

Estudios geológicos en el margen continental argentino

Roberto A. Violante
José Luis Cavallotto
Susana Marcolini

El Margen Continental Argentino tiene un enorme potencial para estudios científicos y aplicados en el área de las geociencias marinas, por sus características geotectónicas y oceanográficas que le imprimen condiciones casi únicas entre las cuencas oceánicas del mundo. Sin embargo la investigación en geología submarina es incompleta, principalmente por las limitaciones tecnológicas sobre un territorio oceánico tan vasto. En las últimas décadas han habido avances muy significativos en su conocimiento, que abren las puertas a nuevas líneas de investigación a las cuales el país debería dedicarle importantes esfuerzos.

La Geología Marina es una rama de las geociencias que históricamente no ha sido apoyada ni desarrollada lo suficiente en la República Argentina, considerando la gran extensión del margen continental y su importancia en el contexto geodinámico, tectosedimentario y oceanográfico de las cuencas marinas del planeta. Por otra parte sus recursos naturales son potencialmente muy importantes, no solo los bien conocidos recursos pesqueros, sino también los minerales (hidrocarburos, nódulos y sulfuros polimetálicos, hidratos de gas, gas biogénico, áridos, etc.) y los energéticos (energía de mareas, olas, corrientes, térmica, etc.).



1. Buques científicos argentinos para desarrollar tareas geológicas, geofísicas y oceanográficas. Arriba: Puerto Deseado. Abajo: Austral.

El Servicio de Hidrografía Naval es la institución que le ha dedicado más esfuerzos a los estudios científicos en el mar (geológicos, geofísicos, oceanográficos, biológicos, ambientales, hidrográficos), generando a lo largo de su vasta trayectoria el conocimiento aplicado al desarrollo científico y económico marítimo del país en el marco de la “Ley Hidrográfica” (Ley 19.922) que regula su

funcionamiento. En menor medida, otros pocos grupos de especialistas en la materia de algunos institutos y universidades de áreas costeras del país han incursionado en la temática con valiosos aportes.

Dentro de las ramas de la Geología Marina, sólo la geología de las costas ha tenido un desarrollo apreciable e importante desde hace mucho tiempo. Pero el estudio de las regiones profundas u “*offshore*” (plataforma, talud y emersión continental) es incompleto y muy desperejo regionalmente, estando por el momento muy lejos de alcanzar los objetivos científicos que el país requiere. Esta realidad radica en gran parte en el desafío tecnológico y económico que implica trabajar en el mar y en un territorio tan vasto, donde se necesita de herramientas específicas, como plataformas móviles aptas para los relevamientos con muy altos costos de funcionamiento (buques científicos especialmente diseñados, Fig. 1) e instrumental que de manera directa o indirecta permita llegar al fondo oceánico atravesando cientos o miles de metros de agua (sondas batimétricas multihaz, sistemas sísmicos, perfiladores de fondo y subfondo, extractores de sedimentos superficiales y de subsuelo, entre otros).

Los autores de la presente contribución, egresados de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de La Plata, desarrollan su carrera profesional en el Servicio de Hidrografía Naval, formando parte del Equipo de Trabajo que oportunamente creara otro egresado de la misma casa de estudios, el Dr. Gerardo Parker, quien fuera uno de los pioneros de la Geología Marina moderna en el país. De esta manera, en las últimas cuatro décadas se llevaron adelante estudios e investigaciones científicas en sectores seleccionados del Margen Continental Argentino, en algunos casos en colaboración con otras instituciones nacionales y extranjeras, que comprendieron aspectos geológicos regionales, geomorfológicos, geofísicos, sedimentológicos y paleoceanográficos, algunos de ellos inéditos que permitieron cambiar ciertos conceptos previamente establecidos. De esta manera se alcanzó buena parte del conocimiento que se tiene actualmente sobre ese ámbito. Estos antecedentes



2. Esquema de un margen continental pasivo, como el que ocupa la mayor parte del territorio sumergido argentino, con sus partes componentes. A la derecha, mapa satelital de los océanos donde se marcan en rojo los márgenes continentales del mundo y se recuadra el margen argentino. Se incluye una descripción de los tipos de márgenes continentales.

se apoyaron en valiosos estudios iniciados por investigadores precedentes, cuyo aporte debe destacarse.

Se incluye en este trabajo un glosario de términos específicos de la geología marina para poder interpretar cabalmente su contenido.

¿Qué es el margen continental y cuál es su importancia para las ciencias marinas?

Los márgenes continentales son rasgos de la corteza terrestre que representan la transición entre las regiones netamente continentales y las netamente oceánicas (Fig. 2), donde los procesos propios de cada una de ellas han interactuado entre sí en épocas relativamente recientes de la historia del planeta. La importancia de los márgenes radica en que guardan los registros de hechos trascendentales de la evolución de la Tierra, como la deriva continental y la formación de los océanos, así como los grandes

cambios climáticos y oceanográficos. Entre otras características, los márgenes acumulan el 90% de los sedimentos totales producidos en la superficie terrestre, son depositarios del 25% de la producción oceánica primaria, del 90% del reservorio de carbono orgánico del mundo y del 32% de la concentración de sílice biogénica, siendo fundamentales para el ciclo biogeoquímico del carbono y de los flujos de nutrientes en los ecosistemas marinos. Asimismo son portadores de grandes recursos pesqueros, hidrocarbúricos, minerales y de energías alternativas.

Los márgenes se formaron en los bordes de las cuencas oceánicas durante los procesos de expansión de los fondos marinos asociados a la deriva continental y por lo tanto son de diferentes tipos y características según el contexto geotectónico en el cual se formaron (Fig. 2). Están constituidos por los siguientes rasgos mayores: plataforma, talud y emersión (algunos autores incluyen también las llanuras costeras, como ámbitos en las costas que representan antiguos

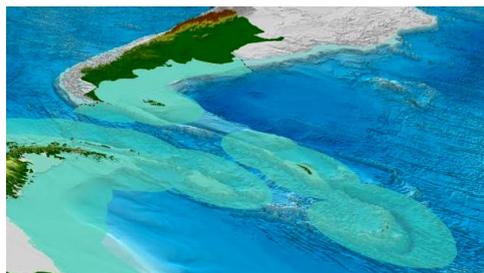
fondos marinos hoy emergidos), con geoformas subordinadas en cada uno de ellos, como terrazas, valles sumergidos, cañones submarinos, canales y otras formas construidas por distintos tipos de procesos sedimentarios. Por sus orígenes particulares, aquellos rasgos mayores tienen características muy variadas. La plataforma representa la continuación sumergida del continente adyacente y en su zona litoral ocurren los procesos que afectan a la costa, como las olas, las mareas y las corrientes costeras. Se extiende hasta profundidades entre 100 y 200 metros con muy bajas pendientes y su particularidad es que ha estado sometida a descensos y ascensos relativos del nivel del mar (regresiones y transgresiones respectivamente) asociados a las glaciaciones e interglaciaciones del Cuaternario (período geológico que comprende los últimos 2,58 millones de años). Durante las regresiones permaneció bajo condiciones continentales, mientras que durante las transgresiones (como es su situación actual) se mantiene completamente sumergida. Por su parte, el talud y la

emersión, que se extienden más allá de la plataforma excediendo los 4000 metros de profundidad, con pendientes más abruptas el primero y suaves la segunda, nunca han estado expuestos a condiciones subaéreas y se mantuvieron permanentemente bajo la influencia de aguas oceánicas. A pesar de ello, su sustrato geológico es de la misma composición que el subsuelo continental y además poseen una cobertura de sedimentos terrígenos provenientes del continente adyacente, los que fueron transportados hacia las profundidades primeramente por acción eólica, fluvial y glacial hasta la costa y la plataforma, y posteriormente redistribuidos en el lecho marino por acción de corrientes marinas profundas, decantación de partículas en suspensión y procesos gravitacionales en las áreas de mayores pendientes.

Los márgenes continentales guardan en su registro sedimentario y fosilífero las evidencias de los cambios geológicos, oceanográficos y climáticos ocurridos en el pasado, es decir modificaciones en la configuración de las cuencas oceánicas, en la circulación de las corrientes marinas y en los cambios de las propiedades físicas de las masas de agua, como temperatura, salinidad, densidad, contenido de oxígeno y nutrientes. De esta manera, los sedimentos del fondo marino son potenciales proveedores de información de gran valor, no solamente sobre aspectos puramente geológicos de los océanos sino también paleoceanográficos y paleoclimáticos, ya que el conocimiento de cómo se modificaron las corrientes marinas y las propiedades del agua a lo largo del tiempo permite comprender los cambios climáticos que los provocaron.

El Margen Continental Argentino

Este margen (de aquí en más identificado como MCA) es uno de los más extensos y complejos del mundo (Fig. 3), por su ubicación en una de las regiones más dinámicas del planeta en función de sus características geológicas y oceanográficas. Esa complejidad dio origen a cuatro



3. Imagen 3D del Margen Continental Argentino. Tomada de la página web de la Comisión Nacional del Límite Exterior de la Plataforma Continental: <http://www.plataformaargentina.gov.ar/es/plataforma-continental-3d>

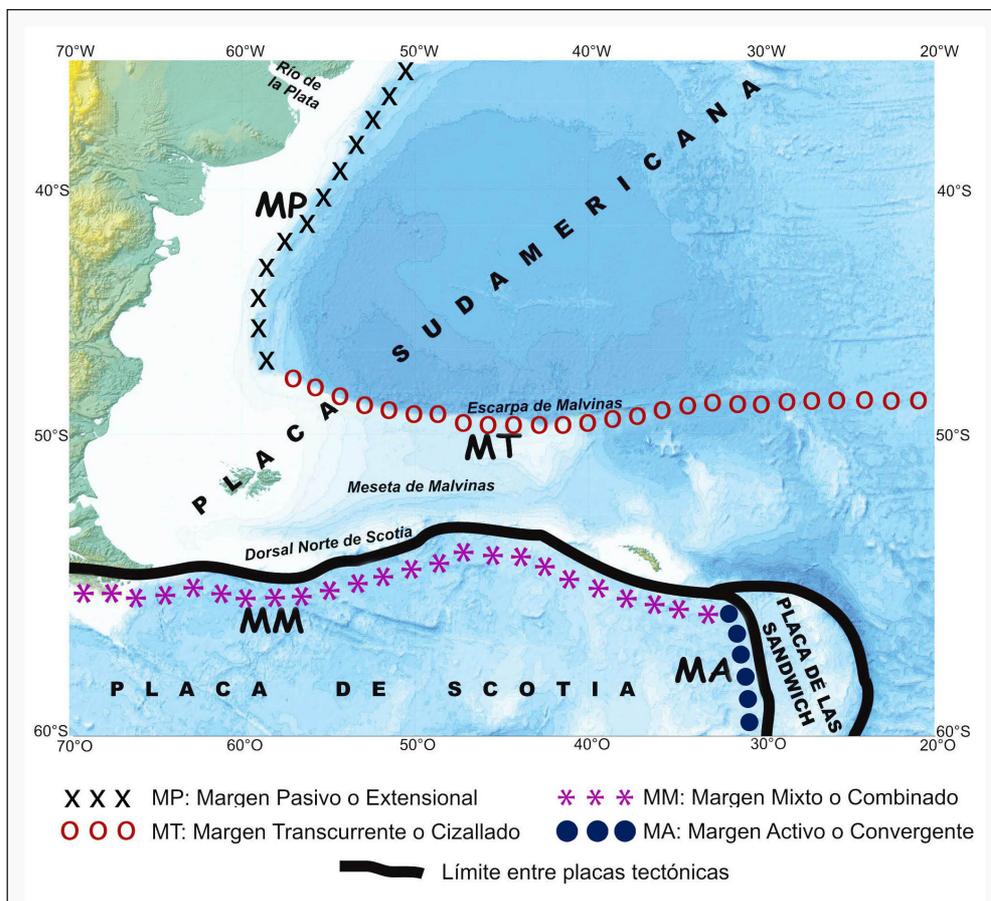
el talud y la emersión continental (Fig. 5), todos ellos sumamente extensos y complejos por su configuración y procesos dinámicos (sedimentarios-oceanográficos) actuantes.

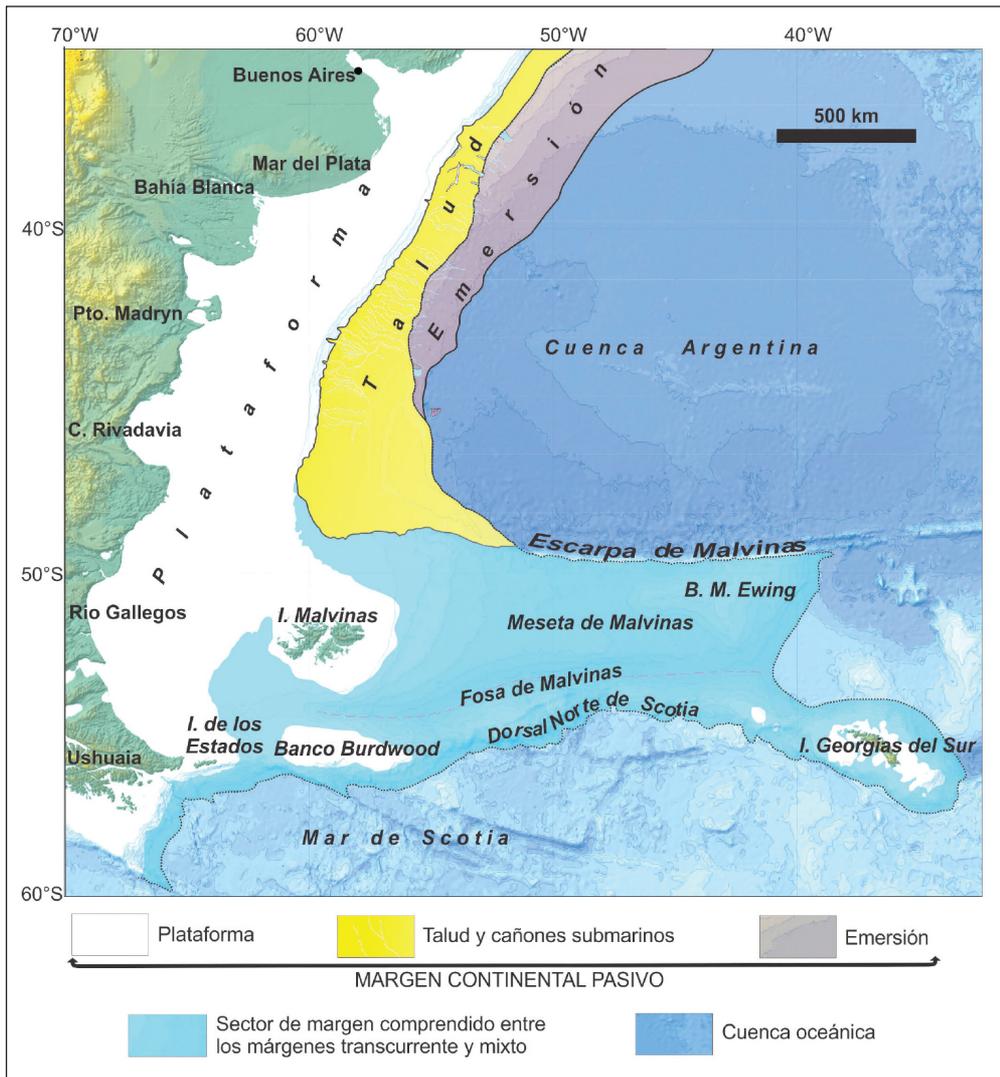
La Plataforma y sus evidencias de exposición subaérea

La plataforma argentina tiene casi 1 millón de km² de superficie y se extiende a lo largo de unos 2500 km en sentido norte-sur, con anchos de hasta varias centenas de kilómetros. Su principal característica geológica es que fue afectada por sucesivas inundaciones y exposiciones subaéreas como consecuencia de las variaciones del nivel del mar en el Cuaternario. De esta manera, su superficie y subsuelo contienen variados registros sedimentarios de esos procesos. En el subsuelo (hasta varias decenas de metros por debajo del lecho marino) hay evidencias muy antiguas (de hasta cerca de 2 millones

tipos de márgenes en diferentes regiones (Fig. 4): a) un margen pasivo o extensional desde el Río de la Plata hasta 48-49° Lat. S; b) un margen transcurrente o cizallado a lo largo de la Escarpa de Malvinas, la cual limita por el norte a la Meseta de Malvinas; c) un margen activo en el frente oriental del Arco de Scotia (Islas Sandwich del Sur); y d) un margen mixto o combinado (activo + transcurrente) en las Dorsales Norte y Sur del Arco de Scotia. Los rasgos de orden menor de esos márgenes son la plataforma,

4. Tipos de márgenes que conforman el Margen Continental Argentino.



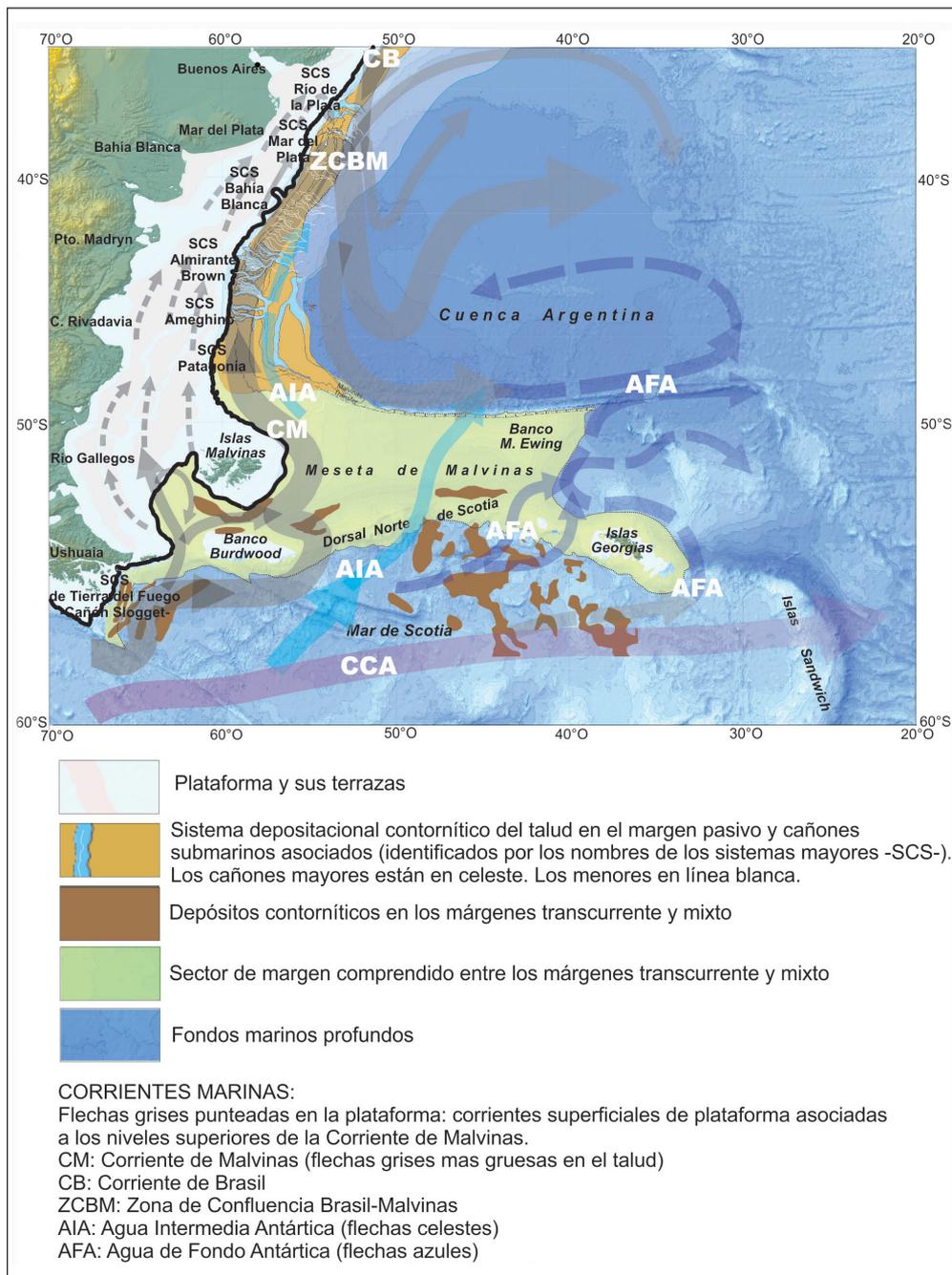


5. Rasgos morfo-sedimentarios mayores del Margen Continental Argentino.

de años) que revelan la formación de primitivas playas y otros ambientes litorales. Pero los registros mejor documentados son aquellos relacionados a los procesos ocurridos durante el último ascenso del nivel del mar (post-glacial) ocurrido a partir de los 20.000 años antes del presente, el cual llevó al modelado final de la plataforma dejando una morfología de terrazas marinas (Fig. 6) con numerosas evidencias de la exposición subaérea (previa a su inundación final) representada por sedimentos continentales, antiguas playas, médanos, lagunas costeras y marismas, así como relictos de paleovalles fluviales y paleosuelos (Fig. 7a).

El talud y la emersión: la dinámica en el fondo oceánico

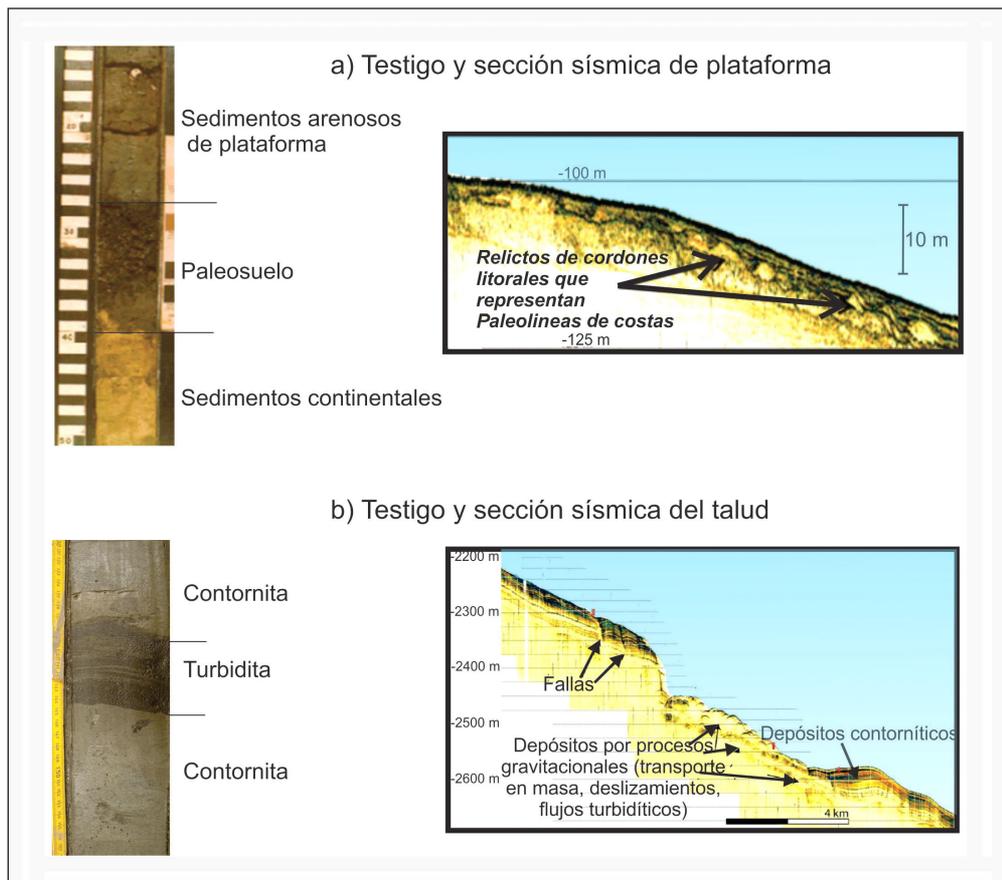
El talud y la emersión son ámbitos formados exclusivamente bajo el océano, aunque como se mencionó previamente, con una fuerte influencia continental, por estar desarrollados sobre corteza continental y tapizados por sedimentos mayoritariamente provenientes del continente. Allí ocurren tres procesos sedimentarios principales: a) pelágicos, que consisten en la decantación y acumulación en el fondo oceánico, por caída vertical dentro de la masa de agua, de partículas sedimentarias en suspensión, materiales biogénicos (generalmente caparzones de microorganismos marinos como foraminíferos, ostrácodos, radiolarios, diatomeas y otros) y componentes químicos, b) gravitacionales, que transportan sedimentos



6. Detalle de los rasgos morfo-sedimentarios y características oceanográficas del Margen Continental Argentino.

sobre el lecho marino en forma transversal a las pendientes exclusivamente por acción de la gravedad, desde el borde de la plataforma hacia las profundidades, tanto por transporte en masa, deslizamientos y derrumbes en las zonas de mayores gradientes, como por flujos densos (denominados “turbidíticos”) encauzados en cañones submarinos, cuyos depósitos sedimentarios se denominan turbiditas (Fig. 7b), las cuales suelen conformar abanicos en la base del talud y en la

emersión; c) acción de corrientes marinas profundas, que siguen el contorno del talud y la emersión a variadas profundidades (Fig. 6), removilizando sedimentos del fondo oceánico, transportándolos por grandes distancias y finalmente depositándolos en acumulaciones longitudinales que constituyen depósitos “contorníticos” o contornitas (Fig. 7b). La alta dinámica oceánica-sedimentaria del MCA se manifiesta por la presencia en el talud y emersión de uno de los sistemas



7. Ejemplos de registros sísmicos y testigos del Margen Continental Argentino. a) Plataforma. b) Talud.

contorníticos más grandes del planeta, el cual intercala grandes depósitos turbidíticos. Los sedimentos pelágicos no forman acumulaciones sedimentarias significativas. Los sistemas contorníticos en el sector de margen pasivo forman extensas “terrazas” a diferentes profundidades, formadas en los niveles donde las corrientes de fondo son más energéticas (Fig. 6). En el sector de margen transcurrente y mixto, en cambio (Meseta de Malvinas y Arco de Scotia), los depósitos contorníticos son discontinuos y de tamaños reducidos, no por una menor influencia de las corrientes de fondo sino por desarrollarse en sectores localizados dentro de fosas y canales.

Los cañones submarinos son rasgos muy importantes del MCA (Figs. 5 y 6). Se mencionan más de 70 de ellos conformando diferentes sistemas de distinta magnitud, existiendo sectores con grandes cañones como los pertenecientes a los sistemas denominados Río de la Plata, Mar del Plata, Ameghino y Almirante Brown -en el caso de los dos últimos constituyendo redes complejas

con canales principales y tributarios- y otros sectores con numerosos cañones individuales, más pequeños y muy cercanos entre sí, como es el caso de los sistemas Bahía Blanca, Patagonia y Tierra del Fuego. De acuerdo a los estudios actuales se infiere que la gran mayoría de los cañones se han formado por procesos de erosión retrocedente, es decir derrumbes de laderas y deslizamientos en sus zonas basales -talud medio e inferior- que una vez iniciados progresan pendiente arriba mediante sucesivos derrumbes. Por su parte, sólo se conoce por el momento un solo caso de un cañón submarino posiblemente originado por la acción indirecta de antiguos ríos que surcaban la plataforma durante épocas de bajo nivel del mar, siendo este el Cañón Sloggett en el margen de Tierra del Fuego. Es muy común que muchos cañones submarinos evidencien interacciones entre procesos gravitacionales y contorníticos que generan depósitos sedimentarios mixtos sumamente complejos.

Qué importancia y aplicaciones tienen los estudios del margen continental

Los sedimentos del fondo oceánico ofrecen las herramientas para realizar reconstrucciones paleoceanográficas, las cuales permiten determinar cómo han variado los procesos oceánicos a través del tiempo así como su implicancia paleoclimática y paleoambiental. Esas reconstrucciones se basan en el estudio de diversos indicadores (*proxies*), como las texturas y estructuras sedimentarias, contenido microfaunístico, propiedades geoquímicas e isotópicas. Ellos aportan información sobre las condiciones ambientales al momento de la depositación de los sedimentos. La magnitud de los depósitos sedimentarios del MCA -como consecuencia de la alta dinámica asociada a su ubicación en el contexto oceanográfico del Océano Atlántico sur- hace que su potencial para tales reconstrucciones sea sumamente importante. Por ejemplo, en base a estos *proxies* se pudo documentar la manera en que las corrientes oceánicas de

origen antártico actúan sobre la dinámica sedimentaria en el talud, y cómo la Zona de Confluencia Brasil-Malvinas ha migrado al norte y al sur de su posición actual en respuesta a la alternancia de glaciaciones e interglaciaciones del Cuaternario.

Respecto a los recursos naturales del MCA, se conoce que contiene grandes cuencas hidrocarburíferas, acumulaciones de áridos (arenas, gravas) y minerales meta-líferos. Por otra parte hay potenciales recursos energéticos alternativos condicionados por las características de sus olas, mareas y corrientes marinas, existiendo ya algunos proyectos para el futuro aprovechamiento.

Consideraciones finales

El MCA, por sus características geológicas, oceanográficas y climáticas, constituye uno de los ámbitos marinos más importantes del planeta, con un alto potencial científico de trascendencia internacional y una gran cantidad de recursos que el país debería estar en condiciones de evaluar y explotar en épocas venideras. Sin embargo, ese extenso ámbito está aún en etapas iniciales de estudios específicos, y más aun considerando el incremento en su extensión tras la reciente (2016-2017) aprobación de la propuesta argentina de ampliación de su territorio sumergido en el marco de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar. Sin duda, su estudio debe ser encarado de manera multi e interdisciplinaria por diversas ramas dentro de las geociencias. La también reciente (2014) puesta en marcha de la Iniciativa Nacional Pampa Azul (ver cuadro adjunto) ofrece el marco necesario para que las instituciones con experiencia en aquellas actividades empiecen a interactuar apuntando a objetivos estratégicos que se lleven adelante en forma ordenada, sistemática y sostenida en el tiempo, con los recursos económicos, humanos y técnicos adecuados. Las universidades -particularmente aquellas localizadas en regiones costeras con más fácil acceso al mar-, deben tener un rol protagónico en ese contexto, formando recursos humanos especializados, tanto investigadores como

Pampa Azul

Pampa Azul es una iniciativa estratégica de investigaciones científicas en el Mar Argentino llevada adelante desde 2014 por la actual Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, con la participación de numerosos Ministerios y Secretarías de Estado, así como de diversas Instituciones científico-técnicas y Universidades. El objetivo es llevar adelante actividades de exploración en el mar (que incluye investigación pesquera, geológica-geofísica, ambiente, biodiversidad y cambio climático) aplicado a la búsqueda y conservación de sus recursos, desarrollar innovación tecnológica para los sectores productivos vinculados al mar, y hacer tareas de divulgación científica. Las actividades de Pampa Azul se sustentan en la Ley PROMAR (Ley 27167) aprobada por el Congreso de la Nación en 2015.

técnicos y profesionales de apoyo. El conocimiento de las ciencias marinas de base y particularmente de la geología marina es una deuda aún pendiente en el país, el cual no puede darse el lujo de dejar de estudiar su enorme y altamente productivo espacio marítimo incluido su suelo y subsuelo, en un contexto internacional que plantea la progresiva escasez de los recursos energéticos terrestres y la necesidad que tendrá el planeta de recurrir, en un futuro cercano, a sus recursos marinos. ◆

Glosario de términos específicos incluidos en el texto

Cañón submarino: valle profundo en el fondo marino que atraviesa normalmente en forma transversal a las pendientes del talud y emergencia continental, que puede estar conectado o no a la plataforma adyacente. Constituye una importante vía de transferencia de sedimentos y nutrientes desde las zonas marinas someras a las profundidades oceánicas.

Contornita: depósito sedimentario en los fondos marinos genéticamente asociado a la acción de corrientes de fondo.

Deriva continental: es el desplazamiento de las masas continentales como consecuencia de la dinámica interna de la Tierra (tectónica de placas).

Ecosonda multihaz: sistema sonar que funciona con múltiples haces acústicos, que permite obtener imágenes de alta resolución del relieve oceánico.

Glaciación e interglaciación: períodos de la historia de la Tierra en los cuales, por factores climáticos cambiantes, cuando descienden las temperaturas globales se desarrollan grandes glaciares (glaciación) a expensas del agua oceánica evaporada de la cuenca marina, provocando un descenso del nivel del mar, y viceversa, cuando los glaciares se derriten durante los períodos cálidos (interglaciación) el agua vuelve al océano a través de los ríos y el nivel del mar asciende.

Paleoceanografía: rama de la ciencia que estudia cómo evolucionaron las cuencas oceánicas, así como las condiciones oceanográficas del pasado (variaciones en la circulación de las corrientes marinas, en las características físicas, químicas y biogeoquímicas del agua de mar, y en los procesos sedimentarios), en base al estudio de los registros sedimentarios y faunísticos preservados en los fondos marinos.

Perfilador de fondo: instrumental para relevamiento del fondo oceánico, que mediante la emisión de ondas acústicas enviadas desde un buque permite obtener imágenes de la topografía (batimetría) y características estructurales y sedimentarias de la superficie y subsuelo poco profundo.

Producción primaria: se refiere a la producción de materia orgánica que realizan los organismos marinos a través de la fotosíntesis o quimiosíntesis. La producción primaria es el punto de partida de las cadenas tróficas.

Sistema sísmico: instrumental para relevamiento del fondo oceánico, que mediante la emisión de ondas acústicas permite obtener imágenes de la estructura y disposición de las capas que componen el subsuelo.

Terrazas: superficies subhorizontales que interrumpen, a diferentes profundidades, los fondos oceánicos más inclinados, como en la plataforma y el talud. Ellas se forman por variados procesos sedimentarios de acumulación y erosión relacionados a diferentes factores según el ambiente, como las transgresiones marinas en la plataforma y los procesos contorníticos en el talud.

Transporte en masa: término genérico que identifica diversos procesos de movilización por acción de la gravedad de sedimentos acumulados en zonas de altas pendientes del fondo oceánico. Incluye reptación de suelos, derrumbes, deslizamientos, flujos de detritos y flujos de alta densidad.

Turbidita: depósito formado por una corriente de turbidez, que es un tipo de flujo denso de agua y sedimentos que se desplaza por acción de la gravedad sobre las pendientes, en muchos casos en los valles de cañones submarinos.

Roberto A. Violante. Servicio de Hidrografía Naval.

José Luis Cavallotto. Servicio de Hidrografía Naval

Susana Marcolini. Servicio de Hidrografía Naval