

ARQUITECTURA ESTRATIGRÁFICA DEL EOCENO EN LA CUENCA PUNTA DEL ESTE (*OFFSHORE* DE URUGUAY).

Belén Viera, Instituto de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias. bviera@fcien.edu.uy

Ethel Morales, Instituto de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias. ethel@fcien.edu.uy

Matias Soto, Instituto de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias. msoto@fcien.edu.uy.

Bruno Conti, Exploración y Producción, ANCAP, bconti@ancap.com.uy

Palabras claves: Estratigrafía de secuencias, Eoceno, Cuenca Punta del Este.

Abstract: *Stratigraphical architecture of the Eocene in the Punta del Este Basin (offshore Uruguay).*

The Punta del Este Basin is part of the set of aborted rifts with perpendicular orientation to the Atlantic continental margin that develops in the offshore areas of Argentina and Uruguay. The objective of the present work was the identification and characterization of the seismic facies, facies associations, depositional systems tracts and depositional sequences in the sedimentary interval assigned to the Eocene in the Punta del Este Basin. The database included approximately 6,000 linear kilometers of 2D seismic sections, acquired in exploratory surveys of the years 2007 and 2008. Sequence stratigraphy was used as a basin analysis method. In a general way, the work sequence included the recognition of stacking patterns and/or stratal terminations, the definition of stratigraphic surfaces with genetic significance and based on these aspects the identification of systems tracts and depositional sequences. For the sedimentary interval studied, three depositional sequences were identified. The basal sequence is composed of four tracts of depositional systems including deposits of forced regression, normal (lowstand and highstand) and transgressive deposits. The lowstand deposits are represented by monoclinal seismic facies developed in the distal portions of the basin. The transgressive tract presents as characteristic seismic facies the development of parallel to slightly diverging reflections, with good lateral continuity. The highstand tract is characterized by the development of smooth sigmoidal clinoforms in the shelf areas that make downlap on the maximum transgressive surface of the sequence. The forced regression deposits present the development of prograding lobes with offlap pattern in the most proximal sectors and monoclinal shapes with characteristic double downlap in the distal sectors. The intermediate sequence preserves only the register of normal lowstand regression deposits, with the development of clinoforms with sigmoidal geometries in the base giving way to tangential oblique geometries towards the top, showing a trajectory of the coastline with concavity towards the top. In the third sequence, deposits of forced regression are recognized, characterized by the development of lobes, with prograding architecture and strata terminations in offlap and

transgressive deposits characterized by the presence of seismic facies composed by parallel to subparallel reflections of good lateral continuity.

Introducción

El margen continental uruguayo ha suscitado el interés de investigadores, profesionales y empresas petroleras durante la última década, particularmente luego de darse a conocer la ocurrencia de yacimientos de hidrocarburos en el denominado *pre-sal* del margen continental brasileño. Esta situación ha proporcionado un incremento en la cantidad y calidad de datos disponibles para su estudio, lo que ha permitido avanzar en el entendimiento de su génesis, evolución y configuración tectónica y estratigráfica.

Los antecedentes más relevantes realizados en la cuenca durante la última década se basan en el reconocimiento de las secuencias depositacionales que integran las diferentes fases de evolución desde la apertura del Océano Atlántico hasta el presente (e.g. Raggio *et al.* 2011, Morales *et al.* 2017, Conti *et al.* 2017) o en la interpretación de los elementos depositacionales y erosivos asociados a las corrientes de contorno enfocada en intervalos sedimentarios de edades concretas (e.g. Hernández Molina *et al.* 2016, 2017; Creaser *et al.* 2017). En este trabajo se realizó un análisis estratigráfico del intervalo correspondiente al Eoceno, según las edades atribuidas por Morales *et al.* (2017), Creaser *et al.* (2017) y Conti *et al.* (2017) a los horizontes tope y base del objeto de estudio, con el fin de identificar y caracterizar unidades estratigráficas de jerarquía menor a la secuencia depositacional.

Contexto geológico

La Cuenca Punta del Este se ubica en el sector suroeste del margen continental uruguayo (Figura 1), estando comprendido en el denominado segmento Austral del Atlántico, según Moulin *et al.* 2005. El mismo se caracteriza por la presencia de importante actividad magmática, el desarrollo de *seaward dipping reflectors* (SDR) y un cuerpo de alta velocidad sísmica en la base de la corteza (Geoffroy, 2005). Un conjunto de rifts abortados de orientación general NW-SE, se ubican en los márgenes de Argentina y Uruguay, siendo la Cuenca Punta del Este el *rift* abortado que se posiciona más hacia el norte del segmento.

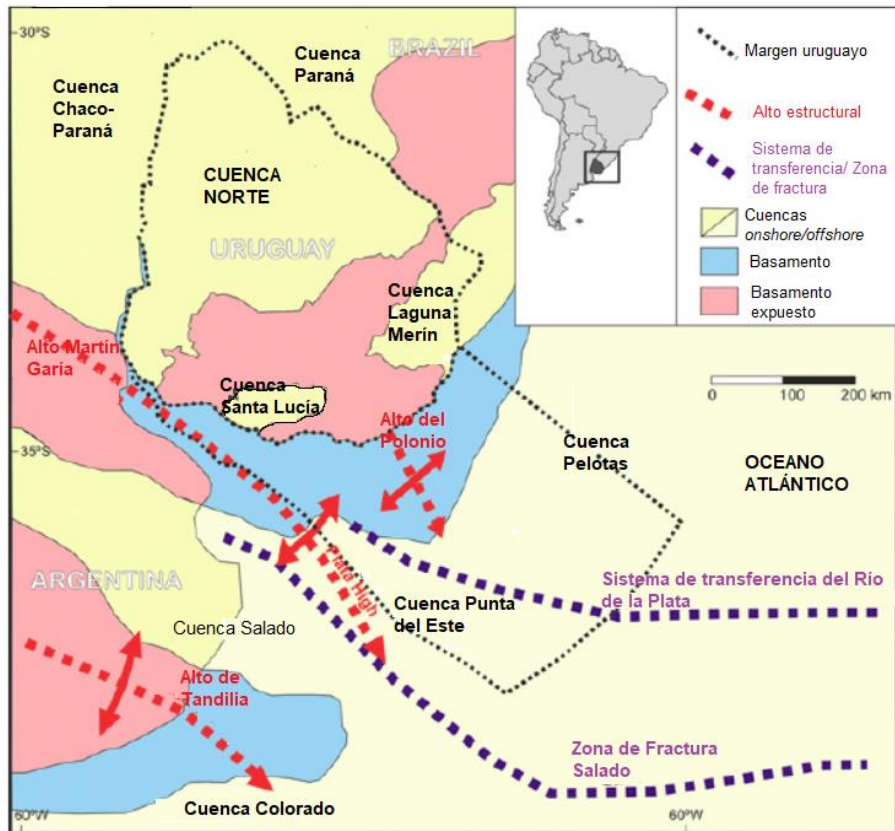


Figura 1: Localización de la Cuenca Punta del Este dentro del margen continental uruguayo. Tomado de Soto *et al.* (2011).

Stoakes *et al.* (1991) constituyen el primer antecedente relevante de la cuenca, habiendo reconocido y caracterizado cuatro secuencias depositacionales en el relleno de la misma, agrupadas en cuatro estadios de evolución: a) *prerift*, b) *rift* o *sinrift* (hundimiento mecánico) (Jurásico Tardío), c) *sag* (hundimiento térmico) (Cretácico medio) y d) margen pasivo (Eoceno).

Más adelante, Ucha *et al.* (2004), realizaron una re-interpretación del relleno de la cuenca, basados en datos sedimentológicos, palinológicos y geofísicos de los pozos Lobo y Gaviotín, agrupando los depósitos en cinco estadios de evolución: a) *prerift*, b) *rift I* (Jurásico - Cretácico temprano), c) *rift II* (Cretácico temprano alto), d) *sag* (temprano y tardío) (Cretácico superior) y e) margen pasivo (Cretácico superior).

Raggio *et al.* (2011) identifican tres fases tectónicas principales: a) *sinrift* (depósitos anteriores al Barremiano), b) *sag* (Barremiano-Maastrichtiano), c) margen pasivo (Paleoceno inferior- Presente).

En tanto Morales, (2013) identificó quince secuencias depositacionales, agrupandolas en cuatro estadios de evolución: *prerift*, (Paleozoico); *rift* (Jurásico-Cretácico inferior); transición (Barremiano-Aptiano) y *postrift* (Aptiano-Presente).

En el paquete sedimentario comprendido entre el Maastrichtiano y el Mioceno, Pérez Panera *et al.* (2016) identificaron tres ciclos transgresivos-regresivos mayores, resultando en un margen pasivo, agradante a retrogradante, para las Cuencas Punta del Este y Salado.

Hernández Molina *et al.* (2016) reconocieron modificaciones en la morfología del margen debido a la influencia de las masas de agua oceánicas y su interacción con procesos turbidíticos, en el intervalo sedimentario comprendido entre el límite Eoceno/Oligoceno y el presente.

Metodología

Para la ejecución de este trabajo se analizaron 55 secciones sísmicas multicanal de reflexión 2D (Figura 2), adquiridas en los años 2007 y 2008 y actualmente propiedad de ANCAP..

El método de análisis de cuenca utilizado para la interpretación de las líneas sísmicas fue la Estratigrafía de Secuencias. Esta disciplina emplea los conceptos elementales de la estratigrafía básica en el análisis de datos sísmicos, y los combina con las distintas variables que controlan el régimen sedimentario en una cuenca (tectónica, eustasia, espacio de acomodación, etc) (Catuneanu 2006, Catuneanu *et al.* 2009).

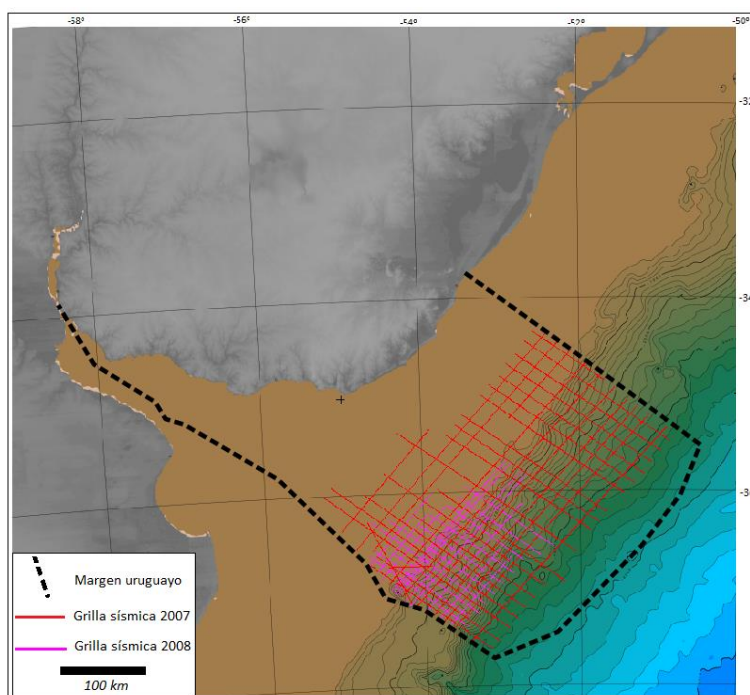


Figura 2: Base de datos disponible en el área de estudio

En el análisis sísmico-estratigráfico, se procedió al reconocimiento de las terminaciones estratales, patrones de apilamiento y configuraciones internas en el intervalo sedimentario delimitado para su estudio (entre los horizontes H.9 y H.12 de Morales *et al.* 2017) dando lugar a

la identificación de diferentes unidades sísmicas (facies sísmicas, cortejos de sistemas depositacionales y secuencias estratigráficas).

Resultados

En el intervalo sedimentario objeto de estudio fueron mapeados 8 horizontes sísmicos, los cuales corresponden a 3 secuencias depositacionales, en el sentido de Catuneanu *et al.* (2009), limitadas por 4 discordancias y sus respectivas superficies de conformidad correlativa, habiendo sido denominadas de base a tope A, B y C. La tabla 1 presenta las superficies estratigráficas interpretadas, el significado genético que le fue asignado, los criterios utilizados para su definición y la edad asignada según los antecedentes.

Secuencia	Nº	Significado	Edad	Criterios
C	S8	<i>D4+SCC</i>	Base Oligoceno inferior	Abajo: Tr en el sector central y distal Arriba : <i>DI</i>
	S7	<i>SBRF</i>	Eoceno	Arriba: <i>DI</i> Superficie: <i>Off</i>
	S6	<i>D3+SCC</i>	Eoceno	Abajo: Tr en sector distal. Arriba: <i>OI</i> sector central, <i>DI</i> en sector distal de CP
B	S5	<i>D2+SCC</i>	Eoceno Medio	Abajo: <i>Off</i> / Tr en sector distal. Arriba: <i>OI</i> costero. Doble <i>DI</i> en sector distal
A	S4	<i>SBRF</i>	Eoceno	Abajo: Tr en sector distal Arriba: <i>DI</i> doble <i>DI</i> en sector distal
	S3	<i>STM</i>	Eoceno	Abajo: Tr en sector distal Arriba: <i>DI</i> en Plataforma
	S2	<i>SRM</i>	Eoceno	Arriba: <i>OI</i>

	S1	D1+SCC	Tope Paleoceno	Abajo: Tr Arriba: DI en la planicie abisal
--	----	--------	----------------	---

Tabla 1: Horizontes mapeados, criterios de interpretación y asignación de edades según Daners & Guerstein (2004), Morales (2013), Conti (2015), y Daners *et al.* 2016. (D= discordancia, SRM= superficie regresiva máxima, STM= superficie transgresiva máxima, SBRF= superficie basal de regresión forzada, SCC= superficie de conformidad correlativa; *Tr*= truncamientos, *DI*=downlap, *Ol*= onlap, *Offs*= offlaps, *Trp*= toplaps).

SECUENCIA A

La secuencia A (Figura 3) es limitada en la base por una superficie compuesta por la discordancia S1 y su superficie de conformidad correlativa y en el tope por la discordancia S5 y su superficie de conformidad correlativa. Se desarrolla en los sectores de plataforma y talud de la Cuenca Punta del Este, siendo parcialmente erosionada por la discordancia superior en la llanura abisal distal.

Esta secuencia comprende cuatro cortejos de sistemas deposicionales correspondientes a regímenes sedimentarios de base a tope, de regresión normal de nivel bajo, transgresivo, de regresión normal de nivel alto y de regresión forzada. A continuación se describe cada uno de ellos.

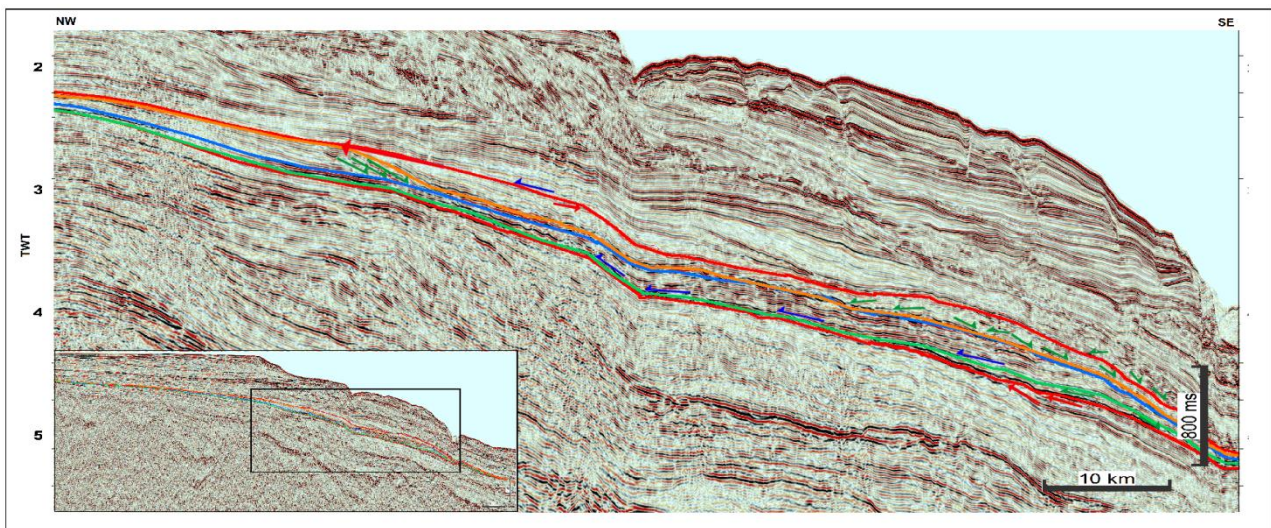


Figura 3: Terminaciones estratales y superficies limitantes de los cortejos de sistemas deposicionales de la Secuencia A. (*Ol*=azul; *Doble DI*= verde; *Tr*= rojo; *Offlap*=flecha roja)

Cortejo de sistemas de nivel bajo

Está limitado en la base por la superficie compuesta por la discordancia S1 y su superficie de conformidad correlativa (horizonte rojo inferior en la figura 3) y al tope por la superficie

regresiva máxima S2 (horizonte verde en la figura 3). La superficie basal está definida por truncamientos por debajo, y dobles *downlaps* por encima. En tanto, sobre la superficie regresiva máxima se disponen *onlaps*, caracterizando un aumento del nivel de base. Este cortejo se desarrolla principalmente en los sectores más distales de la cuenca, correspondiente al pie de talud y la planicie abisal.

Las facies sísmicas presentes en este cortejo (figura 4), corresponden a reflectores paralelos, continuos a discontinuos desde el pie de talud a la planicie abisal, con contraste de impedancia acústica y amplitud media a baja, pasando lateralmente a formas monticulares, de baja amplitud, con terminaciones en *downlap* y/o dobles *downlaps* hacia la planicie abisal, rellenando el paleorelieve.

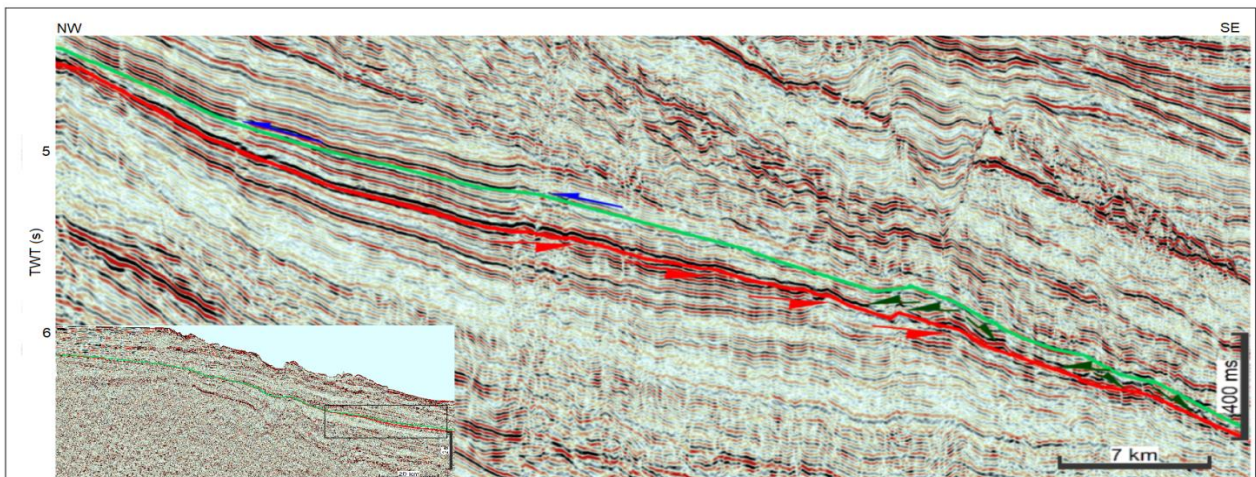


Figura 4: Sección sísmica *dip* de la Cuenca Punta del Este mostrando las terminaciones estatales que caracterizan las superficies límite del cortejo de sistemas de nivel bajo (*Ol*=azul; *Dobles Dl*= verde; *Tr*= rojo)

Cortejo de sistemas transgresivo

El cortejo transgresivo está limitado en la base por la superficie regresiva máxima S2 (horizonte verde en la figura 3) y al tope por la superficie transgresiva máxima S3 (horizonte azul en la figura 3). Esta última superficie es definida por clinofomas que hacen *downlap*, por encima, principalmente en el sector de plataforma. El cortejo se presenta erosionado en la planicie abisal de la cuenca, siendo su principal desarrollo sobre la plataforma. Las facies sísmicas de este cortejo corresponden a reflectores paralelos, a subparalelos, suavemente divergentes, de continuidad y contraste de amplitud media, pasando lateralmente a reflectores subparalelos en el área del paleotalud (Figura 3).

Cortejo de sistemas de nivel alto

Este cortejo está limitado en la base por la superficie transgresiva máxima S3 (horizonte azul en la figura 3) y en el tope por la superficie basal de regresión forzada S4 (horizonte naranja en la figura 3). La superficie basal de regresión forzada fue definida como la superficie sobre la cual se deposita la primer clinofoma con patrón en *offlap*.

El patrón de apilamiento de este cortejo es progradante en el área de plataforma de la cuenca. Las facies sísmicas identificadas en el sector de plataforma son clinofomas haciendo *downlap* sobre la superficie transgresiva máxima, caracterizadas por reflectores suaves a oblicuos tangenciales, de amplitud media.

Cortejo de sistemas de regresión forzada

Este cortejo está limitado en la base por la superficie basal de regresión forzada S4 (horizonte naranja en la figura 3) y al tope por la superficie compuesta por la discordancia superior de la secuencia S5 y su superficie de conformidad correlativa (horizonte rojo superior en la figura 3). La discordancia superior S5 está definida en el área de plataforma por truncamientos por debajo, y *onlaps* costeros por encima. El patrón de apilamiento de este cortejo es progradante.

Estos depósitos se encuentran mejor preservados en el sector de plataforma y talud, donde la facies sísmicas más representativas son clinofomas con continuidad no muy marcada, y amplitud baja; hacia el sector distal las facies varían lateralmente a formas monticulares de bajo contraste de impedancia acústica y terminaciones en doble *downlap*.

SECUENCIA B

Es limitada en la base y en el tope por las discordancias S5 y S6 (horizontes rojos inferior y superior, en la figura 4), respectivamente y sus superficies de conformidad correlativas. La

discordancia tope está caracterizada por *toplaps* y truncamientos por debajo, mientras que por encima presenta *onlaps*. Se presenta erosionada en el sector distal de la cuenca.

Esta secuencia, únicamente preserva el registro del cortejo de sistemas de nivel bajo, estando caracterizado por el desarrollo de clinofomas, con un patrón de apilamiento que varía de levemente progradacional en la base a progradacional hacia el tope, mostrando una trayectoria de la línea de costa que avanza hacia el interior de la cuenca y presenta concavidad hacia arriba, lo cual es característico de sistemas de nivel bajo, según Catuneanu *et al.* (2009).

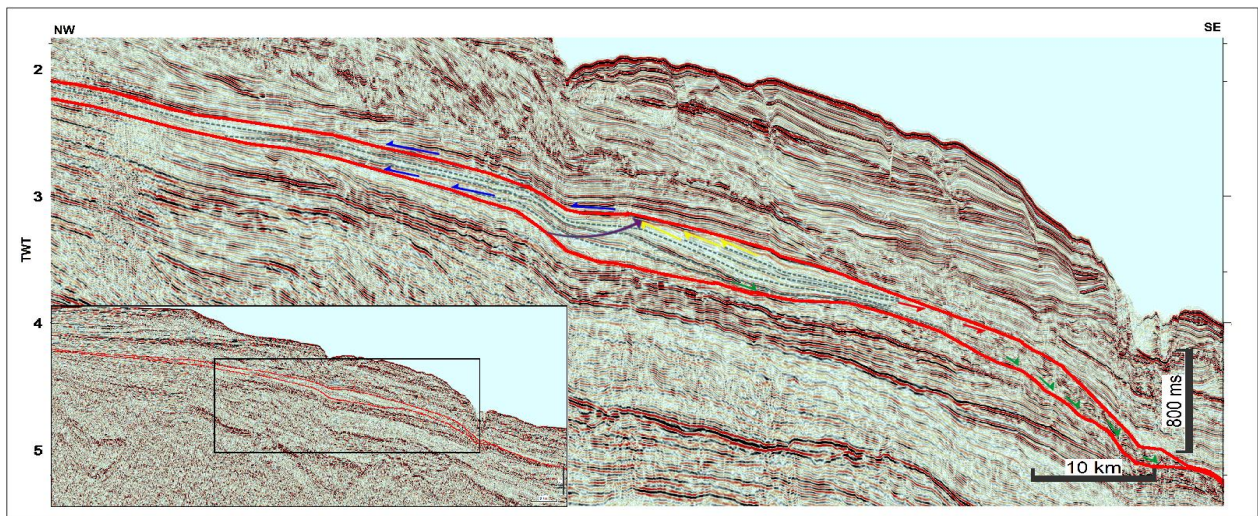


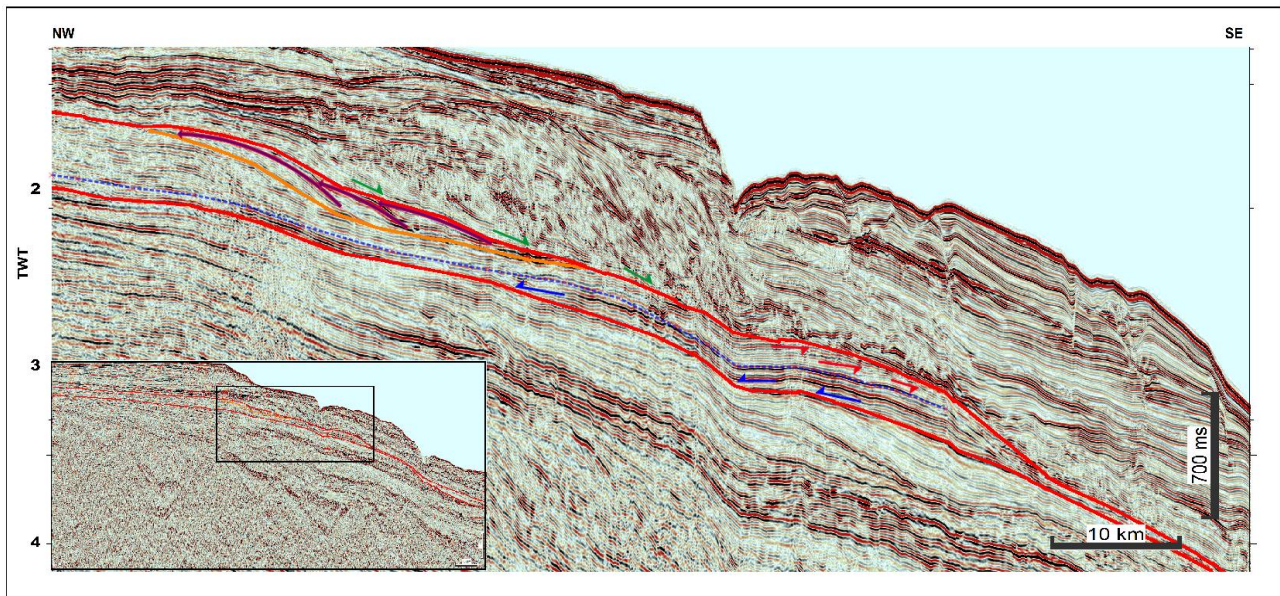
Figura 4: Terminaciones estratales, superficies limitantes y cortejo de sistemas depositacionales identificados en la secuencia B. (*Ol*=azul; *Dobles Df*= verde; *Tr*= rojo; *Tp*= amarillo).

Dentro del cortejo es posible caracterizar dos conjuntos de clinofomas con atributos sísmicos levemente diferentes que permiten diferenciar dos asociaciones de facies sísmicas distintas. El conjunto de clinofomas de la base presenta geometría sigmoidal, con amplitudes y frecuencias medias a bajas. Hacia el tope el conjunto de clinofomas pasa de geometrías sigmoidales a oblicuas tangenciales y la amplitud disminuye. Hacia el sector distal se desarrollan facies sísmicas con configuración interna monticular de baja amplitud en ambos casos.

SECUENCIA C

Está limitada por la discordancia S6 y su superficie de conformidad correlativa en la base (horizonte rojo inferior en la figura 5) y la discordancia S8 y su superficie de conformidad correlativa al tope (horizonte rojo superior en la figura 5). La discordancia basal fue definida por truncamientos por debajo, y *onlap* por encima. La discordancia superior está caracterizada por truncamientos por debajo y *downlaps* por encima.

En esta secuencia se identificaron dos cortejos de sistemas depositacionales



correspondiente al transgresivo y de regresión forzada.

Figura 5: Terminaciones estratales, superficies limitantes y cortejos de sistemas identificados en la Secuencia C. (Ol=azul; Dl= verde Tr= rojo; Offlap=flecha roja).

Cortejo de sistemas transgresivo

Este cortejo está limitado en la base por la discordancia S6 (horizonte rojo inferior en la figura 5) y en el tope por la superficie basal de regresión forzada S7 (horizonte naranja en la figura 5), presenta un patrón de apilamiento retrogradante, con el desarrollo de *onlaps* marinos.

Los atributos sísmicos permitieron identificar dos grupos de facies sísmicas diferentes dentro de este cortejo, las cuales se muestran en la figura 5, y en conjunto presentan una amplia continuidad en el *offshore* uruguayo. En la base los reflectores son paralelos y continuos, con contraste de impedancia acústica media a alta. Hacia el tope los atributos varían y las facies sísmicas identificadas están asociadas a reflectores paralelos, de continuidad media baja y contraste de impedancia acústica que varía de media a baja

Cortejo de sistemas de regresión forzada

Está limitado en la base por la superficie basal de regresión forzada S7 (horizonte naranja en la figura 5) y en el tope por la superficie compuesta por la discordancia S8 y su superficie de conformidad correlativa (horizonte rojo en la figura 5). La superficie basal de regresión forzada se corresponde con la base de la primer clinofoma que presenta patrón en *offlap*, se trata por tanto de una superficie sobre la cual se observan *downlaps*. La superficie tope se trazó por encima de los reflectores que presentan patrón en *offlap* y sobre la cual se observan *downlap*. Este cortejo presenta desarrollo restringido al sector de plataforma.

Las facies sísmicas características de este cortejo son cliniformas suaves con patrón en *offlap*, de amplitud media a baja.

Conclusiones

En el paquete sedimentario estudiado en la Cuenca Punta del Este se define un margen con arquitectura retrogradante, en el cual se definieron tres ciclos sedimentarios, materializados por secuencias depositacionales, denominadas de base a tope, A, B y C.

La secuencia A está integrada por cuatro cortejos sedimentarios (regresión normal de nivel bajo y nivel alto, transgresivo y regresión forzada) conformando un ciclo completo de variación del nivel de base. El registro de los depósitos de regresión normal de nivel bajo tienen su mejor expresión en los sectores distales de la cuenca, caracterizada por facies sísmicas monticulares. El cortejo sedimentario transgresivo presenta una facie sísmica predominante, constituida por reflectores paralelos, con desarrollo marcado en todo el margen continental. El cortejo regresivo de nivel alto muestra una asociación de facies característica de cliniformas, localizada principalmente en el sector de plataforma. En tanto, el cortejo de sistemas de regresión forzada está conformado por una asociación de facies representada por cliniformas en las áreas de plataforma y facies sísmicas monticulares en los sectores de planicie abisal de la cuenca.

En la secuencia intermedia B se reconoció únicamente el registro del sistema regresivo de nivel bajo, presentando un patrón de apilamiento estratigráfico progradante. En la misma, fueron identificadas dos asociaciones de facies sísmicas, representadas por cliniformas sigmoidales a oblicuo tangenciales, que evidencian una trayectoria de la línea de costa que avanza hacia el interior de la cuenca y que presenta concavidad hacia el tope.

La secuencia superior, C, está integrada por dos cortejos de sistemas depositacionales. El cortejo transgresivo se desarrolla en todo el margen uruguayo, presentando gran continuidad, y estando integrado por reflectores paralelos, cuya continuidad y contraste de amplitud disminuye hacia el tope. El último cortejo de sistemas depositacionales identificado, corresponde a depósitos de regresión forzada, caracterizado por lóbulos progradantes, con desarrollo restringido al área de plataforma de la cuenca.

La caracterización y entendimiento de las unidades sísmicas realizada en este trabajo contribuye a incrementar el conocimiento estratigráfico de las cuencas sedimentarias del margen continental uruguayo, pudiendo ser utilizado como base para delinear modelos predictivos que auxilien en la exploración de recursos energéticos.

Agradecimientos

A ANCAP por ceder las líneas sísmicas utilizadas en este trabajo y a IHS por facilitarnos la licencia del software Kingdom.

Referencias Citadas

Conti, B., de Jesus Perinotto, J. A., Veroslavsky, G., Castillo, M. G., de Santa Ana, H., Soto, M., & Morales, E. (2017). Speculative petroleum systems of the southern Pelotas Basin, offshore Uruguay. *Marine and Petroleum Geology*, 83, 1-25.

Conti, B., (2015). Sistemas petrolíferos especulativos da bacia de Pelotas (offshore do Uruguai). Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista-RC (Brasil) 139p.

Daners, G., & Guerstein, R. Dinoflagelados del Maastrichtiense-Paleógeno en la Formación Gaviotín, Cuenca Punta del Este (No. 551.77 (899) CUE).

Daners, G., de Santa Ana, H., & Veroslavsky, G. (2003). Paleozoico Superior en la plataforma continental uruguaya: evidencias geológicas y palinológicas [Upper Paleozoic in the Uruguayan margin: geological and palynological evidence]. In *XII Simposio Argentino de Paleobotánica y Palinología. Buenos Aires, Argentina. Resúmenes. Asociacion Paleontologica Argentina, Buenos Aires, Argentina* (Vol. 31)

Daners, G., Guerstein, G. R., Amenábar, C. R., & Morales, E. (2017). Dinoflagelados del Eoceno Medio a Superior de las cuencas Punta del Este y Colorado, latitudes medias del Atlántico Sudoccidental. *Revista Brasileira de Paleontología*, 19(2), 283-302.

Morales, E., 2013, Evolução tectônica e estratigráfica das bacias da margem continental do Uruguai. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista-RC (Brasil) 166 p.

Morales, E., Chang, H. K., Soto, M., Corrêa, F. S., Veroslavsky, G., de Santa Ana, H., & Daners, G. (2017). Tectonic and stratigraphic evolution of the Punta del Este and Pelotas basins (offshore Uruguay). *Petroleum Geoscience*, 23(4), 415-426.