpieza.

Toda la Antártida es un ecosistema muy frágil y delicado, fácilmente alterable (las focas estuvieron al borde del exterminio en solo tres años de caza voraz): la fauna endémica está aislada por la corriente circumpolar, que forma la Convergencia Antártica, principal causa del enfriamiento de esta zona que hace millones de años tuvo clima templado, con árboles y fauna de otras latitudes, cuya huella se encuentra en miles de fósiles. El aislamiento del continente desde la rotura del actual Paso Drake, creando un cinturón submarino con profundidades superiores a 5000 m, obligó a las especies autóctonas a adaptarse a una vida en condiciones extremas, generando, por ejemplo, proteínas anticongelantes. Las ballenas, focas, pingüinos y aves marinas actuales son el resultado admirable de una larga evolución, creando capas de grasa o plumaje que les permiten resistir y reproducirse en las temperaturas más bajas.

Esta misma evolución se ha dado en los seres microscópicos, no tan llamativos como la majestuosa ballena azul, ni tan feroces como la carnívora foca leopardo, de terribles ojos saltones como dos rojas bolas de billar, ni tan presumidos como el pingüino emperador. Se diría que la fauna microscópica es más humilde, pero está en la base de la cadena biológica y su capacidad de adaptación, su eficiencia evolutiva, raya en lo milagroso.

Si podemos admirar en todo el planeta la vida de las abejas o la migración de las mariposas, más admirable aún resulta la vida de los colémbolos y los tardígrados, dos especies antárticas que están siendo estudiadas en este verano austral por científicos como los ecobiólogos españoles Miguel Ángel Olalla y Javier Benayas, y la bióloga colombiana Rosa Acevedo.

Fauna al microscopio: colémbolos y tardígrados

Los colémbolos —explica Benayas— son un tipo de artrópodo, cabeza y cuerpo articulado, considerado el grupo más numeroso sobre la Tierra (hasta 60 000 individuos en un metro cuadrado). «Pulgas saltarinas», solo visibles al microscopio, que viven en zonas húmedas, musgos y algas; pasear en Isla Decepción por la orilla de la playa, con marea baja, es «caminar sobre alfombras de colémbolos». Hay quince especies identificadas en la Antártida, de las que ¡seis son invasoras!, *aliens* que han llegado, se hacen fuertes en el territorio antártico, lo colonizan y eliminan a las demás. «Las invasoras producen una pérdida de biodiversidad; son un peligro para la Antártida.» Así funciona la fragilidad del ecosistema antártico, en difícil equilibrio: estudiar a los colémbolos invasores sirve de test acerca de otras invasiones potenciales, acaso propiciadas por el cambio climático.

Otra especie antártica deslumbrante son los tardígrados: «de movimientos lentos», semejantes a diminutas tortuguitas, pero no son tortugas; a juicio de Rosa Acevedo, autoridad internacional en la materia, son «los animales más resistentes que se conocen». Los tardígrados son animálculos (se decía en el siglo XVII) que llevan en torno a 2000 años sobre la Tierra: ovíparos (se reproducen por huevos), mudan el caparazón y viven en zonas húmedas, como los colémbolos. «Son cosmopolitas, hay más de mil especies identificadas en todo el planeta, de ellas, 50 en la Antártida —dice Rosa Acevedo—, y son el grupo biológico más prometedor para la biomedicina y la bioprospección.»

Es así porque los tardígrados resisten lo inimaginable: temperaturas desde –273º hasta 150º, exposición a los rayos gamma y ultravioleta, y resistencia a la deshidratación (anhidrobiosis) de hasta el 97% de su agua corporal. No hay ninguna otra especie animal conocida capaz de vivir con el 3% de agua, o de resistir la anoxiobiosis (ausencia de oxígeno y vacío). En un experimento de la NASA [Horikawa] los tardígrados sobrevivieron diez días al vacío del espacio exterior. Y podrían vivir en Marte.

Ante semejante prodigio de la evolución, esta extrema capacidad de adaptación y resistencia, se comprende el interés por el estudio de los tardígrados, potencial fuente de conocimiento para el desarrollo de proteínas o metabolitos aplicables en biomedicina (conservación de órganos, reparación del ADN o disminución de efectos en pacientes radiados) o en cosmética (cremas antienvejecimiento: «bótox de tardígrado», bromea Acevedo).

Además de los mamíferos (ballena azul, ballena jorobada, orcas, delfines, focas o elefantes marinos) y de las aves (todos los tipos de pingüino: barbijo, adelia, papúa o emperador; y las voladoras: albatros, petreles o cormoranes); y además de los microscópicos colémbolos y tardígrados, hay otras especies importantes, también ocultas al

gran público, que habitan en las aguas del Círculo Polar Antártico: solo en el Océano Austral hay 8300 especies descritas de peces, crustáceos, moluscos y equinodermos, y se estima que podrían llegar a 15 000, según Karin Gèrard, bióloga y submarinista del INACH. Mucha más biodiversidad de la que podríamos imaginar a primera vista.

Karin Gèrard trabaja con estas especies en busca de la proteína anticongelante, un compuesto químico que impide que se congele su sangre, característica evolutiva que les ha permitido sobrevivir en las temperaturas extremas del Polo Sur. Nuevamente el conocimiento de la vida abisal abre caminos a la biomedicina, al igual que el estudio del equipo de la Universidad de Barcelona, dirigido por Contxita Ávila, que ha montado su laboratorio en la base española en Isla Decepción y que ya ha desarrollado alguna patente en biomedicina. «Hay muchas moléculas aún no descritas —dice la profesora Ávila—; cada vez que se levanta una piedra aparece una especie nueva, con nuevas y desconocidas moléculas. Si nos cargamos la biodiversidad perderemos un tesoro.»

El tesoro de la fauna antártica, considerada toda en su conjunto, desde el tardígrado de 0,5 micras hasta la ballena azul, el más grande de los mamíferos; desde el colémbolo que alfombra las playas antárticas hasta el pingüino, ese vigilante de la contaminación antártica convertido en icono infantil. Bien está que celebremos el Día de la Ballena y el Día del Pingüino, pero la Naturaleza —decía Humboldt, el primer ecologista, el primero en ver el cambio climático— es un todo interrelacionado, en el que cada parte depende de las demás, y ese todo indivisible, ese ecosistema, depende de cada una de las partes. Para entender la biodiversidad habrá que empezar, pues, a celebrar también el Día del Colémbolo y el Día del Tardígrado.

Índice onomástico

A

Águeda Vázquez 33
Alejo Contreras 111, 112, 113
Álex Garrido 22
Álvaro de Mendaña 19
Amós de Gil 22, 23, 33, 34
Amundsen 18, 27, 35, 36, 112
Ana M. Giráldez 110
Ana Ramos 110
Andrés Barbosa 11, 74, 77, 78, 79, 83, 99
Antonio Padín 13, 14, 16
Antonio P. Sandoval Díaz 16

B

Begoña Jiménez Luque 98
Belén Oliva 62
Belén Rosado 33
Benito Martín 22, 26, 30
Blanca Figuerola 106

C

Carlos Angulo 106
Carlos M. Duarte 48
Carlos Moriana 51
Carmen Gloria Piñeiro 110
Conxita Ávila 99, 105, 106, 107, 118

D

Daniel Vélez 22, 25
Darwin 19, 26, 28, 54, 88, 91, 101
Diego Muñoz 40
Domingo Fontán 41

E

Eduardo Martínez de Pisón 44, 71
Eleanor Honnywill 35
Elena Cerro Gálvez 98
Elisenda Ballesté 106
Enrique Carmona 22, 25, 26, 27, 30
Eva de Andrés 58

F

Fernando Bohoyo 45
Fernando Suárez 22

G

Gustavo Gómez-Pimpollo 40

H

Humboldt 19, 26, 28, 59, 73, 85, 93, 96, 98, 99, 101, 107, 118

I

Ignacio Romero 40, 51
Iñaqui Irastorza 74, 75
Iván Fernández 26, 30, 31

J

James Clark Ross 35, 44
Jaume Flexas 85, 86, 87
Javier Almendros 26, 29
Javier Benaven te 33
Javier Benayas 93, 94, 96, 116
Javier Cacho 47
Javier Gulías 86
Javier Lambán 62
Javier Lapazarán 58
Javier Monroy 40
Jerónimo López 43, 44, 45, 61, 62, 63, 64, 70
Jesús Benzal 77, 78, 83
Jesús Gálvez 40

Jesús López Pérez 102
Jesús Souza Troncoso 102
Joana Vicente 106
Joan Giménez 106
Jordi Dachs Marginet 98
Jordi Felipe Álvarez 18
Josabel Belliure 77, 78, 79, 83
José Luis Roscales 97, 98
Juan Conforto 40, 49, 50
Juan Carlos Sánchez 22
Juan de la Cierva 30
Juan F. Masello 74
Juan Sebastián Elcano 54, 55

L

Leopoldo García Sancho 86
Lord Byron 13, 14
Luis Ansorena 18
Luis Sampedro Pérez 102
Luis Vizcaíno 26

M

Malaspina 18, 40, 55, 73, 81
Manuel Asencio 40
Manuel Berrocoso 33
Manuel Catalán 12, 30
Manuel Titos 20
Marc Carriquí 86
María Gómez Ballesteros 40, 51
María José Clemente 85, 86, 87, 88
Mariana Pizarro 98
Mariano Lastra 70, 101, 102
Martínez de Pisón 44
Miguel Ángel de Pablo 57, 67
Miguel Ángel Cabeza 51
Miguel Ángel Jiménez 33
Miguel Ángel Ojeda 16
Miguel Ángel Olalla 93, 94, 96
Miguel Ramos 57, 66, 67
Miki Ojeda 16, 70
Milagros Millán 110
Mirenchu Soto 22, 33

P

Pedro Portillo 22
Pedro Sarmiento de Gamboa 19

R

Rafael Coopman Ruiz-Tagle 86
Rafael Martín 106
Rosa Acevedo Barrios 89, 90, 91, 105, 116, 117

S

Scott 18, 27, 33, 35, 36, 112, 113
Shackleton 12, 18, 27, 36, 45, 75, 111, 115
Susana Fernández 66, 67

T

Telmo Geraldes 40
Thomas Schmid 62

V

Verne 28, 30, 33, 34, 35, 37, 44, 65, 71, 73, 89
Vicente Tofiño 41

W

William Ospina 13

X

Xurxo Gago 86