

ROCA GENERADORA EN EL *OFFSHORE* DE URUGUAY: EVIDENCIAS NO SÍSMICAS QUE SUSTENTAN UN SISTEMA PETROLERO ACTIVO

Rodríguez P.¹; Conti B.¹; Gristo P.¹

1 - Exploración y Producción – ANCAP, Montevideo, Uruguay.

parodrigue@ancap.com.uy

La evaluación de los sistemas petroleros en el *offshore* de Uruguay ha estado históricamente limitada por la ausencia de pozos que hayan penetrado intervalos sedimentarios con condiciones para generar hidrocarburos. En este contexto, las evidencias no sísmicas son clave para disminuir el riesgo geológico asociado a la presencia de roca/s generadora/s activa/s y sustentar un modelo exploratorio en una cuenca de frontera.

Este trabajo presenta la integración de evidencias obtenidas a partir de datos electromagnéticos, imágenes satelitales, geoquímica de fondo marino e inclusiones fluidas, que en conjunto respaldan la existencia de al menos un sistema petrolero *offshore* activo.

El estudio incluye la interpretación de anomalías de resistividad identificadas en datos electromagnéticos adquiridos en zonas previamente caracterizadas como prospectivas desde el punto de vista sísmico. Estas anomalías de alta resistividad, compatibles con reservorios con hidrocarburos y/o sedimentos con alto contenido orgánico (potencial roca generadora), presentan una coincidencia espacial con anomalías de amplitud versus offset (AVO) y zonas de escapes de fluidos identificadas en sísmica. Asimismo, la interpretación de imágenes satelitales ha revelado gran cantidad de escapes naturales de hidrocarburos en la superficie marina, alineados con distintos prospectos.

El análisis geoquímico de sedimentos del fondo marino revela la presencia de hidrocarburos de origen termogénico. Además, las inclusiones fluidas en muestras de pozos indican presencia de petróleo de densidad media a alta y gas. Estas evidencias no sísmicas respaldan la existencia de roca generadora madura, con posible conexión a reservorios, fortaleciendo la hipótesis de un sistema petrolero activo en el *offshore* de Uruguay.

Palabras claves: geoquímica, electromagnetismo, SAR, *Offshore*, Uruguay.

INTRODUCCIÓN

La exploración de hidrocarburos en el *offshore* de Uruguay enfrenta el desafío de evaluar sistemas petroleros, con mayor interés en el Cretácico, en una cuenca de frontera sin pozos en aguas profundas que hayan atravesado dicho intervalo. En este contexto, la identificación de la presencia de roca generadora, su estado de madurez y efectividad dentro del sistema juegan un rol central en la estimación del potencial petrolero. Si bien la interpretación sísmica ha permitido reconocer múltiples indicadores indirectos, la evidencia no sísmica ha cobrado especial relevancia como herramienta complementaria para reducir la incertidumbre geológica. Durante los últimos años, se ha aplicado una estrategia de adquisición e integración de datos no sísmicos para investigar la posible existencia de rocas generadoras, en la que destacan estudios de electromagnetismo de fuente controlada (CSEM, por sus siglas en inglés), imágenes satelitales de radar de apertura sintética (SAR, por sus siglas en inglés), análisis geoquímicos de sedimentos del fondo marino y caracterización de inclusiones fluidas en recortes de perforación. La coherencia espacial entre estas evidencias y las anomalías interpretadas previamente en datos sísmicos permite reforzar las hipótesis sobre la presencia de lutitas marinas maduras capaces de generar y expulsar hidrocarburos.

Este trabajo se enfoca en presentar dichas evidencias no sísmicas y discutir su valor como herramienta para reducir el riesgo en un entorno geológico de alta incertidumbre.

METODOLOGÍA

La metodología adoptada para evaluar la presencia de roca generadora en el *offshore* de Uruguay se basó en la integración de datos no sísmicos obtenidos mediante diversas técnicas independientes, pero complementarias. Estos datos fueron interpretados con el objetivo de identificar evidencias de generación y migración de hidrocarburos que, en ausencia de pozos que hayan perforado estas rocas, permitan inferir la existencia de un sistema petrolero activo.

En primer lugar, se analizaron los datos derivados de una campaña de electromagnetismo marino (CSEM) 3D realizada en un área de interés previamente delimitada con datos sísmicos. Este estudio permitió estimar la distribución de resistividades en profundidad, a través de la inversión de modelos tridimensionales que revelaron anomalías de alta resistividad. Estas anomalías, interpretadas como posibles acumulaciones de hidrocarburos y/o zonas enriquecidas en materia orgánica, se correlacionan espacialmente con eventos sísmicos que exhiben anomalías AVO de clase IV, así como con evidencias de migración vertical de fluidos (*pockmarks*) observadas en el lecho marino tanto en datos de batimetría multihaz como en datos sísmicos 3D.

En segundo lugar, un consultor independiente, Blaizot (2023), llevó a cabo un análisis de más de 400 imágenes SAR obtenidas en distintos momentos entre 1990 y 2022, con el objetivo de identificar emanaciones naturales de hidrocarburos en la superficie del mar.

Adicionalmente, se integró un análisis geoquímico de alta resolución analítica de muestras de sedimentos superficiales recolectadas en los años 2014 y 2016, con el objetivo de detectar microfiltraciones de hidrocarburos (*microseeps*) y caracterizar sus firmas geoquímicas (Rodríguez *et al.* 2025). Para tal fin se utilizó tecnología de muestreo pasivo, desarrollada por

la empresa *Amplified Geochemical Imaging LLC*, que permitió identificar compuestos termogénicos en varias estaciones de muestreo, con un nivel de detección de hidrocarburos de concentraciones de hasta partes por billón (ppb).

A su vez, se incorporaron datos de inclusiones fluidas observadas en los tres pozos perforados en el *offshore* uruguayo (Lobo X-1, Gaviotín X-1 y Raya X-1), cuyo análisis permitió identificar los intervalos con mayor presencia de inclusiones y caracterizar la composición y densidad de los hidrocarburos presentes, aportando evidencia directa del sistema generador.

RESULTADOS

La reciente inversión 3D de los datos de CSEM adquiridos en el *offshore* uruguayo reveló anomalías de resistividad que se destacan significativamente respecto al entorno geológico (Rodríguez *et al.* 2023). En particular, los modelos invertidos muestran cuerpos de alta resistividad ($>50 \Omega \cdot m$) a profundidades compatibles con niveles prospectivos del Cretácico que indicarían reservorios con potenciales acumulaciones de hidrocarburos.

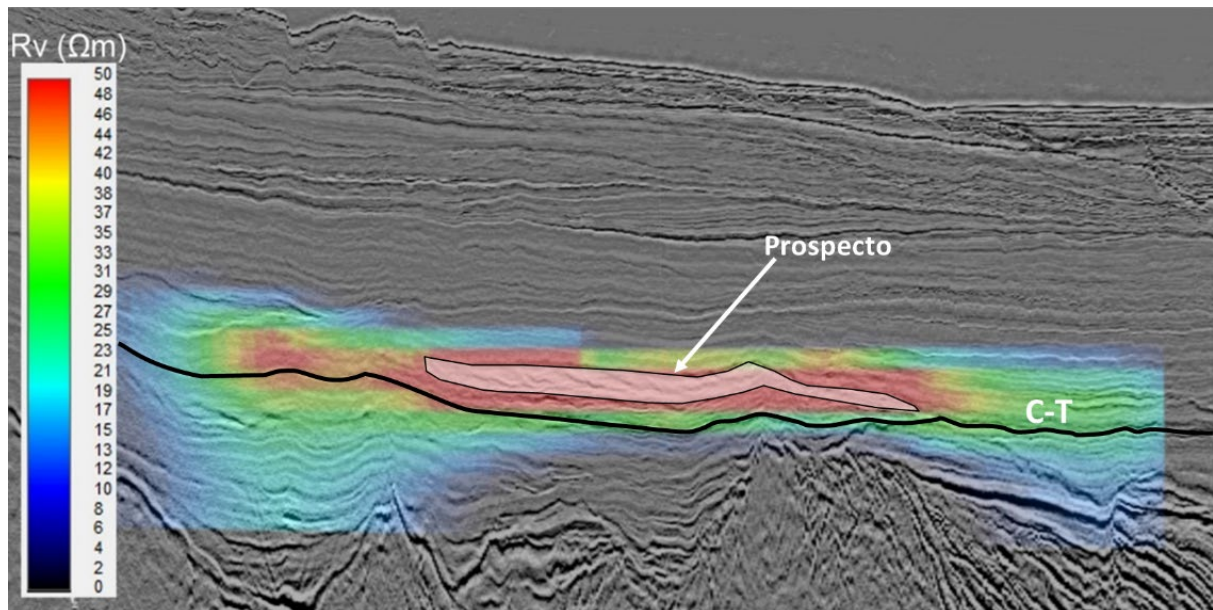


FIGURA N°1: Modificada de Rodríguez *et al.* (2023). Visualización conjunta de resistividad vertical, derivada de la inversión de datos de CSEM, y de amplitud sísmica en una sección transversal a la costa (*dip*) a través de un prospecto de edad Cretácica en cuenca Punta del Este.

En otros sectores, estas anomalías, pero de menor magnitud (en el entorno de los $10 \Omega \cdot m$), coinciden espacialmente con zonas previamente interpretadas, en el análisis sísmico, como potenciales rocas generadoras asociadas a la depositación de lutitas ricas en materia orgánica, tanto por su geometría como por la presencia de anomalías AVO tipo IV caracterizadas por presentar amplitudes sísmicas negativas que disminuyen en amplitud con el incremento del *offset* (distancia entre la fuente sísmica y el receptor).

Por otra parte, las imágenes SAR permitieron identificar, en todo el margen, más de 140 emanaciones naturales (*oil seeps*) de hidrocarburos en la superficie marina (Blaizot 2023). Las mismas son visibles como manchas persistentes en el tiempo en múltiples pasadas satelitales y

se interpretan como filtraciones sostenidas de hidrocarburos desde niveles profundos hacia el fondo marino, lo cual constituye otro fuerte indicio de un sistema petrolero activo. Complementariamente, en un estudio detallado en Rodríguez *et al.* (2025), se realizaron análisis geoquímicos en 409 muestras de sedimento del lecho marino, distribuidas en todo el margen continental uruguayo. Estos autores identificaron dos firmas geoquímicas distintas, una asociada a hidrocarburos livianos y otra a fases líquidas más pesadas. Estas anomalías se correlacionan con estructuras y prospectos interpretados con datos sísmicos 3D. Por otra parte, la existencia de inclusiones fluidas en los pozos Lobo X-1 y Gaviotín X-1 aporta evidencia directa de la generación y migración de hidrocarburos en niveles profundos. Se identificaron inclusiones de petróleo y gas principalmente en muestras del *sinrift* y *postrift* (Jurásico–Cretácico), con petróleo de distinta gravedad (baja, media y alta) observados en secciones delgadas de areniscas y materiales volcánicos (Soto *et al.* 2015), lo que sugiere múltiples fases de carga. La escasez de inclusiones en la sección terciaria, en contraste con su abundancia en los niveles mesozoicos, indica un sello regional efectivo desde el Paleoceno. Por otro lado, el pozo Raya X-1 no presentó evidencia de hidrocarburos ni inclusiones significativas (Conti *et al.* 2023), lo que podría atribuirse a la ausencia de fallas mayores que conecten las generadoras cretácicas con los reservorios más someros.

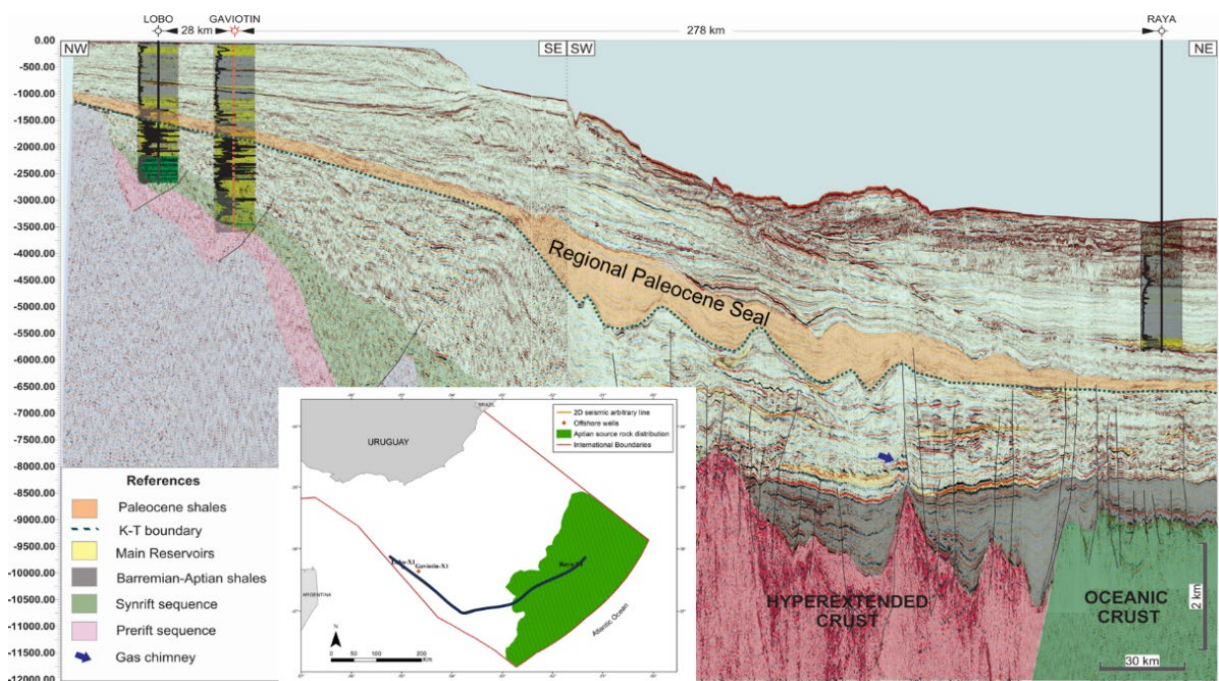


FIGURA N°2: Modificada de Conti *et al.* (2023). Línea sísmica arbitraria que atraviesa los tres pozos del *offshore* de Uruguay. En las pistas de los pozos se muestra la abundancia de metano surgida de los estudios de inclusiones fluidas.

La coherencia espacial y composicional entre estas líneas de evidencia no sísmica, resistividad derivada de estudios de electromagnetismo, emanaciones naturales de hidrocarburos, geoquímica de fondo marino e inclusiones fluidas en recortes de perforación, sustenta la interpretación de que existe al menos una roca generadora activa en profundidad, en condiciones térmicas adecuadas para la generación de hidrocarburos y que está conectada con reservorios cretácicos a través de vías de migración efectivas.

CONCLUSIONES

La integración de múltiples métodos no sísmicos ha permitido avanzar significativamente en la evaluación del sistema petrolero del *offshore* uruguayo, aportando argumentos sólidos para disminuir el riesgo geológico asociado a la presencia de roca generadora en un contexto de exploración de frontera.

Las anomalías de alta resistividad detectadas mediante la inversión de datos CSEM, al coincidir con zonas identificadas como prospectivas en los datos sísmicos, sugieren la posible presencia de acumulaciones de hidrocarburos, así como de lutitas con alto contenido de materia orgánica. Su distribución estructural y estratigráfica, así como su coherencia con eventos AVO clase IV, refuerzan esta interpretación.

Se detectaron más de 140 emanaciones naturales de hidrocarburos mediante el análisis de imágenes satelitales SAR, las cuales constituyen una evidencia indirecta de migración vertical reciente de hidrocarburos desde el subsuelo al lecho marino y columna de agua.

El análisis geoquímico de muestras del lecho marino confirma la existencia de hidrocarburos termogénicos, mientras que las inclusiones de petróleo y gas encontradas apoyan la hipótesis de generación. En conjunto, estas observaciones apuntan a un sistema petrolero activo, con roca generadora efectiva y evidencia de migración de hidrocarburos.

Estos resultados constituyen un insumo clave para la planificación de campañas exploratorias futuras, reduciendo la incertidumbre geológica en la toma de decisiones y fortaleciendo el caso de perforación de pozos en cuencas *offshore* del Uruguay

Agradecimientos

Los autores agradecen a ANCAP por los datos utilizados para desarrollar este trabajo.

Referencias Bibliográficas

- Blaizot, C. 2023. Uruguay Satellite Oil Seeps, an Overview from Historical and Recent Satellite Data Introduction. In: First EAGE Conference on South Atlantic Offshore Energy Resources.
- Conti, B., Novo, R., Marmisolle, J., Rodriguez, P. & Gristo, P. 2023. Offshore Uruguay: Big hopes (and supporting geology) for the Cretaceous. *First Break*, 41 (9): 45-47.
- Rodriguez, P., Marmisolle, J., Helland-Hansen, D., Nerland, E. & Rodriguez, K. 2023. Punta del Este Basin Seismic and CSEM Turonian Source Rock Evaluation. In: First EAGE Conference on South Atlantic Offshore Energy Resources.
- Rodriguez, P., Gristo, P., Silliman, A. & Schrynmeekers, R. 2025. Derisking source rock potential through geochemical analysis of seabed samples. In: 86th EAGE Annual Conference & Exhibition.
- Soto, M., Conti, B., Gristo, P. & de Santa Ana, H. 2015. Direct Oil and Gas Evidences from Punta Del Este Basin, Offshore Uruguay: New Data From Fluid Inclusions. In: AAPG International Conference and Exhibition.