

SISMOESTRATIGRAFÍA Y EVOLUCIÓN CENOZOICA DE UN SECTOR DE LAS TERRAZAS NÁGERA Y PERITO MORENO, MARGEN CONTINENTAL PATAGÓNICO

José I. Isola ^{1,2}, Alejandro A. Tassone ^{1,2}, Federico D. Esteban ^{1,2}, Roberto A. Violante ³, Miguel J.F. Haller ⁴, Guillaume ST-Onge ⁵

¹ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Depto. de Ciencias Geológicas. Buenos Aires, Argentina.

² CONICET- Universidad de Buenos Aires. Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGeBA). Buenos Aires, Argentina. jose_isola@hotmail.com; atassone@gl.fcen.uba.ar; esteban@gl.fcen.uba.ar

³ Servicio de Hidrografía Naval (SHN). Ministerio de Defensa. rober.a.violante@gmail.com

⁴ Centro Nacional Patagónico (CENPAT), Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. mjhaller48@hotmail.com

⁵ Institut des Sciences de la Mer de Rimouski (ISMER) - Université du Québec à Rimouski. Guillaume_St-Onge@uqar.ca

ARTICLE INFO

Article history

Received February 9, 2017

Accepted August 13, 2017

Available online August 18, 2017

Invited Editor

José Luis Cavallotto

Handling Editor

Diana Cuadrado

Keywords

Margen continental patagónico

Talud continental

Sismoestratigrafía

Corrientes contorníticas

RESUMEN

El Margen Continental Patagónico (MCP) es, desde un punto de vista geológico, la porción del Margen Continental Argentino Pasivo Volcánico (MCAPV) ubicada al sur de la Zona de la Fractura Colorado. Esta zona del margen se encuentra influenciada desde el límite Eoceno-Oligoceno, por la circulación termohalina de las corrientes de agua profundas generadas en el sector antártico. La erosión y depositación producida por estas corrientes dio origen a la formación de cuatro extensas terrazas contorníticas que cubren una gran parte del MCP. El objetivo de este trabajo es aportar nuevos conocimientos sobre las dos terrazas más occidentales, la Terraza Nágera (TN, ~600 a 1000 m de profundidad) y la Terraza Perito Moreno (TPM, ~1000 a 1500 m de profundidad). En estas terrazas la sismoestratigrafía y los procesos asociados a su evolución no han sido estudiados en forma exhaustiva. Por tal motivo, los trabajos realizados en la zona se refieren a las edades de las unidades sísmicas en forma especulativa o proponen una sola unidad denominada “*post-rift* indefinido”.

Tras el análisis integrado de un perfil sísmico de mediana resolución y gran penetración, y perfiles sísmicos de alta resolución y baja penetración, se han definido una serie de unidades sísmicas, las cuales fueron correlacionadas con esquemas sismoestratigráficos propuestos previamente para el MCAPV, e información bioestratigráfica publicada. De este modo se presenta en este trabajo un esquema sismoestratigráfico novedoso para la parte más boreal de la TN y la TPM, el cual se acopla de forma armoniosa a los modelos sismoestratigráficos propuestos para el resto del MCAPV.

A partir de las unidades sísmicas definidas se proponen cuatro etapas evolutivas para el Cenozoico de la zona de estudio:

1) Desde el Paleoceno al Eoceno-Oligoceno, se caracteriza por una subsidencia principalmente termal y una sedimentación hemipelágica y gravitacional con poca o nula actividad de corrientes oceánicas.

2) Desde el Eoceno-Oligoceno al Mioceno tardío, se caracteriza por la presencia de un ambiente marino somero, con clinofórmulas que llegan desde la plataforma externa hasta el talud medio y es interpretada como una progradación deltaica

asociada a un estadio de nivel de mar bajo.

3) Desde el Mioceno tardío al Plioceno, caracterizada por las primeras evidencias de acción de corrientes oceánicas, seguido de una superficie erosiva y formación de la TN y la TPM.

4) Desde el Plioceno a la actualidad, se caracteriza por alta actividad de las corrientes oceánicas en el talud superior y medio, intensa interacción entre corrientes oceánicas y el lecho marino y desarrollo de depósitos contorníticos.

EXTENDED ABSTRACT

Seismostratigraphy and Cenozoic evolution of a sector of the Nágera and Perito Moreno terraces, Patagonian Continental Margin

The continental passive margins, as the Argentine Continental Passive Volcanic Margin (MCAPV) (Franke *et al.*, 2007; Schnabel *et al.*, 2008; Becker *et al.*, 2012), preserve in their sedimentary record eustatic changes and variations in the dynamics of the ocean currents, from global changes, as opening and closure of ocean gateways, to local variations, as changes in depth in the boundary of different water masses.

The Patagonian Continental Margin (MCP) is the portion of the MCAPV located south to the Colorado Fracture Zone (Fig. 1 a, b). The major features shaping the surface of the continental slope in the MCP are four contouritic terraces (Fig. 1b), from west to east: Nágera Terrace (TN), Perito Moreno Terrace (TPM), Piedra Buena Terrace and Valentín Feilberg Terrace.

The genesis and evolution of the four terraces is linked to the activity of antarctic sourced bottom currents. Previous works have described the seismostratigraphy and the oceanographic controls in the structural building of the two easternmost terraces, (e.i., Piedra Buena and Valentín Feilberg terraces). On the contrast, very little is known on the evolution of the Nágera and Perito Moreno terraces.

This work aims to describe the Cenozoic stratigraphy of the TN (~600 a 1000 m) and TPM (~1000 a 1500 m), in relation to the major climatic and oceanographic changes occurred in the South Atlantic Ocean during this time. The study is based on the interpretation of two monochannel seismic lines acquired in 2014 on board of the Canadian vessel Coriolis II, and one multichannel seismic line provided from *Secretaría de Energía de la Nación Argentina*.

Through the interpretation of the seismic lines

(Figs. 2-4), following the seismostratigraphic method (Mitchum *et al.*, 1977), four mayor unconformities were recognized (Table 1). These unconformities are interpreted as sequence boundaries. After correlate this unconformities with: previous works in the MCA (data published of Tayra well by Continanzia *et al.*, 2011; and cores published by Ewing & Lonardi, 1971) and main oceanographic-climatic changes, five seismic units (U0, U1, U2, U3 and U4; see table 1) were defined for this part of the margin.

Finally, by the interpretation of these units, four stages of evolution for the TN and TPM could be defined (Fig. 5):

1) Paleocene - Eoceno, is characterized by thermal subsidence, as well as hemipelagic and gravitational sedimentation with negligible activity of deep ocean currents.

2) Eocene - Oligocene to mid Miocene, is characterized by the presence of a shallow marine environment with clinofolds in the outer shelf to middle slope, and it is interpreted as a deltaic progradation in a shallow sea environment.

3) Middle Miocene to Pliocene, is characterized by the first evidence of current activity in the area. It finishes with a strong erosive surface, and formation of the Nágera and Perito Moreno terraces.

4) Pliocene to Holocene is characterized by high ocean currents activity in the upper and middle slope, strong interaction between ocean currents and the seafloor, and development of contouritic deposits.

Keywords: Patagonian Continental Margin, Continental slope, Seismostratigraphy, Contouritic currents.

INTRODUCCIÓN

Los márgenes continentales pasivos conservan en su registro sedimentario variaciones en la dinámica de las corrientes oceánicas asociadas a su evolución, desde cambios globales en los patrones de circulación hasta fluctuaciones en la profundidad de las inter-

faces de las distintas masas de agua (Hernández-Molina *et al.*, 2009; Violante *et al.*, 2010; Gruetzner *et al.*, 2011, 2012, 2016; Preu *et al.*, 2012, 2013). En este sentido, el Margen Continental Argentino Pasivo Volcánico (MCAPV; Rabinowitz y LaBrecque, 1979; Nurnberg y Müller, 1991; Schümann *et al.*, 2002; Franke *et al.*, 2007; Schnabel *et al.*, 2008; Becker *et al.*, 2012) está ubicado en una porción del océano Atlántico sudoccidental donde se genera una de las circulaciones oceánicas más dinámicas del mundo (Talley 1996; Piola y Matano 2001; Fig. 1a). Esta circulación comprende a corrientes tanto someras como profundas de origen antártico, las cuales al interactuar con el lecho marino dejan como resultado uno de los sistemas depositacionales contorníticos más grandes y complejos del mundo (Hernández-Molina *et al.*, 2009, 2010; Violante *et al.*, 2010; Gruetzner *et al.*, 2011, 2012, 2016; Preu *et al.*, 2012 y 2013). En este contexto, el talud del Margen Continental Patagónico (MCP; Fig. 1b), debido a la amplia plataforma adyacente de más de 800 km y la cercanía al sector antártico, posee un excepcional registro para el estudio del efecto de las corrientes oceánicas sobre el lecho marino.

Los esquemas sismoestratigráficos y los modelos evolutivos propuestos hasta la fecha para el MCP (Hernández-Molina *et al.*, 2009, 2010; Gruetzner *et al.*, 2011, 2012; Uenzelman-Neben *et al.*, 2016) se centraron en el estudio de sus dos terrazas más profundas, la Terraza Piedra Buena (~2100-2500 m) y la Terraza Valentín Feilberg (~3500-4000 m). En esta contribución, a partir de un análisis sismoestratigráfico, se caracterizan los procesos que gobernaron la edificación cenozoica de un sector del MCP ubicado entre los paralelos 45° 25' y 46° S y los meridianos 60° 30' y 59° 15' O (Fig. 1c). Dicho sector comprende la Plataforma Externa (PE; 200 m), la Terraza Nágera (TN; ~500 m) y la Terraza Perito Moreno (TPM; ~1000-1200 m).

MARCO GEOLÓGICO – OCEANOGRÁFICO

Principales rasgos morfosedimentarios y oceanográficos

La circulación superficial del MCAPV se encuentra caracterizada por la Corriente Malvinas. Esta corriente es un brazo septentrional de la Corriente Circumpolar que transporta agua fría desde la zona antártica hacia las bajas latitudes. Cerca de los 38°S

se encuentra con la Corriente de Brasil, de origen ecuatorial (Fig. 1a), generando allí la confluencia Brasil-Malvinas. (Tsuchiya *et al.*, 1994; Talley, 1996; Piola and Matano, 2001).

Por debajo de la Corriente de Malvinas, a profundidades mayores a los 500 m, el talud patagónico se encuentra influenciado por la circulación de 4 masas de agua profundas: Agua Intermedia Antártica (AIA, ~500-1000 m), Agua Circumpolar Profunda Superior (ACPS, ~1000-2000 m), Agua Circumpolar Profunda Inferior (ACPI, ~2000-3500 m), y Agua de Fondo Antártica (AFA, >3500 m; Tsuchiya *et al.*, 1994).

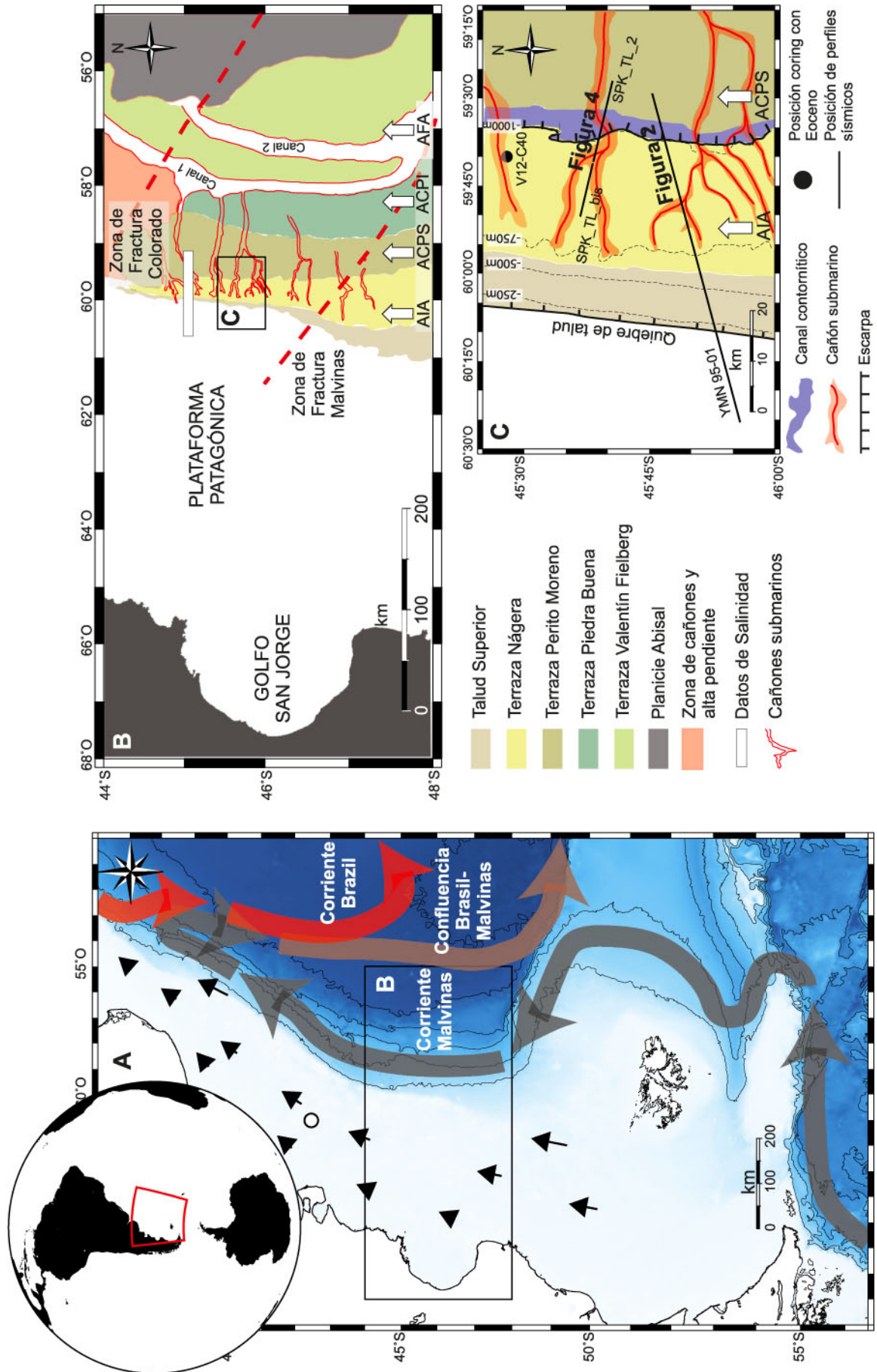
La activa dinámica de estas masas de agua favorecen la creación de grandes acumulaciones sedimentarias en todo el MCAPV, las cuales conforman un complejo y extenso Sistema Depositacional Contornítico (SDC; Hernández-Molina *et al.*, 2009). Al sur de la Zona de Fractura Colorado, dicho SDC está formado principalmente por 4 extensas terrazas contorníticas (Fig. 1b) que se desarrollan en las interfases de las distintas masas de agua (Hernández-Molina *et al.*, 2009).

La TN y la TPM se encuentran bajo la influencia del AIA y el ACPS, respectivamente (Fig. 1c). La primera es una masa de agua de baja salinidad relativa (<34,3 PSU) generada en el frente polar (Talley 1996; Piola y Matano 2001). El ACPS por su parte también fluye hacia el norte. Se origina en el sector antártico y se caracteriza por un mínimo de oxígeno y ser más salobre que el AIA (Tsuchiya *et al.*, 1994).

Además de las terrazas, la acción de las corrientes oceánicas sobre el MCP generó una gran cantidad de rasgos erosivos de menor escala, como surcos, canales y marcas de rastrillaje de témpanos (López-Martínez *et al.*, 2011). Además, los procesos perpendiculares asociados a la pendiente dieron origen a 7 cañones submarinos que cortan en dirección O-E la totalidad de la TN y la TPM (Lastras *et al.*, 2011; Muñoz *et al.*, 2012, 2013).

Estratigrafía del MCAPV

El sustrato del MCAPV se caracteriza por depósitos volcánicos-sedimentarios en forma de cuña (*Seaward Dipping Reflectors, SDRs*), que se desarrollaron durante la apertura del Océano Atlántico y se reconocen en el registro sísmico como reflectores buzantes hacia el mar (Hinz *et al.*, 1999; Franke *et al.*, 2007). El techo de estos depósitos está dado por una



prominente superficie erosiva de edad Hauteriviana (AR1), la cual se extiende en todo el MCAPV (Hinz *et al.*, 1999).

El emplazamiento de los *SDRs* fue seguido por una etapa temprana de depósitos de *drift*, la cual culmina con una superficie erosiva de edad Aptiana (AR2; Hinz *et al.*, 1999, Franke *et al.*, 2007). El techo de la siguiente etapa de sedimentación termina con una superficie erosiva ubicua en el MCAPV, denominada *Pedro Luro equivalent* (Franke *et al.*, 2007) y AR3 (Hinz *et al.*, 1999; Gruetzner *et al.*, 2011, 2012, 2016). De acuerdo con información de pozos ubicados en las cuencas Rawson y Colorado, su edad sería correspondiente al límite Cretácico - Paleógeno (Bushnell *et al.*, 2000; Continanzia *et al.*, 2011).

Tres discordancias regionales se asocian a variaciones de diversos factores climático-oceanográficos ocurridos durante el Cenozoico. El horizonte reflector AR4 representa una reestructuración global de la circulación global asociada a la apertura del pasaje de Drake (Hinz *et al.*, 1999; Violante *et al.*, 2010; Preu *et al.*, 2012, 2013; Gruetzner *et al.*, 2016). El horizonte AR5 (Hinz *et al.*, 1999; Gruetzner *et al.*, 2011, 2012) se vincula a un episodio de mejoramiento climático asociado al Mioceno medio. El horizonte H2 se vincula con la mayor influencia en el hemisferio sur del agua de fondo del Atlántico norte (Ewing y Lonardi 1971; Violante *et al.*, 2010; Cavallotto *et al.*, 2011; Preu *et al.*, 2012). Dataciones obtenidas de información proveniente de pozos en la cuenca del Colorado indican que la edad de este

horizonte sería correspondiente al límite Mioceno-Plioceno (Bushnell *et al.*, 2000).

MÉTODO DE TRABAJO Y BASE DE DATOS

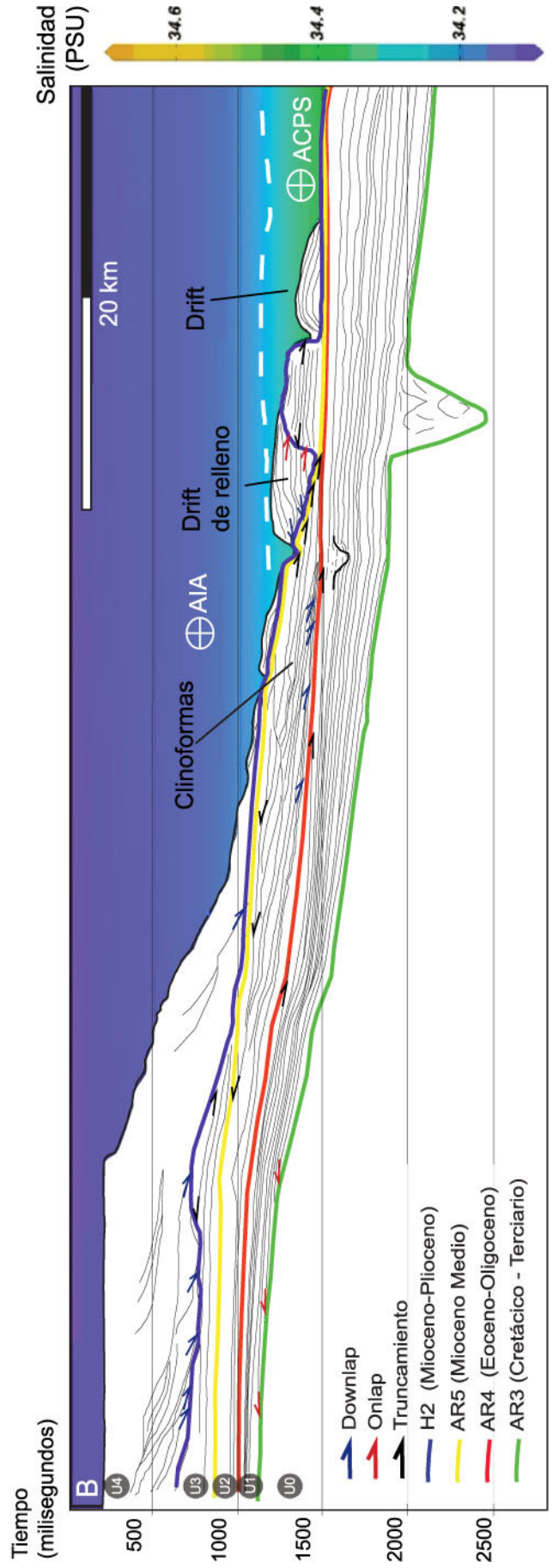
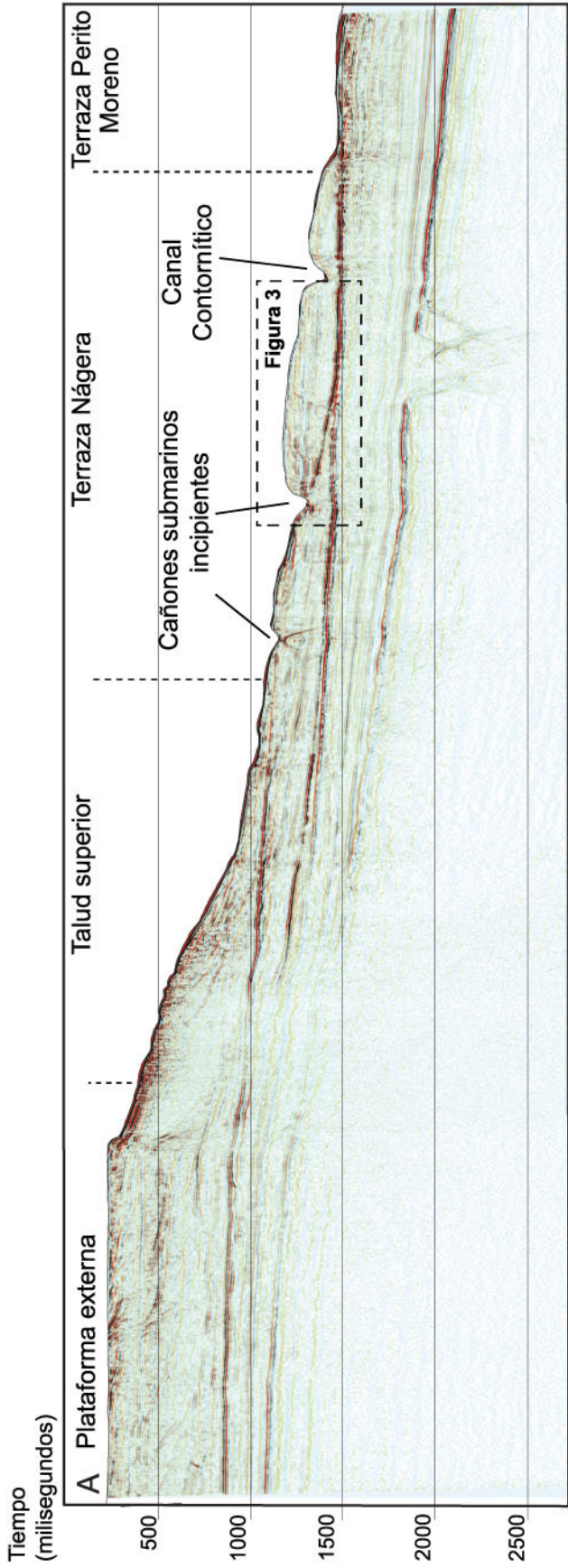
Sísmica

La interpretación general de las unidades sísmicas fue realizada sobre un perfil sísmico multicanal de mediana resolución y gran penetración llamado YMN95-01. El mismo posee dirección O-E y atraviesa la plataforma externa, el talud superior, la totalidad de la TN y parte de la TPM (Fig. 2). Este perfil sísmico fue cedido al grupo de trabajo por la Secretaria de Energía de la Nación y los detalles sobre su procesamiento son desconocidos. Además, se contó con dos perfiles sísmicos de alta resolución y baja penetración, también de dirección O-E, adquiridos entre febrero y marzo de 2014 en el marco de la campaña MARGES (*Marine Geology of the Gulf of San Jorge*), llamados SPK_Tl_2 y SPK_TL_bis. Estos perfiles atraviesan parte de la TN y la TPM.

El equipo utilizado para la adquisición de los perfiles SPK_Tl_2 y SPK_TL_bis fue un *sparker SQUID 2000*, el cual trabajó con una frecuencia de 3,8 kHz, y fue equipado con un *streamer* de 50 m y 12 hidrófonos con una equidistancia entre hidrófonos de 2,5 m. Los datos fueron registrados por el equipo CODA, el cual se encarga en una primera instancia de transformar la señal analítica en digital, y luego realiza la corrección dinámica y el stacking de modo

Figura 1. a) Mapa batimétrico (Smith y Sandwell, 1997) con la ubicación de la zona de estudio superpuesta a: circulación superficial de la plataforma (flechas finas negras), la circulación general de las corrientes del Margen Continental (flechas gruesas) y la ubicación del Pozo Tayra (circulo blanco). b) Principales rasgos morfosedimentarios del Margen Continental Patagónico (adaptado de Hernández-Molina *et al.*, 2009 y Muñoz *et al.*, 2013), con las Zonas de Fractura (líneas rojas discontinuas; adaptado de Franke *et al.*, 2007) y Masas de Agua (flechas blancas; AIA: Agua Intermedia Antártica; ACPS: Agua Circumpolar Profunda Superior; ACPI: Agua Circumpolar Profunda Inferior; AFA: Agua de Fondo Antártica). c) Mapa de detalle de la zona de estudio con principales rasgos morfosedimentarios (Muñoz *et al.*, 2013), ubicación de secciones sísmicas, posición del *coring* V12-C40 (Ewing y Lonardi, 1971,) isobatas (tomadas de Muñoz *et al.*, 2013) y Masas de Agua (flechas blancas; AIA: Agua Intermedia Antártica; ACPS: Agua Circumpolar Profunda Superior).

Figure 1. a) Bathymetric map of the MCAPV (Smith and Sandwell, 1997), with the location of the study area (black box), superficial water circulation on the shelf (thin black arrows), the main circulation pattern of the MCAPV (thick arrows), and the location of the Tayra well (white circle). b) Main morphosedimentary features of the MCP (after Hernández-Molina *et al.*, 2009 and Muñoz *et al.*, 2013), Fracture Zones (red dashed lines; after Franke *et al.*, 2007), and bottom waters masses (white arrows; AIA: Antarctic Intermediate Water; ACPS: Upper Circumpolar Deep Water; ACPI: Lower Circumpolar Deep Water; AFA: Antarctic Bottom Current). c) Detailed map of the study area. Terraces, bathymetry and canyons adapted after Muñoz *et al.* (2013) and location of the seismic profiles, position of *coring* V12-C40 (Ewing y Lonardi, 1971), and bottom water masses (white arrows; AIA: Antarctic Intermediate Water; ACPS: Upper Circumpolar Deep Water).



automático, proporcionando de esta forma una sección sísmica simultánea a la adquisición.

Perfil de Salinidad

Los datos de salinidad de la columna de agua fueron tomados de la base de datos del *World Ocean Circulation Experiment* (WOCE) y representados gráficamente con el *software Ocean Data View 4*. Esta información fue utilizada para determinar la profundidad del límite entre las el AIA y el ACPS en la zona de estudio (Fig. 2).

Interpretación Sismoestratigráfica

Se definieron y caracterizaron las unidades sísmicas utilizando los conceptos de estratigrafía secuencial propuestos por Mitchum *et al.* (1977) para la interpretación de los perfiles sísmicos. Los límites de secuencia reconocidos en los perfiles fueron correlacionados con el esquema sismoestratigráfico propuesto por Hinz *et al.* (1999) y reajustado por Gruetzner *et al.* (2011, 2012, 2016) para el MCP, sumado a información del pozo Tayra (Fig. 1a; Marinelli y Franzin, 1996; Continanzia *et al.*, 2011), y testigos estudiados por el observatorio *Lamont Doherty Earth Observatory* (V12-C40, Fig. 1c; Ewing y Lonardi, 1971). Luego, se correlacionó a la unidad más moderna reconocida en los perfiles sísmicos

Figura 2. a) Perfil sísmico YMN 95-01 correspondiente al sector más meridional del MCP. La sección atraviesa la plataforma externa, talud superior, Terraza Nágera y la parte occidental de la Terraza Perito Moreno (ubicación en figura 1c). b) Sección sísmica integrada con el perfil de salinidad compilado de *World Ocean Data View* (Schlitzer, 2010). Se indican las principales discordancias (líneas de colores), configuración interna de cada unidad (líneas negras delgadas) y el límite (línea discontinua blanca) entre la masa de Agua Intermedia Antártica (AIA) y el Agua Circumpolar Profunda Superior (ACPS).

Figure 2. a) High penetration medium resolution seismic profile located in the northern part of the MCP. The section crosses the outer shelf, Nágera Terrace, and the westernmost part of the Perito Moreno Terrace (see figure 1c for location). b) Interpreted section from seismic profile YMN 95-01 overlay to a salinity profile compiled from *World Ocean Data View* (Schlitzer, 2010). Main unconformities (colors lines), internal acoustic structure (thin black lines) and transition between the two water masses (white dashed line).

con la distribución actual de las masas de agua. El tratamiento de estos datos fue realizado utilizando el *software Kingdom Suite package* (versión 8.5).

RESULTADOS

Descripción de las unidades sísmicas

A partir de la interpretación sismoestratigráfica de los perfiles sísmicos, 5 unidades fueron definidas en la zona de estudio (Figs. 2-5). Estas unidades se encuentran limitadas por 4 discontinuidades de extensión regional y fueron nombradas de base a techo con los números 0 a 4.

La unidad U0 se caracteriza por reflectores semi-transparentes subparalelos entre sí y al horizonte AR3, con baja a nula amplitud, con una configuración caótica que se corresponde al basamento acústico. Se desarrolla a profundidades mayores a 2 segundos en tiempos dobles (2S TWT) y su tope se profundiza progresivamente hacia el este (Fig. 2).

La unidad U1 se encuentra comprendida entre los horizontes AR3 y AR4 y puede ser reconocida en todo el área de estudio. El espesor de esta unidad es de 0,1 s TWT debajo de la Plataforma Externa (PE), y se profundiza progresivamente hacia el oeste, hasta llegar a cerca de 0,75 s TWT debajo de la TPM.

Su límite inferior está dado por el horizonte AR3, sobre el cual los reflectores que conforman la unidad presentan terminaciones del tipo *onlap*. Este horizonte se encuentra recortado por un paleo-valle de aproximadamente 0,5 s TWT de profundidad dentro del cual se observan reflectores con un arreglo caótico. El arreglo interno de esta unidad es homogéneo, con una configuración interna divergente hacia la cuenca oceánica. Los reflectores muestran en general buena continuidad lateral y son interrumpidos en algunos sectores por paleo-valles de aproximadamente 0,2 s TWT de espesor. Los reflectores del techo de esta unidad terminan en relación de truncamiento erosivo sobre el horizonte AR4.

La unidad U2 se encuentra comprendida entre los horizontes AR4 y AR5 y sólo está presente debajo de la PE y la TN. En la PE forma un banco con un espesor de 0,12 s TWT con una configuración interna de reflectores paralelos y con buena continuidad y reflectores de mediana a alta amplitud. En la TN el espesor de la unidad es de 0,25 s TWT, se encuentra sub-aflorante y es atravesada por cañones a profundidades de entre 850 a 1150 m de agua. La

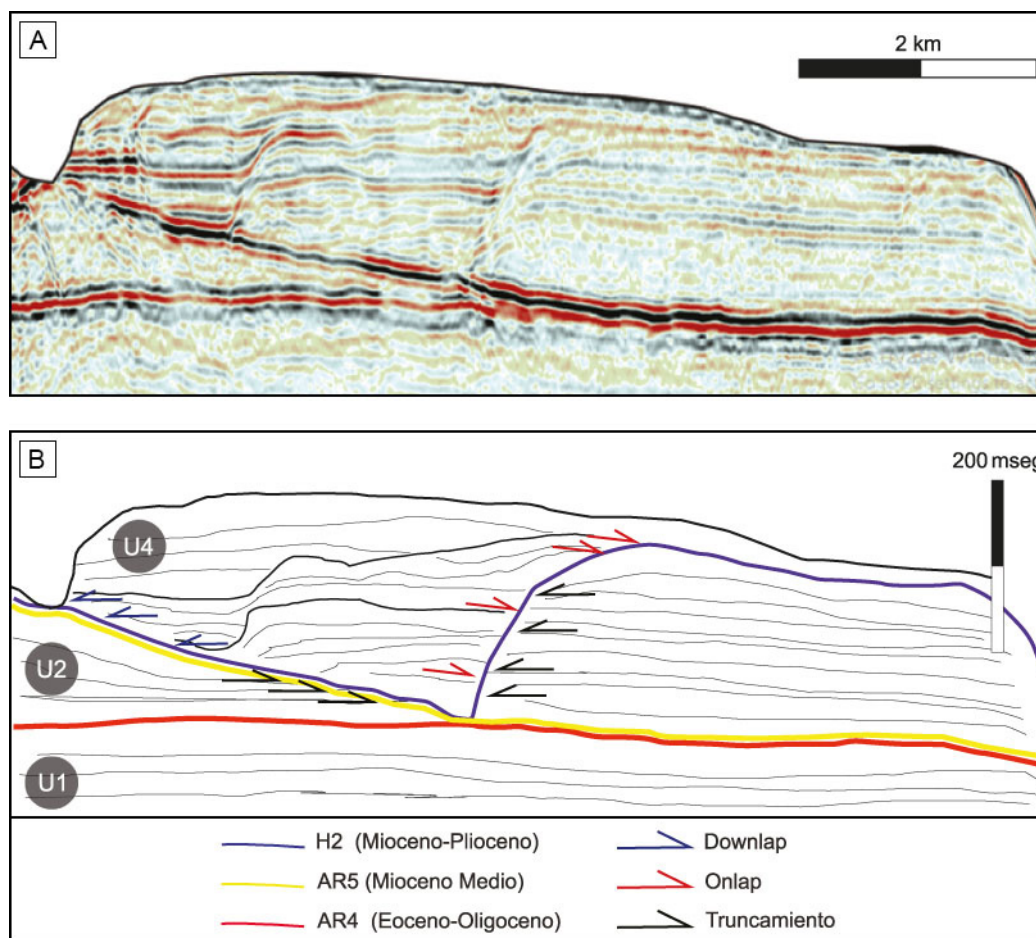


Figura 3. a) Detalle de la sección sísmica YMN 95-01 (ubicación en figura 1c). b) Interpretación del perfil sísmico mostrado en A) con las principales discordancias (líneas de colores). Se puede identificar un depósito de la unidad U4 rellenando una superficie erosiva con forma de canal.

Figure 3. a) Detail of the seismic profile YMN 95-01 (location in figure 1c). b) Interpreted section of the seismic profile shown in a). The main unconformities are shown in color lines. It can be identified Plio-Quaternary deposits filling an erosional channel-like structure.

unidad muestra una fábrica interna progradante compuesta de clinoformas tangenciales con reflectores de gran continuidad y alta amplitud que terminan en relación *downlap* sobre el reflector AR4. Los reflectores del techo de esta unidad terminan en relación de truncamiento erosivo sobre el horizonte AR 5 (Figs. 2, 3).

La unidad U3 se encuentra comprendida entre los horizontes AR5 y H2, en la PE forma un banco de espesor promedio de 0,2 s TWT, y en la TN se encuentra presente sólo en su parte más oriental con un espesor de 0,25 s TWT. En la PE sus reflectores son paralelos al horizonte AR5 y tienen un arreglo agradacional con reflectores paralelos entre sí. Los reflectores del techo terminan en truncamiento ero-

sivo debajo del horizonte H2 (Fig. 2).

En la parte oriental de la TN tiene un arreglo agradacional paralelo al horizonte AR5. Se encuentra fuertemente erosionada por la presencia de cañones submarinos y forma un paquete de reflectores de mediana amplitud y buena continuidad. Los reflectores del techo de esta unidad terminan en relación de truncamiento erosivo sobre el horizonte H2.

La unidad U4 es la unidad sísmica más reciente del área de estudio. La misma se encuentra comprendida entre el horizonte H2 y el lecho marino. Presenta un espesor variable a lo largo de la zona de estudio; en la PE ronda valores cercanos a los 0,75 s TWT y se acuña hacia el talud superior hasta desaparecer, en las terrazas su presencia no es continua y está

restringida a depósitos de *drift* que no superan los 0,25 s TWT de espesor (Figs. 2, 4).

En la PE y el talud superior los reflectores que componen esta unidad terminan en relación de *downlap* sobre el horizonte H2. En los depósitos de tipo *drift* de las terrazas presentan terminaciones de tipo *toplap* y *downlap* (Fig. 3).

DISCUSION

Interpretación de las distintas etapas evolutivas

A partir de la información resumida que se indica en la tabla 1 se construyó el siguiente modelo de edades para los principales reflectores reconocidos en la zona de estudio: AR3 corresponde al límite Cretácico-Paleógeno, AR4 marca el límite Eoceno-Oligoceno, AR5 se desarrolló en el Mioceno medio, y H2 corresponde al Mioceno tardío. Estas edades permiten definir 4 etapas evolutivas para el Cenozoico de la zona de estudio.

Paleoceno / Eoceno (~66-34 Ma) – Subsistencia termal y sedimentación hemipelágica. La evolución del área estudiada durante el Paleoceno-Eoceno se encuentra representada por la unidad U1 la cual está limitada en base y techo por los horizontes AR3 y AR4, respectivamente. La configuración interna divergente de los reflectores se interpreta como consecuencia de subsidencia diferencial entre la zona de PE y el talud, lo cual es un rasgo característico de los ambientes donde gobierna la subsidencia termal (Mitchum *et al.*, 1977).

El arreglo agradacional, la ausencia de discordancias internas, y la litología pelítica recobrada por el testigo V12-C40 (Fig. 1c; Ewing y Lonardi 1971) sugieren que durante este periodo la actividad de las corrientes oceánicas era nula o débil, y la sedimentación principalmente hemipelágica y gravitacional. Por otro lado, la presencia de algunos paleo-cañones submarinos dentro y en la base de la unidad U1 sugiere que los procesos gravitacionales tuvieron actividad en este estadio de edificación de la zona de estudio.

La interpretación de una sedimentación principalmente hemipelágica, como sería este caso, es a su vez consistente con los modelos de circulación termohalina, los cuales proponen que la circulación para esa época debería haber sido menor a la actual debido al pequeño contraste de temperatura entre

el ecuador y los polos (Bice y Marotzke, 2002). Una unidad sísmica con las mismas características fue reconocida en el talud superior y medio de los sectores centro y norte del MCAPV (Hinz *et al.*, 1999; Violante *et al.*, 2010; Gruetzner *et al.*, 2011, 2012, 2016; Preu *et al.*, 2012, 2013). Esto sugiere que hasta el Eoceno no existían grandes variaciones latitudinales en los mecanismos de sedimentación del MCAPV.

Esta etapa evolutiva culmina con una discordancia relacionada con un prominente evento erosivo de edad eocena-oligocena asociado a la intensificación de las corrientes oceánicas en el Atlántico sur, y con una regresión asociada con la expansión de los hielos antárticos. Este mismo evento fue reconocido por varios autores en el MCAPV (Hinz *et al.*, 1999; Violante *et al.*, 2010; Gruetzner *et al.*, 2016; Preu *et al.*, 2012).

Oligoceno / Mioceno medio (~34-17 Ma) – Ambiente marino somero y progradación del margen. El episodio evolutivo comprendido entre el Oligoceno y el Mioceno medio se encuentra limitado por los horizontes AR4 y AR5 y está representado por la unidad U2. Esta unidad es la que muestra relación con la distribución actual de las masas de agua. La mayor sedimentación hacia la zona profunda, y la presencia de clinofomas oblicuas-sigmoidales sugieren que esta unidad se formó bajo condiciones de ambiente marino somero, y estaría representando una progradación deltaica. Estos depósitos a su vez pueden ser vinculados al *low stand* del Oligoceno propuesto por Miller *et al.* (2005) (Fig. 5). En las terrazas Piedra Buena y Valentín Feilberg se reconocen para este período temporal espesos depósitos contorníticos (Fig. 1b; Hernández-Molina *et al.*, 2009, 2010, Gruetzner *et al.*, 2011, 2012). En las terrazas abordadas en este trabajo, en cambio, no se reconocen este tipo de depósitos, posiblemente debido a que la circulación termo-halina sólo actuaba a mayores profundidades durante este estadio del mar.

En la zona norte del talud superior del MCAPV, también se reconoce una unidad compuesta por clinofomas progradantes (Gruetzner *et al.*, 2016; Violante *et al.*, 2010 y Preu *et al.*, 2012). Esto, al igual que con la U1, sugiere que durante este período de tiempo la totalidad del talud superior del MCAPV se edificaba de la misma forma.

Mioceno medio / Plioceno (~17-6 Ma) - Intensifi-

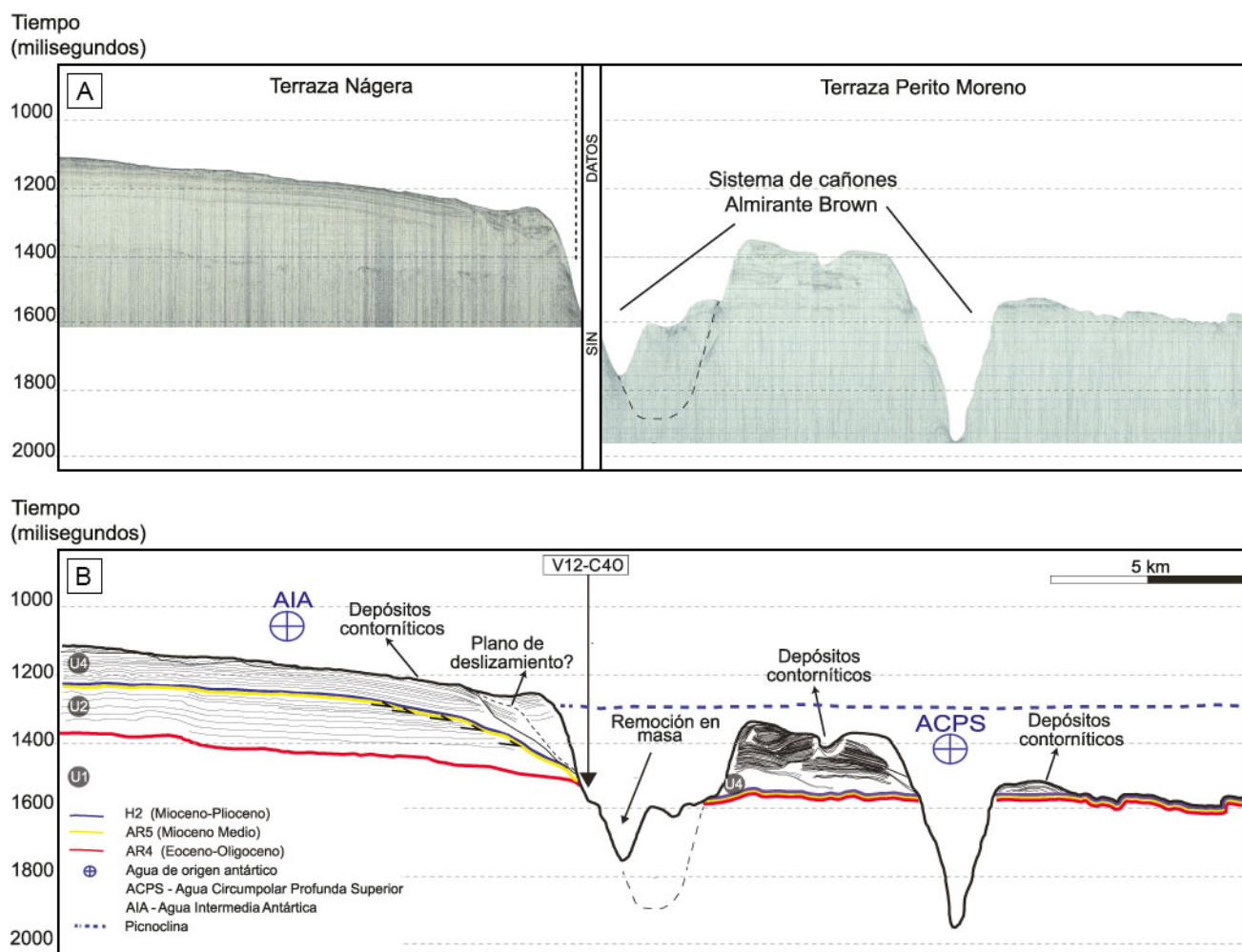


Figura 4. a) Perfiles sísmicos de baja penetración y alta resolución (ubicación en figura 1c). b) Sección sísmica interpretada. Se indican las principales discordancias (líneas de colores), configuración interna de cada unidad (líneas negras delgadas), profundidad del testigo V12-C40 (flecha negra).

Figure 4. a) High resolution low penetration seismic profiles (location in figure 1c). b) Interpreted sections. Main discordance (colors lines), internal acoustic structure (thin black lines), transition between the two water masses (blue dashed line) and depth of core V12-C40 (black arrow).

cación de corrientes oceánicas y formación de terrazas. Este episodio evolutivo de la zona estudiada está limitado por los horizontes AR5 y H2 y se encuentra representado en el registro sísmico por la unidad U3. Sólo es reconocido en la PE, formando una secuencia de no más de 0,2 s TWT, y en la parte más oriental de la TN. Este episodio se asocia a una nueva expansión de la calota de hielo antártica (Zachos *et al.*, 2001) y un nuevo cambio en el estilo de sedimentación del MCP (Fig. 5). Sobre la TN se reconoce un cambio en las condiciones hidrodinámicas, pasando de un ambiente erosivo de alta energía a un ambiente donde las corrientes oceánicas comienzan a modelar el lecho marino.

La acumulación de sedimentos en otras partes del margen para este intervalo temporal también se encontraba dominada por depósitos contorníticos (Hernández-Molina *et al.*, 2009; Gruetzner *et al.*, 2011, 2012, 2016), lo que sugiere que durante este período la circulación fue activa en todo el MCAPV. Este episodio culmina con el evento erosivo representado por el horizonte H2 y la consecuente formación de la TN y la TPM.

Plioceno / Holoceno (~6-0 Ma) - Influencia de actividad de corrientes oceánicas. La evolución de esta parte del margen desde el Plioceno se encuentra representada por la unidad U4, la cual es limitada

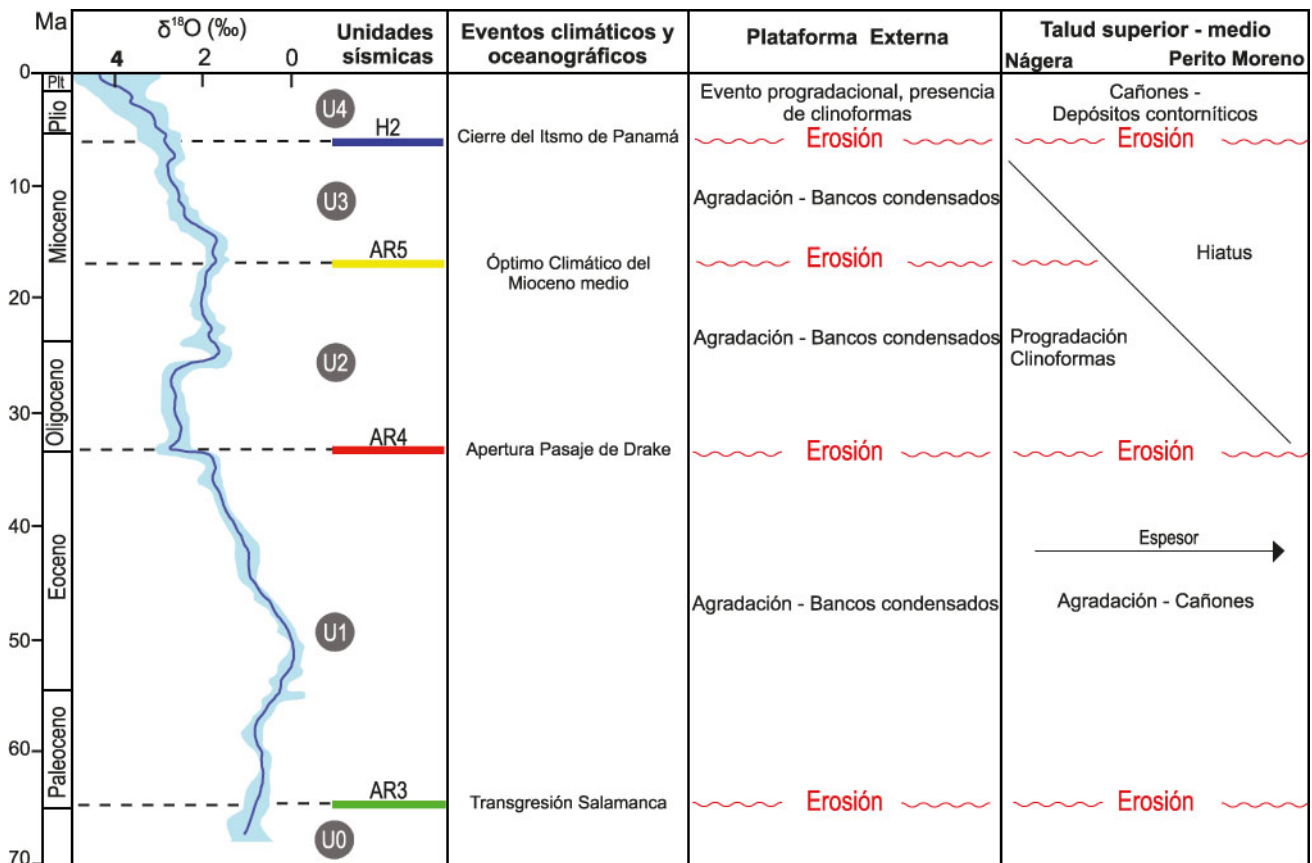


Figura 5. Comparación entre valores de isótopo de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$ ‰; Zachos *et al.*, 2001), unidades sísmicas de este trabajo, principales eventos climático-oceanográficos mundiales, sismoestratigrafía y arquitectura sedimentaria de la plataforma externa y el talud superior y medio.

Figure 5. Comparison between Oxygen isotope ($\delta^{18}\text{O}$ ‰; Zachos *et al.*, 2001), main climatic-oceanographic global events, seismostratigraphy and sedimentary architecture of outer shelf, and upper and middle continental slope.

en base y techo por el horizonte H2 y el lecho marino. Esta unidad es la que muestra las mayores variaciones laterales, las cuales puede ser asociadas a la paleo circulación y a la dinámica actual de las corrientes oceánicas. El desarrollo de esta unidad se correlaciona con la apertura del istmo de Panamá y la mayor influencia en el hemisferio sur del APAN (Fig. 5; Preu *et al.* 2012).

En la PE se caracteriza por un banco de aproximadamente 1 s TWT de espesor, compuesto por una serie de clinoformas que terminan en relación de *downlap* sobre el horizonte H2 (Fig. 2). Por otro lado, en la zona de terrazas se caracteriza por depósitos bien estratificados con morfología y espesor variables (Fig. 4).

Las progradaciones y retrogradaciones (con predominio de las primeras) de la PE, indican rápidas

variaciones del nivel del mar las cuales se interpretan como consecuencia de las variaciones glacio-eustáticas pliocenas - cuaternarias (Zachos *et al.*, 2001). También se interpreta que estas variaciones están representadas en la TN por la alternancia de horizontes de alta y baja amplitud en los depósitos coetáneos (Fig. 4).

La fuerte influencia y variabilidad de las corrientes oceánicas en ese período se evidencia en la figura 3, donde se observa un depósito de tipo *drift* rellenando un canal asociado a la circulación de corrientes de fondo. Esto indicaría que para principios del Plioceno la actividad de las corrientes oceánicas poseía una mayor intensidad y tenía la capacidad de erosionar y modificar fuertemente la forma del lecho marino. Esta actividad habría mermado paulatinamente, permitiendo así la colma-

| Área de Estudio | | Cuenca del Colorado | Cuenca Rawson | MCAPV Talud y Plat. ext. | MCP - Talud | MCP Talud inferior y md. | MCAPV Plat. externa y talud | MCP Talud inferior y medio | MCP (plat. ext. talud sup. y md.) | |
|-----------------|-----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|----|
| CENOZOICO | Autores | Fryklund et al. (1996) | Cotinanzia et al. (2010) | Hinz et al. (1999) | Ewing y Lonardi (1971) | Gruetzner et al. (2012 y 2014) | Schumann (2002) | Hernández-Molina et al. (2009) | Este Trabajo | |
| | | Fm. Belén | Terciario 3 | | H1 | AR 7 | | Unidad Superior | | U4 |
| | | Fm. Barranca Final | Terciario 2 | AR 5 | H2 | AR 6 AR 5 | ARG 9 | H2 | | H2 |
| MESOZOICO | Cretácico | Fm. Elvira | Terciario 1 | AR 4 | | AR 4 | | Unidad Media | U3 | |
| | | HIATUS | HIATUS | | | | ARG 8 | Unidad Inferior | U2 | |
| | | Fm. Pedro Luro | Sag (?) | AR 3 | | AR 3 | | | AR4 | |
| | Superior | Fm. Colorado Fortín | Sin Rift 3 | | | | | | U1 | |
| | | | | | | | | | AR3 | |
| | | | | | | | | | U0 | |

Tabla 1. Resumen de los distintos esquemas sismoestratigráficos propuestos para el Margen Continental Argentino Pasivo Volcánico.

Table 1. Summary of the different seismostratigraphic schemes proposed for the Argentine Continental Passive Volcanic Margin (MCAPV).

tación de la depresión erosionada.

La Terraza Nágera y la Terraza Perito Moreno muestran significativas diferencias morfológicas las cuales sugieren una distinta interacción entre el lecho marino y las masas de agua que circulan por sobre las terrazas:

1) la forma del cañón submarino, atravesado en ambas terrazas por las secciones sísmicas SPK_TL_bis y SPK_TL_2 (Fig. 4); en la TN, dicho cañón se encuentra parcialmente rellenado por material de remoción en masa, mientras que en el caso de la TPM el mismo se encuentra libre de relleno, y muestra una mayor incisión.

2) la morfología y estructura acústica interna de las contornitas depositadas en la TN muestran un arreglo agradacional, con intercalación de reflectores de alta y baja amplitud, mientras que en el caso de la TPM los depósitos coetáneos tienen una estructura interna mucho más compleja compuesta de abundantes discordancias internas (Fig. 4).

Una hipótesis posible para explicar el distinto comportamiento observado en ambos sectores del cañón es que en el sector correspondiente a la TPM posee una geometría más eficiente para capturar el flujo de la ACPS que la zona oeste. La dirección noreste que presenta el cañón en la TPM (Fig. 1c) permitiría encauzar con mayor facilidad el flujo de la ACPS. Esto, además de generar una activa circulación dentro de la parte oriental del cañón evitando la colmatación del mismo, también generaría una pérdida de competencia de la masa de agua capturada y una consecuente liberación de material y formación de depósitos contorníticos (Marches *et al.*, 2007). Por otro lado, una intensa interacción entre el cañón submarino y el ACPS generaría condiciones de turbulencia, las cuales serían las condiciones propicias para formar un depósito con estructura interna compleja como la observada en el *drift* contornítico ubicado en el oeste de la TPM (Fig. 4). Se observa también en el techo de esta unidad una serie de canales erosivos ubicados a las profundidades correspondientes al límite de la interfaz entre el AIA y el ACPS, lo que sugiere que actualmente los procesos turbulento-erosivos asociado al límite entre las masas de agua siguen activos (Figs. 2, 4).

CONCLUSIONES

A partir del análisis de perfiles sísmicos de alta

y mediana resolución se proponen cuatro etapas evolutivas para la edificación cenozoica de la Terraza Nágera y la Terraza Perito Moreno. La primera etapa, de edad Paleocena - Eocena, se caracteriza por subsidencia termal, sedimentación gravitacional y hemipelágica con escasa o nula actividad de corrientes oceánicas. La segunda etapa, de edad Oligocena-Miocena se caracteriza por un ambiente marino somero y el desarrollo de un sistema deltaico. La tercera etapa, de edad Mioceno medio - Mioceno tardío, corresponde a un período de sedimentación poco representado en el registro sísmico que culmina con un episodio erosivo vinculado a la formación de las terrazas. La cuarta etapa, de edad Mioceno tardío - Cuaternario, es la más heterogénea y se observan fuertes evidencias de actividad de corrientes oceánicas en esta porción del margen, las cuales al interactuar con los procesos gravitacionales dejan una configuración interna compleja.

Por su lado, la sección sísmica de alta resolución y baja penetración permitió identificar diferencias morfológicas entre los depósitos plioceno-cuaternarios y los cañones de la Terraza Nágera y de la Terraza Perito Moreno. La evidencia señalada en este trabajo parecería indicar que la interacción entre los cañones, como obstáculos, y la circulación del Agua Circumpolar Profunda Superior juegan un rol importante en la sedimentación pliocena-cuaternaria en la parte occidental de la Terraza Perito Moreno.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la tripulación y personal científico del buque científico Coriolis II que participaron en la tarea de adquisición de datos de la campaña MARGES y a la Secretaria de Energía de la Nación Argentina por los datos aportados. Se desea agradecer también a los dos revisores, Ing. Marcelo Paterlini y Dra. Paula Franco Fraguas, cuya cuidadosa evaluación nos ha sido de gran utilidad para corregir errores u omisiones y, sobre todo, para mejorar el enfoque y la calidad del trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Becker, K., D. Franke, M. Schnabel, B. Schreckenberger, I. Heyde y C.M. Krawczyk, 2012. The crustal structure of the southern Argentine margin. *Geophysical Journal International* 189:1483-1504.
- Bice, K.L. y J. Marotzke, 2002. Could changing ocean circulation

- have destabilized methane hydrate at the Paleocene/Eocene boundary? *Paleoceanography* 17:1-16.
- Bushnell, D.C., J.E. Baldi, F.H. Bettini, H. Franzin, E. Kovaks, R. Marinelli y G.J. Wartenburg**, 2000. Petroleum system analysis of the Eastern Colorado Basin, offshore Northern Argentine. *Petroleum systems of South Atlantic margins*, M. R. Mello. AAPG Memoir:403-415, Tulsa.
- Cavallotto, J.L., R.A. Violante y F.J. Hernández-Molina**, 2011. Geological aspects and evolution of the Patagonian continental margin. *Biological Journal of the Linnean Society* 103:346-362.
- Continanzia, J.L., R. Manceda, G.M. Covellone y A.S. Gavarrino**, 2011. Cuencas de Rawson y Valdés: Síntesis del Conocimiento Exploratorio - Visión actual. En E. Kozłowski, L. Legarreta, A. Boll y P.A. Marshall (Eds.), *Simposio Cuencas Argentinas Visión Actual: VIII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos*. Actas 1:47-64, Mar del Plata.
- Ewing, M. y A.G. Lonardi**, 1971. Sediment transport and distribution in the Argentine Basin. 5 Sedimentary structure of the Argentina margin, basin and related provinces. En L.H. Ahrens, F. Press, S.K. Runkorn y H.C. Urey (Eds.), *Physics and Chemistry of the Earth*. Pergamon Press, Londres 8:125-249.
- Franke, D., S. Neben, S. Ladage, B. Schreckenberger y K. Hinz**, 2007. Margin segmentation and volcano-tectonic architecture along the volcanic margin off Argentina/Uruguay, South Atlantic. *Marine Geology* 244:46-67.
- Gruetzner, J., G. Uenzelmann-Neben y D. Franke**, 2011. Variations in bottom water activity at the southern Argentine margin: Indications from a seismic analysis of a continental slope terrace. *Geo-Marine Letters* 31:405-417.
- Gruetzner, J., G. Uenzelmann-Neben y D. Franke**, 2012. Variations in sediment transport at the central Argentine continental margin during the Cenozoic. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 13:1-15.
- Gruetzner, J., G. Uenzelmann-Neben y D. Franke**, 2016. Evolution of the northern Argentine margin during the Cenozoic controlled by bottom current dynamics and gravitational processes. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 17:3131-3149.
- Hernández-Molina, F.J., M. Paterlini, R.A. Violante, P. Marshall, M. de Isasi, L. Somoza y M. Rebesco**, 2009. A 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. Paterlini, L. Somoza, R. Violante, M.A. Arecco, M. de Isasi, M. Rebesco, G. Uenzelmann-Neben, S. Neben y P. Marshall**, 2010. Giant mounded drifts in the Argentine Continental Margin: Origins, and global implications for the history of thermohaline circulation. *Marine and Petroleum Geology* 27:1508-1530.
- Hinz, K., S. Neben, B. Schreckenberger, H.A. Roeser, M. Block, K. Goncalves de Souza y H. Meyer**, 1999. The Argentine continental margin north of 48°S: sedimentary successions, volcanic activity during breakup. *Marine and Petroleum Geology* 16:1-25.
- 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.
- López-Martínez, J., A. Muñoz, J.A. Dowdeswell, A. Linés y J. Acosta**, 2011. Relict seafloor ploughmarks record deep-keeled icebergs to 45°S on the Argentine margin. *Marine Geology* 288:43-48.
- Marchès, E., T. Mulder, M. Cremer, C. Bonnel, V. Hanquiez, E. Gonthier y P. Lecroart**, 2007. Contourite drift construction influenced by capture of Mediterranean Outflow Water deep-sea current by the Portimão submarine canyon (Gulf of Cadiz, south Portugal). *Marine Geology* 242:247-260.
- Marinelli, R.V. y H.J. Franzin**, 1996. Cuencas Rawson y Península Valdés. En V.A. Ramos, M.A. Turic (Eds.), *Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental Argentina. XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, Relatorio 9:159-169, Buenos Aires.
- Miller, K.G., M.A. Kominz, J.V. Browning, J.D. Wright, G.S. Mountain, M.E. Katz, P.J. Sugarman, B.S. Cramer, N. Christie-Blick y S.F. Pekar**, 2005. The Phanerozoic record of global sea-level change. *Science* 310(5752):1293-1298.
- Mitchum, R.M. Jr., P.R. Vail y J.B. Sangree**, 1977. Seismic stratigraphy and Global changes of sea level, part 6: Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. En C.E. Payton (Ed.), *Seismic stratigraphy applications to hydrocarbon exploration. American Association of Petroleum Geologists*, Memoir 26:117-133.
- Muñoz, A., J. Cristobo, P. Ríos, M. Druet, V. Polonio, E. Uchupi, J. Acosta y Atlantis Group**, 2012. Sediment drifts and cold-water coral reefs in the Patagonian upper and middle continental slope. *Marine and Petroleum Geology* 36:70-82.
- Muñoz, A., J. Acosta, J. Cristobo, M. Druet y E. Uchupi**, 2013. Geomorphology and shallow structure of a segment of the Atlantic Patagonian margin. *Earth-Science Reviews* 121:73-95.
- Nurnberg, D. y R.D. Müller**, 1991. The tectonic evolution of the South Atlantic from Late Jurassic to present. *Tectonophysics* 191:27-53.
- Piola, A.R. y R.P. Matano**, 2001. Brazil and Falklands (Malvinas) currents. *A Derivative of the Encyclopedia of Ocean Sciences*: 35-43.
- Preu, B., T. Schwenk, F.J. Hernández-Molina, R. Violante, M. Paterlini, S. Krastel, J. Tomasini y V. Spieß**, 2012. Sedimentary growth pattern on the northern Argentine slope: The impact of North Atlantic Deep Water on southern hemisphere slope architecture. *Marine Geology* 329-331:113-125.
- Preu, B., F.J. Hernández-Molina, R. Violante, A.R. Piola, C.M. Paterlini, T. Schwenk, I. Voigt, S. Krastel 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* 75:157-174.
- Rabinowitz, P.D. y J. LaBrecque**, 1979. The Mesozoic South Atlantic Ocean and Evolution of its Continental Margins. *Journal of Geophysical Research* 84:5973-6002.
- Schlitzer, R.**, 2010. *Ocean Data View*. <http://odv.awi.de>
- Schnabel, M., D. Franke, M. Engels, K. Hinz, S. Neben, V. Damm, S. Grassmann, H. Pelliza y P.R. Dos Santos**, 2008. The structure of the lower crust at the Argentine continental margin, South Atlantic at 44°S. *Tectonophysics* 454:14-22.
- Schumann, T.K.**, 2002. *The hydrocarbon potential of the deep offshore along the Argentine volcanic rifted margin—A numerical simulation*. PhD Thesis, Univ. Hamburgo (Alemania), 194 pp. (Inédito).
- Smith, W.H.F. y T. Sandwell**, 1997. Global sea floor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. *Science* 277:1956-1962.
- Talley, L.D.**, 1996. Antarctic Intermediate Water in the South Atlantic. En G. Wefer, W.H. Berger, G. Siedler y D.J. Webb (Eds.), *The South Atlantic: Present and past circulation*. Springer, Berlín:219-238.

- Tsuchiya, M., L.D. Talley y M.S. McCartney**, 1994. Water-mass distributions in the western South Atlantic; a section from South Georgia Island (54°S) northward across the equator. *Journal of Marine Research* 52:55-81.
- Uenzelmann-Neben, G., T. Weber, J. Grütznert y T. Maik**, 2016. Transition from the Cretaceous ocean to Cenozoic circulation in the western South Atlantic - A twofold reconstruction. *Tectonophysics*. doi.org/10.1016/j.tecto.2016.05.036
- Violante, R.A., C.M. Paterlini, I.P. Costa, F.J. Hernández-Molina, L.M. Segovia, J.L. Cavalloto, 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* 17:33-62.
- Zachos, J., M. Pagani, L. Sloan, E. Thomas y K. Billups**, 2001. Trends, Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65 Ma to Present. *Science* 292(5517):686-693.