



XX CONGRESO GEOLÓGICO ARGENTINO
GEOLOGÍA, PRESENTE Y FUTURO
Agosto de 2017 | San Miguel de Tucumán



SESIÓN TÉCNICA 12

GEOLOGÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS

Coordinadores

RICARDO MANONI
GUSTAVO VERGANI

SISTEMAS PETROLÍFEROS ESPECULATIVOS DE LA CUENCA PUNTA DEL ESTE (OFFSHORE URUGUAY)

Ethel MORALES^{1*}, Matías SOTO¹, Gerardo VEROSLAVSKY¹, Bruno CONTI³, Hung Kiang CHANG²,
Héctor de SANTA ANA³, Fernando SANTOS CORRÊA²

¹Instituto de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias, Iguá 4225, 11400 Montevideo, Uruguay. *ethel@fcien.edu.uy

²Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Campús de Rio Claro, São Paulo, Brasil.

³Exploración y Producción, ANCAP, Paysandú s/n y Av. del Libertador, 11100 Montevideo, Uruguay.

RESUMEN

El margen continental uruguayo tiene su origen en la fragmentación del supercontinente Gondwana y la apertura del Océano Atlántico Sur ocurridos desde el Mesozoico. Tres grandes ámbitos de sedimentación meso-cenozoico se ubican en el *offshore* uruguayo: la Cuenca Punta del Este, la porción más austral de la Cuenca Pelotas y la Cuenca Oriental del Plata. Dichas cuencas comparten las clásicas etapas de evolución tectono-sedimentarias de las demás cuencas marginales atlánticas, incluyendo las fases *prerift* (Paleozoico), *rift* (Jurásico-Cretácico Temprano), transición (Barremiano-Aptiano) y *posrift* (Aptiano-presente). Con base en el análisis de la evolución de las cuencas a través de datos sísmicos y en el establecimiento de analogías con cuencas atlánticas productoras de hidrocarburos se postulan cuatro sistemas petrolíferos especulativos para la Cuenca Punta del Este: 1) sistema petrolífero marino de la fase *prerift* (?), 2) sistema petrolífero lacustre de la fase *rift* (?), 3) sistema petrolífero marino de la fase *posrift* cretácica (?), 4) sistema petrolífero marino de la fase *posrift* cenozoica (?).

Palabras clave: sistema petrolífero, evolución tectono-estratigráfica, *offshore* Uruguay.

ABSTRACT

The Uruguayan continental margin was generated as the result of the breakup of Gondwana and later opening of the South Atlantic Ocean that occurred since the Mesozoic. Three major areas of Meso-Cenozoic sedimentation are located in the Uruguayan offshore: the Punta del Este Basin, the southernmost sector of the Pelotas Basin and the Oriental del Plata Basin. These basins share the classical stages of tectono-sedimentary evolution of the other Atlantic basins, including the prerift (Paleozoic), rift (Jurassic-Early Cretaceous), transition (Barremian-Aptian) and pos-rift (Aptian-present) phases. Based on the analysis of basin evolution through seismic data and the establishment of analogies with productive Atlantic basins, four speculative petroleum systems are proposed for the Punta del Este Basin: 1) marine petroleum system of the prerift phase (?), 2) lacustrine petroleum system of the rift phase (?), 3) marine petroleum system of the cretaceous postrift (?), 4) marine petroleum system of the cenozoic postrift (?).

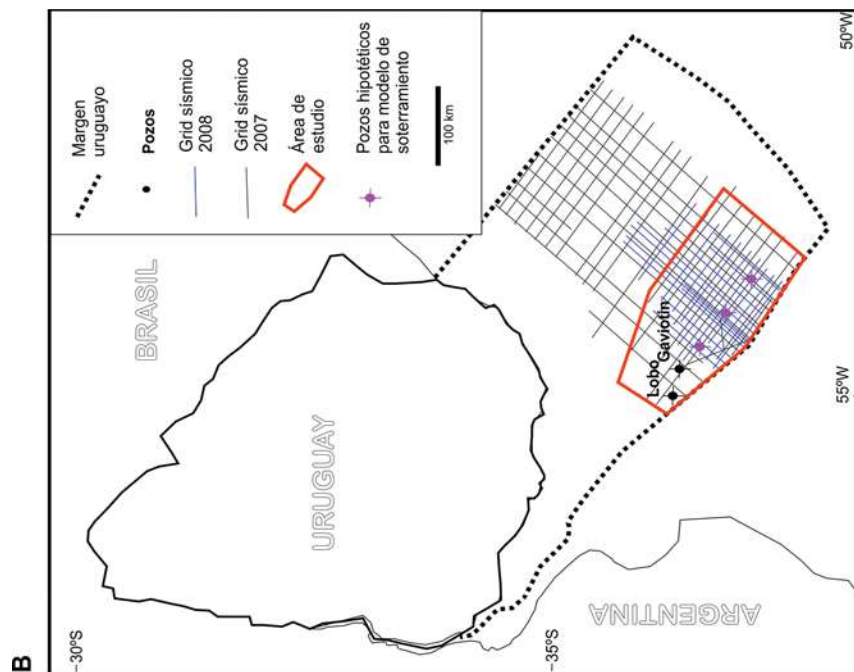
Keywords: petroleum system, tectono-stratigraphic evolution, offshore Uruguay.

CONTEXTO GEOLÓGICO

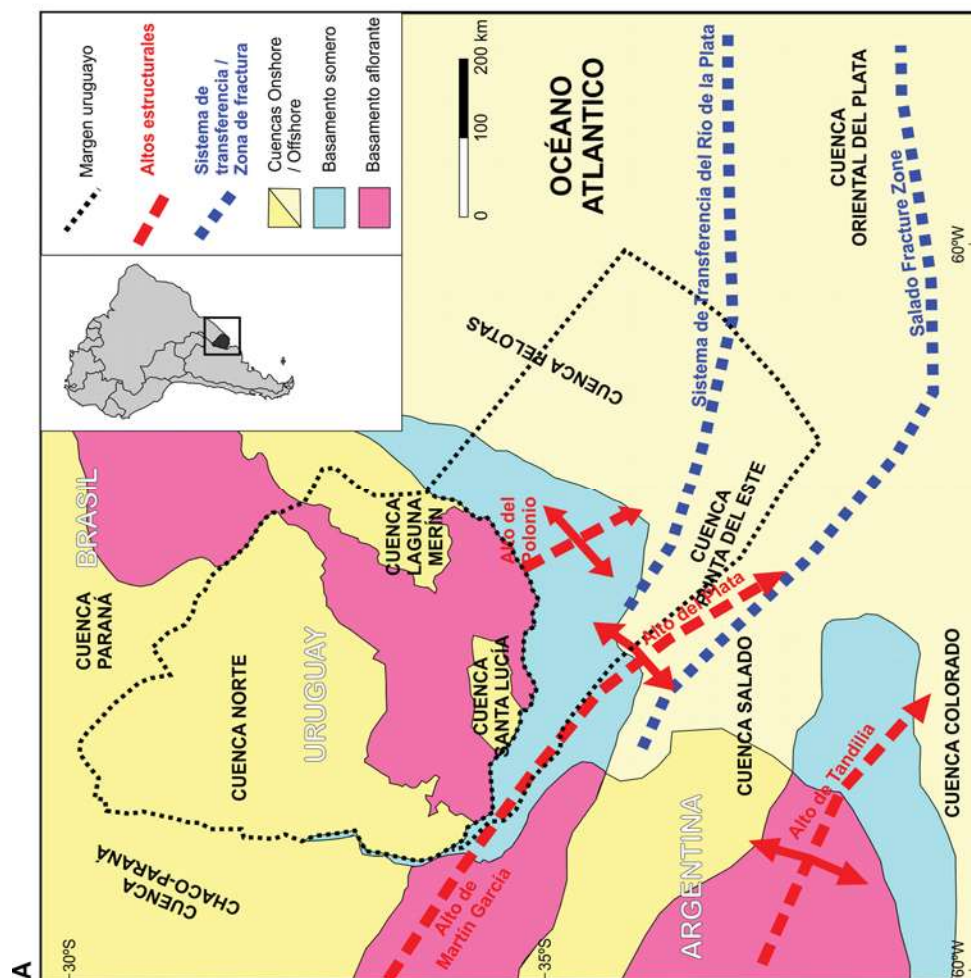
El margen continental uruguayo es el resultado del conjunto de procesos que llevaron a la fragmentación del supercontinente Gondwana y posterior apertura del Océano Atlántico, iniciados en el Triásico-Jurásico (e.g. Heine *et al.* 2013). Caracterizado por el Sistema de Transferencia del Río de la Plata (Soto *et al.* 2011), el cual segmenta el margen, se trata de un típico margen

pasivo de tipo volcánico en el que se desarrollan tres ámbitos de sedimentación meso-cenozoicos: la Cuenca Punta del Este, la porción más austral de la Cuenca Pelotas y la Cuenca Oriental del Plata (Ucha *et al.* 2004; Soto *et al.* 2011; Conti *et al.* 2017, Morales *et al.* 2017) (Figura 1A).

La Cuenca Punta del Este es la más septentrional del conjunto de cuencas tipo *rift*, con orientación general perpendicular al margen, que se desarrolla en las regio-



A: Mapa de ubicación de las cuencas uruguayas y de la región y de los principales elementos estructurales. B: Base de datos y ubicación de los pozos hipotéticos utilizados para el modelo de soterramiento.



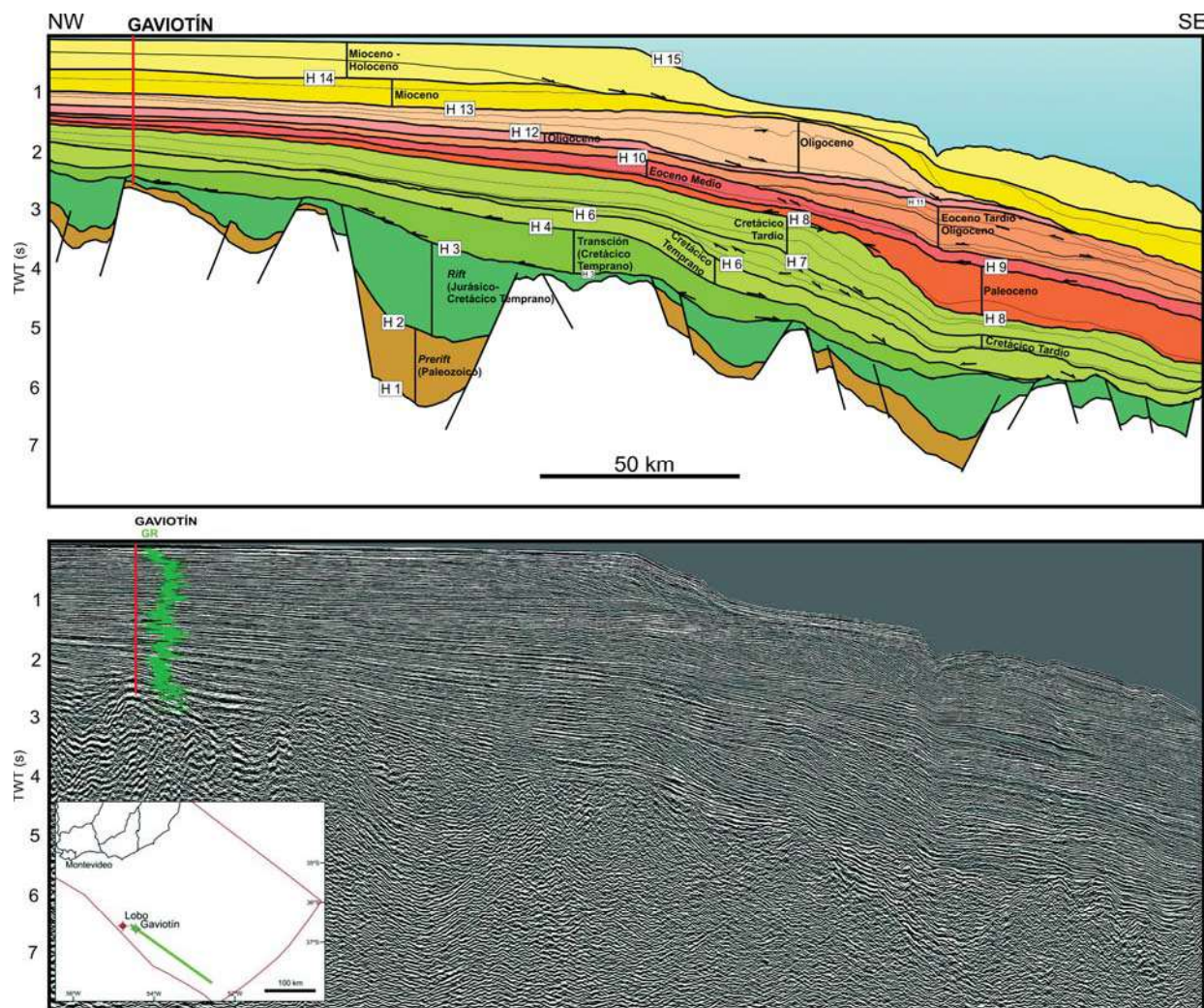


Figura 2. Sección sísmica (dip) representativa de la Cuenca Punta del Este. Los horizontes sísmicos denominados H en la figura corresponden a discordancias.

nes costa afuera de Argentina y Uruguay (Stoakes *et al.* 1991; Ucha *et al.* 2004; Raggio *et al.* 2011; Soto *et al.* 2011; Morales *et al.* 2017). En el *offshore* de Argentina, estas estructuras *rift* presentan como límite oriental un gran alto estructural del basamento (Raggio *et al.* 2011; Figueroa *et al.* 2005), el cual impidió la depositación de sedimentos marinos hasta el Maastrichtiano-Paleoceno en las cuencas del Colorado y Salado. Dicho alto pierde progresivamente expresión morfológica hacia el noreste, presentando un muy escaso desarrollo en el margen uruguayo. Esta situación hace que la sedimentación temprana de la fase *posrift* en las cuencas Colorado y Salado y en la Cuenca Punta del Este presente una arquitectura diferente, a pesar de que históricamente se les ha asignado características similares.

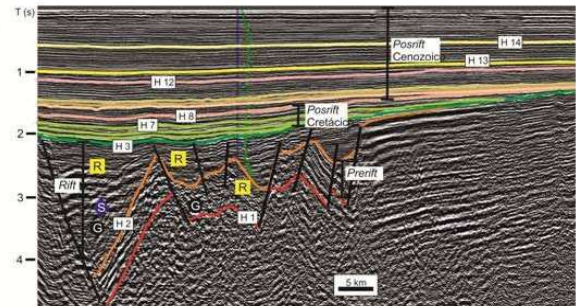
EVOLUCIÓN TECTÓNICA Y ESTRATIGRÁFICA DE LA CUENCA PUNTA DEL ESTE

La evolución tectónica y estratigráfica de la Cuenca Punta del Este comprende cuatro grandes fases, denominadas: i) *prerift* (Paleozoico), ii) *rift* (Jurásico-Cretácico Temprano), iii) transición (Barremiano-Aptiano) y *posrift* (Aptiano-Presente) (Ucha *et al.* 2004; Morales 2013; Morales *et al.* 2017, Conti *et al.* 2017) (Figura 2).

La fase *prerift* comprende depósitos paleozoicos de Gondwana Occidental, correlacionables a las unidades de las cuencas paleozoicas de la región, preservados como relictos posteriormente al levantamiento y erosión generalizada provocados por la orogénesis tardi-herciniana (Milani & Thomas Filho 2000; Holz *et al.* 2010; Pángaro *et al.* 2015). La fase *rift* está caracterizada por fallas normales de orientación general NW-SE en los sectores pro-

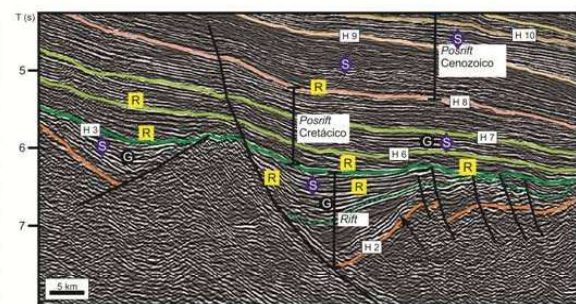
A Sistema petrolífero marino de la fase *prerift* (?)

Paleozoico			Mesozoico			Cenozoico		Tiempo	Sist. Petrolífero
Devónico	Carbonífero	Pérmico	Triásico	Jurásico	Cretácico	Paleógeno	Neógeno		
									Roca Generadora
									Roca Reservorio
									Roca Sello
									Soterramiento
									Trampa
									Migración
									Preservación
									Momento Crítico



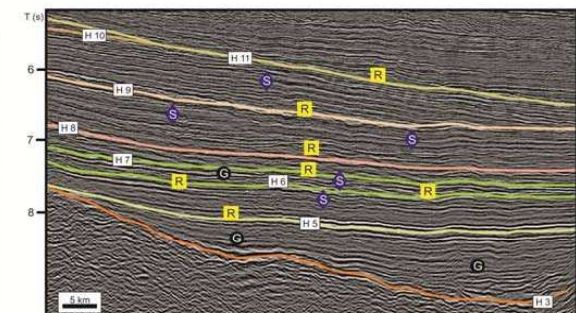
B Sistema petrolífero lacustre de la fase *rift* (?)

Paleozoico			Mesozoico			Cenozoico		Tiempo	Sist. Petrolífero
Devónico	Carbonífero	Pérmico	Triásico	Jurásico	Cretácico	Paleógeno	Neógeno		
									Roca Generadora
									Roca Reservorio
									Roca Sello
									Soterramiento
									Trampa
									Migración
									Preservación
									Momento Crítico



C Sistema petrolífero marino de la fase *posrift* cretácica (?)

Paleozoico			Mesozoico			Cenozoico		Tiempo	Sist. Petrolífero
Devónico	Carbonífero	Pérmico	Triásico	Jurásico	Cretácico	Paleógeno	Neógeno		
									Roca Generadora
									Roca Reservorio
									Roca Sello
									Soterramiento
									Trampa
									Migración
									Preservación
									Momento Crítico



D Sistema petrolífero marino de la fase *posrift* cenozoica (?)

Paleozoico			Mesozoico			Cenozoico		Tiempo	Sist. Petrolífero
Devónico	Carbonífero	Pérmico	Triásico	Jurásico	Cretácico	Paleógeno	Neógeno		
									Roca Generadora
									Roca Reservorio
									Roca Sello
									Soterramiento
									Trampa
									Migración
									Preservación
									Momento Crítico

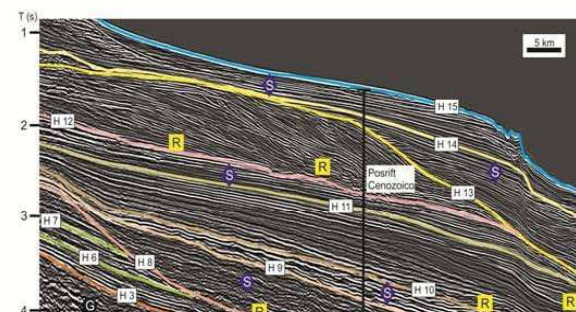


Figura 3. Carta de eventos (izquierda) y sección sísmica representativa (derecha) del: A. Sistema petrolífero marino de la fase *prerift* (?), B. Sistema petrolífero lacustre de la fase *rift* (?), C. Sistema petrolífero marino de la fase *posrift* cretácica (?) y D. sistema petrolífero marino de la fase *posrift* cenozoica (?). G: roca generadora, R: roca reservorio y S: roca sello.

ximales (etapa inicial del *rift*) y E-W / NE-SW en los sectores distales (etapa tardía del *rift*). El relleno de los grabens es de tipo vulcano-sedimentario y presenta un espesor de hasta 3.000 m, de acuerdo a los datos sísmicos. La fase de transición corresponde a la etapa inicial de subsidencia termal de la cuenca, se desarrolla sobre un sustrato de corteza continental, presentando una geometría de tipo *sag*. La base de la misma marca el final de la actuación de las principales fallas de la fase *rift*. Asimismo, durante la fase de transición, los bordes de los grabens son cubiertos por la sedimentación, por primera vez en la evolución de la cuenca. La fase *posrift* está caracterizada por una cuña sedimentaria que se espesa en dirección hacia el mar, siendo el resultado de la interacción entre el aporte sedimentario, la tasa de subsidencia y las variaciones del nivel de base. En la Cuenca Punta del Este se ubica el mayor espesor sedimentario *posrift* cretácico del margen uruguayo, el cual se inicia con un cortejo sedimentario transgresivo para luego presentar características generales regresivas. El intervalo sedimentario correspondiente a la fase *posrift*, de edad cenozoica, presenta características generales transgresivas con migración de la línea de costa en dirección al continente.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de éste trabajo se utilizaron secciones sísmicas de reflexión 2D y datos geofísicos, litológicos y paleontológicos de los dos pozos perforados en la Cuenca Punta del Este (Lobo y Gaviotín) (Figura 1B). En el análisis de las secciones sísmicas 2D se aplicó la metodología establecida por la estratigrafía de secuencias, a efectos de caracterizar la distribución de los principales elementos de los sistemas petrolíferos (Catuneanu 2006). La historia de maduración de las potenciales rocas generadoras se estudió a través del modelado de tres pozos hipotéticos a lo largo de una sección sísmica *dip*. Para cada uno de los pozos se definió su estratigrafía, con base en el análisis desarrollado por Morales *et al.* (2017), y para cada una de las secuencias depositacionales se definieron las litologías presentes en porcentajes estimados. En la calibración térmica del modelo se utilizaron los valores de reflectancia de la vitrinita de los pozos mencionados y se consideró un flujo térmico constante equivalente al promedio del flujo térmico global (60 mW/m²).

RESULTADOS

Cuatro sistemas petrolíferos especulativos (según la terminología de Magoon & Dow 1994) son propuestos para la Cuenca Punta del Este: 1) sistema petrolífero marino de la fase *prerift* (?), 2) sistema petrolífero lacustre de la fase *rift* (?), 3) sistema petrolífero marino de la fase

posrift cretácica (?), 4) sistema petrolífero marino de la fase *posrift* cenozoica (?).

Sistema Petrolífero Especulativo Marino de la Fase *Prerift* (?)

Por correlación con la Cuenca Norte/Paraná de Uruguay/Brasil y otras cuencas paleozoicas de la región (e.g. Cuenca Hespérides definida por Pángaro *et al.* 2015) la fase *prerift* podría contener rocas generadoras del Devónico y/o del Pérmico inferior (equivalentes a las presentes en las formaciones Cordobés y Mangrullo del *onshore* de Uruguay), con valores de COT de hasta 3,6 y 13,5%, respectivamente (Campos *et al.* 1998; Milani & Zalán 1999; Morales 2013, Conti *et al.* 2017). Las rocas reservorio podrían estar representadas por areniscas fluvio-deltaicas y eólicas (presentes en el pozo Gaviotín), equivalentes a las presentes en las formaciones Tres Islas y Buena Vista (Cuenca Norte), pertenecientes al Pérmico. Las rocas sello estarían representadas por pelitas lacustres y basaltos de la secuencia *rift* o por la discordancia *prerift/rift*. Las trampas serían principalmente de tipo estructural, representadas por bloques fallados y rotados de la secuencia *prerift*, preservados como relictos entre discordancias. Las potenciales rocas generadoras paleozoicas habrían sufrido todo el proceso de transformación de la materia orgánica en el Cretácico, para los depocentros más profundos. Mientras que, en los depocentros menos profundos, el máximo de generación de petróleo se alcanzaría en el inicio del Paleógeno y la ventana del gas húmedo y condensado en el final del Paleógeno. Al presente la materia orgánica estaría en estado senil o en la ventana del gas seco, respectivamente.

Sistema Petrolífero Especulativo Lacustre de la Fase *Rift* (?)

Como rocas generadoras se proponen pelitas lacustres de la fase *rift*. Las pelitas lacustres del margen atlántico presentan valores de COT de hasta 10%, siendo responsables de la mayoría de las acumulaciones comerciales de hidrocarburos (Hartwig *et al.* 2012; Mello *et al.* 2012). Por otra parte, la Cuenca Santa Lucía, en el *onshore* del Uruguay, contiene pelitas lacustres con valores de COT de hasta 2,95%, pertenecientes a la Formación Castellanos (Veroslavsky 1999). Las principales rocas reservorios serían conglomerados y areniscas pertenecientes a abanicos aluviales de borde de cuenca, abanicos lacustres y sistemas depositacionales fluviales y deltaicos del *rift*. Pueden constituir reservorios secundarios las areniscas de la fase *posrift* (plataformales y abanicos de fondo de cuenca). Las rocas sellos podrían ser pelitas lacustres y rocas volcánicas de la secuencia *rift*. Las posibles trampas serían de tipo estratigráficas, abanicos aluviales de borde de cuenca y abanicos lacustres;

combinadas, truncamientos contra la discordancia *break up* y *pinchouts* contra los bordes de los grabens, y estructurales, bloques fallados y rotados que determinan altos y grabens internos. Las potenciales rocas generadoras de la fase *rift* en los depocentros más profundos habrían sufrido todo el proceso de transformación durante el Cretácico. En los depocentros menos profundos la ventana del petróleo se alcanzaría en el Cretácico superior, ubicándose el pico de generación del petróleo en el Paleoceno/Eoceno y las ventanas del gas húmedo y condensado y condensado y gas seco en el Eoceno.

Sistema Petrolífero Especulativo Marino de la Fase *Posrift* Cretácica (?)

Rocas generadoras del Aptiano son identificadas en los márgenes americano y africano del Atlántico sur, con tenores de COT superiores a 15% (e.g. van der Spuy 2003; Adekola *et al.* 2012; Hartwig *et al.* 2012; Mello *et al.* 2012). La primera secuencia de la fase *posrift* de la Cuenca Punta del Este presenta por su posición estratigráfica y atributos sísmicos una probable edad aptiana, siendo coincidente con el paquete sísmico mapeado por Grassmann *et al.* (2011) y correlacionable con el horizonte AR2 de Hinz *et al.* (1999). La presencia de rocas generadoras del Cenomaniano-Turoniano en la cuenca no fue considerada, en virtud del importante aporte clásico que se observa para ese período en la cuenca. Las principales rocas reservorio serían abanicos de fondo de cuenca de edad cretácica, además de abanicos de talud, cuñas de nivel bajo y deltas platformales. Las rocas sello serían pelitas marinas de extensión regional de la fase *posrift* (e.g. Formación Gaviotín) y las trampas esencialmente estratigráficas. Las potenciales rocas generadoras del Aptiano alcanzarían la ventana del petróleo en el Paleoceno. El máximo de generación de petróleo y las ventanas del gas húmedo y condensado y del gas seco serían alcanzados en el Eoceno, Eoceno/Oligoceno y Mioceno, respectivamente.

Sistema Petrolífero Especulativo Marino de la Fase *Postift* Cenozoica

En los sectores más distales del margen continental uruguayo rocas cenozoicas pueden presentar algún potencial generador, particularmente, pelitas marinas de la Formación Gaviotín. Estas pelitas presentan valores de COT de hasta 1,9% en el pozo homónimo (Chevron 1976). Las potenciales rocas reservorios serían abanicos de fondo de cuenca, cuñas de mar bajo, depósitos deltaicos y platformales de la fase *posrift* cenozoica. Las rocas sello serían pelitas marinas de extensión regional de la fase *posrift*. Las trampas serían de tipo estratigráficas. Las potenciales rocas generadoras del Paleoceno alcanzarían condiciones de madurez en el Eoceno; alcanzarían

dose el pico de generación de petróleo en el Eoceno tardío y la ventana del gas húmedo y condensado en el Oligoceno, estando en el presente en la ventana de generación del gas seco.

CONCLUSIONES

Cuatro fases de evolución tectono-estratigráficas son identificadas en la Cuenca Punta del Este: *prerift*, *rift*, transición y *posrift*. Cada una de estas fases presenta una configuración estructural y una arquitectura estratigráfica particular, caracterizando una geología relativamente favorable para el desarrollo de sistemas petrolíferos. Con base en la interpretación sísmica, la cual permitió identificar posibles rocas generadoras, reservorios y sellos, y en el establecimiento de analogías con cuencas productoras de hidrocarburos, se definieron cuatro sistemas petrolíferos especulativos: uno correspondiente a la fase *prerift*, uno a la fase *rift* y dos a la fase *posrift*. De los sistemas propuestos, probablemente el que tenga mayor posibilidad de ocurrencia sea el asociado a la sedimentación cretácica de la fase *posrift*, con generadora de edad aptiana, la cual es responsable de numerosas acumulaciones de hidrocarburos en el Atlántico sur.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Adekola, S.A., Akinlua, A. & Mangelsdorf, K. 2012. Organic geochemical evaluation of Cretaceous shale samples from the Orange Basin, South Africa. *Applied Geochemistry*, 27, p.1633-1642.
- Catuneanu, O. Principles of Sequence Stratigraphy. 2006. Amsterdam. Elsevier Science Ltd. 375p.
- Chevron Oil Uruguay. 1976. Biostratigraphy of the Lobo and Gaviotín Wells – Offshore Uruguay. Internal report. 1p.
- Conti, B., 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- 25pp.
- Figuerola, D., Marshall, P., Prayitno, W. 2005. Cuencas atlánticas de aguas profundas: principales plays. In Chebli, G., Cortiñas, J., Spalletti, L., Legarreta, L., Vallejo, E. (eds.). *Frontera Exploratoria de la Argentina*. In: VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mar del Plata, Argentina. p. 325-335
- Grassmann, S., Franke, D., Neben, S., Schnabel, M., Damm, V. 2011. Maturity modelling of the deepwater continental margin, offshore Argentina. *Z. dt. Ges. Geowiss.* 162/1, p. 79-89.
- Hartwig, A., di Primio, R., Anka, Z. & Horsfield, B. 2012. Source rock characteristics and compositional kinetic models of Cretaceous organic rich black shales offshore southwestern Africa. *Organic Geochemistry*. 51, p. 17-34.
- Heine, C., Zoethout, J., Muller, D. 2013. Kinematics of the South Atlantic rift. *Solid Earth* 4, 215–253. DOI:10.5194/se-4-215-2013.
- Hinz, K., Neben, S., Schreckenberger, B., Roeser, H.A., Block, M., Goncalves de Souza, K. & Meyer, H. 1999. The Argentine continental Margin north of 48°S: Sedimentary

- successions, volcanic activity during breakup. *Marine and Petroleum Geology*. 16, p.1-5.
- Holz, M., Kalkreuth, W., Alves Rolim, S. 2010. Extension of the Paraná Basin to offshore Brazil: Implications for coal-bed methane evaluation. *Marine and Petroleum Geology*. 27, 1119-1132pp.
- Magoon, L. & Dow, W. The Petroleum System. 1994. In Magoon, L. & Dow, W. (eds.), *The petroleum system – from source to trap*. Chapter 1, p 3-24. AAPG Memoir 60.
- Mello, M.R., Azambuja, N.C., Bender, A.A., Barbanti, S.M., Mohriak, W., Schmitt, P. & Jesus, C.L. 2012. The Namibian and Brazilian Southern South Atlantic petroleum systems: are they comparable analogues? *Geological Society, London*, special published online. Doi: 10.1144/SP369.18.2012.
- Morales, E., 2013. Evolução tectônica e estratigráfica das bacias da margem continental do Uruguai. Tese de Doutorado, UNESP Rio Claro.
- Morales, E., Chang, H. K., Soto, M., Santos Corrêa, F., Veroslavsky, G., de Santa Ana, H., Conti, B., Daners, G. 2017. Tectonic and stratigraphic evolution of the Punta del Este and Pelotas basins (offshore Uruguay). *Petroleum Geoscience*. Doi: 10.1144/petgeo2016-059.
- Pángaro, F., Ramos, V., Pazos, P. 2015. The Hesperides basin: a continental-scale upper Palaeozoic Triassic basin in southern Gondwana. *Basin Research*. p. 1–27, doi: 10.1111/bre.12126.
- Raggio, F., Gerster, R. & Welsink, H. 2011. Cuencas del Salado y Punta del Este. In: VIII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Simposio Cuencas Argentinas: visión actual. Mar del Plata. Argentina. CD-ROM.
- Soto, M., Morales, E., Veroslavsky, G., de Santa Ana, H., Ucha, N., Rodríguez, P. 2011. The continental margin of Uruguay: Crustal architecture and segmentation. *Marine and Petroleum Geology*. 28. p. 1676-1689.
- Stoakes, F.A., Campbell, C.V., Cass, R. & Ucha, N. 1991. Seismic stratigraphic analysis of the Punta del Este Basin, offshore Uruguay, South America. *Bulletin American Association of Petroleum Geologists*. 75(2), p. 219-240.
- Ucha, N., de Santa Ana, H. & Veroslavsky, G. 2004. La Cuenca Punta del Este: geología y potencial hidrocarburífero. Pp. 173-192 in Veroslavsky, G.; Ubilla, M. & Martínez, S. (eds.), *Cuencas Sedimentarias de Uruguay: Geología, Paleontología y recursos naturales – Mesozoico*. DIRAC, Montevideo.
- Van der Spuy, D. 2003. Aptian source rocks in some South African Cretaceous basins. In Arthur, T. J., Macgregor, D. S., Cameron, N. R. (eds), *Petroleum Geology of Africa: new themes and developing technologies*. Geological Society of London Special Publications, 207.p. 185-202.