

POSIBILIDADES PETROLERAS

PARAGUAY ORIENTAL - CUENCA DEL PARANÁ

Hannfried Schaller, Edson Leandro Corrêa

Gracias a la gentileza de los autores brasileños, mencionados más arriba, tenemos la oportunidad de ofrecer parte del trabajo de investigación, en grandes rasgos, sobre las Posibilidades Petroleras, que ha sido presentado durante la Semana del Geólogo 2013, organizada por el Departamento de Geología de la FACEN-UNA. Incluimos el resumen, una parte de la introducción.

Resumen

La Cuenca del Paraná abarca una enorme depresión geológica ubicada en la región centro-este de América del Sur, ocupando un área de 1.6 millones km² a través de territorios de Brasil, de Paraguay, de Argentina y de Uruguay.

Se trata de una gran sineclisis intracratónica de forma elíptica alargada en la dirección norte-sur con su eje centrado sobre el Río Paraná, el cual le presta su nombre.

La cuenca, completamente acomodada sobre la corteza continental, evolucionó durante las eras Paleozoica y Mesozoica, acumulando un registro sedimentario de más de seis mil metros.

Este conjunto abarca seis grandes supersecuencias aloestratigráficas de segundo orden, separadas por importantes hiatos deposicionales. Entre los sedimentos se destacan tres intervalos de pizarras negras con elevada concentración orgánica, acumuladas durante eventos de inundación máxima, ocurridos respectivamente durante el Silúrico (Llandoveryano), Devónico (Emsiano-Frasniano) y Pérmico (Kazaniano). Estas lutitas representan importantes niveles de rocas generadoras.

La génesis de la Cuenca se desarrolló sobre el antiguo supercontinente Gondwana, cuya evolución se cerró con un gran evento basáltico que registró los preludios de la apertura del Océano Atlántico Sur y la consecuente separación de los continentes sudamericano y africano.

Introducción

La Cuenca del Paraná (Figura 1) abarca una amplia depresión intracratónica, desarrollada completamente sobre la corteza continental, cubriendo una

superficie de más de 1.6 millones de km², ocupando en Paraguay 140.000 km², 1,2 millones de km² en la región centro-sur de Brasil y extravasándose a territorios de Argentina (140.000km²) y Uruguay (120.000 km²). Su nombre se deriva del Río Paraná que la cruza del norte hacia el sur a lo largo de su eje mayor. La cuenca tiene una forma alargada en la dirección NNE-SSW, con su parte central cubierta por derrames basálticos, rodeados por una zona de afloramientos alrededor de una cubierta de lavas. Hacia el sudoeste, en Argentina, esta faja de afloramientos está soterrada por una cuña clástica inherente a la Cuenca de Chaco Paraná, que debido a su evolución más próxima a las Cuencas Subandinas, no ha sido considerada en el presente contexto.

El conjunto de estratos que rellena la Cuenca del Paraná presenta un espesor sedimentario de más de 6.000 m, separados por importantes discordancias regionales, moldeadas por la superposición de diferentes ambientes tectono-sedimentarios que reflejan la dinámica de placas que condujeron al desarrollo y posterior fragmentación de Gondwana. De este modo, los límites actuales representan solamente un fragmento de la gran extensión del área deposicional antes conectada al antiguo ambiente paleozoico. Respecto a la exploración de petróleo, objeto del presente trabajo, los más antiguos registros exploratorios fueron descritos en Brasil, cuya investigación empezó en 1873, cuando se perforó el primer pozo de petróleo del país en la región de Bofete, en el Estado de São Paulo.



Figura 1 – Ubicación de la Cuenca del Paraná

Estratigrafía

La sistematización de la columna estratigráfica del sector paraguayo de la Cuenca del Paraná tuvo la contribución de diferentes estudiosos, entre ellos: Harrington (1950), Wolfart (1961) y Putzer (1962). Estos trabajos se concentraron a lo largo de la alineación estructural de Asunción-Paraguari, donde gran parte de la sección paleozoica está expuesta en cortes de carreteras y pedreras y también en sus flancos oriental y occidental.

Referidos estudios fueron complementados y refinados por los trabajos de geología de superficie y perforación de pozos estratigráficos someros, realizados por la empresa Anschutz Corporation entre 1978-1982 (Wiens, 1982).

En el sector brasileño, la estratigrafía fue primeramente abordada por White en 1908 y aprimorada por innumerables trabajos académicos, culminando con las divisiones estratigráficas desarrolladas en el ámbito de Petrobrás (Zalan et al., 1986 y Milani, 1997), siendo que la correlación estratigráfica Paraguay-Brasil adoptada en el presente trabajo está representada en la Figura 2 (Columna

Estratigráfica).

La evolución tectono estratigráfica paleozoica de la Cuenca del Paraná, como también de las demás Cuencas intracratónicas sudamericanas, se desarrolló sobre un sustrato moldeado por el episodio tectónico brasiliano-panafricano y marcado por depresiones y rifts eo-paleozoicos.

Estos rifts fueron colmatados con clásticos continentales inmaduros en Paraguay e incluidos en el Grupo Itapucumi, correspondientes en Brasil al Grupo Itajaí (Rostirolla et al., 1992), localmente afectados por material riolítico y volcánico-clástico cambro-ordovícico designado de Grupo Castro (Canuto, 2010).

Los depósitos post-origénicos definen la transición de la paleogeografía del Ciclo Brasiliano al inicio de la sedimentación paleozoica en la Cuenca del Paraná, promovida por subsidencia térmica a partir del período Ordovícico (Almeida et al., 1981 y Zalan, 1990).

El relleno de esta amplia sineclisis, según se definió en Brasil, abarca seis grandes supersecuencias aloestratigráficas de segundo orden designadas Río Ivaí, Paraná, Gondwana-I, Gondwana-II, Gondwana-III y Bauru. (Milani, 1997) que, a excepción de la Supersecuencia Gondwana-II, ausente en Paraguay, las demás se pueden correlacionar a los Grupos:

- (1) Caacupe e Itacurubi (Supersecuencia Río Ivaí);
- (2) San Pedro, (Supersecuencia Paraná)
- (3) Coronel Oviedo / Independencia (Supersecuencia Gondwana-I);
- (4) Alto Paraná (Supersecuencia Gondwana-III) y
- (5) Acaray (Supersecuencia Bauru).

Estas supersecuencias sedimentarias están limitadas por discordancias regionales que reflejan los principales eventos geotectónicos paleozoicos del continente sudamericano. Los estratos paleozoicos y mesozoicos están recubiertos por sedimentos terciarios y depósitos cuaternarios.

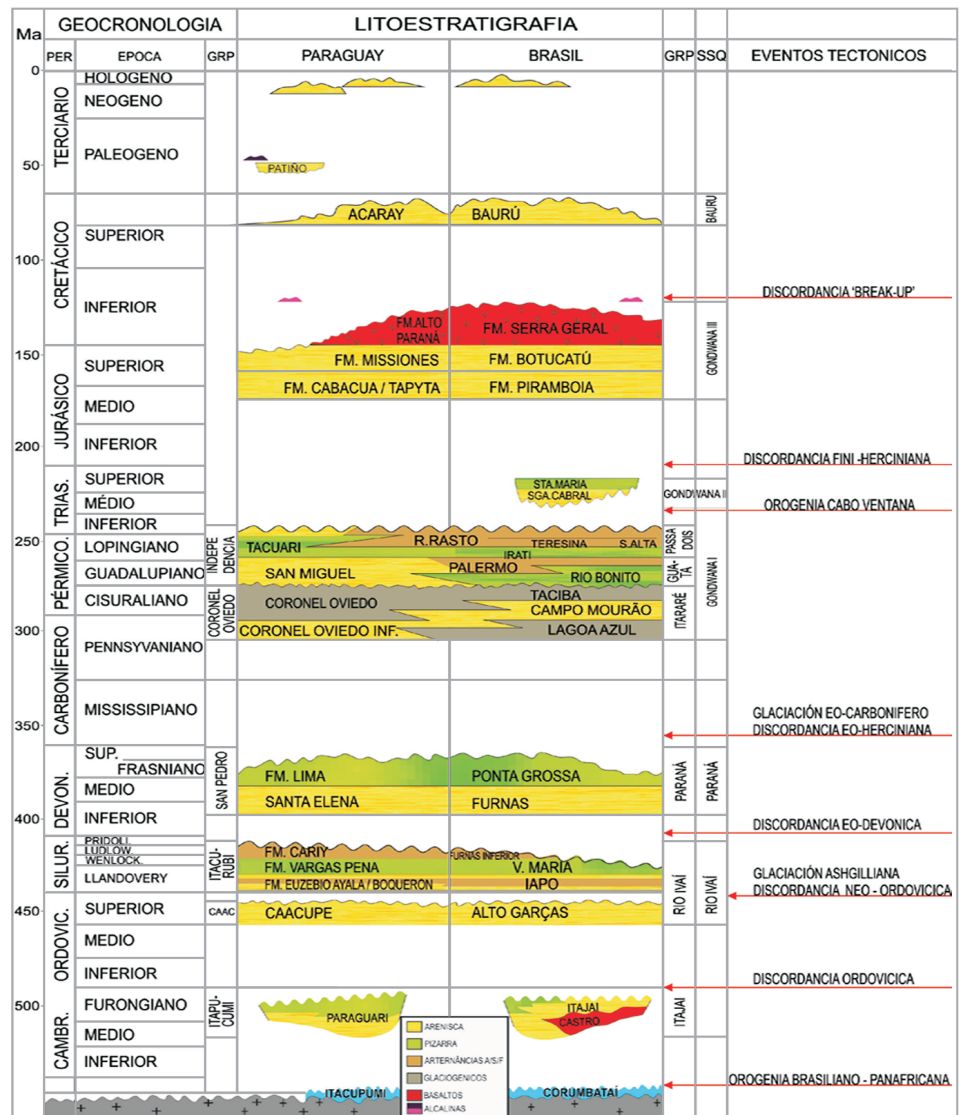


Figura 2 – Columna Estratigráfica de La Cuenca del Paraná – Correlación Paraguay - Brasil

Ordovícico-Silúrico (Supersecuencia Río Ivaí)

El primer episodio de subsidencia regional está marcado por el ciclo transgresivo regresivo que se dio durante el Caradociano (Ordovícico Medio) y se asienta sobre el sustrato preordovícico de la Cuenca. La unidad está bastante desarrollada en Paraguay, donde ha sido definida como Grupo Caacupe: Fms. Tobati y Cerro Ju - Harrington, 1950.

La segunda unidad transgresiva regresiva abarca sedimentos de edad llandoveriana (Silúrico Inferior), descritos en Paraguay como Grupo Itacurubi (Eckel, 1959).

Las dos unidades se separaron por un hiato no deposicional que ocurrió durante la glaciación ashgilliana (Ordovícico Superior) y que llegó a la Cuenca del Paraná conforme documentado por los depósitos glaciogénicos de las Formaciones Boquerón (en Paraguay) e Iapó (en

Brasil).

Considerando que los estratos ordovícicos y silúricos disminuyen hacia el norte, en Brasil se incluyeron las dos unidades en una única supersecuencia, designada de Río Ivaí (Milani, 1997).

De este modo, la secuencia ordovícica en Paraguay abarca la unidad basal de este paquete sedimentario representado por una sucesión de clásticos, groseros a conglomeráticos, descritos como Formaciones Cerro Ju y Tobati englobados al Grupo Caacupe (Harrington, 1950). En Brasil estos sedimentos fueron asociados a los depósitos de la Formación Alto Garças (Assine & Soares, 1989).

Los depósitos de edad llandoveriana (Eo-Silúrico) están englobados en el Grupo Itacurubi representado por los sedimentos periglaciares y clásticos transgresivos, respectivamente de las Formaciones Boquerón y Eusebio Ayala, por pizarras de inundación

máxima en la Formación Vargas Peña y areniscas regresivas de la Formación Cariy (DeGraff et al., 1981). Esta sección sedimentaria se correlaciona respectivamente con las Formaciones Iapó, Vila Maria y Furnas Inferior en Brasil (Faria & Reis 1978). Las pizarras orgánicas de la Formación Vargas Peña encierran una rica

asociación de fósiles que le confieren una edad llando-veriana (Stemans & Pereira 2002), y su íntima relación con las rocas areniscas, tales como Eusebio Ayala, Cariy y Santa Elena, resumen los ingredientes básicos para un potencial sistema petrolero (Foto 1 – Mapa Figura 4).



Foto 1 – Afloramiento Formación Vargas Peña

Devónico

Supersecuencia Paraná

Constituye el tercer ciclo transgresivo regresivo (Grupo San Pedro), y se sitúa sobre la discordancia eo-devónica (Pridoliana), truncando los sedimentos del Grupo Itacurubi. La unidad basal de la supersecuencia devónica es transgresiva y se la designa Formación Santa Elena (Gonzalez & Muff, 1995) que se puede correlacionar a la sección superior de la Formación Furnas en Brasil.

La unidad exhibe espesor del orden de 200m, graduando a lo largo de su cumbre para los sedimentos arcillosos y abundantemente fosilíferos de la Formación Lima (Formación Ponta Grossa en Brasil), caracterizando claramente el ahogamiento resultante de un importante periodo de inundación, relacionado a la expansión de los mares devónicos. Esta transgresión se mostró muy conspicua, llegando a inundar todas las cuencas intracratónicas sudamericanas.

Del Emsiano al Frasniano, su registro se

marcó por la deposición de capas de pizarras de elevada concentración orgánica, las cuales constituyen las más importantes rocas generadoras de la Cuenca del Paraná.

Carbonífero-Pérmico Supersecuencia Gondwana-I

Esta supersecuencia se establece de manera disconforme sobre los estratos precedentes (discordancia eo-herciniana) y engloba los depósitos periglaciares relacionados a la fase de deshielo de la gran glaciación gondwánica, correspondientes a la Formación Coronel Oviedo. En Brasil esta unidad es correlativa al Grupo Itararé. Sus mayores espesores se concentran en la parte central de la cuenca, con grosor preservado de más de 1.500m.

En términos litológicos, estos sedimentos se constituyen de pelitas, algo estratificadas y varvíticas, algo diamicticas, con guijas y bloques redondeados de variadas dimensiones y litologías. En Brasil, en los campos de

Barra Bonita y Mato Rico, areniscas basales, de esta secuencia, descritas como Formación Campo Mourão y correlativas a la porción inferior de la Formación Coronel Oviedo, encierran excelentes reservorios de gas.

Los sedimentos que se suceden a los depósitos glaciogénicos abarcan una secuencia deposicional predominantemente arenosa descrita como Formación San Miguel, que en Brasil se correlaciona al Grupo Guatá. Estos sedimentos se caracterizan por depósitos típicamente costeros, con lóbulos deltaicos, intercalados con depósitos lagunares que en Brasil se asocian a los depósitos de carbón (Formación Rio Bonito).

Cubriendo esta secuencia está la Formación Tacuary, cuya porción inferior es correlativa a las Formaciones Irati y Serra Alta en Brasil. La unidad se caracteriza por la presencia de pizarras y carbonatos con niveles de anhidrita. Estos sedimentos representan la última incursión marina en la Cuenca, acompañada de periodos de anoxia, que propiciaron la deposición de pizarras bituminosas. Estas pizarras en el borde este de la Cuenca exhiben elevadas concentraciones orgánicas, llegando a valores de hasta el 24% (Milani & Zalan, 1999) siendo extraídas y beneficiadas en Brasil.

Cubriendo el paquete de sedimentos pelíticos hay un período de sedimentación regresiva y progresivamente más clástica y continental (Herbst & Amabili, 2011). Esta secuencia clástica corresponde a la porción superior de la Formación Tacuary que en Brasil equivale a las Formaciones Teresina y Rio do Rastro. La primera caracterizada por una alternancia de lutitas, limonitas y areniscas finas con intercalaciones de calcareos y la segunda compuesta por clásticos de colores rojizos.

Secuencia del Triásico

Supersecuencia Gondwana-II

Esta secuencia no ocurre en Paraguay, estando restringida únicamente al sur de Brasil con posible extensión hasta Uruguay. Pese a la pequeña área donde se puede encontrar y su reducido espesor (<200 m), la unidad se hizo notoria debido a la abundante

fauna de réptiles tetrápodos y de plantas fósiles (Barberena, 1977). Su origen puede relacionarse al evento de colisión ocurrido en el margen sur de Gondwana, representado por la Orogenia Triásica de Cabo Ventana (Andreis, 1981) que favoreció la evolución de pequeñas depresiones y rifts, debido a una tectónica transpresiva penetrante en el extremo sur de la Cuenca del Paraná. En estas depresiones se acumularon sedimentos clásticos y pelíticos rojizos, muy fosilíferos y definidos de Formación Santa María.

Secuencia Juro-Cretácica Supersecuencia Gondwana-III

Los sedimentos post-triásicos, depositados sobre la discordancia finihercínica (jurásica), que encierra el ciclo sedimentario paleozoico, abarcan las Formaciones Cabacua y Misiones que en Brasil son correlativas a las Formaciones Pirambóia y Botucatu, respectivamente. Sobrepuertos, reposan los derrames magmáticos

relacionados a la Formación Alto Paraná, fechados entre 140-120 MA (Cretácico Inferior) y asociados a la Formación Serra Geral en Brasil.

La Formación Cabacua fue descrita en 1979 por Hutchkinson como perteneciente al Pérmico. Sin embargo, en estudios más recientes relacionados al Acuífero Guaraní (SAG-PY, 2009), las areniscas de esta unidad fueron incluidas en la base de las areniscas eólicas de la Formación Misiones. En Brasil, las areniscas de la Formación Piramboia, correlativas a la Formación Cabacua, también fueron incluidas en la base de la Formación Botucatu (Soares, 1972 y 2008), lo que definiría una edad neo-jurásica para toda secuencia fluvio-eólica.

Las areniscas de la Formación Cabacua se presentan de modo general friables, pero se encuentran silicificadas y preservadas en sitios cortados por diques de diabasa (Foto 2 – Mapa Figura 4), siendo extraídos artesanalmente y vendidos para la construcción civil local.

consecuente apertura del Atlántico Sur.

El espesor preservado de los basaltos alcanza cerca de 1.500m en la parte central de la Cuenca y, conforme anteriormente citado, estaría asociado a un vulcanismo de fisura de grandes proporciones que, además de esos derrames de lavas, construyó una intrincada red de diques y sills de diabasa que diseca toda la columna sedimentaria paleozoica de la Cuenca.

Otro fenómeno muy estudiado, pero de interacción todavía poco correlacionada con los derrames de basaltos toleíticos, se refiere a las diversas provincias alcalinas que circundan los márgenes de la Cuenca del Paraná. Las provincias de Amambay y Asunción, entre otras, son ejemplos de estas manifestaciones alcalinas en Paraguay

Oriental (Comin-Chiaramonti & Gomes, 1995; Velásquez et al, 1996). La mayoría de estos complejos evolucionó entre 130 Ma y 120 Ma (Gomes, et al., 1995).

En el centro oeste de Paraguay, en la región de Asunción, se observa una reactivación estructural aun más reciente, que resultó en la elevación estructural del alineamiento Asunción-Paraguari, en cuyo flanco disminuido hasta oeste, se acumuló un paquete de rocas conglomeráticas el cual ha sido mapeado como Formación Patiño (Mapa Geológico del Paraguay 1986).

Seguendo esta reactivación estructural hubo un nuevo ciclo magmático ultra alcalino fechado entre 50-45 MA (Eoceno).

Estos eventos magmáticos son caracterizados por chimeneas volcánicas concentradas en la región de Asunción (Riccomini et al, 2001). Además, se observan también diques y sills de estas rocas magmáticas en los clásticos de la Formación Patiño. Esta observación sugiere una edad efectivamente pré-eocénica para esta formación.

Cretácico Superior Supersecuencia Bauru

La cobertura mesozoica post-basáltica comprende una secuencia siliciclástica de naturaleza aluvial, fluvial y eólica que encierra la historia deposicional de la Cuenca del Paraná.



Foto 2 – Afloramiento Formación Cabacua (En detalle intrusión de diabasa en negro)

Los basaltos toleíticos de la Formación Alto Paraná fueron citados inicialmente por Harrington en 1950 y posteriormente por Putzer en 1962, abordando la presencia de derrames basálticos en Paraguay Oriental que

son correlativos a los basaltos de la Formación Serra Geral en Brasil. El evento magmático que dio origen a estos basaltos está asociado a los preludios de la ruptura del Supercontinente Gondwana y

Los respectivos sedimentos ocupan la parte central de la Cuenca, donde cubren un área de más de 300 km², distribuida en su mayoría en Brasil. Una pequeña presencia de estos sedimentos en Paraguay fue relatada por Wiens en 1982, cuando se la designó Formación Acaray.

Coberturas Cenozoicas

Los sedimentos cenozoicos en la Cuenca del Paraná poseen amplia distribución en los valles del sistema hidrográfico, donde ocurren tanto en depósitos aluviales como también en terrazas y depósitos de escarpas. En el valle del Río Paraguay, de la localidad de Asunción hasta el encuentro de los ríos Paraná y Paraguay, estos depósitos aluviales alcanzan dimensiones importantes, siendo designadas Formación Santo Antônio (Fulfaro, 1995).

Sistemas Petroleros

Se reconocen tres sistemas petroleros en la Cuenca del Paraná:

(i) El más antiguo tiene como roca generadora las pizarras negras de la Formación Vargas Peña. Se analizaron estas pizarras en muestreo de los pozos RD-115, RD-116 y Asunción-1. Sus concentraciones de TOC (Total Organic Content) varían alrededor del 1% al 2% con puntos máximos de hasta el 3% (Corelab, 1990).

Conforme comprobado por los indicios de hidrocarburos registrados en los pozos Asunción-1 y Asunción-2, los reservorios de este sistema son las areniscas de las Formaciones Cariy y Santa Elena, recubiertos por niveles arcillosos intraformacionales y por las pizarras de la Formación Lima.

(ii) El sistema petrolero más importante de la Cuenca del Paraná tiene como rocas generadoras las pizarras orgánicas de la Formación Lima en Paraguay y de la Formación Ponta Grossa en Brasil con valor de TOC alrededor del 1,5% (Bergamaschi, 1999) al 2,5% (Goulart; Jardim, 1982) con puntos máximos de hasta el 4,6% (Silva, 2007).

Los depósitos abastecidos por esta roca generadora son turbiditas glaciogénicas de la Fm. Campo do Mourão en Brasil, correspondientes a

las areniscas de la sección inferior del Grupo Coronel Oviedo, como las areniscas parálicas de la Formación Río Bonito en Brasil, que se pueden correlacionar a la Fm. San Miguel en Paraguay.

Conforme comprobado en los campos de Mato Rico y Barra Bonita en Brasil, los sellos para los reservorios glaciogénicos son provistos por sills de diabasa (Figura 3), mientras que los sellos para las areniscas parálicas de la Fm. Río Bonito (San Miguel) son provistos por horizontes arcillosos, conforme comprobado por los indicios de hidrocarburos encontrados en diferentes pozos de Brasil.

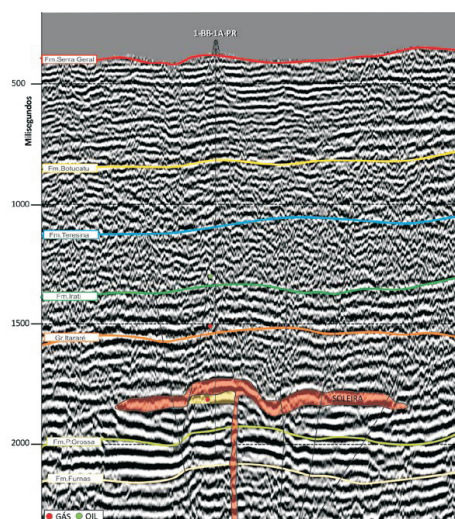


Figura 3 – Sección sísmica ilustrando el Campo de Barra Bonita (Brasil). Sill de diabasa (roja) recubriendo el yacimiento de gas (amarillo)

(iii) El tercer sistema petrolero incluye las pizarras de la Formación Tacuary Inferior, equivalente a la Formación Irati en Brasil. Esta unidad constituye el mayor depósito de pizarras pirobituminosas de América del Sur (Padula et al., 1969) con elevada riqueza orgánica derivada de biomasa de algas. Las mayores concentraciones orgánicas (TOC) fueron encontradas en la región de Arco de Ponta Grossa, en el borde este de la Cuenca, con promedio del 10% y puntos máximos de hasta el 21% (Silva, 2007).

La Formación genera los petróleos encontrados en areniscas de las Formaciones Tacuary en Paraguay, Teresina y Piramboia en Brasil. El petróleo encontrado en los pozos de Mallorquín, Inés-1 e Inés-2 en Paraguay, es un ejemplo de este sistema petrolero.

Otro ejemplo es la presencia de

areniscas asfálticas en el margen este de la Cuenca, en el estado de São Paulo, en Brasil, donde se mapearon más de veinte acumulaciones exhumadas de areniscas asfálticas. Según Araujo et al. 2004, los volúmenes de estos petróleos asfálticos están estimados alrededor de 350 millones de barriles.

Además, Petrobrás opera una planta de petróleo en el sur de Brasil, donde extrae y destila estas pizarras bituminosas; con producción de cerca de 4.000 barriles de aceite y 135 M m³ de gas al día.

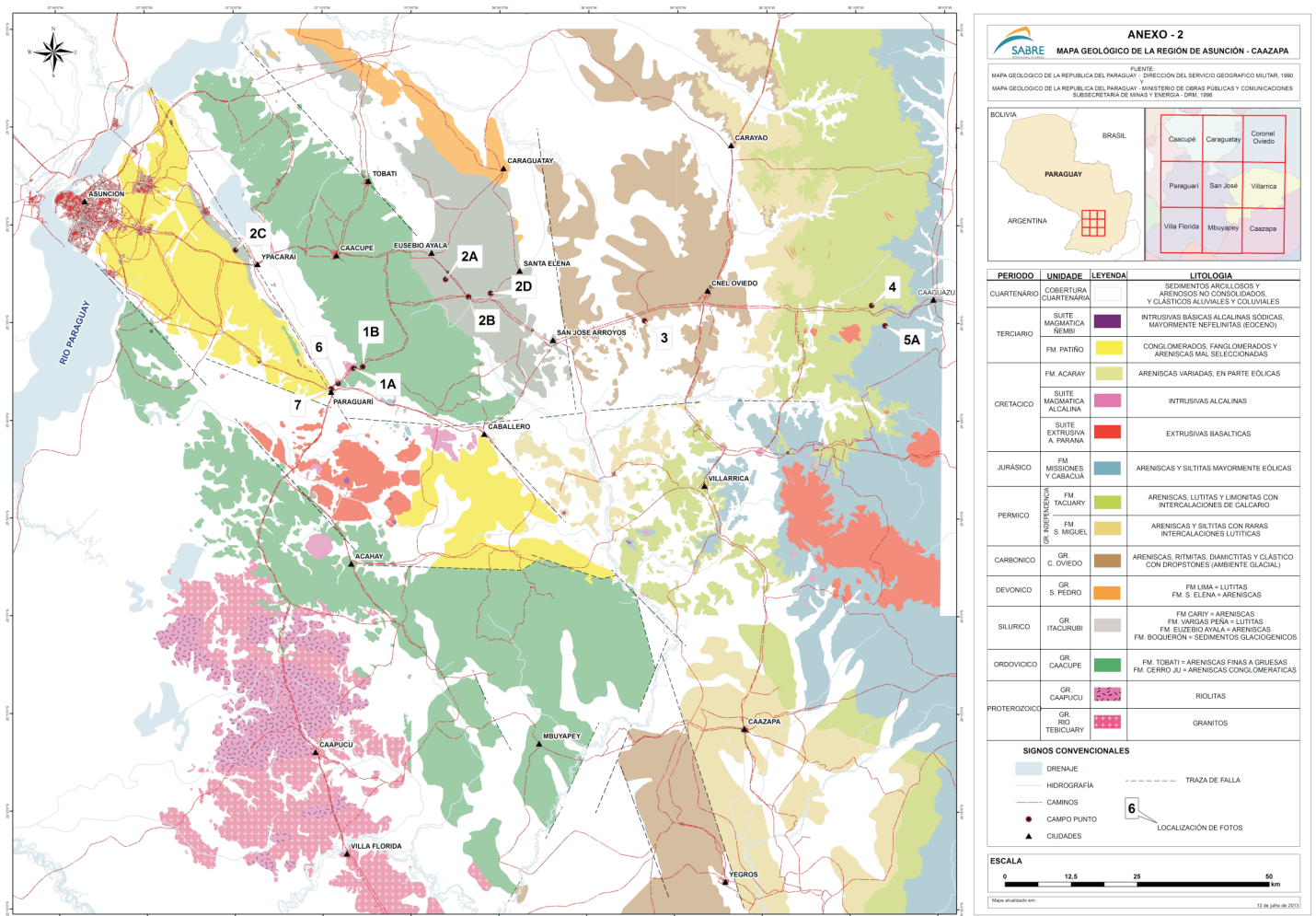
Maduración

La maduración de los tres sistemas petroleros fue muy influenciada por el calor de los diques de diabasa que intruden las rocas generadoras.

Estudios detallados de la Formación Irati indican que sus pizarras presentaron bajo grado de maduración térmica con excepción del depocentro de la unidad, donde se cree haber alcanzado niveles iniciales de maduración. Sin embargo, localmente en las regiones afectadas por cuerpos ígneos intrusivos, el muestreo se elevó a niveles avanzados de evolución térmica (Soares et al.; 2007)

La maduración de las pizarras devónicas también ha sido objeto de estudio, principalmente en afloramientos al margen este y en pozos de la Cuenca del Paraná (Padula et al., 1969; Goulart & Jardim, 1982; Quadros, 1982; Thomas Filho, 1982 y Silva, 2007). Los resultados indicaron la presencia de materia orgánica con kerógenos derivados predominantemente de biomasa mixta marino-lacustre.

Con relación a las pizarras devónicas, y probablemente también a las lutitas silúricas, dada la profundidad de su presencia en la Cuenca, ya se encuentran en niveles de elevada maduración. En áreas más afectadas por la presencia de diques y sills de diabasa, muy frecuentes en estas formaciones, los kerógenos se muestran totalmente craqueados para la formación de gas.



Conclusión

Respecto a la explotación de petróleo en la Cuenca del Paraná, uno de los generadores más consistentes está representado por las pizarras devónicas de la Formación Lima (Formación Ponta Grossa en Brasil) que, dado el espesor y la excepcional concentración orgánica, pueden contribuir también como objetivos no convencionales en las partes más profundas de la Cuenca, no incluyendo a las areniscas que se intercalan en esta unidad.

Los depósitos más importantes, provistos por esta roca generadora, son las areniscas que son inseridas en la parte inferior de la Formación Coronel Oviedo, correlacionadas cronológicamente con la Formación Campo do Mourão del Grupo Itararé en Brasil, donde estas areniscas son portadoras de gas en los campos de Mato Rico y Barra Bonita. El sello para este sistema petrolero es no convencional, estando representado por diques de diabasa.

Incrementos de flujo térmico, durante el Triásico, ocasionaron una elevación regional de Gondwana Meridional

seguida de estiramiento y consecuente disminución de la corteza en toda la región. Este evento le abrió paso a la ascensión de flujos magmáticos que disecaron el paquete sedimentario en una enorme malla de diques y sills de diabasa. A partir de fines del Jurásico, grandes volúmenes de lavas rompieron toda la secuencia sedimentaria extravasándose y aterrando gran parte de la Cuenca con una cobertura basáltica de más de 1.500 metros de espesor, descritos como Formación Serra Geral en Brasil, fechada entre 140 y 120 Ma; esta unidad disminuye en dirección a Paraguay, donde es descripta como Formación Alto Paraná.

El proceso de estiramiento cada vez más acentuado culminó con la ruptura continental, dando margen a la apertura del Atlántico Sur.

La presencia de estas masas intrusivas y de los derrames basálticos introduce algunas limitaciones para la explotación de petróleo, entre las cuales sobresalen las siguientes:

(i) Problemas en la resolución sísmica, motivados por los contrastes de densidad y velocidad sísmica del

basalto respecto a los sedimentos subyacentes.

(ii) Problemas en la perforación de pozos, motivados por la dureza de estas rocas intrusivas que mucho retardan los avances de la perforación;

(iii) Supercalentamiento de las rocas generadoras y rompimiento de eventuales acumulaciones preexistentes debido a la intrusión de cuerpos ígneos.

Pese a la existencia comprobada de rocas generadoras y de excelentes reservorios, la concurrencia de los problemas anteriormente citados, asociada al relieve estructural relativamente suave, contribuyen con un escenario exploratorio no convencional, que además de algunos pequeños descubrimientos de aceite y gas, siguen desafiando la astucia de los exploradores, principalmente respecto al reconocimiento y a la definición de un modelo eficiente de trapeo petrolero para la Cuenca del Paraná.

Agradecimientos

A Sabre Internacional de Energía por permitir publicar este trabajo.

Reconocimientos especiales al Analista de Geoprocesamiento Luciano Rodrigues Santos por la inagotable y dedicada asistencia en la georeferenciación y en la elaboración de los mapas presentados en este trabajo. A los Geólogos Dr. Paulo C. Scudino y Dr. Fernando Wiens por la revisión y valiosas sugerencias incorporadas en el presente trabajo.

Bibliografía

- ALMEIDA, F.F.M.; MELO, M.S. 1981. Bacia do Paraná e o Vulcanismo Mesozoico. In: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. v.1; p.46-81.
- ANDREIS, R.R. 1981. Identificación e importancia geológica de los Paleosuelos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1981. 67p.
- ASSINE, M.L. & SOARES, P.C. 1989. Correlações nas Sequencias Mesopaleozóicas da Bacia do Paraná. Acta Geologia Leopoldensia 12(29): 39-48.
- BERGAMASCHI S. 1999. Análise estratigráfica do Siluro-Devoniano (formações Furnas e Ponta Grossa) da sub-bacia de Apucarana, Bacia do Paraná, Brasil. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo, 167p.
- CANUTO J.R., 2010. Estratigrafia de Sequencias em Bacias Sedimentares de diferentes Idades e Estilos Tectonicos: Revista Brasileira de Geociencias, 40 (4), pp. 537-549.
- COMIN-CHIARAMONTI, P., and GOMES, C.B., editors; 1995. Alkaline Magmatism in Central Eastern Paraguay; FAPESP – Editora USP, 458 p
- CORELAB, 1990. Geochemical Evaluation of black shale well samples from Paraguay, Job nº 9035, pp. 16.
- ECKEL, E.B, 1959. Geology and Mineral Resources of Paraguay – a Reconnaissance: U.S. Geological Survey; proc. paper # 36, pp 240-256.
- FARIA, A. and REIS NETO, J.M.; 1978. Nova Unidade Litiestratigrafica pré-Furnas no Sudoeste de Goiás; 30th Cong. Bras. Geol., SBG, proc., p. 136-137.
- FULFARO, V.J; 1995. Geology of Eastern Paraguay (pp 17-29) in: ALCALINE MAGMATISM IN CENTRAL EASTERN PARAGUAY, P.Comin-Chiaramonti & C.B.Gomes editors: FAPESP- Editora USP, 458 p.
- GOMES C. B., et al 1995 – Alkaline Magmatism in Paraguay: Review, p. 31-56, in Alkaline Magmatism In Central Eastern Paraguay – FAPESP - USP.
- GONZALEZ M.E. & MUFF R.; 1995. Formacion S.Elena, Cuenca del Paraná, Paraguay Oriental; 6º Simposio Sul Brasileiro de Geologia, Proc. pp 219-221.
- GOULART, E.P.; JARDIM, N.S.; 1982. Avaliação Geoquímica das Formações Ponta Grossa e Irati – Bacia do Paraná. In: Consórcio CESP/IPT. Geologia da Bacia do Paraná. Reavaliação da Potencialidade e Prospectividade em Hidrocarbonetos. São Paulo.
- HARRINGTON H.J. 1950. Geologia del Paraguay Oriental. Contribuciones Científicas. Serie E: Geologia. Facultad de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 82 p.
- HERBST, R & AMABILI, V. F.; 2011. Aterotheca en la Formacion Tacuary (Permico Superior) del Paraguay Oriental; Jour. Geoc. 7(2) pp.: 117-122.
- MAPA GEOLÓGICO DEL PARAGUAY; 1986. Gobierno de la República del Paraguay; MOPC; Escala 1/1.000.000.
- MILANI, E. J. 1997. Evolução tectonoestratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. 1997. 2 v. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- MILANI E.J. & ZALAN, P.V., 1999. An outline of the geology and petroleum systems of the Paleozoic interior basins of South America: Episodes, v.22(3), p. 199-205.
- PADULA, E., et al. 1969. Sub-surface Mesozoic red-beds of the Mesopotamian region, Argentina and their relatives in Uruguay and Brazil. In: Godwana Stratigraphy, 1, Buenos Aires, 1967. Actas...França, Impremerie Louis-Jean, UNESCO, pp.1053-71.
- PUTZER H., 1962. Geologie von Paraguay; Gebrüder Bornträger – Berliner Nikolasse, 183 p
- QUADROS, L.P. 1982. Avaliação geoquímica da Bacia do Paraná. In: Anais do XXXII Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador, Bahia. V.5. pp. 2349-2356.
- RICCOMINI, C., et al., 2001; Cenozoic lithospheric faulting in the Assunción Rift, eastern Paraguay; Jour. South Am. Earth Sciences; 14, pp. 625-630
- ROSTIROLLA S, P. et al. 1992. Análise estrutural tectônica deformadora da Bacia do Itajaí, Estado de Santa Catarina, Brasil: Bol. Geoc. PETROBRAS 6(3): pp. 123-147.
- SAG-PY 2009. Uso Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní em la Región Oriental del Paraguay.
- SILVA, C. G. A. 2007. Caracterização geoquímica orgânica das rochas geradoras de petróleo das formações Irati e Ponta Grossa da Bacia do Paraná, UFRGS, Programa de Pós Graduação, 212 p.
- SOARES, P. C 1972. Arenito Botucatu e Pirambóia no Estado de São Paulo.: 26 CONG. BRASILEIRO DE GEOLOGIA, São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, PROC pp. 250-251.
- SOARES, A. P., SOARES, P.C, BETTÚ, D. F., HOLZ, M. 2007. Compartimentação Estrutural da Bacia do Paraná: A questão dos lineamentos e sua influencia na distribuição do sistema Aquífero Guaraní, São Paulo, UNESP, Geociências, v.26, n.4, pp. 297-311.
- SOARES, A.P., SOARES, P.C., HOLZ M., 2008. Correlações Estratigráficas Conflitantes no Limite Permo-Triássico no Sul da Bacia do Paraná: O Contato entre duas Sequencias e Implicações na Configuração Espacial do Aquífero Guaraní. Instituto Goeciencias de Porto Alegre – UFRGS. Revista Pesquisa em Geociências, 35(2): pp. 115-133...
- STEEMANS, P & PEREIRA, E. 2002. Llandovery Miospore Biostratigraphy Evolution of the Paraná Basin, Paraguay – Palaeogeographic Implications. Bull. Soc. Geól. France, 2002, t.173, nº 5, pp. 407-414
- THOMAS FILHO A., 1982. Ocorrência de Arenitos Betuminosos em Anhembi (SP): 36th Cong. Bras. Geol., SBG, pp 11-39.
- WHITE, I.C.; 1908. Comissão de Estudo das Minas de Carvão de Pedra do Brasil; Rel. Final, 617 p, in: Edição Comemorativa 100 Anos do Relatório White: Edição Facsimile CDD.553 209816.
- WIENS, F.; 1982. Mapa Geologico de la Region Oriental. Republica del Paraguay, Assuncion: Simp. Rec. Natur. Paraguay, Assunción: 9 p.
- WOLFART R., 1961. Stratigraphie und Fauna des älteren Paleozoikums in Paraguay; Geol. Jahrbuch, v. 78, pp 29-102.
- ZALAN, P. V. et al; 1986. Analise da Bacia do Paraná; PETROBRAS/DEPEX-CENPES, internal rept, 186 p.
- ZALAN, P.V, et al, 1990. The Parana Basin, Brazil; AAPG Memoir # 51, pp. 681-708.