

Zelandia: la exploración del séptimo continente

Laia ALEGRET

Departamento de Ciencias de la Tierra e Instituto Universitario de Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA). Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009, Zaragoza, España (laia@unizar.es)

Zelandia, el continente sumergido

Quedan ya pocos lugares por explorar en nuestro planeta, y Zelandia, que permanece mayormente oculto bajo las aguas del Pacífico Suroeste, es uno de ellos. El hecho que se encuentre casi totalmente sumergido lo diferencia claramente de los otros seis continentes, que desde un punto de vista geológico son África, Eurasia, Norteamérica, Sudamérica, Antártida y Australia; Zelandia es el séptimo (Figura 1). La idea de que tiene entidad propia como continente no es nueva y se remonta a los años 60 y 70 del siglo pasado, cuando se sugirió que en el Cretácico (hace unos 80 millones de años) Zelandia se separó de Australia y de la Antártida debido a la apertura del Mar de Tasmania, comenzando así una larga historia de separación, rotación y subsidencia hasta su posición actual. No obstante, la confirmación de su entidad como continente no se produjo hasta que Mortimer *et al.* (2017) demostraron que esta área de 4,9 millones de kilómetros cuadrados está constituida por corteza continental y rodeada por corteza oceánica, características que le confieren la categoría de continente.

Entre las causas que contribuyeron a que se tardara casi medio siglo en confirmar esta hipótesis destaca el difícil

acceso debido a 1) la localización remota de Zelandia en el Pacífico Suroeste, y 2) el hecho de que el 94% de su superficie se encuentra sumergida, aflorando únicamente sus montañas más altas, que son Nueva Zelanda, Nueva Caledonia y algunas pequeñas islas del Pacífico. A ello se suman los obstáculos legales para la exploración marina de este continente dados los intereses económicos de los países colindantes (Australia, Nueva Zelanda, Nueva Caledonia), que no llegaron a un acuerdo sobre la extensión de sus territorios bajo el mar hasta 2008, tras 15 años de negociaciones reguladas por la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar.

Zelandia se sitúa en el margen suroeste de subducción de la placa Pacífica, en la zona de subducción conocida como Sistema Tonga-Kermadec, que se inició entre 55 y 25 millones de años (Sutherland *et al.*, 2017). Las placas oceánicas se reciclan a través de la tectónica de placas: en las dorsales oceánicas se crea nueva corteza oceánica, que por el calor del manto se va separando (movimientos de convección), provocando el movimiento de las placas

tectónicas. Para que el planeta no se expanda como un globo es necesario que la corteza desaparezca a un ritmo equivalente a su creación. La destrucción de la corteza oceánica se produce a lo largo de

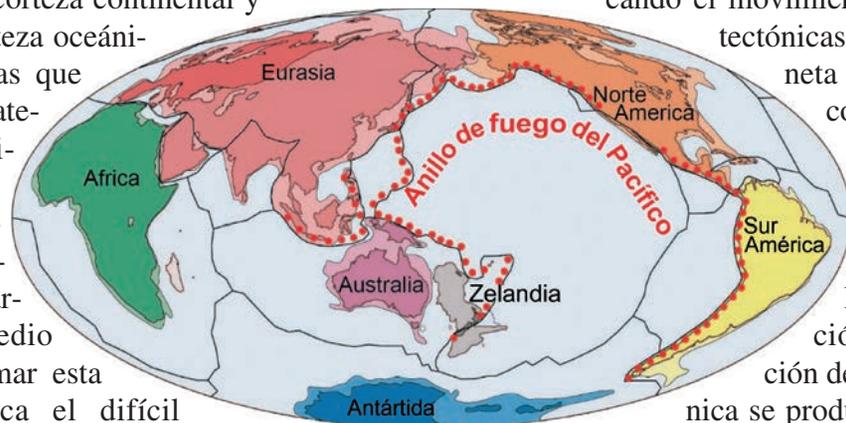


Figura 1. Mapa global de los siete continentes, modificado de Mortimer *et al.* (2017). La extensión del continente Zelandia se muestra en color gris claro, y en gris oscuro sus zonas emergidas sobre la superficie del mar, principalmente las islas de Nueva Zelanda y Nueva Caledonia. Los puntos rojos marcan las zonas de subducción que conforman el denominado «Anillo de fuego del Pacífico».



Figura 2. Fotografía de Milford Sound, en la isla sur de Nueva Zelanda. Zelandia está sumergida en su mayor parte, y únicamente afloran sobre las aguas del Pacífico sus montañas más altas, que son las islas de Nueva Caledonia y Nueva Zelanda. Fotografía de Thomas Hetzler, en Unsplash.

largas trincheras submarinas, denominadas zonas de subducción. Son planos inclinados a lo largo de los cuales la corteza desciende hasta el manto y acaba derritiéndose (Figura 3). La mayoría de las zonas de subducción se encuentran en una línea que rodea los bordes del Océano Pacífico, caracterizada por actividad volcánica y grandes terremotos y conocida como el «anillo de fuego» o el «cinturón de fuego» del Pacífico (Figura 1). A medida que los continentes se separan, el ensanchamiento del océano Atlántico está siendo contrarrestado por el estrechamiento del Pacífico a lo largo de las zonas de subducción. Al descender por la zona de subducción, la placa se derrite y el producto fundido asciende en forma de magma, generando hileras de volcanes que aparecen tierra adentro en paralelo con las zonas de subducción.

En el anillo de fuego del Pacífico existen más



Figura 3. Esquema de una zona de subducción, y creación de un arco volcánico.

de 450 volcanes, algunos extintos pero otros son de los más activos de planeta. Además, en esta zona se concentra el 90% de todos los terremotos globales. Por su importancia en temas de riesgos geológicos y en la formación de recursos naturales, el estudio de las zonas de subducción resulta prioritario. Son las conductoras de la tectónica de placas, de la dinámica del manto y de ciclos biogeoquímicos globales, que a su vez contribuyen al cambio climático. No obstante, se desconoce a ciencia cierta cómo se crea una zona de subducción (de manera inducida o espontánea), cuáles son las condiciones iniciales, cómo evolucionan las fuerzas y la cinemática, cuáles son sus consecuencias (elevación, subsidencia, formación de cuencas profundas, convergencia, extensión, vulcanismo, etc.), y en definitiva cuándo, cómo y por qué se generan y evolucionan. El registro sedimentario de Zelandia, por sus características y contenido fosilífero, es clave para responder a estas preguntas.

Los programas de perforación marina y el buque Joides Resolution

Para resolver esta y otras preguntas relativas al funcionamiento de nuestro planeta y a la evolución de la vida desde sus orígenes, se analiza el registro rocoso mediante estudios multidisciplinarios. Pero en numerosas ocasiones, las rocas o el sedimento de interés no afloran en tierra, sino que se encuentran depositados en el fondo del mar. La realización de sondeos en el océano es una tarea muy costosa y que depende en gran medida de los avances tecnológicos. Se requieren buques y sistemas de perforación especiales, siendo esencial el trabajo en equipo. Durante más de 50 años de historia se han sucedido varios programas de perforación oceánica, desde el Deep Sea Drilling Project (DSDP; 1968-1983), Ocean Drilling Program (ODP; 1983-2003) y el Integrated Ocean Drilling Program (IODP; 2003-2013) hasta el actual International Ocean Discovery Program (IODP, utilizando las mismas siglas que su predecesor), todos ellos fruto de la colaboración internacional. Los objetivos específicos de cada expedición giran en torno a los principios fundamentales de estos exitosos programas internacionales de investigación marina, que persiguen conocer la evolución y estructura de nuestro planeta, con implicaciones tan importantes como el estudio del cambio



Figura 4. El buque Joides Resolution. Fotografía de Adan Kurtz.

climático, procesos fundamentales como los movimientos de las placas tectónicas o los riesgos geológicos (vulcanismo, terremotos, etc.), la evolución de la vida sobre el planeta, o la elaboración de modelos predictivos.

El Joides Resolution (<http://joidesresolution.org/>) es uno de los mejores (y más longevos) buques con los que han contado estos programas. Fue construido en 1978 para la exploración petrolífera, y en 1985 fue reconvertido en un buque científico y dotado de completos laboratorios para el estudio de sondeos oceánicos. Ha participado en más de 160 expediciones científicas, cada una de 2 meses de duración, y ha perforado y recuperado más de 300.000 metros de sondeos.

El buque tiene 143 m de eslora y cuenta con una torre de perforación de 63 m que se sitúa sobre la «piscina», una abertura en la base del barco de 7 m de diámetro a través de la cual se van sumergiendo los tubos de perforación en el agua (Figura 5). El Joides Resolution tiene capacidad para perforar hasta 7 km de profundidad bajo el fondo marino. Todo ello, con una maquinaria a gran escala, un sistema de posicionamiento hidrodinámico con 6 potentes propulsores que permiten estabilizar el barco mientras se realizan los sondeos, y equi-

pos humanos (tripulación, sondistas, personal técnico de laboratorio y científicos) perfectamente coordinados y que trabajan en turnos de 12 horas diarias durante los dos meses de la expedición.

Los sondeos perforados en el fondo marino tienen una longitud de 9 m cada uno (Figura 5D), y al llegar al barco son cortados en secciones de 1,5 m de longitud para facilitar su manejo. Tras medir el contenido en aguas intersticiales (Figura 6A) y dejar que se expandan por la diferencia de presión entre el fondo y la superficie, los técnicos de laboratorio dividen cada sección en dos mitades longitudinales (Figura 6B), una para muestreo y otra para fotografiado (Figura 6F) y archivo permanente. La mitad de muestreo pasa a los distintos laboratorios para su estudio (Figura 6 C-E). Además de un buque de perforación, el Joides Resolution es un centro de investigación flotante, dotado de completos laboratorios (de micropaleontología, geoquímica, geomagnetismo, de descripción sedimentológica y propiedades físicas, etc.) que permiten realizar investigación de alto nivel en el mismo barco.

Una vez concluida cada expedición, los científicos siguen colaborando durante años en el estudio de las muestras obtenidas, y los sondeos son trasladados a uno de los tres repositorios (en Bremen, Alemania; College Station, en Texas,



Figura 5. A, tubos de perforación. B y E, cabezales de perforación. C, sondistas colocando los tubos verticales en la torre de perforación. D, técnicos llevando al laboratorio los sondeos obtenidos. F, la «piscina», a través de la cual se bajan los tubos de perforación al fondo marino.

EEUU; o en Kochi, Japón), donde se mantienen en condiciones óptimas y desde donde se gestionan futuras solicitudes de muestras.

La Expedición 371 del International Ocean Discovery Program

Una vez finalizaron las reclamaciones geopolíticas por el continente de Zelandia, comenzaron los trabajos de investigación y exploración a través de colaboraciones internacionales. Tras casi siete años de propuestas científicas y logísticas, en 2017 el consorcio IODP puso en marcha la Expedición 371 «Tasman Frontier Subduction Initiation and Paleogene Climate» (El inicio de la subducción en la frontera de Tasmania y el clima del Paleógeno). El principal objetivo era reconstruir los movimientos de las placas tectónicas y conocer la evolución del nuevo continente, Zelandia, y del sistema de subducción Tonga-Kermadec, además de obtener registros paleoclimáticos para analizar la respuesta de nuestro planeta a los cambios registrados en los últimos 66 millones de años. La expedición se desarrolló a bordo del *Joides Resolution*, y tuvo un coste aproximado de 13 millones de dólares para los dos meses en alta mar. En la expedición participaron un total de 124 personas, incluyendo 32 científicos de 14 países diferentes, técnicos de laboratorio, sondistas y tripulación y personal del barco (Figura 7).

El buque partió de Townsville (noreste de Australia) el 27 de julio de 2017, y tras surcar las aguas del Pacífico Suroeste perforando sondeos en seis localizaciones situadas en la cresta de Norfolk, fosa de Nueva Caledonia, promontorio de Lord Howe y llanura abisal de Tasmania (Figura 8), llegó a la isla de Tasmania (Australia)

dos meses después, el 26 de septiembre. A pesar de las dificultades técnicas y meteorológicas encontradas en el Mar de Tasmania, se recuperaron más de 2 km de sondeos submarinos (Figura 6F).

Los sondeos obtenidos durante la Expedición 371 van a cambiar por completo las ideas vigentes sobre la evolución de Zelandia. Durante la expedición se realizaron estudios preliminares de todo tipo, incluyendo el análisis de más de 8.000 microfósiles marinos. Entre ellos, los foraminíferos bentónicos, organismos marinos unicelulares que habitan en el fondo del mar



Figura 6. Laboratorios en el *Joides Resolution*. A, medición de aguas intersticiales. B, Los técnicos dividen los sondeos en dos mitades longitudinales para su muestreo y archivo. C, laboratorio de descripción sedimentológica. D, laboratorio de micropaleontología. E, medición de la polaridad magnética. F, fotografía de un sondeo, dividido en secciones de 1,5 m.

(ALEGRET, 2017), resultaron ser los más útiles para describir los cambios ambientales del pasado. Se descubrió que la geografía de Zelandia cambió radicalmente durante los últimos 55 millones de años, y se consiguió trazar sus movimientos a lo largo del tiempo. Áreas que se



Figura 7. Participantes de la expedición IODP 371, en la proa del barco.

situaban a más de 1.500 metros de profundidad emergieron casi hasta el nivel del mar, y las zonas más someras, de playa, fueron erosionadas y las arenas resultantes y los organismos que allí habitaban se hundieron hasta profundidades batiales y abisales. Muchos de los sondeos contienen registros de actividad volcánica relacionada con los movimientos de Zelandia, y parece haber una estrecha relación con la formación del Anillo de Fuego del Pacífico, la formación de recursos naturales y cambios en el clima global.

Además, algunos de los sondeos contienen evidencias de eventos de calentamiento global ocurridos en el pasado, que suponen un reto científico porque hace 50 millones de años Zelandia estaba situada cerca del Polo Sur. Los modelos actuales no son capaces de reproducir temperaturas tan elevadas tan cerca del Polo Sur. Entonces, ¿cómo serán capaces de predecir las consecuencias del actual cambio climático?. En la actualidad continúan los estudios en detalle de los sondeos recuperados durante la expedición 371. Se están analizando los eventos de calentamiento del pasado para mejorar los modelos predictivos. Y se está profundizando en uno de los procesos fundamentales de nuestro planeta, los movimientos de las placas tectónicas y la subducción, que han controlado la geografía, los riesgos geológicos, las corrientes oceánicas, la composición de la atmósfera, el clima, la evolución de la vida, las migraciones, la producción de recursos naturales, y en definitiva, el funcionamiento de la Tierra desde sus orígenes.

Agradecimientos

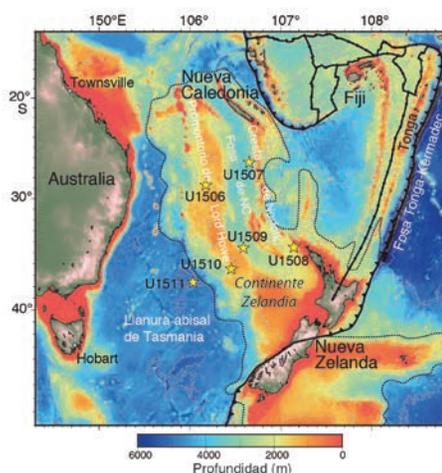


Figura 8. Localización de los sitios perforados (U1506-U1511) en el Pacífico Suroeste, marcados con estrellas. La línea de puntos señala la localización aproximada de Zelandia, según Mortimer et al. (2017). Modificado de Sutherland et al. (2019).

La autora agradece financiación del proyecto CGL2017-84693-R (Ministerio de Economía y Competitividad y fondos FEDER), y de una Beca Leonardo a Investigadores y Creadores Culturales 2017, Fundación BBVA. La Fundación no se responsabiliza de las opiniones, comentarios y contenidos incluidos en el proyecto y/o los resultados obtenidos del mismo, los cuales son total y absoluta responsabilidad de sus autores.

Referencias bibliográficas

- ALEGRET, L. 2017. Paleocología y reconstrucción paleoambiental con microfósiles. En: E. Molina, ed., *Micropaleontología* (3ª edición), Prensas Universitarias de Zaragoza, Colección Textos Docentes, n° 93, cap. 25, 523-552. ISBN: 84-7733-744-6.
- MORTIMER, N., Campbell, H.J., Tulloch, A.J., King, P.R., Stagpoole, V.M., Wood, R.A., Rattenbury, M.S., Sutherland, R., Adams, C.J., Collot, J., Seton, M. 2017. Zealandia: Earth's hidden continent. *GSA Today*, 27 (3), 27-35. <https://doi.org/10.1130/GSATG321A.1>
- SUTHERLAND, R., COLLOT, J., BACHE, F., HENRYS, S., BARKER, D., BROWNE, G.H., LAWRENCE, M.J.F., MORGANS, H.E.G., HOLLIS, C.J., CLOWES, C., MORTIMER, N., ROUILLARD, P., GURNIS, M., ETIENNE, S., STRATFORD, W. 2017. Widespread compression associated with Eocene Tonga-Kermadec subduction initiation. *Geology*, 45 (4), 355-358.
- SUTHERLAND, R., DICKENS, G.R., BLUM, P., AGNINI, C., ALEGRET, L., ASATRYAN, G., BHATTACHARYA, J., BORDENAVE, A., CHANG, L., COLLOT, J., CRAMWINCKEL, M.J., DALLANAVE, E., DRAKE, M.K., ETIENNE, S.J.G., GIORGIONI, M., GURNIS, M., HARPER, D.T., HUANG, H.-H.M., KELLER, A.L., LAM, A.R., LI, H., MATSUI, H., MORGANS, H.E.G., NEWSAM, C., PARK, Y.-H., PASCHER, K.M., PEKAR, S.F., PENMAN, D.E., SAITO, S., STRATFORD, W.R., WESTERHOLD, T., and ZHOU, X. 2019. Tasman Frontier Subduction Initiation and Paleogene Climate. *Proceedings of the International Ocean Discovery Program*, 371: College Station, TX (International Ocean Discovery Program). <https://doi.org/10.14379/iodp.proc.371.2019>