

## Play hipotético pre-sal en aguas profundas del Golfo de México

*Ing. Lino Rosendo Miranda Peralta  
Alejandro Cárdenas Alvarado  
Rodrigo Maldonado Villalón  
Enrique Reyes Tovar  
José Ruiz Morales  
Carlos Williams Rojas  
Pemex*

**Información del artículo: recibido: enero de 2013-aceptado: mayo de 2014**

### Resumen

Con la campaña de adquisición sísmica 2GM2D en aguas profundas del Golfo de México, se identifica una secuencia sedimentaria pre-salina que puede constituir un play hipotético prospectivo en la búsqueda de hidrocarburos.

El paquete sedimentario pre-salino tiene una extensión amplia; bordea la plataforma continental del Bloque Yucatán al oeste y norte. Se encuentra entre el nivel base de sal, del Calloviano y las rocas cristalinas de basamento; la edad puede ser del Jurásico Medio-Triásico y aún Paleozoico.

La reconstrucción tectónica antes de la apertura del Golfo, ubica al Bloque Yucatán al sur de la franja Apalachiana Marathon-Ouachita del Paleozoico Superior. El alineamiento resultante conlleva a buscar rocas análogas en el sureste de Estados Unidos y al oriente de México, por debajo de la cubierta sedimentaria cenozoica.

Los terrenos tectono-estratigráficos en México y EUA muestran una imagen del mosaico de bloques que conforman la región, entre ellos Yucatán. Adicionalmente, con la integración de la información de gravimetría y magnetometría se busca caracterizar la cuenca y el sistema petrolero.

La secuencia pre-sal puede conceptualizarse como play, de la misma forma que en el Oeste de África y en Brasil, donde la secuencia pre-sal es del Cretácico Inferior.

Esta área de interés podría convertirse en una provincia geológica prospectiva, con gran potencial petrolero y en el futuro podría probarse el concepto del play pre-sal, con un pozo de sondeo estratigráfico, que contribuya con el objetivo de evaluar el potencial petrolero en aguas profundas del Golfo de México.

**Palabras clave:** Play presal, aguas profundas, Golfo de México.

## Pre-salt hypothetical play in deepwater Gulf of Mexico

### Abstract

A pre-salt sequence was identified by Pemex with a recent 2D seismic acquisition campaign in deepwater Gulf of Mexico. This sequence can constitute a new hypothetical prospective play in search for hydrocarbons.

The pre-salt sedimentary package is wide spread and borders the northern and western sides of the Yucatan block. It is lying between the base level of Jurassic salt and crystalline basement rocks. The range in age can be of middle Jurassic to Triassic and even Paleozoic.

Two seismic facies were identified, they are separated by an angular unconformity and both suggest a marine and transitional origin that could contain source and reservoir rocks.

We focus on tectonic reconstruction before the opening of the Gulf of Mexico; when Yucatan block was located in the south of the Appalachian Marathon-Ouachita belt of Late Paleozoic, in order to understand its origin and geological characteristics. The tectonostratigraphic terranes in Mexico and the USA show a mosaic blocks forming this region, where Yucatan block is located.

The hypothetical play can be regarded as pre-salt play as has happened in similar conditions at West Africa and Brazil.

This area of interest could become a prospective geological province with great hydrocarbon potential where 3D seismic and more detailed study could be necessary: play and prospect studies, petroleum systems modeling have to be done to propose a wildcat to test this play.

**Keywords:** Pre-salt, deepwater, Gulf of Mexico.

### Introducción

A partir de 2010 Pemex efectuó una campaña de adquisición sísmica 2D en la parte oriental del Golfo de México, para realizar los estudios exploratorios necesarios que permitieran identificar los recursos prospectivos del área y que contribuyan a evaluar el potencial petrolero en aguas profundas.

Esta amplia región del territorio mexicano es un área frontera que se encuentra en su fase inicial de evaluación del potencial. Las etapas siguientes del proceso exploratorio, de incorporación de reservas, de caracterización inicial y delimitación de yacimientos, ya se están cumpliendo con los pozos exploratorios paramétricos productores en objetivos terciarios, con la finalidad de reducir el tiempo del ciclo exploración-producción.

Aquí se tratarán las actividades de evaluación del potencial enfocadas en la secuencia sedimentaria pre-salina, para definir el marco geológico regional, el tipo de cuenca, el funcionamiento del sistema petrolero, la identificación de áreas de oportunidad y la propuesta de una estrategia para continuar.

### Marco geológico regional

Información sísmica, de gravimetría y magnetometría.

La información consiste de más de 15,700 km lineales de sísmica 2D de buena calidad, que cubren una extensión de 237,000 km<sup>2</sup>, **Figura 1**.

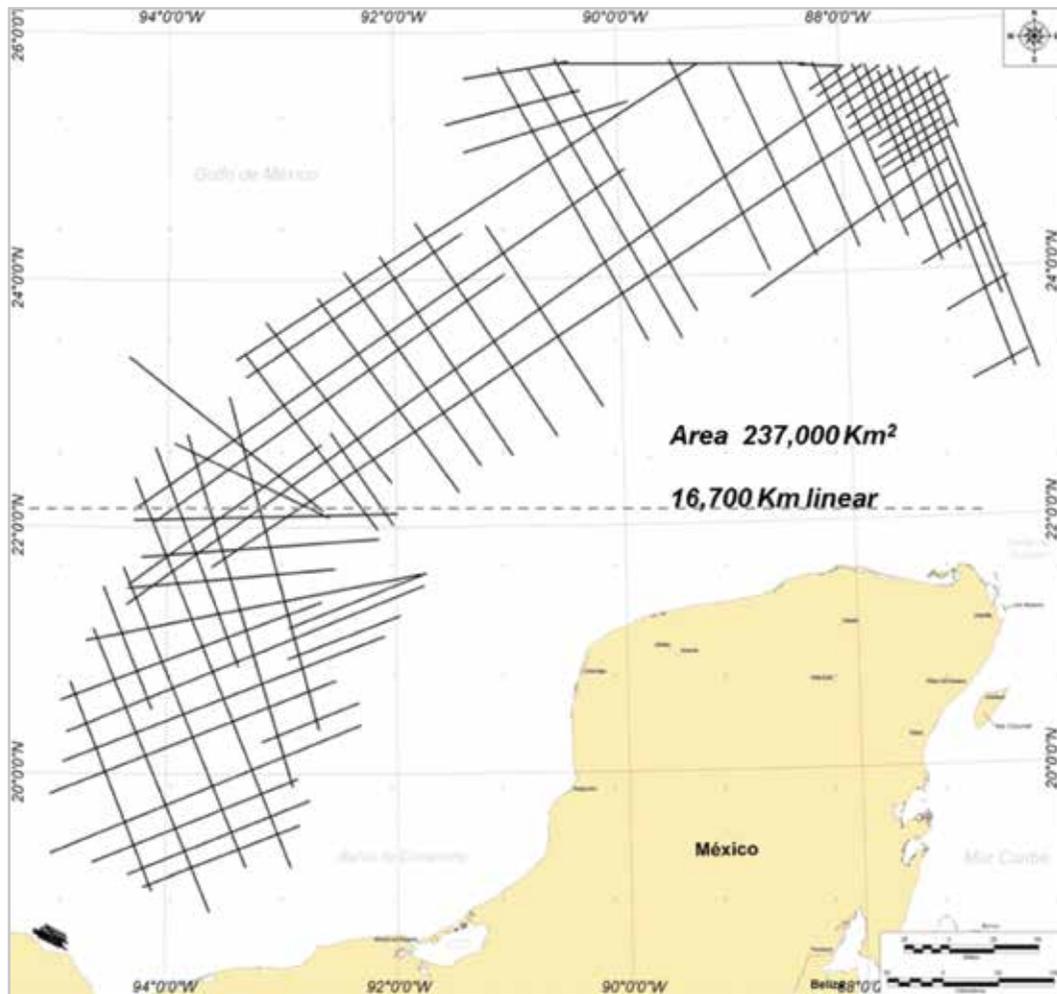
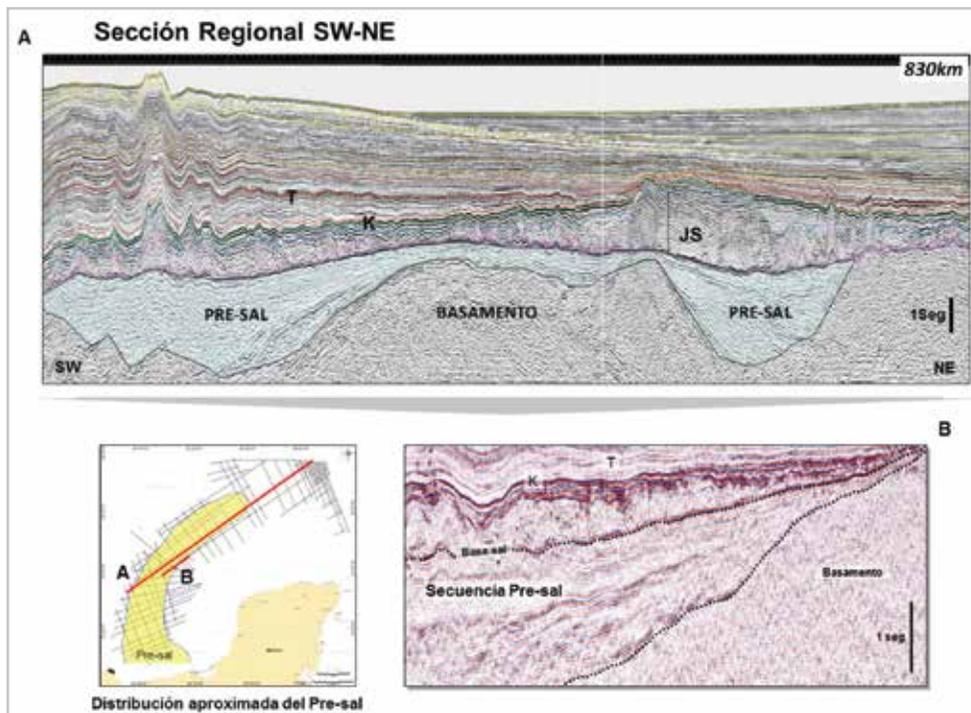


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

El levantamiento sísmico GM2D tuvo una longitud de cable de 12 km y 13 segundos de grabación, obteniéndose una imagen de buena calidad. Al mismo tiempo se obtuvo información de gravimetría y magnetometría, que se integró a los modelos regionales del Golfo de México.

El paquete sedimentario pre-salino tiene una extensión amplia, bordea la plataforma continental del Bloque

Yucatán al oeste y norte; en este lado tiene una longitud de más de 700 km. Se encuentra por abajo del nivel base de la sal, del Jurásico Superior Calloviano y por encima de las rocas cristalinas del basamento; su aspecto es estratificado, sugiriendo una progradación del margen de la cuenca. Su espesor es considerable y llega a tener más de 5,000 m. La edad de esta secuencia sedimentaria puede ser del Jurásico Medio-Triásico, e inclusive Paleozoico, **Figura 2.**



**Figura 2.** Muestra la distribución de la secuencia pre-sal, su posición estratigráfica y el aspecto sísmico de sus horizontes estratificados.

La secuencia pre-sal se encuentra en un mínimo gravimétrico en el mapa de anomalía de Bouguer, lo cual puede ser el resultado en el incremento del espesor de la columna sedimentaria, debido a la secuencia pre-salina. Al norte y oeste la limita un máximo gravimétrico que comúnmente se ha identificado como el límite de la corteza oceánica-continental. En el mapa de reducción al polo la secuencia pre-sal está sobre una anomalía magnética negativa, que bordea al bloque Yucatán, donde las anomalías magnéticas tienen orientación contrastante.

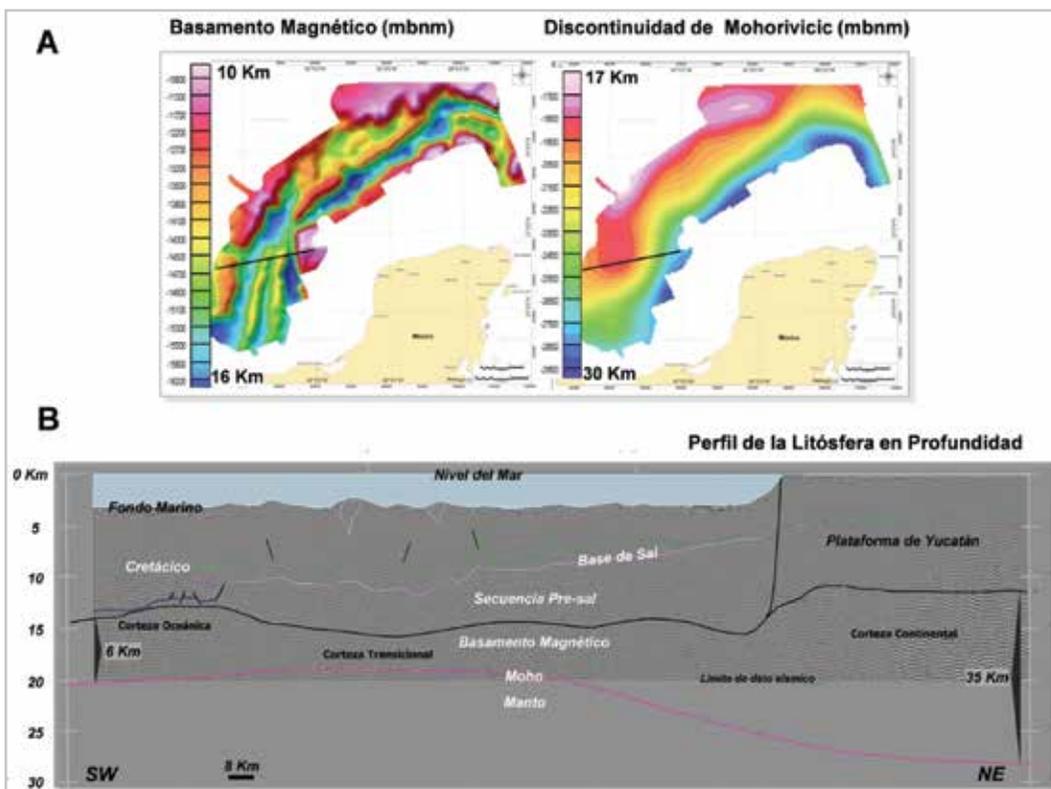
En el modelo de densidad obtenido se muestran los valores asignados a la columna sedimentaria del Terciario, Mesozoico y por debajo del nivel base de la sal, la secuencia pre-salina, **Figura 3**. Aquí se aprecia la forma en que la secuencia pre-salina tiene un valor de 2.6 gr/cc; se acuña entre las rocas de la corteza y la base de la columna sedimentaria del Jurásico.



**Figura 3.** En el perfil de densidad se muestran los valores asignados a las diferentes rocas de la columna sedimentaria, de la corteza y del manto superior.

Con la información sísmica y de métodos potenciales se construyó un modelo inicial en profundidad, el cual se propuso a partir de la base de la corteza o discontinuidad de Mohorovicic, tomando como base el modelo de Airy-Heiskanen. La cima del basamento magnético se calculó

de los datos de intensidad magnética total. Esta superficie es la base de la columna sedimentaria representada en la imagen sísmica, donde también se representan la base de la sal autóctona y la cima del Cretácico, **Figura 4**.



**Figura 4.** Modelo inicial en profundidad de la discontinuidad de Mohorovicic, cima del basamento magnético (A) y sección sísmica representando estas superficies y el nivel base de la sal y la cima del Cretácico (B).

La profundidad del basamento magnético en esta porción de aguas profundas va de 10 a 16 km, presenta altos estructurales que bordean al bloque de Yucatán. La superficie de la discontinuidad de Mohorovicic se distribuye de una forma regular, profundizándose desde 17 km al norte y oeste hacia el bloque Yucatán, donde alcanza profundidades de 30 km.

De esta forma se construyen perfiles de la corteza que permiten establecer los tipos de basamento, de cuenca y sus límites; parámetros que se usan en el modelado geológico-geoquímico del sistema petrolero.

**Marco estratigráfico**

Al sur de la provincia salina en mar y tierra ha sido posible detectar imágenes sísmicas de secuencias sedimentarias por debajo del nivel base de la sal; en la primera de ellas, la interpretación de facies sísmicas indica ambientes sedimentarios fluviales, transicionales y marinos (IMP, 2008).

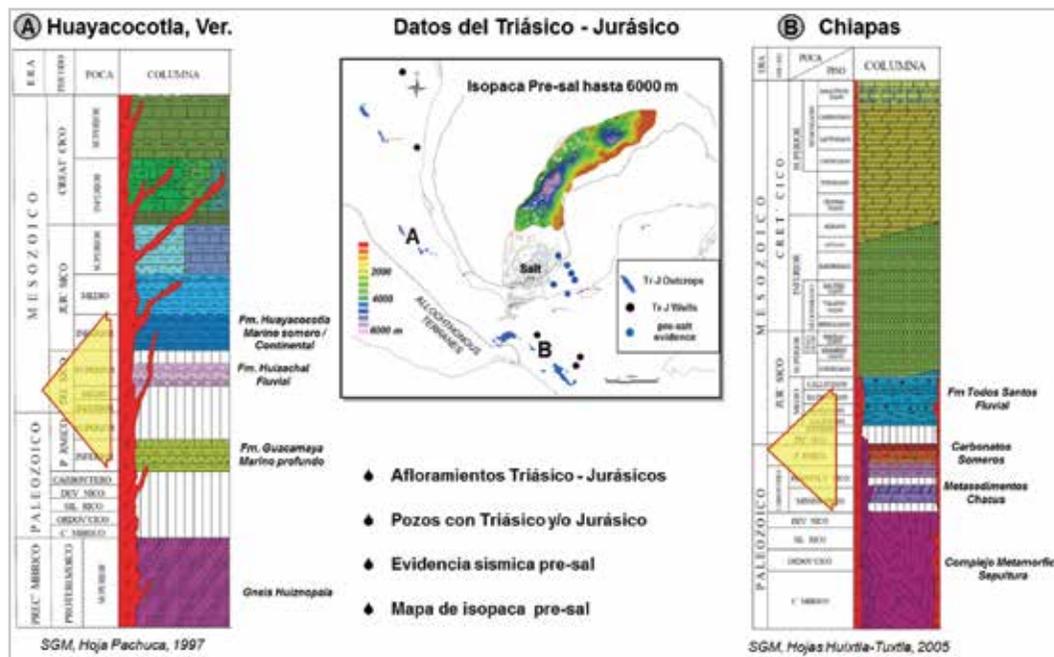
La presencia de la secuencia pre-sal es de una extensión regional en el mar y en tierra hay afloramientos y pozos perforados que señalan rocas sedimentarias en la misma posición estratigráfica, entre el Jurásico Medio y sobre el basamento magnético cristalino.

En el centro de México, en el área de Huayacocotla, Ver., sobre el basamento cristalino conocido como Gneis Huiznopala, se depositaron rocas sedimentarias marinas de la Formación Guacamaya del Paleozoico Superior; enseguida se encuentran rocas aluviales de la Formación Huizachal del Triásico Superior y rocas de ambiente marino somero y continental de la Formación Huayacocotla del Jurásico Inferior, **Figura 5**. (SGM, 1997).

En el sur de México, en la Sierra de Chiapas, sobre el complejo metamórfico Sepultura se encuentran meta sedimentos de la Formación Chacus del Paleozoico Superior Carbonífero y carbonatos marinos someros del Pérmico, por encima lechos rojos de la Formación Todos Santos del Jurásico Inferior. Algunos pozos perforados en tierra han penetrado por debajo de las rocas del Jurásico Medio y han cortado

parte de estas columnas mencionadas en los afloramientos de superficie, como los pozos San Javier-1 y Metate-1 en el norte y Raudales-1 en el sur, entre otros.

Estas son las rocas que esperaríamos encontrar para la secuencia pre-sal en aguas profundas, con sus variaciones laterales de facies y de espesor. La diferencia entre la base y cima y base de los horizontes sísmicos interpretados, nos indica el comportamiento de su espesor con la formación de varios depocentros en donde llega a alcanzar hasta 6000 m, **Figura 5**. Y estaría constituida en la base por rocas del Paleozoico (clásticos profundos y carbonatos someros) de una etapa anterior al rift y del Triásico-Jurásico (capas rojas con influencia lagunar y marina) como resultado del evento tectónico sedimentario de rift, hacia la parte superior.



**Figura 5.** Marco geológico regional con afloramientos, pozos y evidencia sísmica de las rocas con posición estratigráfica similar a la secuencia pre-sal.

El conjunto de datos que se conocen de las localidades del Triásico-Jurásico y del Paleozoico en México, más la evidencia sísmica obtenida en aguas profundas de la secuencia pre-sal nos conducen a observar la reconstrucción paleo-geográfica del área para estos periodos de tiempo. Aquí se plantea el escenario de la secuencia rift del Triásico-Jurásico.

La reconstrucción paleo-geográfica de la región en Jurásico Inferior, antes de la apertura del Golfo de México, ubica al

Bloque Yucatán al sur de la franja Apalachiana Marathon-Ouachita del Paleozoico Superior, el borde del Cratón de Norteamérica. El alineamiento resultante nos lleva a buscar rocas análogas en el sureste de Estados Unidos y al oriente de México, por debajo de la cubierta sedimentaria cenozoica, **Figura 6**.

En el este de Norteamérica se depositaron rocas del Grupo Newark, hacia la porción de Luisiana y Texas se depositaron

las rocas de la formación Eagle Mills. En el norte de México se depositaron las rocas de la Formación Huizachal y de la formación y de la Formación Todos Santos en el Sur. Estas rocas son depósitos fluviales de tipo rift, con influencia lacustre y con incursiones marinas. Este alineamiento de

depósitos es el antecedente tectónico sedimentario de la apertura del Margen Atlántico y del Golfo de México, el cual fue propicio para la creación de rocas almacén, sello y generadora en este tiempo.

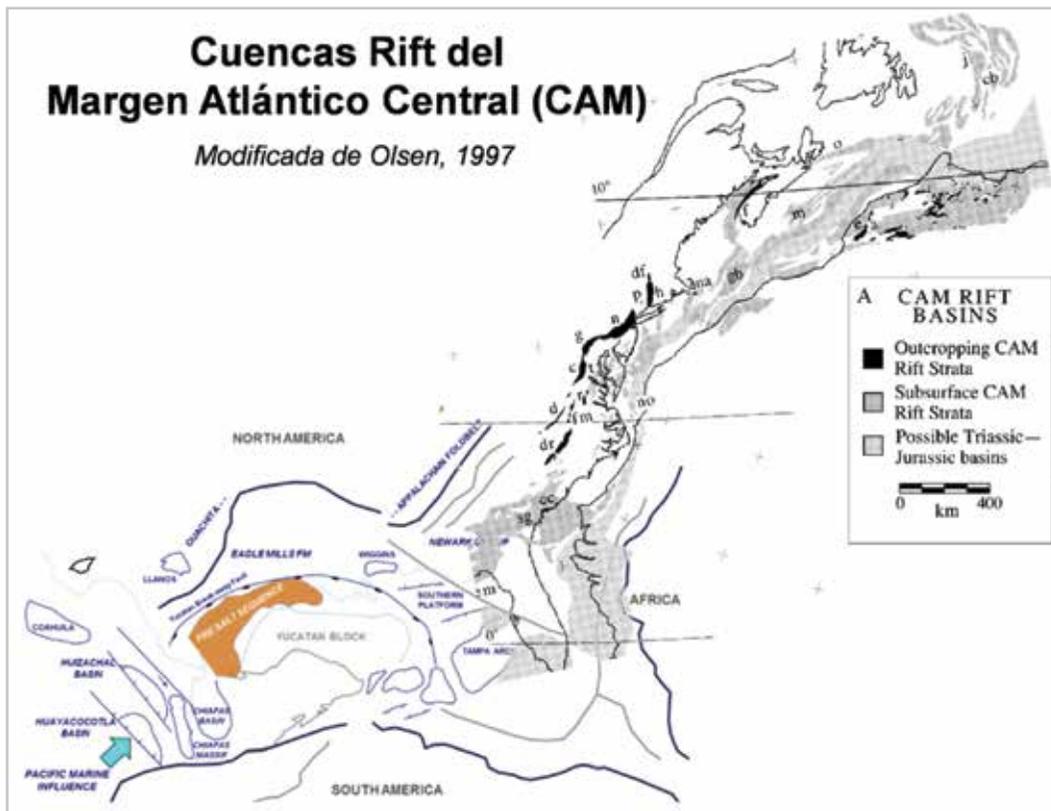


Figura 6. Reconstrucción paleo-geográfica del Triásico Superior- Jurásico Inferior y la posición de la secuencia pre-sal.

### Sistema petrolero

Con las consideraciones del marco geológico regional y la reconstrucción paleo geográfica del Triásico-Jurásico para la secuencia pre-sal, se estableció un escenario posible para el tipo de roca, edad, espesor y profundidad. Con base en esta información se realizó un modelado geológico-geoquímico de un sistema petrolero especulativo.

Por ahora la evidencia de los elementos del sistema petrolero en aguas profundas del Golfo de México proviene

de la información sísmica, y los datos de la roca generadora han sido tomados de las muestras de afloramientos y pozos del este de Norteamérica, (Olsen, 1997).

En este modelado se consideró la información de COT 3% (carbono orgánico total) del Grupo Newark y una mezcla de Kerógeno de tipo II y III, para una roca generadora de ambiente carbonatado y lacustre con influencia de materia orgánica continental, **Figura 7**.

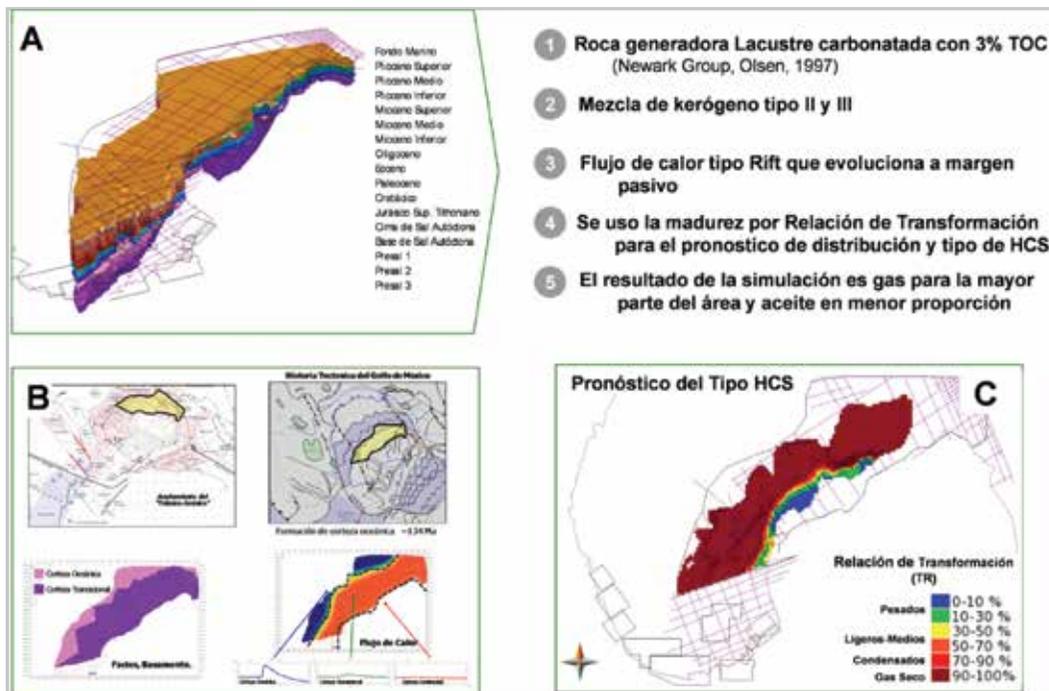


Figura 7. Modelado geológico-geoquímico del sistema petrolero especulativo del Triásico Superior- Jurásico Inferior.

La historia térmica empleada en el modelado es un flujo de calor para una cuenca de tipo rift, donde los valores alcanzan un nivel máximo en la etapa de adelgazamiento o apertura, y decrecen en la etapa de subsidencia térmica durante el desarrollo del margen pasivo, donde el flujo de calor tiende a estabilizarse hasta la época actual.

Las regiones modeladas son de corteza oceánica, transicional y continental, en donde el flujo de calor varía en intensidad de acuerdo al espesor y composición de la corteza.

Se usó la madurez por relación de transformación de la materia orgánica en hidrocarburos (TR) para realizar el pronóstico de distribución del tipo de hidrocarburos. Para la roca generadora pre-salina, la generación de hidrocarburos empieza en el Jurásico Tardío, aunque hay zonas donde se presenta un poco antes y otras con baja madurez donde no ha iniciado esta generación.

El resultado de la simulación se muestra en el mapa de relación de transformación (TR) **Figura 7-C**; que indica la presencia de gas para la mayor parte del área y aceite en menor proporción. Es de interés entonces, observar el tipo de trampas que pueden estar captando la migración de hidrocarburos desde la roca generadora pre-salina.

El tipo de trampas que se han identificado para contener los hidrocarburos generados en el sistema petrolero pre-salino son de tipo estructural y estratigráfico. El primero está relacionado con estructuras falladas en bloques relacionados con altos de basamento, **Figura 8-A**. La roca almacén puede estar constituida por arenas aluviales, fluviales y rocas carbonatadas someras.

En el segundo caso, las trampas estratigráficas están asociadas a los acuíferos de los estratos contra el basamento y contra la base de la sal; la roca almacén es similar a como se muestra en la **Figura 8-B**. La migración de los hidrocarburos está determinada por el echado regional de la secuencia, en general elevándose hacia el sur; a donde migran los hidrocarburos hasta acuíferarse contra el basamento y/o sal; o bien tomando las rutas trazadas por las fallas de los bloques en los altos de basamento, desarrollados en la etapa rift de la cuenca.

El modelado del sistema petrolero de carácter especulativo pre-salino permite inferir la presencia de hidrocarburos con zonas de gas y aceite, donde la migración y entrapamiento del hidrocarburo delimitan áreas de interés.

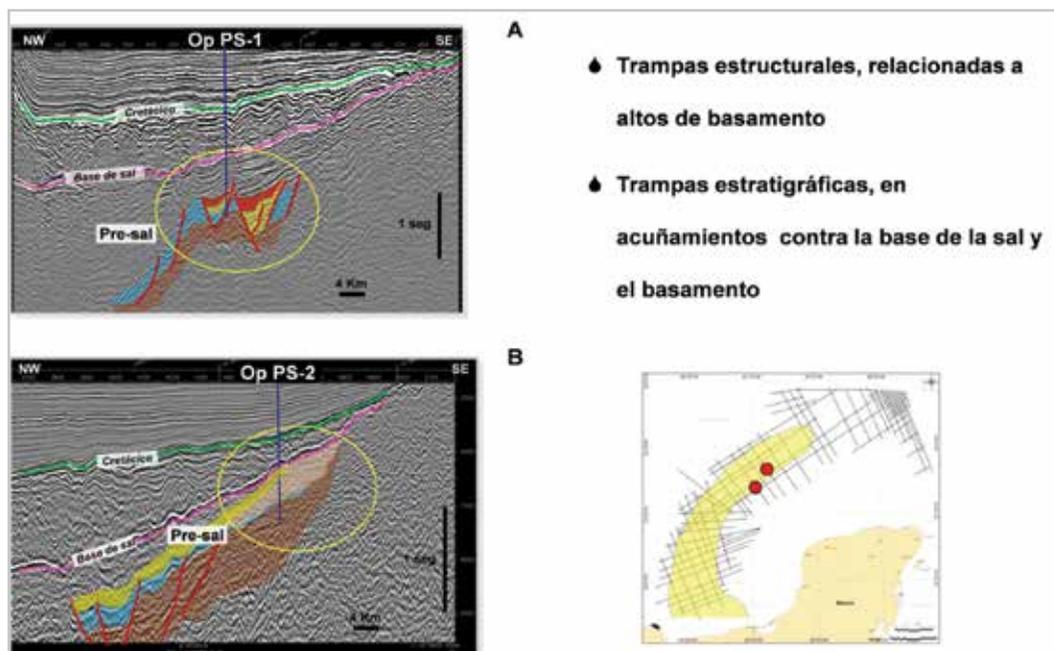


Figura 8. Tipo de oportunidades que se han visualizado en la secuencia pre-salina.

## Próximos pasos

Las áreas de interés identificadas en el sistema petrolero pre-salino, marcan el camino para continuar con la actividad exploratoria de evaluación de los recursos prospectivos en aguas profundas del Golfo de México. La estrategia exploratoria es conjunta, e integra la visión y conocimiento que se tiene de los plays Terciario y Mesozoico en esta misma región.

Con este criterio se seleccionó una zona para adquirir sísmica 3D, actualmente en desarrollo, **Figura 9**. Los objetivos para la secuencia pre-sal en la fase siguiente del proceso exploratorio son:

- Mejorar la imagen sísmica para detallar el control estructural de los horizontes, de las facies sísmicas y un refinamiento de la estratigrafía del área.
- Consolidar el concepto de play y sistema petrolero usando mallas de modelado más cerradas en las simulaciones de nuevos escenarios, que conduzcan a identificar la presencia y eficacia de los elementos de

un sistema petrolero activo: roca generadora, roca almacenadora, trampa, roca sello y sincronización adecuada entre generación, migración y entrapamiento de hidrocarburos.

- Realizar una campaña de identificación y registro de las oportunidades exploratorias, clasificando su tipo de trampa, tipo de hidrocarburo esperado y tirante de agua. Estos criterios facilitarán la jerarquización de las oportunidades y la identificación de las áreas de interés, para continuar con la estrategia exploratoria.
- Estimar los recursos prospectivos del play hipotético pre-sal y proponer un pozo de sondeo estratigráfico, que pueda combinar los objetivos terciarios y/o mesozoicos y probar el concepto de play pre-sal, contribuyendo con la tarea de evaluar los recursos prospectivos en aguas profundas del Golfo de México.
- El play es de interés, ya que podría abrir una provincia geológica prospectiva con gran potencial petrolero.

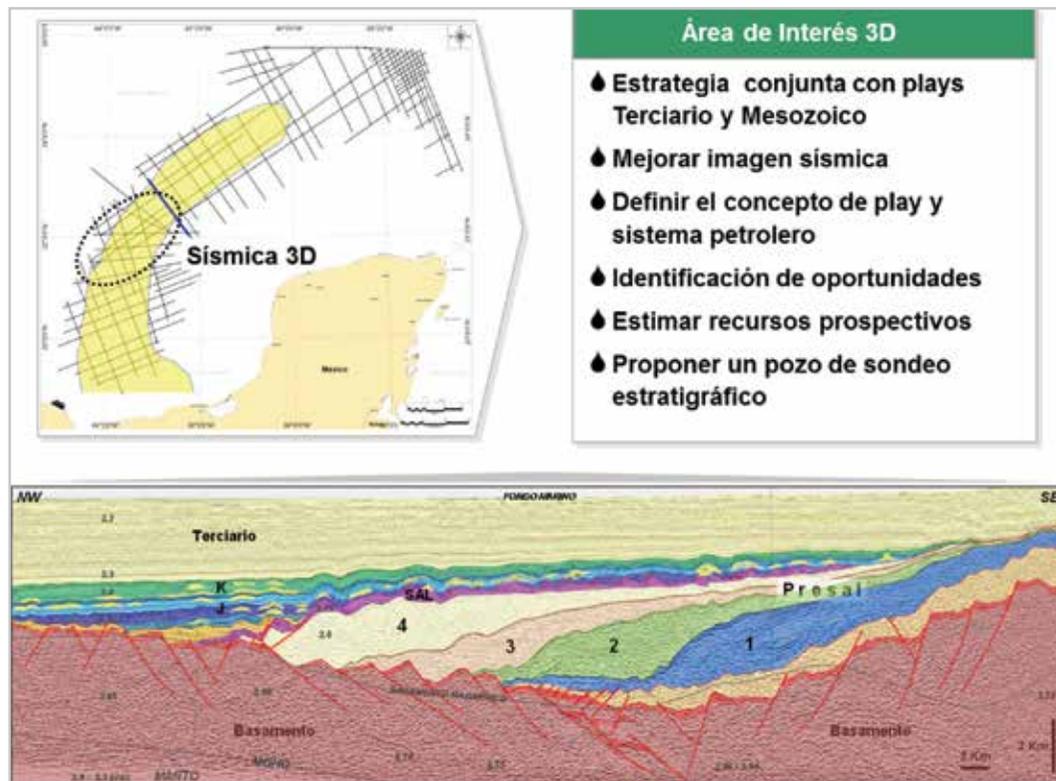


Figura 9. Área de interés identificada para toma de la sísmica 3D, detallar el concepto de play pre-sal, en una estrategia exploratoria conjunta para el Terciario y Mesozoico.

## Conclusiones

Hay más de cinco mil metros de secuencia pre-sal yaciendo al basamento magnético, en el borde norte y oeste del bloque Yucatán. La edad de estas rocas sedimentarias varía del Jurásico Inferior al Paleozoico. El marco geológico regional y las facies sísmicas sugieren sedimentos de origen aluvial, fluvial, lacustre y marino. Con la presencia de rocas generadoras de ambiente lacustre y roca almacén de arenas y carbonatos someros.

El modelado del sistema petrolero especulativo indica la presencia de gas y aceite que ha podido migrar a trampas de tipo estratigráfico y estructural, dentro de la secuencia pre-sal.

Se identificó una zona de interés para adquirir sísmica 3D, en conjunto con la estrategia exploratoria para evaluar los plays del Terciario, Mesozoico y pre-sal.

El desarrollo del concepto de play pre-sal contribuye con el objetivo de evaluar el potencial petrolero en aguas profundas del Golfo de México.

## Agradecimientos

Agradecemos a las autoridades de la Subdirección de Exploración por permitir la publicación de este trabajo. También reconocemos la participación de Carlos Lora de la Fuente, Francisco Olivares Pérez y José Vázquez Hernández en la interpretación sísmica de las diferentes áreas; a Christian Martínez López en la construcción del modelado geoquímico y a Humberto Torres Sastre por sus comentarios y sugerencias.

## Referencias

- Campa, M.F. y Coney, P.J., 1983. Tectono-Stratigraphic Terranes and Mineral Resource Distributions in Mexico. *Can. Jour. Earth Sci.* **20** (6): 1040-1051. <http://dx.doi.org/10.1139/e83-094>.
- Horton, J.W., Drake, A.A., Rankin, D.W., et al. 1991. Preliminary Tectonostratigraphic Map of the Central and Southern Appalachians, 1:2000000, U.S. Geological Survey, Miscellaneous Investigations Series Map I-2163.

Instituto Mexicano del Petróleo. 2008. Play Hipotético Profundo, Informe Final F-54301. IMP, México, D.F. (Informe interno).

Jacques, J.M. y Clegg, H. 2002. Late Jurassic Source Rock Distribution and Quality in the Gulf of Mexico: Inferences from Plate Tectonic Modeling. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions* **52**: 429-440.

Olsen, P.E. 1997. Stratigraphic Record of the Early Mesozoic Breakup of Pangea in the Lawrasia-Gondwana Rift System. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* **25**: 337-401. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.earth.25.1.337>.

Pemex Exploración y Producción. 1998. Informe de la Localización Canek: Proyecto Progreso. Pemex Exploración y Producción, Región Marina Noreste, Ciudad del Carmen, Campeche (Informe interno).

Pindell, J., Kennan, J. Rosenfeld, J., et al. 2002. Análisis Paleogeográfico Mesozoico-Cenozoico y Dinámica de Cuencas en el Golfo de México Profundo y Márgenes: La Relación Entre Evolución Tecnosedimentaria y Sistemas Petroleros. Pemex Exploración y Producción-Tectonic Analysis, México (Informe interno).

Rueda Gaxiola, J. 2012. The Gulf of Mexico Origin. Its Sedimentary Basins and the Type of Abundance of Hydrocarbons Deposits Found in Theme Were Mainly the Product of a Hot Spot Evolution, Science Middle Jurassic Time. Artículo presentado en el Congreso Mexicano del Petróleo, Ciudad de México, septiembre 9-14.

Servicio Geológico Mexicano. 1997. Carta Geológico-Minera: Pachuca F14-11, 1:250,000. Servicio Geológico Mexicano, Pachuca, Hidalgo. [http://mapserver.sgm.gob.mx/cartas\\_impresas/productos/cartas/cartas250/geologia/pdf/88\\_F14-11\\_GM.pdf](http://mapserver.sgm.gob.mx/cartas_impresas/productos/cartas/cartas250/geologia/pdf/88_F14-11_GM.pdf) (descargado el 15 de enero de 2013).

Servicio Geológico Mexicano. 2005. Carta Geológico-Minera: Huixtla D15-2, 1:250,000. Servicio Geológico Mexicano, Pachuca, Hidalgo. [http://mapserver.sgm.gob.mx/cartas\\_impresas/productos/cartas/cartas250/geologia/pdf/108\\_D15-2\\_GM.pdf](http://mapserver.sgm.gob.mx/cartas_impresas/productos/cartas/cartas250/geologia/pdf/108_D15-2_GM.pdf) (descargado el 15 de enero de 2013).

Servicio Geológico Mexicano. 2005. Carta Geológico-Minera: Tuxtla Gutiérrez E15-11, 1:250,000. Servicio Geológico Mexicano, Pachuca, Hidalgo. [http://mapserver.sgm.gob.mx/cartas\\_impresas/productos/cartas/cartas250/geologia/pdf/107\\_E15-11\\_GM.pdf](http://mapserver.sgm.gob.mx/cartas_impresas/productos/cartas/cartas250/geologia/pdf/107_E15-11_GM.pdf) (descargado el 15 de enero de 2013).

## Semblanza

### Ing. Lino Rosendo Miranda Peralta

Geólogo por el Instituto Politécnico Nacional, 1982 y realizó estudios de Maestría en Recursos Energéticos del Subsuelo, en la UNAM en 1992.

En 1984 Inició su actividad laboral en Pemex en la Región Sur, y desde 2009 en el Activo de Exploración Aguas Profundas Sur, en la Coordinación de Modelado Geológico Regional.

Se ha desempeñado en las actividades a lo largo de la cadena de valor del proceso exploratorio, en la adquisición de información geológica de superficie y de subsuelo, en la de integración geológica y geofísica regional y en interpretación integral para la generación de localizaciones exploratorias y de desarrollo.

Ha presentado trabajos en congresos nacionales e internacionales.

Pertenece a la Red de Expertos de Sedimentología y Estratigrafía y a la Red Integradora de Interpretación Geológica y Geofísica.

Es miembro de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros y de la Asociación de Ingenieros Petroleros de México.