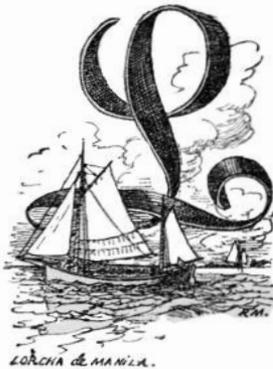


PROYECTO ANTÁRTICO ELGEOPOWER: TECNOLOGÍA PUNTA EN LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA BÁSICA

Manuel CATALÁN MOROLLÓN



Introducción



A investigación científica española en la Antártida comienza a finales de los años 80, cuando nuestro país decide apostar por ella pasando a formar parte de un grupo de naciones que realizan estudios en ese continente y que como consecuencia de ello van a decidir sobre su futuro.

Aunque en sus inicios los trabajos estuvieron vinculados al buque oceanográfico *Las Palmas*, la participación española en esas latitudes sin duda alguna está estrechamente ligada a la vida operativa del *Hespérides*, que en el verano austral 1991-92 realizó su primera campaña antártica.

Desde entonces se han llevado a cabo multitud de proyectos de investigación, tanto relacionados con las ciencias de la vida como con las de la tierra, campo en el que el Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA) trabaja a través de su Sección de Geofísica. Todos ellos se han desarrollado en el entorno de la península Antártica, donde se encuentran las dos bases que España mantiene operativas cada verano austral.

En octubre de 2018, el ROA presentó una propuesta de proyecto de investigación en la convocatoria que anualmente establece el Ministerio del que depende la investigación polar (en aquel momento, el de Ciencia, Innovación y Universidades). Estas convocatorias son por concurrencia competitiva. Cada propuesta es evaluada de manera anónima por un mínimo de tres especialistas, españoles o extranjeros, que la analizan en detalle, puntuándola. Finalmente se eligen para su financiación aquellas que hayan alcanzado las máximas cali-



El *Las Palmas* como buque de investigación oceanográfica. (Foto: Armada).

ficaciones. En abril de 2019 quedó resuelta la convocatoria, incluyendo entre las seleccionadas la propuesta presentada por el ROA, denominada *Estructura Litosférica y Geodinámica de Powell-Drake-Bransfield Rift* (ElGeoPower).

Esto supuso, tras un lapso de casi veinte años, la participación de la Armada como líder de un proyecto de investigación competitiva en aguas antárticas. Es pertinente destacar que este proyecto, aunque liderado por el ROA, es internacional, colaborando en él diversas instituciones: Instituto Español de Oceanografía, Instituto Nacional de Técnicas Aeroespaciales (INTA), Universidad Complutense de Madrid (UCM) y Universidad de Oviedo (UNIOVI), el Goddard Space Flight Center-NASA y el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (México)-CICESE.

¿En qué consiste dicha investigación? Podríamos limitarnos a un mero enunciado de objetivos; sin embargo, lo ideal sería entender las razones científicas que la justifican, y para ello es preciso explicar someramente tres conceptos básicos: conocer los elementos básicos de la tectónica de placas, comprender cómo se forma un océano y definir qué son las llamadas corrientes astenosféricas.

La Teoría de la Tectónica de Placas

Uno de los aspectos clave en nuestro planeta lo constituye el hecho de que aún mantiene parte del calor que originalmente tuvo, y esto es consecuencia

de su tamaño. Otros planetas más pequeños lo han perdido, lo que les marca profundamente, pues como consecuencia de ello carecen de campo magnético propio y están a merced de la radiación solar y de los campos magnéticos interplanetarios, siendo incapaces de retener una atmósfera, por lo que difícilmente albergarán agua líquida y por tanto vida animal.

La Tierra no es así. Retiene calor en su interior, incluso lo sigue generando a partir de desintegraciones radiactivas, aunque pierde continuamente energía de forma natural radiándola al exterior o mediante terremotos, erupciones volcánicas o manteniendo en funcionamiento una máquina que le permite mover las grandes placas continentales.

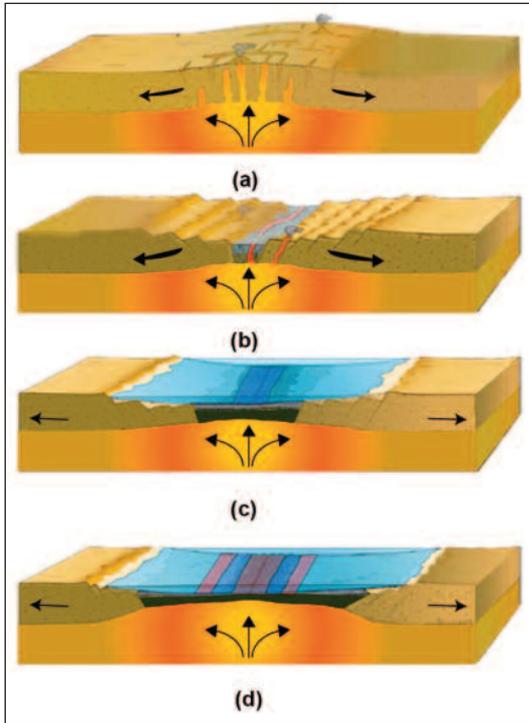
La Teoría de la Tectónica de Placas nació para explicar la evolución tanto del interior como del exterior de nuestro planeta, precisando para ello de dos grandes elementos: las dorsales oceánicas y las zonas de subducción o fosas marinas. En el primero de estos componentes, como se verá en el siguiente punto, es donde surge el nuevo fondo oceánico, mientras que el segundo marca dónde finaliza la expansión de este fondo tras un lento desplazamiento de unos pocos centímetros anuales durante cientos de millones de años. Estas zonas de subducción concentran los terremotos de mayor magnitud, producidos como consecuencia del enfrentamiento de dos placas: una más densa, que se hunde bajo la otra más ligera, que generalmente es un bloque continental.

La formación de un océano

Probablemente este proceso es la piedra angular de la Teoría de la Tectónica de Placas. Su inicio lo marca la aparición de una anomalía térmica bajo una corteza continental que comienza a experimentar esfuerzos extensivos que le llevan a adelgazar su espesor, como si de un chicle se tratara, surgiendo fracturas por las que asciende magma que la contamina, transformándose de esta manera en una corteza que ya no es continental, aunque tampoco es aún oceánica.

Finalmente esta corteza se rompe. En ese momento aflora de forma franca al exterior magma, que al solidificarse conforma una corteza que ocupa el hueco dejado por la corteza continental, y que es la base de lo que conocemos como fondo oceánico. La zona de surgimiento de este magma da lugar a lo que posteriormente serán grandes cordilleras submarinas que recorren océanos, como el Atlántico, de norte a sur a lo largo de miles de kilómetros, alcanzando una elevación promedio de 2.500 metros sobre el fondo.

La polaridad magnética que adquiere esta nueva corteza al enfriarse va acorde con la del campo magnético terrestre en el momento del enfriamiento. Es bien sabido que esta polaridad cambia, llegando a invertirse. Es cuando lo que denominamos polo norte magnético pasa a ser un polo sur, y viceversa. Las causas que lo originan, así como el tiempo invertido en ello, siguen sien-



Proceso de formación del fondo oceánico: a) surgimiento de una anomalía térmica. Aparición de esfuerzos extensivos; b) adelgazamiento cortical en algunas zonas con aparición de fracturas. Surgen zonas de intrusión de magma; c) extrusión franca de magma; d) conformación de dos bloques continentales separados por suelo oceánico que registra los cambios de polaridad del campo magnético.

impacto de un meteorito hace 65 millones de años en el Yucatán— postuló en un artículo científico la existencia de unas zonas geográficas por las que el Pacífico surtía de magma a otros océanos, posibilitando de esa manera que el Atlántico se expandiera, y por tanto que América se separara de Europa y de África unos pocos centímetros al año. En otras palabras, de no recibirse dicho suministro, el proceso de apertura del océano Atlántico sería diferente o incluso podría no mantenerse en el tiempo.

Como posibles vías para recibir este material desde el Pacífico hacia el Atlántico, Álvarez expuso que esta transferencia tendría lugar a través del canal de Panamá y de la zona comprendida entre el cono sur de Sudamérica y la península Antártica, conocida esta zona como Placa de Scotia y que es atra-

do aspectos aún controvertidos. La última inversión tuvo lugar hace 780.000 años aproximadamente.

Resumiendo, una vez roto, el bloque continental posibilita la extrusión de magma, que al enfriarse adquiere la polaridad del campo magnético terrestre existente en ese momento. Al prolongarse este proceso en el tiempo, van quedando registrados en el fondo oceánico todos esos cambios. El estudio de estos cambios de polaridad ayuda a reconstruir cómo fue la separación de las masas continentales inicialmente unidas y cuándo se produjo.

Las corrientes astenosféricas

En 1982, un geólogo llamado Walter Álvarez —hijo de un Premio Nobel de Física, americano de nacimiento aunque biznieto de asturianos, mundialmente conocido por ser quien propuso que la desaparición de los dinosaurios habría sido causada por el

vesada de norte a sur por una enorme cordillera submarina de más de 1.000 metros de altura, la llamada Zona de Fractura de Shackleton.

En 2019 mostramos en un artículo publicado en una revista científica internacional de gran impacto, a partir del análisis de anomalías magnéticas, que existían pruebas que apoyaban la veracidad de la idea postulada por el geólogo americano hace casi 40 años. La zona de la Placa de Scotia actuaría como un portal astenosférico, facilitando la circulación de magma desde el Pacífico hacia el Atlántico. Adicionalmente, se destacaba la importancia que la Zona de Fractura de Shackleton habría desempeñado en este proceso desde su formación hace ocho millones de años.

Esta cordillera se eleva sobre el fondo marino más de mil metros, pero a cambio se comporta como un iceberg, hundiendo bajo el suelo marino una raíz de decenas de kilómetros, conformando un muro que actuaría a modo de barrera de este flujo astenosférico, modificando su acceso libre desde el Pacífico al Atlántico y desviándolo hacia el norte y hacia el sur en busca de un camino libre, que finalmente encuentra justo al sur de Sudamérica y al norte de la península Antártica. Este hecho explicaría el cese de formación de un pequeño océano en el noroeste de la Placa Scotia, una zona conocida como Dorsal Occidental de Scotia, al quedar aislada y dejar de recibir el «combustible» necesario para seguir expandiéndose, dificultando con ello la separación de Sudamérica de la Antártida.

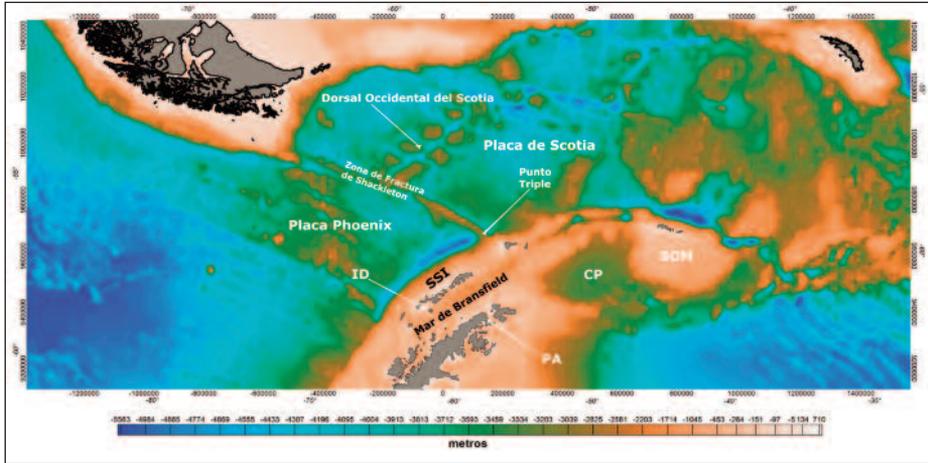
Marco geográfico y situación actual del conocimiento en cada zona

El proyecto ElGeoPower abarca cuatro escenarios geográficos: el mar de Bransfield, la cuenca Powell, el punto triple situado al sur de la Zona de Fractura de Shackleton y la isla Decepción. A continuación, se describe cada una de estas zonas, realizando una revisión del estado del arte del conocimiento en cada una de ellas.

Mar de Bransfield

Se encuentra comprendido entre el archipiélago de las Shetland del Sur y la península Antártica. Tiene 500 km de longitud y 100 km de anchura, con una orientación noreste-suroeste claramente marcada. Su extremo suroeste coincide con la finalización de la fosa de las Shetland del Sur.

A lo largo del mar de Bransfield se localiza un conjunto de volcanes, algunos submarinos, como el Orca, y otros emergidos, como la isla Decepción. Este eje volcánico pone de manifiesto un posible proceso de apertura y/o creación de fondo oceánico entre las Shetland del Sur y la península Antártica que ha sido estudiado, concluyendo que con la información disponible podría



Marco geográfico de la zona de estudio. CP: cuenca Powell. SOM: microcontinente de las Orcadas. SSI: archipiélago de las Shetland del Sur. ID: isla Decepción. PA: península Antártica.

encontrarse en las últimas fases de ruptura o en los inicios de creación de fondo oceánico en la zona noreste de dicho mar, no pudiendo determinarse en qué estadio concreto está. No obstante, aún se halla en desarrollo, como lo muestra el hecho de que desde finales del pasado mes de agosto se estén registrando decenas de miles de movimientos sísmicos, algunos con una magnitud superior a 4, llegando a alcanzar uno de ellos 5.8 el 2 de octubre. Las localizaciones epicentrales los sitúan al sur de la isla del Rey Jorge, concretamente en torno a la ubicación del volcán submarino Orca.



Vista sur del extremo suroeste del archipiélago de las Shetland del Sur.

Isla Decepción

La isla Decepción es un volcán joven activo (menos de un millón de años) localizado en la zona suroeste del mar de Bransfield. Tiene forma de herradura, provocada por el colapso de su caldera, lo que permitió el acceso de agua salada a su interior que relleno su cráter. Sus últimas erupciones tuvieron lugar en 1967, 1969 y 1970, destruyendo las bases inglesa y chilena. Desde entonces no ha habido períodos de actividad sísmica relevante, salvo en 1992 y 1999.

Se desconoce en detalle la localización de los posibles focos eruptivos: dónde se encuentran y cuál es su extensión, tanto vertical como horizontal. Un mapa de anomalías magnéticas sería lo idóneo, pero hasta la fecha nunca se ha obtenido ninguno que incluya tanto la zona emergida como la sumergida de la isla.

Punto triple situado al sur de la Zona de Fractura de Shackleton

Hace alrededor de 12 millones de años se desarrolló la cordillera submarina conocida como Zona de Fractura de Shackleton. Tal como se ha comentado, esta cordillera lleva asociada una raíz litosférica que actúa como obstáculo al libre discurrir de la corriente astenosférica procedente del océano Pacífico. Este hecho posiblemente dividió el canal de corriente de magma en dos ramales, circulando al norte y al sur de la Placa de Scotia respectivamente.

El punto triple formado por la intersección de la Zona de Fractura de Shackleton con la fosa de subducción de la antigua Placa Phoenix, —donde confluyen la Antártica y la Scotia y el bloque de las Shetland del Sur— es uno de los más desconocidos del planeta, principalmente debido a su localización remota y a su clima severo. Este punto tiene grabada historia tectónica, geodinámica y oceánica ocasionada por la separación del supercontinente Gondwana, que aglutinaba las masas continentales que actualmente se encuentran esparcidas por el hemisferio sur.

Cuenca Powell

Constituye el último de los escenarios. La Powell es una cuenca con forma elíptica, limitada al este por el microcontinente de las Orcadas del Sur, al norte por la Dorsal Sur de Scotia, al oeste por el extremo noroeste de la península Antártica y al sur por el mar de Weddell. Hay cierto acuerdo en cuanto a cómo surge; sin embargo, preguntas como cuándo comienza su apertura, cuándo finaliza y por qué cesó siguen aún en el aire.



Barqueo para instalar una estación sísmica en isla Low (perteneciente al archipiélago de las Shetland del Sur).

Objetivos del proyecto

El proyecto propuesto plantea cuestiones que caen en el ámbito de la ciencia básica, y por tanto *a priori* no debe esperarse que sus respuestas tengan una aplicación directa en nuestras vidas. Su objetivo es el conocimiento por el conocimiento, es decir, comprender mejor cómo funciona nuestro planeta.

Es una continuación directa de los proyectos y trabajos realizados en la zona antártica por el ROA tras las campañas de los años 80, 1999-2000, 2001-02, 2008-09 y la reciente participación en la Drake-2018. Estos estudios aportaron información hasta entonces desconocida, pero también motivaron la aparición de otras cuestiones:

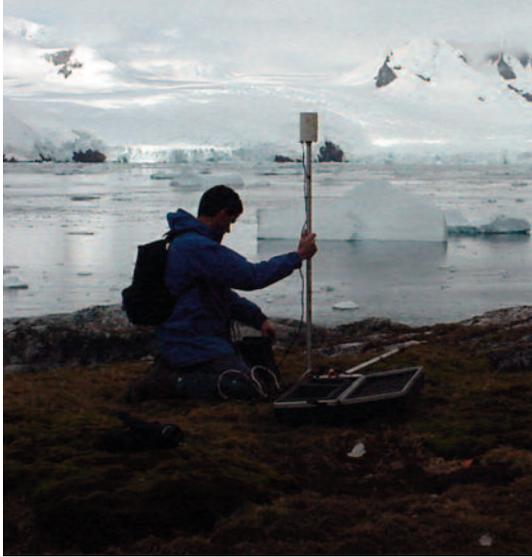
- ¿Existe realmente un ramal de corriente astenosférica que procedente del Pacífico circula por el norte de las Shetland del Sur? En caso de que así fuera, hay un subramal que se desvía hacia la cuenca Powell? La toma de medidas de flujo de calor que se realizará en sus extremos debe desvelar estas incógnitas. Por otro lado, el estudio de la estructura profunda del punto triple determinará si las corrientes astenosféricas, caso de existir, han sido capaces de horadar el relieve en profundidad de la litosfera a decenas de kilómetros bajo el fondo marino.

Asimismo, un estudio de estructuras más someras (TOPAS, batimetría) ayudará a entender mejor la distribución de las corrientes oceánicas a través de este cuello de botella desde el momento en que se produjo la separación de la Antártida de Sudamérica hasta la actualidad. No debe olvidarse que las corrientes oceánicas y su distribución, una vez separado el supercontinente Gondwana, son las responsables del clima actual del planeta.

- ¿La expansión en la zona noreste del mar de Bransfield ha alcanzado un nivel tal que la corteza se ha roto, surgiendo magma de forma que existe suelo oceánico, o se encuentra aún en una situación intermedia? Para desvelarlo, se utilizarán técnicas de magnetismo profundo (*Deep-tow*) nunca empleadas hasta la fecha por España. Asimismo, se obtendrán datos que permitirán conocer el alcance de la actual crisis sísmica en el entorno del volcán submarino Orca.
- ¿Cuándo se inició la apertura de la cuenca Powell y cuándo cesó? De existir el subramal astenosférico, ¿ha marcado de alguna forma la historia geológica de este pequeño océano? Para responder a estas incógnitas se realizará un levantamiento geofísico, que incluirá un perfil sísmico, se utilizará el magnetómetro marino tanto en profundidad como en superficie, se adquirirán datos batimétricos y medidas de gravedad, así como de flujo de calor.
- Como un objetivo colateral en el proyecto, se plantea el control de la evolución magnética del volcán de la isla Decepción. Esto permitirá prolongar una serie temporal que tiene su inicio a finales de la década de los 80 y que ya ha sido capaz de detectar una señal vulcano-magnética, considerada una consecuencia de la última crisis volcánica (enero de 1999). Este seguimiento de la actividad volcánica es interesante, pues cabe recordar que la isla Decepción acoge dos bases antárticas (española y argentina), siendo además un punto frecuentado por numerosos buques turísticos durante el verano austral.
- Adicionalmente, se propone la utilización de un dron para realizar el levantamiento magnético de toda la isla. Este hecho proporcionaría una información inédita, permitiendo conocer la distribución real de las fuentes magnéticas en su interior. Llevar a cabo este objetivo facilitaría no solo conocer la distribución de esas fuentes, sino también poder controlar la evolución del volcán, observando una propiedad tan sensible a aspectos térmicos como la magnética.

Retos y aportaciones técnicas para nuestro país

Como objetivo general de este proyecto, se persigue incrementar el conocimiento de los fondos marinos de una zona compleja en la que tradicionalmen-



Tomando medidas del campo magnético en la península Antártica.

te ha trabajado España al estar próxima a sus bases antárticas. No solo proporcionará información encuadrable en la ciencia básica, sino que también permitirá alcanzar un par de objetivos adicionales:

- Nuestro país llevará a cabo por vez primera estudios de magnetismo profundo, obteniendo experiencia en esta potente técnica, que en caso de ser exitosos podrían tener implicaciones en otros entornos que van más allá de la investigación básica, pudiendo aplicarse a la búsqueda y reconocimiento de objetos hundidos en grandes profundidades (pecios, aeronaves y buques).
- El levantamiento magnético en isla Decepción mediante vehículos aéreos no tripulados que lleven incorporado un magnetómetro constituye un objetivo novedoso. Su puesta en marcha aportará experiencia en el manejo de esta técnica y en la superación de las correcciones que deben aplicarse atendiendo a la influencia magnética de la propia aeronave. Esto abriría un abanico enorme de posibilidades en nuestro país para el reconocimiento de grandes extensiones de terreno de una forma barata, rápida y sencilla sin necesidad de utilizar aeronaves tripuladas (como hasta la fecha), que han implicado contratos con costes muy elevados. De esta forma, las actuaciones de monitorización de áreas volcánicas (archipiélago canario, isla Decepción...) podrán llevarse a cabo de manera mejorada. Incluso podría plantearse su utilización desde una unidad a flote para la detección de amenazas en inmersión.

Conclusiones

ElGeoPower es un proyecto de investigación científica básica aprobado en la Convocatoria Nacional Competitiva de Proyectos de Investigación en abril de 2019, siendo liderado por el Real Observatorio de la Armada y financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. Es de

carácter internacional, incorpora científicos de diferentes países y plantea diversos objetivos: averiguar si en los fondos marinos que rodean las bases antárticas españolas se está desarrollando un nuevo océano; determinar la existencia de una corriente astenosférica que, procedente del océano Pacífico, se estuviera introduciendo en el Atlántico, y monitorizar la actividad volcánica en la isla Decepción, así como conocer la posición de sus principales fuentes magmáticas.

Estos objetivos científicos se alcanzarán utilizando múltiples técnicas. Llevarlos a cabo supondrá superar diversos retos en un ambiente hostil en lo meteorológico, como el posicionamiento de un magnetómetro sumergido a 1.500 m bajo la superficie del mar o, en el caso del dron, la caracterización y posterior cancelación de la influencia magnética de la propia aeronave durante el levantamiento.

Estos retos nunca han sido abordados en España y alcanzarlos permitiría su aplicación en la exploración de grandes extensiones de terreno para analizar sus propiedades magnéticas de una forma rápida y económica, o utilizar un vehículo tipo dron a bordo de una unidad naval al objeto de detectar/confirmar la presencia de un submarino a través de su anomalía térmica o magnética, evitando el uso de aeronaves mediante un procedimiento ágil y sencillo.

Agradecimientos

El estudio se realiza gracias a la financiación otorgada por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades al Proyecto RTI2018-099615-B-100.



Lancha de instrucción *Guardiamarina Salas* en la ría de Pontevedra, noviembre de 2020. (Foto: Javier Mendoza Fernández-Aceytuno).

