

LOS CAÑONES SUBMARINOS DEL MARGEN CONTINENTAL ARGENTINO: UNA SÍNTESIS SOBRE SU GÉNESIS Y DINÁMICA SEDIMENTARIA

Graziella Bozzano ^{1,3}, Jacobo Martín ^{2,3}, Daniela V. Spoltore ¹, Roberto A. Violante ¹

¹ Servicio de Hidrografía Naval. Montes de Oca 2124, C1270ABV Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

gbozzano@hidro.gov.ar, spoltoredaniela@yahoo.com.ar, violante@hidro.gov.ar

² Centro Austral de Investigaciones Científicas Argentina, CADIC-CONICET. Bernardo A. Houssay 200,

V9410CAB Ushuaia, Argentina. jmartin@cadic-conicet.gob.ar

³ CONICET.

ARTICLE INFO

Article history

Received April 6, 2017

Accepted October 29, 2017

Available online October 31, 2017

Invited Editor

Michel Mahiques

Handling Editor

Diana Cuadrado

Keywords

Margen Continental Argentino

Cañones Submarinos

Síntesis

Atlántico SO

RESUMEN

Los cañones submarinos son los mayores rasgos erosivos de los márgenes continentales tanto activos como pasivos. Desde los albores del siglo XX, representan un fructífero tema de debate e investigación por su gran relevancia como agentes de transferencia de sedimento y materia orgánica de continente a océano, por ser lugar de surgencia de aguas profundas, elevada producción primaria y riqueza en biodiversidad, y por ser potenciales factores de riesgo en las rupturas de infraestructuras submarinas. El presente trabajo comprende una revisión de las principales teorías de formación y evolución de los cañones submarinos así como de los procesos de interacción entre dinámica oceanográfica, flujos sedimentarios y morfologías asociadas a los cañones. El objetivo es presentar una síntesis del estado del conocimiento sobre los cañones del Margen Continental Argentino (MCA), discutir su formación y evolución en el marco de los modelos genéticos más aceptados en la actualidad así como proponer una hipótesis de trabajo vinculada a la dinámica sedimentaria del Cañón Mar del Plata (MdP), el más estudiado del margen. Este cañón, como la mayoría de los del MCA, por un lado se desarrolla exclusivamente en el talud (cañón ciego) y por el otro interrumpe un gran sistema depositacional contornítico relacionado con la circulación oceanográfica regional. De aquí que su génesis en principio se explicaría por el modelo de erosión retrogradante a partir de fenómenos de inestabilidad del talud, pero además podría funcionar como trampa de sedimento captando el material transportado por el Agua Antártica Intermedia a lo largo del talud medio. Se propone que en la Terraza Ewing, donde el cañón tiene su cabecera, podrían generarse corrientes turbidíticas que afectarían a la evolución y dinámica del cañón. Estas corrientes se encauzarían cañón abajo contribuyendo a profundizar su valle y a conformar su trazado en parte sinuoso. En los sistemas de cañones Patagonia otros factores podrían activar la génesis de los cañones submarinos. Se ha sugerido la posibilidad que irregularidades morfológicas provocadas por la acción erosiva de las corrientes contorníticas sobre el fondo puedan dar origen a los cañones de esta zona. Este mecanismo podría no limitarse exclusivamente al sistema Patagonia sino aplicarse a los demás sistemas de cañones argentinos ya que el MCA está intersectado por intensas corrientes de contorno que operan a diferentes profundidades.

EXTENDED ABSTRACT

The submarine canyons of the Argentine Continental Margin: a review of their formation and sedimentary dynamics

Submarine canyons are the most outstanding geomorphologic features of continental margins. They play a fundamental role in transferring sediment and organic matter from shallow to deep waters. Also, they influence oceanographic and sedimentary processes, interact with productivity and benthic ecosystems, and pose a serious threat to seafloor infrastructures. Submarine canyons have been described as steep-walled, sinuous valleys with V-shaped cross sections, axes sloping outward as continuously as river-cut land canyons and relief comparable to even the largest of land canyons. The understanding of the origin and evolution of submarine canyons has been matter of intense debate since the first geologists observed them characterizing both passive and active margins. Canyons have been interpreted as (1) the off-shore prolongation of river systems that during low sea-level stages migrated seaward; (2) the product of the erosion caused by gravity dense flows- called turbidity currents- produced at the shelf-slope transition; (3) the deepening of pre-existing tectonic structures (e.g. faults) and (4) the result of slope instability combined with headward erosion. The first model only explains the genesis of the breaching-shelf canyons that connect with river systems, but does not resolve the formation of those that are unrelated to fluvial input. Turbidity currents take place at the shelf break when sufficient amount of sediment is injected into the water column by (re) suspension, resulting in a flow with higher density than the surrounding waters. These high-density flows, moving down-slope under the effect of gravity, cut the valleys that finally evolve into submarine canyons. Turbidity currents, though effective agents of erosion, do not account for the formation of slope-confined canyons. From the other side, tectonic control can apply for limited examples of canyons, which are located in specific geological contexts. Continental slopes often show scars that are left behind by instability events. Mass wasting processes may arise from fluid escape, sediment over pressure and steepening or be triggered by seismic shocks. These initial scars would evolve into rills and then

into valleys by a process that combines localized slope failures, sediment funneling and headward erosion. According to this genetic model, slope-confined and shelf-breaching canyons are, respectively, the early and mature stages in the evolution of canyons, which starts with a pre-canyon rill that advances upslope by retrogressive failure and ends with the canyon cutting the shelf break.

The objective of this contribution is to review the knowledge on the submarine canyons from the Argentine Continental Margin and to suggest a working hypothesis concerning the sedimentary dynamics of the Mar del Plata Canyon, by far the best known canyon of this margin. Four main systems have been described: La Plata River, Colorado-Negro (or Bahía Blanca), Ameghino (or Chubut) and Patagonia (or Deseado). Mar del Plata Canyon, belonging to the first of these systems, cuts the slope between ~1000 m (Ewing Terrace, middle slope) and ~3900 m (lower slope-continental rise transition) as a deep valley with steep walls. In its proximal sector, between 1100 and 3000 m, it shows a sinuous path whereas the thalweg is mostly linear between 3000 and 3900 m. Seismic profiles, obtained during the Meteor research cruise M78/3a, demonstrate no evidences of incisions that could suggest past fluvial connections with the canyon head. For this reason, the origin of this canyon has been explained as an example of headward erosion. During the Holocene, the sedimentation rate inside the canyon is much higher than outside. This occurs because the large amount of sediment mobilized by bottom currents along the Ewing Terrace is intercepted by the canyon. In contrast, during the Late Glacial and deglaciation phase, turbidite accumulation has been attributed to slope instability of the drift deposits at the southern flank of the canyon. In this study, we put forward the following working hypothesis: the canyon most probably generated from slope instability and retrogressive erosion. However, when the valley moved upslope and etched the Ewing Terrace (middle slope), turbidity currents might have been produced at this water depth (1000-1200 meters) by the peculiar oceanographic dynamics driven by the interaction between bottom currents and seafloor. If confirmed by future investigations, this hypothesis would account both for the turbidite deposition and the sinuous path of the canyon in its proximal sector, which is more typical, although not exclusive, for canyons routed by turbidity

currents. The detailed morphological investigations, performed in the Patagonia Canyons system by a Spanish research group in 2011, add a stimulating source of discussion about canyon formation in the Argentine Margin. These authors have proposed that topographic irregularities shaped by scars resulting from the sea-floor erosion under strong contour currents and the step separating terraces located at different water depths, might be the precursors for a pre-canyon incision. This hypothesis, of great relevance in a continental margin where down-slope and along-slope sedimentary processes often coexist and interact, probably apply not only to the Patagonia but also to the other, less investigated, canyons systems of the Argentine Margin.

Keywords: Argentine Continental Margin, Submarine Canyons, Review, SW Atlantic.

INTRODUCCIÓN

Los cañones submarinos tienen gran relevancia dentro del estudio de los márgenes continentales por su amplísima distribución global y su importancia en la transferencia de sedimento continente-oceano (Heezen *et al.*, 1964; Shepard y Dill, 1966; Piper, 2005; Harris y Whiteway, 2011; Puig *et al.*, 2014). Se los define como valles de diseños rectilíneos a sinuosos, a veces meandriformes, con una enorme diversidad en su morfología y longitud total: desde discretos cañones, que apenas inciden el talud, hasta cañones de cientos de kilómetros profundamente entallados en los taludes continentales y cuyas cabeceras se extienden virtualmente hasta la línea de costa. En parte de su recorrido pueden mostrar paredes con elevadas pendientes así como terrazas. Los ejes principales están dirigidos pendiente abajo y a menudo son alimentados por tributarios laterales que pueden desarrollar redes de drenaje dendríticas análogas a las de las cuencas fluviales. Los cañones submarinos de mayor porte muestran un relieve comparable a los mayores cañones conocidos en el continente (Shepard, 1963; Shepard y Dill, 1966).

Hoy en día los cañones submarinos constituyen un fértil campo de investigación y discusión en todo el mundo. Es ampliamente reconocido que juegan un papel fundamental en la transferencia de sedimento y materia orgánica desde aguas someras a zonas profundas, al acortar las distancias desde las principales fuentes de sedimento (sistemas flu-

viales) hasta las grandes profundidades, y por interceptar las corrientes longitudinales que redistribuyen sedimentos a lo largo de los márgenes continentales. Pueden por ello funcionar tanto como conductos para el transporte *off-shore* como depocentros de materia particulada orgánica y total (Gardner, 1989; Hickey, 1995; Masson *et al.*, 2010). Los cañones submarinos, al interactuar con las corrientes marinas regionales modifican el recorrido de éstas y bajo ciertas circunstancias pueden inducir surgencias de agua profunda que fertilizan el océano superficial con nutrientes necesarios para el desarrollo de los productores primarios. Esto, unido a la concentración de materia orgánica que ocurre en sus ejes y a la heterogeneidad espacial que ofrecen sus complejas morfologías, hace que los cañones hayan sido considerados *hotspots* de abundancia y diversidad biológica y, más en general, proveedores de importantes servicios ecosistémicos (Fernandez-Arcaya *et al.*, 2017).

Los primeros trabajos relacionados con los cañones submarinos y las corrientes de turbidez se remontan a los inicios del siglo XX. Después de la Segunda Guerra Mundial, los cañones empezaron a ser objeto de investigaciones detalladas. El estudio de la morfología del fondo y el hallazgo de niveles arenosos encontrados a grandes profundidades, y con fauna perteneciente a ambientes someros, demostraron la importancia de los cañones y de las corrientes turbidíticas canalizadas por ellos como agentes de transporte de material grueso hacia las emersiones continentales, lugares hasta entonces considerados de acumulación de sedimento fino exclusivamente (Ericson *et al.*, 1951; 1952; Heezen y Ewing, 1952; Heezen *et al.*, 1954). Sin embargo, los geólogos de aquella época se encontraron con el gran desafío de explicar el origen de los cañones submarinos, rasgos erosivos que parecían caracterizar a todos los márgenes continentales del planeta, tanto activos como pasivos, de los cuales algunos se encontraban incidiendo la plataforma y otros quedaban restringidos al ámbito del talud; era pues necesario formular un modelo de génesis válido para todos y cada uno de los cañones examinados. Hoy, la clasificación a nivel global de los grandes cañones submarinos se basa en las interpretaciones de los datos batimétricos ETOPO1 (Harris y Whiteway, 2011; Harris *et al.*, 2014) que permitieron distinguir tres tipos de cañones (Fig. 1): aquellos que inciden la plataforma y tienen una clara

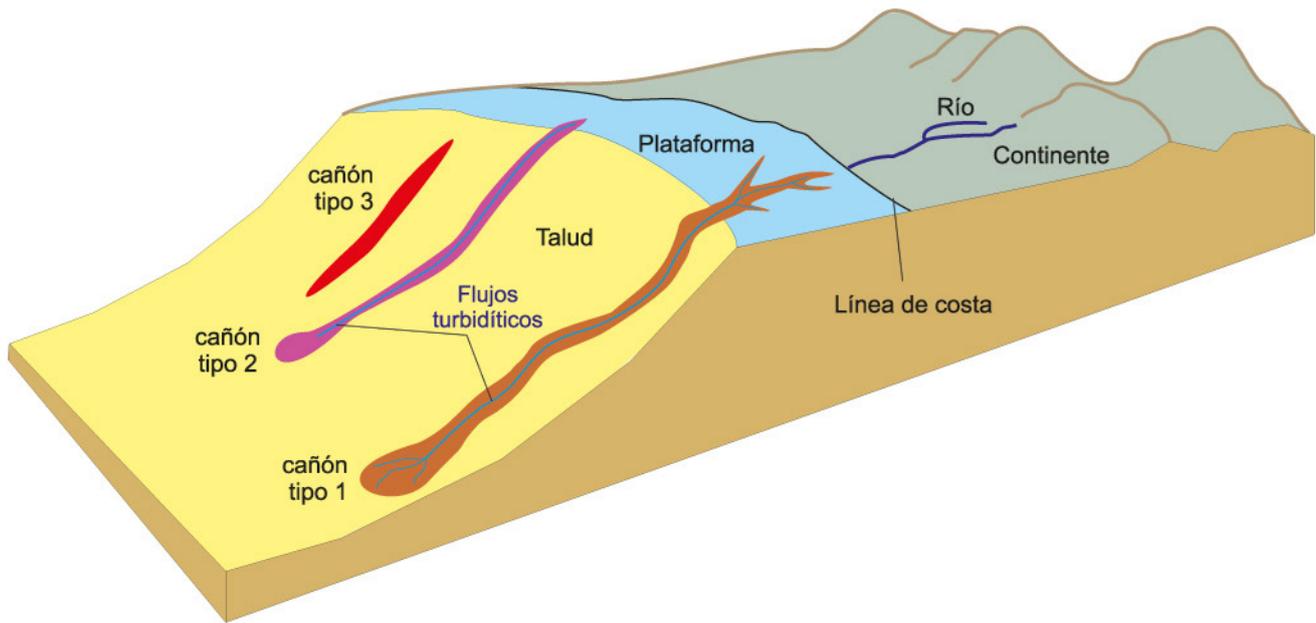


Figura 1. Clasificación de los cañones según Harris y Whiteway (2011). Tipo 1: inciden la plataforma y tienen conexión directa entre sistema fluvial y cabecera; Tipo 2: inciden la plataforma pero no están vinculados a sistemas fluviales; Tipo 3: exclusivos de talud (cañones ciegos). Los cañones del tipo 1 y 2 están recorridos por flujos turbidíticos y son más activos en épocas de bajo nivel del mar. Los cañones del tipo 3 evolucionan por erosión retrogradante y pueden convertirse, en su etapa madura, en cañones del tipo 2.

Figure 1. Classification of submarine canyons according to Harris and Whiteway (2011). Type 1: the canyons breach the shelf with a direct connection with fluvial systems; Type 2: the canyons incise the shelf with no direct connection with fluvial systems; Type 3: the canyons are limited to the continental slope (blind canyons). Canyons of type 1 and 2 are routed by turbiditic flows and are more active during low sea-level stages. Canyons of type 3 evolve according to the headward erosion genetic model and, in its mature phase, they can convert into canyons of type 2.

conexión con un sistema fluvial (tipo 1); los que aun incidiendo la plataforma no pueden ser asociados a un sistema fluvial (tipo 2); y los que se desarrollan exclusivamente en talud, llamados cañones ciegos (tipo 3).

Este trabajo pretende encuadrar los cañones del margen argentino en el marco de las teorías de formación y evolución de estos rasgos de la morfología submarina. Para ello, primero se hará una síntesis sobre el conocimiento general de los sistemas de cañones submarinos en el mundo, y seguidamente se revisará el conocimiento actual de los cañones del margen argentino. Los objetivos de esta contribución son (1) realizar una síntesis sobre el actual estado del conocimiento de los cañones del MCA; (2) explicar la formación de algunos de los cañones argentinos en conformidad con los principales modelos genéticos hoy en día aceptados por la comunidad científica; (3) proponer una hipótesis de trabajo sobre la relación entre procesos contorníticos y turbidíticos en el talud

y su implicancia en la evolución sedimentaria del Cañón Mar del Plata; y (4) plantear la interrelación entre morfología del fondo, procesos oceanográficos y sedimentarios como factor determinante en la formación y evolución de los sistemas de cañones de todo el MCA.

GÉNESIS Y EVOLUCIÓN DE LOS CAÑONES SUBMARINOS

Las primeras teorías sobre el origen de los cañones incluían: (1) la erosión subaérea de antiguos valles fluviales o glaciales que en la actualidad se encuentran sumergidos por el aumento del nivel de mar (Spencer, 1903; Shepard, 1933; Stetson, 1936); (2) la erosión operada por corrientes de turbidez (Daly, 1936); (3) los procesos erosivos sobre estructuras falladas preexistentes (control estructural) (Kenyon *et al.*, 1978); (4) la erosión retrogradante desde sectores afectados por deslizamientos localizados

(Twichell y Roberts, 1982; Farre *et al.*, 1983).

La similitud morfológica entre muchos cañones submarinos y los sistemas fluviales terrestres llevaron en un primer momento a explicar los cañones como la continuación en el medio marino de sistemas fluviales o valles glaciares que durante el Pleistoceno surcaron la plataforma y que en la actualidad se encuentran sumergidos por el aumento del nivel del mar (Spencer 1903; Stetson, 1936). La teoría de la erosión subaérea como mecanismo de formación de los cañones submarinos (Shepard, 1933; Shepard y Dill, 1966) fue abandonada cuando los levantamientos batimétricos de los taludes y emersiones continentales mostraron la existencia de valles submarinos a grandes profundidades, donde la erosión subaérea resultaba un factor poco creíble por implicar improbables mecanismos de subsidencia o desmesurados descensos del nivel del mar. Lo cierto es que en épocas de bajo nivel del mar las plataformas quedaron expuestas y los sistemas fluviales migraron hacia el límite con el talud, incidiendo canales y depositando en las plataformas material terrígeno arenoso-gravoso y conchillas. Durante la fase de aumento del nivel del mar, los canales de la plataforma quedaron sumergidos y rellenados, y el sedimento que había sido depositado por los ríos quedó bajo la influencia del oleaje y de las corrientes de deriva que lo fueron retrabajando (Swift *et al.*, 1980). La removilización de este material en la cercanía de las cabeceras de los cañones (aquellos que inciden el borde de plataforma) tuvo un rol decisivo en la formación de corrientes turbidíticas (Twichell *et al.*, 1977). Bajo este concepto, los cañones serían más activos durante épocas de bajo nivel del mar, cuando sus cabeceras se encontraban más cercanas a las áreas de aporte sedimentario, y quedarían inactivos durante las épocas de alto nivel del mar (Middleton y Hampton, 1973). Este modelo podría explicar la formación de cañones conectados con sistemas fluviales o también llamados cañones costeros (Hickey, 1995), ya que inciden la plataforma y en algunos casos llegan hasta la costa; pero quedaba por esclarecer la presencia de cañones en áreas sin importantes aportes fluviales y/o exclusivos de ámbito de talud (cañones submarinos “ciegos”).

Otro interrogante por resolver era el papel de las corrientes turbidíticas iniciadas en el borde de plataforma, en relación a la erosión y excavación de los valles submarinos. Daly (1936) intuyó por primera vez que las corrientes de turbidez o turbidí-

ticas podrían ser los agentes que inciden los cañones submarinos en los márgenes continentales y más tarde se comprobó que efectivamente estos flujos tienen gran poder de erosión y depositación (Heezen y Ewing, 1952). Las corrientes turbidíticas consisten en flujos inducidos por la acción de la gravedad sobre una mezcla turbia de fluido (agua) y sedimento en suspensión, cuya densidad resultante es superior al fluido circundante (Kneller y Buckee, 2000). El clima, la tectónica y los cambios del nivel del mar son los principales factores externos que determinan la disponibilidad y volúmenes de sedimento que serán transferido a la zona profunda a través de un cañón submarino (Piper y Normark, 2009; Harris y Whiteway, 2011). La iniciación de una corriente de turbidez tiene lugar cuando la suficiente cantidad de sedimento en suspensión es acompañada por un gradiente morfológico bastante elevado como para que la fuerza de gravedad exceda el esfuerzo de fricción sobre el fondo. Estas condiciones se suelen cumplir en tres casos (Normark y Piper, 1991; Piper y Normark, 2009): (1) en zonas costeras, de plataforma externa o talud superior cuando el sedimento es puesto en resuspensión por procesos oceanográficos tales como tormentas, mareas, y ondas internas; (2) en presencia de flujos hiperpícnicos, que posteriormente evolucionan a flujos turbidíticos, procedentes de sistemas fluviales con régimen alpino (Mulder *et al.*, 2003) o márgenes glaciados y (3) en la licuefacción de los depósitos de remoción en masa.

El control tectónico (por fallas, fracturas o presencia de altos estructurales) sobre la génesis y morfología de los cañones submarinos es seguramente un factor determinante en contextos geológicos específicos. Cuando se observa el eje de los valles siguiendo una dirección diferente a la dictada por la transversal al talud, o bien cambiando bruscamente de dirección (a veces en ángulo recto), el condicionante tectónico es una causa a tener en cuenta (Kelling y Stanley, 1970; Kenyon *et al.*, 1978; Song *et al.*, 2000). Por último, el modelo genético de erosión retrogradante hacia la cabecera es el más aceptado en la actualidad para explicar la formación de los cañones ciegos (Twichell y Roberts, 1982; Farre *et al.*, 1983; Pratson y Coakley, 1996). La teoría se elaboró al observar los cañones del margen atlántico de Estados Unidos. Aquellos desarrollados exclusivamente en talud presentaban un trazado rectilíneo y la zona de cabecera en forma de anfiteatro con entramado “pinnado”; en cambio, los

cañones que incidían el borde de plataforma tenían valles muy excavados y un trazado de sinuoso a meandriforme. Estos autores notaron además rasgos erosivos en el talud a diferentes profundidades, los cuales fueron interpretados como cicatrices de procesos de remoción en masa. Deslizamientos y derrumbes debidos a la inestabilidad de la pendiente -por ejemplo por escape de fluidos (Orange y Breen, 1992)- serían el punto de partida en la formación de los cañones. En su fase juvenil, los “protocañones” estarían limitados al talud, se irían profundizando, ensanchando y retrocediendo hacia el borde de plataforma por sucesivos derrumbes de la zona de cabecera. Estas primeras incisiones aun no funcionarían como vehículo de transferencia de sedimento costero hacia la emersión continental. Sólo cuando los cañones llegaran a incidir el borde de la plataforma empezaría su etapa madura en donde los sedimentos de plataforma quedan atrapados (especialmente en épocas de bajo nivel del mar), formando corrientes de turbidez que cruzan el talud a lo largo del cañón y se depositan finalmente en la región abisal (Farre *et al.*, 1983). Bajo esta perspectiva, los cañones ciegos y costeros serían la etapa temprana y madura respectivamente, en la evolución de los cañones submarinos. Pratson y Coakley (1996) integraron las ideas de Farre *et al.* (1983) y Daly (1936) en un modelo genético donde tanto la erosión retrogradante como la capacidad erosiva de los flujos turbidíticos tienen un papel importante en la formación y desarrollo de los cañones submarinos costeros. En cambio, los cañones ciegos se formarían sólo y exclusivamente a partir de procesos de remoción en masa.

LOS CAÑONES SUBMARINOS DEL MARGEN CONTINENTAL ARGENTINO

Si bien el Margen Continental Argentino está disectado por numerosos cañones submarinos, éstos han sido escasamente estudiados. En los años 1950-1960, en el marco de una colaboración entre el Servicio de Hidrografía Naval (Argentina) y el Lamont Doherty Earth Observatory (Estados Unidos), se realizaron numerosos relevamientos batimétricos y sísmicos, con tomas de fotografías y muestreos del fondo a lo largo de todo el margen. Los resultados de las expediciones a bordo de los buques Conrad y Vema contribuyeron substancialmente al conocimiento de nuestro margen (Ewing *et al.*, 1964; Ewing, 1965; Ewing y Lonardi, 1971; Lonardi y Ewing, 1971). Se

obtuvieron las primeras descripciones morfológicas a nivel regional y los primeros mapas batimétricos con detalles sobre la ubicación de los principales ejes de los cañones submarinos, así como una breve descripción y comparación entre los principales sistemas de cañones (Fig. 2). De norte a sur, éstos comprenden: (1) Sistema Río de la Plata (35-38° S); (2) Sistema Colorado-Negro (39-42° S), bautizado posteriormente Sistema Bahía Blanca por Hernández-Molina *et al.* (2009); (3) Sistema Ameghino o Chubut (42-46° S) y (4) Sistema Patagonia o Deseado (46-49° S) (Lonardi y Ewing, 1971).

Los primeros investigadores que trabajaron en el margen argentino observaron que la mayoría de los cañones se desarrollan en el talud y que muy pocos inciden la plataforma (Ewing, 1965). Consideraron además que el material arenoso que se encuentra tapizando parte del talud y la emersión continental sería fruto de las turbiditas que recorren los cañones además de ser la causa misma de la excavación de dichos cañones (Ewing, 1965). En los años 80 y 90 son escasos los antecedentes relacionados a esta temática. Vila (1982) y Codignotto (1990) observaron la presencia de rasgos erosivos en plataforma en correspondencia de la desembocadura de actuales cursos fluviales efímeros de la costa patagónica, lo cual fue relacionado con la posible existencia de cañones submarinos en talud formados durante épocas de bajo nivel del mar. Perillo y Kostadinoff (2005) en su síntesis sobre el margen continental de la Provincia de Buenos Aires concluyen que los cañones submarinos son prácticamente desconocidos y representan un tema aún pendiente para la geología argentina, tanto por razones científicas como estratégicas de soberanía nacional.

Sistemas de cañones

En base a los resultados publicados por Lonardi y Ewing (1971) se describen a continuación los principales rasgos morfológicos de los sistemas de cañones del MCA. Se presentan además los resultados más recientes logrados en el Cañón Mar del Plata y el sistema Patagonia, únicos sectores del MCA que fueron objeto de estudios algo más detallados en los últimos 10-15 años.

El sistema Río de la Plata. Está compuesto por una docena de incisiones de las cuales 5 serían las más profundas, todas con anchura del valle del orden de 1

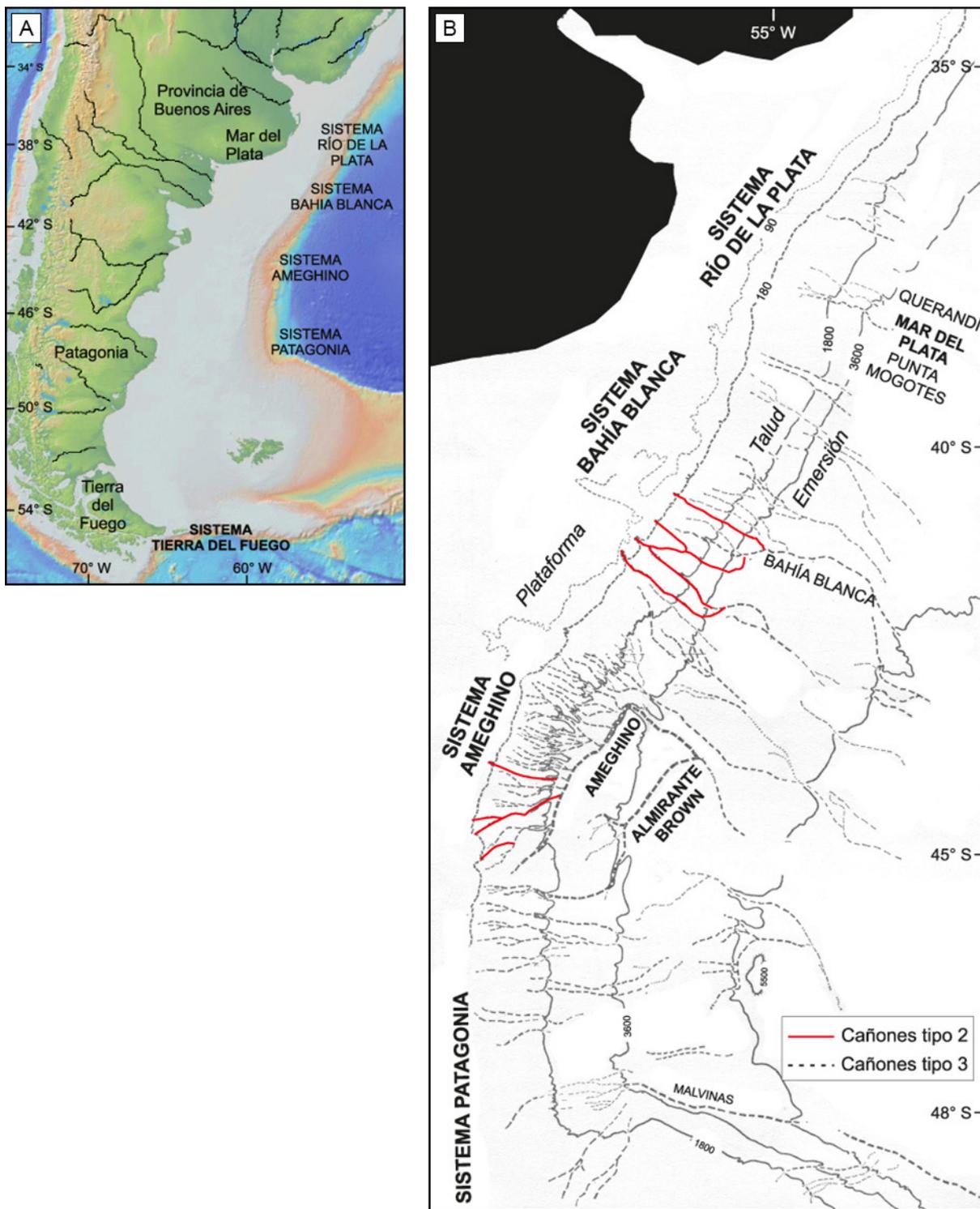


Figura 2. Mapa de ubicación de los sistemas de cañones descritos en el trabajo. a) Mapa geográfico de parte de la Argentina con líneas negras que marcan los mayores sistemas fluviales actuales (mapa creado con GeoMapApp). b) Mapa batimétrico (isobatas en metros) del Margen Continental Argentino con los ejes de los principales cañones (modificado de Lonardi y Ewing, 1971). Cañones tipo 2, línea continua roja; cañones tipo 3 línea negra discontinua. No se han identificado cañones del tipo 1 en este sector del margen, si bien han sido señalados en el Sistema Tierra del Fuego (véase texto).

Figure 2. Location of the canyon systems described in this contribution. a) Geographic map of part of the Argentina with black lines showing the major river systems (map created with GeoMapApp). b) Bathymetric map (isobaths expressed in meters) of the Argentine Continental Margin illustrating the axes of the main canyons (after Lonardi and Ewing, 1971). Canyons of type 2: continuous red line; canyons of type 3: black dashed line. Canyons of type 1 have not been identified in this sector of the margin, although they have been recognized in the Tierra del Fuego System (see text).

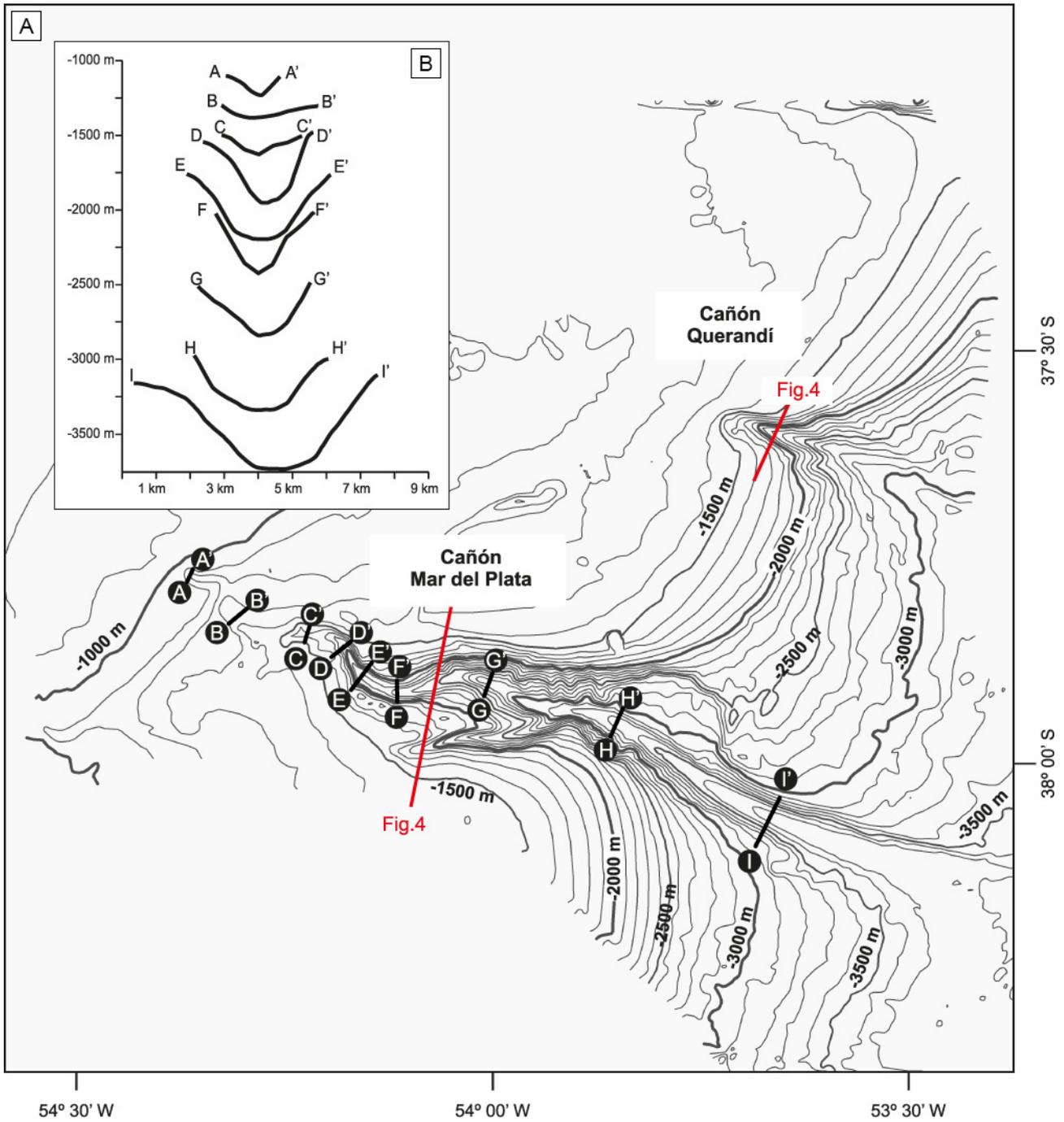


Figura 3. Los cañones Mar de Plata y Querandí. a) Mapa batimétrico con isobatas cada 100 metros. Se muestra la ubicación de 9 perfiles topográficos trazados perpendicularmente al eje del Cañón MdP en cada punto. b) Perfiles topográficos del valle del Cañón MdP a diferentes profundidades.

Figure 3. Mar del Plata and Querandí canyons. a) Bathymetric map with isobaths every 100 meters. The location of 9 topographic profiles is shown, where each profile was traced perpendicular to the MdP Canyon axis. b) Topographic profiles showing the shape of the MdP Canyon thalweg at different depths.

km (Fig. 2). La más grande corresponde al Cañón Mar del Plata que se encuentra a partir de los 1000 metros de profundidad y muestra paredes de alrededor de

400 metros de altura. Al sur y al norte del Cañón MdP fueron identificadas otras dos incisiones, Cañón Punta Mogotes y Querandí respectivamente

(Krastel *et al.*, 2011; Preu *et al.*, 2013). El Cañón Querandí es el más grande de los dos; desarrolla su cabecera a los 1400 metros de profundidad (Fig. 3A), se extiende por 40 km a lo largo del talud con un valle rectilíneo, muy excavado (hasta 700 metros) y tiene paredes empinadas (hasta 37°). El sistema Río de la Plata se caracteriza por carecer de un verdadero cañón principal, lo cual se asoció a la dinámica de un río (Río de la Plata) que podría alimentar el sistema de forma alternada, cambiando su posición en cada regresión marina y evitando así la profundización de un único valle (Lonardi y Ewing, 1971). Los mismos autores también observaron que la emersión frente a este sistema es especialmente suave y sin rasgos erosivos por debajo de los 3300 metros, lo cual se relacionó a los efectos de corrientes de contorno que suavizarían la morfología del fondo.

El Cañón Mar del Plata (MdP) fue objeto de estudios más detallados entre el 2002 y 2009. El Servicio de Hidrografía Naval realizó una serie de expediciones para estudiar este cañón adquiriendo muestras de sedimento del fondo y datos de batimetría monohaz a bordo del BO Puerto Deseado. En la misma época, grupos de la Universidad de Bremen y del centro de Investigaciones Marinas de Kiel (Alemania) ejecutaron varias campañas oceanográficas a bordo del buque alemán Meteor, algunas de ellas en las inmediaciones del cañón, para obtener batimetría multihaz con una sonda Kongsberg EM 120 (Simrad), sísmica multicanal y testigos de sedimento (Schulz *et al.*, 1994; Bleil *et al.*, 2001; Spieß *et al.*, 2002; Krastel y Wefer, 2009).

Las primeras descripciones morfológicas del Cañón MdP (Violante *et al.*, 2010; Krastel *et al.*, 2011; Preu *et al.*, 2013) lo definen como un rasgo erosivo del talud con su cabecera ubicada alrededor de los 1000 metros de profundidad, entre la Terraza La Plata (500-600 m de profundidad; Urien y Ewing, 1974; Preu *et al.*, 2013) y la Terraza Ewing (1200-1500 m de profundidad; Hernández-Molina *et al.*, 2009; Preu *et al.*, 2013). Su valle es profundamente excavado con paredes muy empinadas y un trazado en su mayoría rectilíneo. Con una longitud total de 130 km, el cañón atraviesa el talud hasta perder su expresión morfológica en la emersión continental, alrededor de los 3900 metros de profundidad. Según algunas observaciones realizadas en base a perfiles de sísmica, el cañón podría haberse formado a partir del Plioceno superior y haber seguido su evolución a lo largo del Pleistoceno y Holoceno (Paterlini *et al.*,

2005; Preu *et al.*, 2013). Relevamientos hidroacústicos efectuados durante la campaña Meteor M78/3a entre la cabecera y la zona de plataforma externa no mostraron evidencia alguna de incisiones que puedan ser interpretadas como conexión entre el cañón y el Río de la Plata (Krastel *et al.*, 2011). Es más, contrariamente a lo que fuera propuesto por Lonardi y Ewing (1971), se llegó a la conclusión que durante épocas de bajo nivel del mar, la desembocadura del Río de la Plata con la descarga de sus sedimentos se posicionaría al norte, frente a las costas de Brasil (Urien, 1967; Urien *et al.*, 1978), lo cual haría imposible que ese río desembocara hacia el sureste y se relacionara con el Cañón MdP.

El análisis detallado de los datos batimétricos obtenidos durante la campaña M78/3a permite observar que en su sector proximal (< 3000 metros profundidad), el cañón es algo sinuoso (sinuosidad entre 1.17 y 1.25), mientras que en su sector distal (> 3000 metros profundidad) el trazado deviene casi rectilíneo (sinuosidad: 1.06); el cañón recibe además una serie de pequeños tributarios de los cuales el mayor alcanza los 20 km de longitud (Fig. 3A). La morfología del cauce muestra, a lo largo de su recorrido, algunos aspectos importantes (Fig. 3B): (a) el cañón empieza inmediatamente después de los 1000 metros con un valle bien incidido y paredes de unos 100-120 m de altura y pendientes máximas entre 10 y 13° (perfil AA'); (b) entre los 1200 y 1500 metros (Terraza Ewing), el cañón se ensancha, las paredes tienen escasa expresión morfológica con pendientes máximas entre 5 y 10° (Perfiles BB' y CC'); (c) entre los 1500 y 3000 metros, el cauce es muy excavado y las paredes tienen pendientes de 21-24° hasta valores máximos de 36° (perfiles DD', EE' y FF'); (d) a profundidades superiores a los 3000 metros el valle se ensancha y se aplanan y las paredes muestran pendientes máximas entre 16 y 24° (Perfiles GG' y HH' y II').

El sistema Bahía Blanca. Comprende numerosos cañones, algunos de los cuales inciden el borde de plataforma (Fig. 2) (Lonardi y Ewing, 1971). Sólo uno muestra paredes más altas que 400 metros, los restantes más bien llegan a los 150-200 metros. Los valles tienen fondos planos con anchuras de menos de 1 km. La densidad de cañones (en promedio una incisión cada 3.7 km) es muy elevada entre 40°15' y 40°30'S (ubicación que podría relacionarse con desembocaduras fluviales); se observaron claras

incisiones en plataforma por parte de 2 cañones alrededor de los 41° S, latitud que corresponde a la desembocadura del río Negro. Este sistema se caracteriza por mostrar zonas con óndulas (Lonardi y Ewing, 1971) y abanicos submarinos en la transición entre talud inferior y emersión continental con sus ejes ligeramente desviados hacia el norte (Hernández-Molina *et al.*, 2009), lo cual en su conjunto indicaría el efecto de corrientes de fondo a diferentes profundidades.

El sistema Ameghino. Está conformado por unos treinta cañones, de los cuales varios son tributarios de los cañones transversales Ameghino y Almirante Brown, dos grandes incisiones que corren paralelas al margen por casi 100 km antes de virar hacia el Este en dirección a la cuenca abisal (Fig. 2). Esta zona se caracteriza por sedimentos gravosos y arenosos, prueba de la elevada energía de las corrientes turbidíticas que recorren dichos cañones. La mayoría de ellos tiene paredes de entre 200 y 400 metros de altura, aunque en algunos casos las paredes superan los 550 metros. Tanto el Cañón Ameghino como el Cañón Almirante Brown son más excavados en el tramo que corre paralelo a las isobatas, con paredes que alcanzan casi los 1500 metros de altura (en el caso del Ameghino). Los valles son muy anchos (entre 5 y 11 km, con un valor máximo de casi 18 km) con fondo plano. Se observa una marcada asimetría en la morfología de los valles, con la ladera norte más empinada que la del sur. El trazado de los cañones Ameghino y Almirante Brown, en parte paralelo a las isobatas, fue explicado por Lonardi y Ewing (1971) por una combinación entre control estructural y desviación debido a las corrientes de contorno. Esta teoría fue retomada por Rossello *et al.* (2005), los cuales propusieron que la disposición oblicua de los cañones Ameghino y Almirante Brown puede vincularse a discontinuidades estructurales sobre el talud, heredadas de la tectónica andina. Posteriormente, el significativo cambio de dirección del eje del cañón principal del sistema Ameghino y la desaparición abrupta del cañón Almirante Brown por debajo de los 3500 metros de profundidad han sido atribuidos a la influencia de la masa de Agua Antártica Profunda, por lo que se concluyó que parte de los flujos de sedimento encauzados en los cañones patagónicos son capturados y desviados por los flujos contorníticos que acompañan a las masas de agua antárticas (Hernández-Molina *et al.*, 2009).

El sistema Patagonia. Está ubicado en la continuación del escarpe de Malvinas y tendría una decena de pequeños cañones desarrollados en el talud superior de los cuales el mayor, ubicado a la latitud de 46°45'S, fue denominado Cañón Malvinas (Fig. 2). Los cañones del Sistema Patagonia fueron inicialmente descritos por Ewing *et al.* (1964), Lonardi y Ewing (1971), Rossello *et al.* (2005) y Hernández-Molina *et al.* (2009). Más recientemente, Lastras *et al.* (2011) realizaron un detallado levantamiento batimétrico del sector comprendido entre 44°30' S y 48° S, desde el borde de plataforma hasta los 1600 metros de profundidad. Los nuevos resultados demostraron que el sistema está conformado por 7 cañones con sus relativos tributarios por un total de 58 incisiones. El análisis morfológico no sólo de los cañones sino también de los rasgos erosivos (*scours*, *pockmarks* y terrazas) permitió avanzar una hipótesis sobre la génesis de los cañones y su evolución. Según estos autores, las irregularidades morfológicas creadas por escapes de fluidos, por la acción de las corrientes contorníticas y por los accidentes propios del talud (cambios de pendiente entre zonas aterrazadas) podrían constituir el punto de partida para que el sedimento sea canalizado y concentrado en determinados sectores. Allí empezaría la erosión que después avanzaría aguas arriba según el modelo clásico de erosión retrogradante (Twichell y Roberts, 1982; Farre *et al.*, 1983; Pratson y Coakley, 1996).

El sistema Tierra del Fuego. Se identificó a partir de relevamientos batimétricos discontinuos que mostraron la existencia de densos sistemas de cañones submarinos profundamente incididos al sur de la Isla Grande de Tierra del Fuego así como del Banco Burdwood (ver Fig. 2A de Harris y Whiteway, 2011). Al momento de esta publicación se está realizando un relevamiento batimétrico completo del cañón Sloggett a bordo del buque argentino Austral que demuestra que se trata de una región muy promisoría por los peculiares rasgos morfoestructurales así como la relevancia de los forzantes atmosféricos y oceanográficos. Los cañones al sur de Península Mitre tienen, respecto a los sistemas de cañones del talud argentino descritos anteriormente, la interesante particularidad de tener sus cabeceras a poca distancia de la costa, lo que puede hacerlos mucho más activos (en términos de dinámica sedimentaria) por la probable contribución de resuspensión de sedimento por oleaje, tormentas, corrientes costeras y

flujos hiperpícnicos desde ríos adyacentes. Algunos de esos cañones podrían estar asociados a paleovalles glaciares (Canal de Beagle) que con la deglaciación se tornaron en vías de transferencia de agua y sedimentos a través de grandes procesos glacioluviales (Rabassa *et al.*, 2000), los cuales quizás contribuyeron a la excavación de estos cañones.

DISCUSIÓN

El análisis de la distribución global de los grandes cañones submarinos (Harris y Whiteway, 2011) demuestra que los cañones ciegos son los que más abundan a nivel mundial y que los cañones con cabecera en plataforma tienden a ser más abundantes en áreas geográficas caracterizadas por altas tasas de sedimento exportado al talud. La mayoría de los sistemas de cañones del margen argentino se desarrolla exclusivamente en el talud (Fig. 2) por lo que corresponderían al tipo 3 de la clasificación de Harris y Whiteway (2011). Sólo algunos cañones que integran el sistema Bahía Blanca y Ameghino inciden la plataforma, sin aparentemente tener una relación directa con sistemas fluviales actuales, lo cual los incorporaría al grupo de cañones del tipo 2 (Harris y Whiteway, 2011). Sólo los cañones de Tierra del Fuego pueden ser adscritos al grupo 1 (Fig. 2A en Harris y Whiteway, 2011).

De los cañones exclusivos de talud, algunos están más desarrollados que otros. En cuanto a los sistemas, el Ameghino muestra una mayor densidad de incisiones que los demás (Fig. 2). Diferentes factores podrían explicar estas diferencias, entre los cuales cabe destacar la disponibilidad y la textura del sedimento en las áreas fuentes, la etapa de evolución en la que se encuentre cada cañón y el grado de interacción entre la morfología del fondo, los procesos sedimentarios y los procesos oceanográficos.

En general, si existe amplia disponibilidad de sedimento en plataforma a ser transferido al talud, los cañones tienden a ser del tipo 1 o 2, es decir inciden la plataforma (Harris y Whiteway, 2011). En el margen argentino esto ocurre mayormente en Tierra del Fuego y en casos aislados de los sistemas Ameghino y Bahía Blanca (Fig. 2). El volumen de sedimento puede determinar también que los cañones sean más densamente espaciados, como efectivamente ocurre en el Ameghino y en algunos sectores de Bahía Blanca. En cuanto a la

textura del sedimento, se encontraron gravas en los cañones del sistema Ameghino y sedimento grueso fue observado en sus desembocaduras hasta en la emersión continental (Lonardi y Ewing, 1971). Este hecho es quizá imputable a la cercanía de los ríos norpatagónicos que, en épocas de bajo nivel del mar, alimentaban a los valles submarinos con su carga sedimentaria de arena y cantos rodados. El mayor dinamismo de los sistemas de cañones del sur y los grandes volúmenes de sedimento desplazados podrían ser los responsables de potentes corrientes turbidíticas que a su vez erosionaron y excavaron los cauces muy profundamente (Lonardi y Ewing, 1971). Sin embargo, aun falta estudiar con más detalle tanto la morfología como la sedimentología de estos sistemas por lo que estas consideraciones no dejan de ser especulativas.

En cuanto a la etapa evolutiva en la que se encuentre cada cañón, los cañones incipientes suelen tener un trazado más rectilíneo; en cambio, aquellos que inciden la plataforma y son recorridos por corrientes turbidíticas suelen tenerlo más sinuoso (Twichell y Roberts, 1982; Farre *et al.*, 1983). La sinuosidad del Cañón MdP se verifica en su sector más proximal y hasta los 3000 metros de profundidad. Entre los 1200 y 1500 metros aproximadamente, es decir al cruzar la Terraza Ewing y donde la pendiente del talud decrece hacia valores de sólo 0.7° en promedio (Violante *et al.*, 2010; Preu *et al.*, 2013), el valle se amplía y las paredes tienen bajo relieve (Perfil BB', Fig. 3B). Por un lado, las bajas pendientes del talud medio pueden dificultar los procesos de erosión y colapso del cañón favoreciendo un trazado más sinuoso (Krastel *et al.*, 2011). Por otro lado, podría ser que la sinuosidad esté relacionada con la interacción entre los flujos transversales turbidíticos y la fuerza de Coriolis, así como con las corrientes longitudinales del fondo. Las corrientes de talud tienden a contornear las isobatas por circulación geostrofica y en el caso de existir fuentes de sedimento, por ejemplo por resuspensión, producen una redistribución a lo largo del margen. Los cañones submarinos interceptan esas corrientes e imprimen fuertes cambios de pendiente tendiendo a capturar una parte importante de esos flujos longitudinales y actuando de hecho como trampas de sedimento (Carson *et al.*, 1986; Martín *et al.*, 2006).

Un flujo turbidítico deposita su carga sedimentaria cuando se desacelera críticamente, lo cual puede ocurrir por un cambio de pendiente, por la

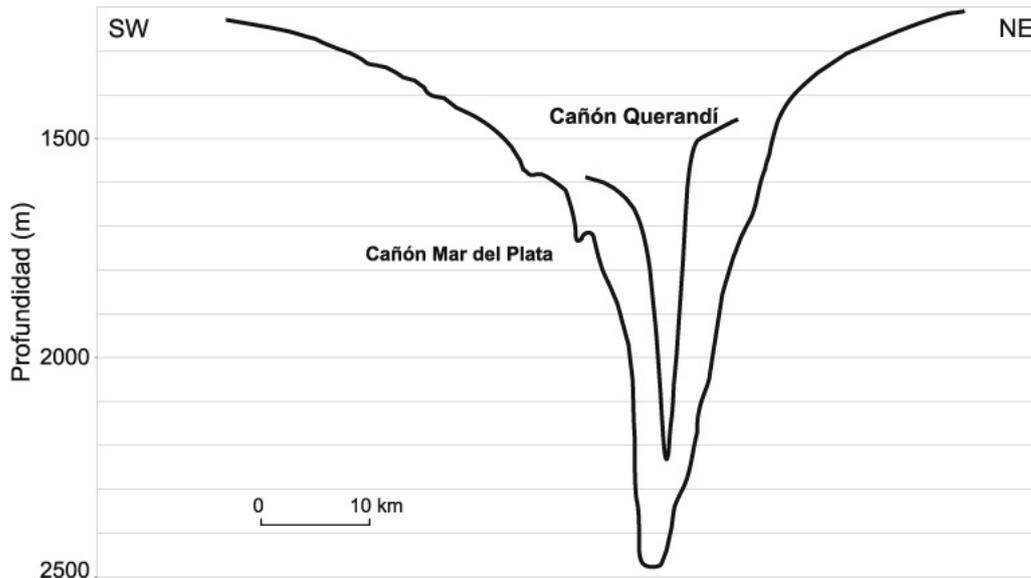


Figura 4. Comparación entre dos perfiles topográficos de los cañones Querandí y Mar del Plata tomados a profundidades equivalentes (ver ubicación de los perfiles en Figura 3). Nótese la típica forma en V y la asimetría del Cañón Querandí, con su flanco norte algo más elevado que el flanco sur. El Cañón Mar del Plata muestra un cauce muy amplio y excavado sin marcada asimetría (perfil del Cañón Querandí, modificado de Ai *et al.*, 2014).

Figure 4. Comparison between two topographic profiles of the Querandí and Mar del Plata canyons taken at equivalent depths (location of profiles in Figure 3). Note the typical V-shape and asymmetry of the Querandí Canyon, with its northern flank slightly higher than the southern flank. Mar del Plata Canyon shows a large and deeply incised thalweg with no clear asymmetry (profile of the Querandí Canyon modified after Ai *et al.*, 2014).

interacción con obstáculos y cambios morfológicos del fondo, por ensanchamiento del valle, por desviación del flujo debido al efecto de Coriolis o a la interacción con una corriente de contorno. Es así que la distribución de zonas de erosión y depositación a lo largo de los valles resulta en un mayor o menor grado de la sinuosidad del trazado del mismo. Además, es frecuente que las corrientes turbidíticas desborden las paredes de los valles y se depositen en las inmediaciones. Si estos eventos se repiten en el tiempo, una pared del cañón quedará más alta que la otra ya que los flujos de desborde son desviados por efecto de la fuerza de Coriolis. Esta situación es la que se observa en el cañón Querandí donde el flanco norte es algo más elevado respecto al flanco sur (Krastel *et al.*, 2011; Ai *et al.*, 2014) (Fig. 4).

Es evidente que el conjunto de cañones formado por MdP, Querandí y Punta Mogotes es complejo y son necesarios más datos batimétricos y sísmicos para comprender su génesis y evolución. Existen elementos que sugieren que podría tratarse de cañones en una etapa temprana de evolución por erosión retrogradante, donde el Cañón MdP se encontraría en

una fase más avanzada que el Querandí. El trazado en su mayoría rectilíneo, la ausencia de evidencias de antiguas conexiones con plataforma, el desarrollo exclusivo en ambiente de talud, la cabecera en forma de anfiteatro y los frecuentes depósitos de remoción en masa (Krastel *et al.*, 2011; Preu *et al.*, 2013; Ai *et al.*, 2014) son compatibles con el modelo de erosión retrogradante. Sin embargo, los deslizamientos a pequeña escala del Cañón Querandí relacionados a depósitos caóticos fueron observados no tanto en su cabecera sino en su desembocadura, y tampoco se observaron deslizamientos y derrumbes en el sector proximal del Cañón MdP (Krastel *et al.*, 2011; Ai *et al.*, 2014). Los depósitos de remoción en masa son realmente muy frecuentes tanto en el margen argentino como en el adyacente uruguayo; se los observa especialmente en el talud inferior y en la zona de transición de éste con la emersión continental (Krastel *et al.*, 2011; Preu *et al.*, 2013; Hernández- Molina *et al.*, 2016). Entre los principales factores generadores de inestabilidad se encuentran la presencia de gas hidratos, la migración de fluidos, el shock sísmico y la acumulación de depó-

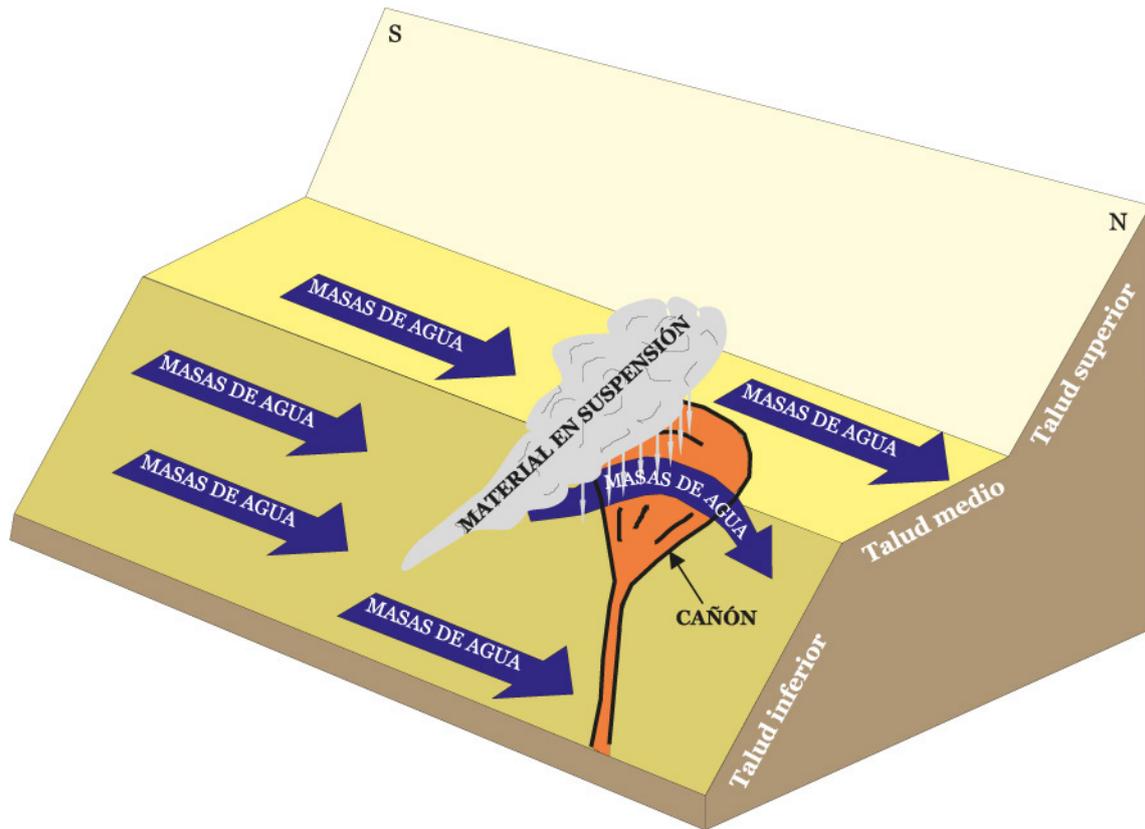


Figura 5. Esquema de interacción entre procesos longitudinales y topografía de un cañón, en relación al efecto trampa que la zona de cabecera ejerce sobre los sedimentos transportados en suspensión por las corrientes de fondo (modificado de Carson *et al.*, 1986). En el caso del Cañón Mar del Plata, el material en suspensión es transportado por el Agua Antártica Intermedia a lo largo del talud medio

Figure 5. Schematic model of interaction between along-slope processes and canyon topography showing how the suspended sediments carried by bottom currents can be trapped when approach the canyon head (after Carson *et al.*, 1986). Within the Mar del Plata Canyon setting, the suspended material is transported by the Antarctic Intermediate Water along the middle slope.

sitos contorníticos en el talud superior y medio (Hernández-Molina *et al.*, 2016). Si se tiene en cuenta que los sistemas de cañones MdP y Querandí cortan el complejo contornítico descrito inicialmente por Hernández-Molina *et al.* (2009), es razonable pensar que los fenómenos de inestabilidad sean provocados por el exceso de acumulación de sedimento en los depósitos contorníticos ubicados en el talud. Este factor desencadenante de deslizamientos y flujos detríticos ya fue mencionado por otros autores (Krastel *et al.*, 2011; Ai *et al.*, 2014). Cabe señalar que dichos procesos de remoción en masa pueden además transformarse en flujos turbidíticos una vez que estén encauzados en los ejes de los cañones y sean impulsados por las discontinuidades abruptas del perfil del mismo cauce (*knickpoints*). Este mecanismo, que complejiza la dinámica sedimentaria del

cañón, constituye un interesante ejemplo de relación entre procesos gravitacionales y morfología del fondo. Estas características morfológicas del Cañón MdP sugieren que éste podría representar una fase más avanzada en la evolución del sistema.

Otro factor importante en la génesis y evolución de los cañones es la relación entre morfología, procesos sedimentarios y procesos oceanográficos. La incisión que el Cañón MdP produce en la Terraza Ewing en su erosión retrogradante podría haber iniciado la formación de corrientes de turbidez que excavan más profundamente el valle. En general se asocia la generación de corrientes de turbidez con el sedimento procedente de plataforma. La hipótesis aquí propuesta es que la Terraza Ewing, intensamente recorrida por grandes volúmenes de material limoso-arenoso transportado por las co-

rrientes contorníticas (Hernández-Molina *et al.*, 2009; Bozzano *et al.*, 2011; Preu *et al.*, 2013; Voigt *et al.*, 2013; Violante *et al.*, 2017) pueda ser el área fuente de corrientes de turbidez generadas a estas profundidades. Según fuera reportado por Preu *et al.* (2013), en el talud medio argentino se podrían esperar velocidades de flujos contorníticos de 15-20 cm/s además de varios fenómenos de turbulencias en el fondo con inyección de sedimento en la capa nefeloide profunda, condiciones similares a las que favorecen la formación de corrientes de turbidez en el borde de plataforma mencionadas por Daly (1936). El cañón funcionaría como trampa o sumidero de los sedimentos transportados cerca del fondo por las corrientes longitudinales, mecanismo invocado también por Voigt *et al.* (2013) para explicar las altas tasas de sedimentación observadas dentro del Cañón MdP a lo largo del Holoceno. Esta peculiar interacción entre procesos longitudinales y transversales al margen ya había sido mencionada por Carson *et al.* (1986) en su trabajo sobre la dinámica sedimentaria del Cañón Quinault. La interacción entre procesos oceanográficos en plataforma (por ejemplo las tormentas de invierno) y la morfología del fondo inducirían a la formación de capas nefeloides intermedias, las cuales transportan en suspensión material que rápidamente decanta en forma de agregados cuando interactúan con la cabecera del valle submarino (Fig. 5). La formación de suspensiones densas de partículas por acción de las tormentas pueden dar lugar a flujos de gravedad que se encauzan en los valles submarinos y así afectar sectores de los cañones a grandes profundidades (Martín *et al.*, 2011). Comparando los cañones MdP y Quinault, en el caso de MdP el material sería aquel transportado por el Agua Antártica Intermedia (Voigt *et al.*, 2013), mientras que en el caso del Cañón Quinault se trataría de material procedente de la plataforma resuspendido por tormentas invernales (Carson *et al.*, 1986). El resultado en ambos casos es que la tasa de sedimentación en el interior de cañón resulta ser mucho más elevada que las tasas registradas en los ambientes adyacentes. Voigt *et al.* (2013) encuentran niveles turbidíticos depositados durante el Último Máximo Glacial y la deglaciación previa al comienzo del Holoceno, y los relacionan a eventos de inestabilidad del flanco sur del cañón. También, habría que considerar la posibilidad de que cambios en las condiciones hidrodinámicas y sedimentarias de la época (desplazamientos de

las masas de agua y/o mayor disponibilidad de sedimento) pudieran haber favorecido la formación de corrientes de turbidez en la cabecera del cañón (en la Terraza Ewing). Esta última hipótesis justificaría (1) la presencia en el registro sedimentario del Cañón MdP de niveles turbidíticos que el modelo de erosión retrogradante por sucesivos colapsos (Krastel *et al.*, 2011) dejaría sin explicación; (2) el trazado sinuoso del Cañón MdP hasta los 3000 metros, rasgo más común aunque no excluyente de los cañones que inciden la plataforma y que son modelados por las corrientes turbidíticas y sus depósitos.

La interacción entre morfología, procesos sedimentarios y procesos oceanográficos en la formación de los cañones se aplicaría no sólo al cañón MdP sino a otros sistemas del MCA como por ejemplo el de Patagonia (Lastras *et al.*, 2011). Las irregularidades morfológicas provocadas por el paso de las corrientes de fondo, en forma de surcos que se unen con el tiempo en una depresión sinuosa, y la presencia de saltos morfológicos en correspondencia de terrazas contorníticas, representarían los factores determinantes para el nacimiento de los cañones. Las depresiones formadas por la amalgama de los surcos serían elegidas como cauces preferenciales por las corrientes transversales (Lastras *et al.*, 2011). El mecanismo propuesto resalta la complejidad de la interacción entre procesos longitudinales y transversales a diferentes escalas y, de ser confirmada, esta hipótesis ampliaría el abanico de factores desencadenantes de la erosión e incisión del talud para todo el MCA.

CONSIDERACIONES FINALES

La abundancia y relevancia de los cañones submarinos hace imposible el estudio integral de los márgenes continentales sin considerar a estos rasgos morfológicos que los disectan profunda y profusamente. La diversidad en morfología y localización de los cañones hace que no se pueda explicar de forma universal su formación. Los cañones que inciden la plataforma y se ubican como prolongación de algún sistema fluvial, se originaron muy probablemente en épocas de bajo nivel del mar cuando la desembocadura de los ríos se posicionaba en los actuales bordes de plataforma. Los que inciden la plataforma pero no tienen conexión con sistemas fluviales tuvieron su origen por un proceso combinado de erosión retrogradante a partir de

deslizamientos ocurridos en talud y erosión por corrientes de turbidez. Los cañones restringidos a los taludes están genéticamente vinculados a la erosión provocada por procesos de remoción en masa y a la erosión retrogradante.

Si bien los cañones del margen argentino están poco estudiados, la revisión del estado actual del conocimiento permite concluir que la mayoría de los cañones argentinos se limita al talud. En el Sistema Ameghino y Bahía Blanca algunos cañones inciden la plataforma y, hasta el momento, sólo unos pocos cañones del sistema Tierra del Fuego tienen una comprobada conexión con sistemas fluviales.

Entre todos los cañones del margen argentino, el de Mar del Plata es el más estudiado. La hipótesis actualmente aceptada es que se haya originado por erosión retrogradante a partir de la inestabilidad del talud. Al llegar la incisión a la Terraza Ewing, otros procesos podrían complejizar el funcionamiento del cañón. La propuesta de este trabajo es que las corrientes de turbidez no se formaron en la plataforma sino en el talud medio, por la peculiar interacción entre procesos longitudinales y morfología del fondo, y que recorren el cañón pendiente abajo. La combinación entre erosión retrogradante y erosión provocada por las corrientes turbidíticas serían responsables de un mayor grado de evolución del Cañón Mar del Plata con respecto a otros cañones cercanos, como por ejemplo el Querandí. Puesto que el MCA está conformado por varias terrazas ubicadas a diferentes profundidades, potencialmente éstas podrían tener una relevancia y un impacto sobre la evolución y la dinámica sedimentaria de otros cañones submarinos del MCA, de forma similar al que la Terraza Ewing tiene sobre el cañón Mar del Plata. El MCA en general y el cañón MdP en particular demuestran toda la potencialidad y complejidad de las interacciones entre procesos sedimentarios longitudinales y transversales a los márgenes, desafiando por ejemplo la convención de que las corrientes turbidíticas han de originarse obligatoriamente en plataforma.

Futuros estudios de los cañones en el MCA deberían incluir:

Relevamientos batimétricos y sísmicos de detalle de todos los sistemas de cañones aquí descritos que permitan identificar los rasgos morfológicos y sedimentarios principales con precisión. Sólo así se podrá tener una visión acabada de su origen, su evolución y su impacto e interrelación sobre la sedi-

mentación, la oceanografía y la biología de la región.

Enfoques multidisciplinarios de la interacción entre procesos sedimentarios y oceanográficos, lo cual es una rama muy promisoría de las ciencias marinas en general y en especial para el margen argentino, tan profundamente modelado por la interacción entre las masas de agua y la morfología del fondo.

Mejor entendimiento sobre el impacto que las tormentas, las capas nefeloides, la formación de aguas densas, las ondas internas, las mareas y la interacción entre flujos gravitatorios y longitudinales tienen sobre la dinámica sedimentaria de los cañones. En este aspecto el margen argentino, por la complejidad de los factores que aquí interactúan, representa un área geográfica de indudable valor para el estudio y la comprensión de la génesis y dinámica sedimentaria de los cañones submarinos en otros márgenes continentales pasivos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los editores de la Revista por sus recomendaciones y especialmente a Javier Alcántara Carrió y Francisco Javier Hernández-Molina, por la atenta revisión del trabajo y las sugerencias aportadas que contribuyeron a mejorar la calidad final de este artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ai, F., M. Strasser, B. Preu, T.J. Hanebuth, S. Krastel y A. Kopf, 2014. New constraints on oceanographic vs. seismic control on submarine landslide initiation: a geotechnical approach off Uruguay and northern Argentina. *Geo-Marine Letters* 34:399-417.
- Bleil, U., A. Ahn, T. Bickert, W. Böke, M. Breitzke, S. Drachenberg, E. Eades, T. Frederichs, M. Frenz, V. Heuer, C. Hilgenfeldt, V. Hopfauf, A. de Leon, H. von Lom-Keil, K. Michels, K. Pfeifer, U. Rosiak, C. Rühlemann, M. Segl, V. Spieß, R. Violante, S. Watanabe, T. Westerhold y N. Zatloucal, 2001. Report and Preliminary Results of Meteor Cruise M 46/3 Montevideo - Mar del Plata. *Berichte, Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen* 172, 161 pp.
- Bozzano, G., R.A. Violante y M.E. Cerredo, 2011. Middle slope contourite deposits and associated sedimentary facies off NE Argentina. *Geo-Marine Letters* 31:495-507.
- Carson, B., E.T. Baker, B.M. Hickey, C.A. Nittrouer, D.J. DeMaster, K.W. Thorbjarnarson y G.W. Snyder, 1986. Modern sediment dispersal and accumulation in Quinault submarine canyon-a summary. *Marine Geology* 71:1-13.
- Codignotto, J.O., 1990. Evolución en el Cuaternario alto del sector de costa y plataforma submarina entre Río Coig, Santa Cruz y Punta María, Tierra del Fuego. *Revista de la Asociación*

- Geológica Argentina* 45:9-16.
- Daly, R.A.**, 1936. Origin of submarine "canyons". *American Journal of Science* 31:401-420.
- Ericson, D.B., M. Ewing y B.C. Heezen**, 1951. Deep-sea sands and submarine canyons. *Geological Society of America Bulletin* 62:961-965.
- Ericson, D.B., M. Ewing y B.C. Heezen**, 1952. Turbidity currents and sediments in the North Atlantic. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 36:489-511.
- Ewing, M., W.J. Ludwig y J. Ewing**, 1964. Sediment distribution in the ocean: the Argentine Basin. *Journal of Geophysical Research* 69:2003-2032.
- Ewing, M.**, 1965. The Sediments of the Argentine Basin (Harold Jeffreys Lecture). *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society* 6:10-27.
- Ewing, M. y A.G. Lonardi**, 1971. Sediment transport and distribution in the Argentine Basin. 5. Sediment structure of the Argentina margin, basin, and related provinces. En L.H. Ahrens, F. Press, S.K. Runcorn y H.C. Urey (Eds.), *Physics and Chemistry of the Earth*. Progress Series 8, Pergamon Press:123-251.
- Farre, J.A., B.A. McGregor, W.B. Ryan y J.M. Robb**, 1983. Breaching the shelfbreak: passage from youthful to mature phase in submarine canyon evolution. *SEPM Special Publication* 33:25-39.
- Fernandez-Arcaya, U., E. Ramirez-Llodra, J. Aguzzi, A.L. Allcock, J.S. Davies, A. Dissanayake, P. Harris, K. Howell, V.A.I. Huvenne, M. Macmillan-Lawler, J. Martín, L. Menot, M. Nizinski, P. Puig, A.A. Rowden, F. Sanchez y I.M.J. Van den Beld**, 2017. Ecological role of submarine canyons and need for canyon conservation: A review. *Frontiers in Marine Sciences* 4:5. doi: 10.3389/fmars.2017.00005.
- Gardner, W.D.**, 1989. Periodic resuspension in Baltimore canyon focusing of internal waves. *Journal of Geophysical Research* 94:18185-18194.
- Harris, P.T. y T. Whiteway**, 2011. Global distribution of large submarine canyons: Geomorphic differences between active and passive continental margins. *Marine Geology* 285:69-86.
- Harris, P.T., M. Macmillan-Lawler, J. Rupp y E.K. Baker**, 2014. Geomorphology of the oceans. *Marine Geology* 352:4-24.
- Heezen, B.C. y M. Ewing**, 1952. Turbidity currents and submarine slumps, and the 1929 Grand Banks earthquake. *American Journal of Science* 250:849-873.
- Heezen, B.C., M. Ewing y D.B. Ericson**, 1954. Reconnaissance survey of the abyssal plain south of Newfoundland. *Deep-Sea Research* 2:122-133.
- Heezen, B.C., R.J. Menzies, E.D. Schneider, M. Ewing y N.C.L. Granelli**, 1964. Congo Submarine Canyon. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 48:1126-1149.
- Hernández-Molina, F.J., M. Paterlini, R.A. Violante, P. Marshall, M. de Isasi, L. Somoza y M. Rebesco**, 2009. Contourite depositional system on the Argentine Slope: an exceptional record of the influence of Antarctic water masses. *Geology* 37:507-510.
- Hernández-Molina, F.J., M. Soto, A.R. Piola, J. Tomasini, B. Preu, P. Thompson, G. Badalini, A. Creaser, R.A. Violante, E. Morales, M. Paterlini y H. De Santa Ana**, 2016. A contourite depositional system along the Uruguayan continental margin: Sedimentary, oceanographic and paleoceanographic implications. *Marine Geology* 378:333-349.
- Hickey, B.M.**, 1995. Coastal submarine canyons. En P. Muller y D. Henderson (Eds.), *Proceedings of the University of Hawaii 'Aha Huliko'a Workshop on Flow Topography Interactions*, SOEST Special Publication: 95-110, Honolulu.
- Kelling, G. y D.J. Stanley**, 1970. Morphology and structure of Wilmington and Baltimore submarine canyons eastern, United States. *The Journal of Geology* 78: 637-660.
- Kenyon, N.H., R.H. Belderson y A.H. Stride**, 1978. Channels, canyons and slump folds on the continental slope between south west Ireland and Spain. *Oceanologica Acta* 1:369-380.
- Kneller, B. y C. Buckee**, 2000. The structure and fluid mechanics of turbidity currents: a review of some recent studies and their geological implications. *Sedimentology* 47:62-94.
- Krastel, S. y G. Wefer**, 2009. Sediment transport off Uruguay and Argentina: From the shelf to the deep sea. *RV METEOR Cruise Report M78/3a+b*, 59 pp.
- Krastel, S., G. Wefer, T.J. Hanebuth, A.A. Antobreh, T. Freudenthal, B. Preu, T. Schwenk, M. Strasser, R. Violante, D. Winkelmann y M78/3 shipboard scientific party**, 2011. Sediment dynamics and geohazards off Uruguay and the de la Plata River region (northern Argentina and Uruguay). *Geomarine Letters* 31:271-283.
- Lastras, G., J. Acosta, A. Muñoz y M. Canals**, 2011. Submarine canyon formation and evolution in the Argentine Continental Margin between 44°30'S and 48°S. *Geomorphology* 128:116-136.
- Lonardi, A.G. y M. Ewing**, 1971. Sediment transport and distribution in the Argentine Basin. 4. Bathymetry of the continental margin, Argentine Basin and other related provinces, canyons and sources of sediments. En L.H. Ahrens, F. Press, S.K. Runcorn y H.C. Urey (Eds.), *Physics and Chemistry of the Earth*. Progress Series 8, Pergamon Press:81-121.
- Martín, J., A. Palanques y P. Puig**, 2006. Composition and variability of downward particulate matter fluxes in the Palamós submarine canyon (NW Mediterranean). *Journal of Marine Systems* 60:75-97.
- Martín J., A. Palanques, J. Vitorino, A. Oliveira y H.C. de Stigter**, 2011. Near-bottom particulate matter dynamics in the Nazare submarine canyon under calm and stormy conditions. *Deep-Sea Research II* 58:2388-2400.
- Masson, D.G., V.A.I. Huvenne, H.C. de Stigter, G.A. Wolff, K. Kiriakoulakis, R.G. Arzola y S. Blackbird**, 2010. Efficient burial of carbon in a submarine canyon. *Geology* 38:831-834.
- Middleton, G.V. y M.A. Hampton**, 1973. Sediment gravity flows: Mechanisms of flow and deposition. En G.V. Middleton y A.H. Bouma (Eds.), *Turbidites and Deep Water Sedimentation*. SEPM, Pacific Sector, Short Course Lecture Notes:1-38.
- Mulder, T., J.P.M. Syvitski, S. Migeon, J.-C. Faugères y B. Savoye**, 2003. Marine hyperpycnal flows: initiation, behavior and related deposits: A review. *Marine and Petroleum Geology* 20:861-882.
- Normark, W.R. y D.J.W. Piper**, 1991. Initiation processes and flow evolution of turbidity currents: implications for the depositional record. En R.H. Osborne (Ed.), *From Shoreline to Abyss*. SEPM Special Publication 46:207-230.
- Orange, D.L. y N.A. Breen**, 1992. The effects of fluid escape on accretionary wedges 2. Seepage force, slope failure, headless submarine canyons, and vents. *Journal of Geophysical Research* 97:9277-9295.
- Paterlini, C.M., R.A. Violante, I.P. Costa, S. Marcolini, C. Laprida, N. García Chaporí y G. Parker**, 2005. Fisiografía y edad del Cañón submarino Mar del Plata. *XVI Congreso Geológico Argentino Actas III*:809-816, La Plata.
- Perillo, G.M. y J. Kostadinoff**, 2005. Margen continental de la Provincia de Buenos Aires. En R.E. de Barrio, R.O. Etcheverry,

- M.F. Caballé y E. Llambías (Eds.), *Relatorio Geología de la Provincia de Buenos Aires. XVI Congreso Geológico Argentino*:277-292, La Plata.
- Piper, D.J.W.**, 2005. Late Cenozoic evolution of the continental margin of eastern Canada. *Norwegian Journal of Geology* 85:305-318.
- Piper, D.J.W.** y **W.R. Normark**, 2009. Processes that initiate turbidity currents and their influence on turbidites: a marine geology perspective. *Journal of Sedimentary Research* 79:347-362.
- Pratson, L.F.** y **B.J. Coakley**, 1996. A model for the headward erosion of submarine canyons induced by downslope-eroding sediment flows. *Geological Society of America Bulletin* 108:225-234.
- Preu, B., F.J. Hernández-Molina, R.A. Violante, A.R. Piola, C.M. Paterlini, T. Schwenk y V. Spiess**, 2013. Morphosedimentary and hydrographic features of the northern Argentine margin: the interplay between erosive, depositional and gravitational processes and its conceptual implications. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 75:157-174.
- Puig, P., A. Palanques y J. Martín**, 2014. Contemporary sediment-transport processes in submarine canyons. *Annual Review of Marine Science* 6:53-77.
- Rabassa, J., A. Coronato, G. Bujalesky, M. Salemme, C. Roig, A. Meglioli, C. Heusser, S. Gordillo, F. Roig, A. Borromei y M. Quattrocchio**, 2000. Quaternary of Tierra del Fuego, Southernmost South America: an updated review. *Quaternary International* 68:217-240.
- Rossello, E.A., Y. Lagabrielle, P.R. Cobbold y P. Marshall**, 2005. Los cañones submarinos oblicuos del talud continental argentino (40° a 45° S): evidencias de inversión tectónica andina sobre el margen pasivo atlántico? *X Simposio Nacional de Estudios Tectónicos-IV International Symposium on Tectonics* Actas:90-93, Curitiba.
- Schulz, H., U. Bleil, R. Henrich y M. Segl**, 1994. Geo Bremen South Atlantic 1994. Cruise N 29, 17 June - 5 September. *Meteor Berichte, Fachbereich Geowissenschaften*, Universität Bremen 95-2.
- Shepard, F.P.**, 1933. Canyons beneath the seas. *Scientific Monthly* 37:31-39.
- Shepard, F.P.**, 1963. *Submarine Geology*, 2nd edition. New York, Harper & Row, 557 pp.
- Shepard, F.P.** y **R.F. Dill**, 1966. *Submarine Canyons and other Sea Valleys*. Rand McNally, Chicago I11, 381 pp.
- Song, G.S., C.P. Ma y H.S. Yu**, 2000. Fault controlled genesis of the Chilung sea valley (northern Taiwan) revealed by topographic lineaments. *Marine Geology* 169:305-325.
- Spencer, J.W.**, 1903. Submarine valleys off the American coast and in the North Atlantic. *Bulletin of the Geological Society of America* 14:207-226.
- Spieß, V., N. Albrecht, T. Bickert, M. Breitzke, M. Brüning, A. Dreyzehner, U. Groß, D. Krüger, H. von Lom-Keil, H.-J. Möller, M. Nimrich, W.T. Ochsenschirt, T. Rudolf, C. Seiter, T. Truscheit, R. Violante y T. Westerhold**, 2002. ODP Südatlantik 2001 Part 2, Cruise No. 49, Leg 2, Montevideo - Montevideo. *Meteor Berichte, Fachbereich Geowissenschaften*, 02-1, Universität Bremen.
- Stetson, H.C.**, 1936. Geology and paleontology of the Georges Bank canyons. *Geological Society of America Bulletin* 47:339-366.
- Swift, D.J.P., R. Moir y G.L. Freeland**, 1980. Quaternary rivers on the New Jersey shelf: Relation of seafloor to buried valleys. *Geology* 8:276-280.
- Twichell, D.C.** y **D.G. Roberts**, 1982. Morphology, distribution, and development of submarine canyons on the United States Atlantic continental slope between Hudson and Baltimore Canyons. *Geology* 10:408-412.
- Twichell, D.C., H.J. Knebel y D.W. Folger**, 1977. Delaware River: evidence for its former extension to Wilmington Submarine Canyon. *Science* 195:483-484.
- Urien, C.M.**, 1967. Los sedimentos modernos del Río de la Plata exterior, Argentina. *Boletín del Servicio de Hidrografía Naval* 4:113-213.
- Urien, C.M.** y **M. Ewing**, 1974. Recent sediments and environments of Southern Brazil, Uruguay, Buenos Aires and Rio Negro continental shelf. En C.A. Burk (Ed.), *The Geology of Continental Margins*. Springer, Berlin, 1009 pp.
- Urien, C.M., L.R. Martins y I.R. Martins**, 1978. Modelos depositacionales en la Plataforma Continental de Río Grande Do Sul Uruguay y Buenos Aires. *VII Congreso Geológico Argentino Actas II*:639-658, Neuquén.
- Vila, F.**, 1982. Geomorfología y minerales de los fondos marinos. *Ediciones del Instituto de Publicaciones Navales: Colección Ciencia y Técnica* 52:1-47.
- Violante, R.A., C.M. Paterlini, I.P. Costa, F.J. Hernández-Molina, L.M. Segovia, J.L. Cavallotto, S. Marcolini, G. Bozzano, C. Laprida, N. García Chaporí, T. Bickert y V. Spieß**, 2010. Sismoestratigrafía y evolución geomorfológica del talud continental adyacente al Litoral del Este bonaerense, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 7:33-62.
- Violante, R.A., J.L. Cavallotto, G. Bozzano y D.V. Spoltore**, 2017. Sedimentación marina profunda en el Margen Continental Argentino. Revisión y estado del conocimiento. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 24:7-29.
- Voigt, I., R. Henrich, B. Preu, A.R. Piola, T.J.J. Hanebuth, T. Schwenk y C.M. Chiessi**, 2013. A submarine canyon as a climate archive - interaction of the Antarctic Intermediate Water with the Mar del Plata Canyon (Southwest Atlantic). *Marine Geology* 341:46-57.