

Alternativas para la exploración petrolera en los mares al sur de Cuba

Isabel MoralesCarrillo

Correo electrónico:isabelita@ceinpet.cupet.cu
Centro de Investigaciones del Petróleo, La Habana, Cuba

Artículo Original

José Álvarez Castro

Correo electrónico:pepeac@civil.cujae.edu.cu

Ramón González Caraballo

Correo electrónico:ramon@civil.cujae.edu.cu

Guillermo Miró Pagés

Correo electrónico:gmiro@civil.cujae.edu.cu
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba

Resumen

La exploración petrolera en la actualidad ha aportado a los estudios geológicos y geofísicos, nuevas tecnologías como los sensores remotos, los cuales permiten detectar aspectos de interés que orientan la investigación. La provincia petrolera sur cubana tiene un bajo nivel de exploración en general. La zona estudiada incluye el Golfo de Ana María y el sector de aguas profundas entre Bahía de Cochinos y Cabo Cruz (isobatas mayores que 200 m). Durante el año 2010 se tomó una imagen de la zona marina al sur de Cuba entre Bahía de Cochinos y Cabo Cruz con ayuda del sistema *Google Earth* no profesional, con el objetivo de obtener alguna información de esta vasta área, y se observaron doce anomalías en el fondo marino, las mismas semejan hundimientos o depresiones, las que tanto por su forma casi circular, como por su gran tamaño (diámetros mayores que 2 000 m), guardan similitud con los denominados *pockmarks*, que no son más que depresiones en el lecho marino de forma generalmente circular con diámetros que van desde unidades de metros hasta 10 - 12 km, que han sido encontrados en mares someros y profundos de cualquier latitud, y la mayoría de los estudiados están relacionados con la presencia de hidratos de gas (o de metano), petróleo y gas de origen biogénico y termogénico. El estudio del fondo marino en los mares al sur de Cuba, con diferentes métodos no tradicionales puede ser de gran utilidad para la exploración de hidrocarburos en esa región.

Palabras claves: fondo marino, gas, petróleo, *pockmarks*

Recibido: 30 de abril del 2013

Aprobado: 22 de noviembre del 2013

INTRODUCCIÓN

En Cuba, al igual que en muchas partes del mundo, los principales métodos, empleados en la exploración de hidrocarburos son la sísmica y la perforación, debido a los elevados costos de ambos métodos, aunque desde hace varios años se están incorporando otras técnicas a la exploración. Jim Hollis [1] plantea que en la actualidad hay un regreso, a la exploración de hidrocarburos, de métodos que fueron desestimados luego de la aparición de la sísmica 3D, gracias a la presencia en el mercado de sensores de gran resolución, la mayor capacidad de procesamiento de

datos y al mejoramiento de las técnicas de visualización e integración de datos, sumado al hecho de que la mayoría de los métodos geofísicos no sísmicos pueden obtener su data desde el aire, por lo que tienen a su favor: la rapidez en la adquisición, un mejor acceso a zonas difíciles y a grandes áreas, la disminución de los riesgos asociados a la seguridad y el medio ambiente, así como la adquisición de varios métodos durante un mismo vuelo. En la zona marina de Cuba Centro Oriental se encuentran las cuencas de aguas someras Ana María y Guacanayabo y las de aguas profundas: Trinidad Mar, Guacanayabo y Depresión Precubana (figura 1).

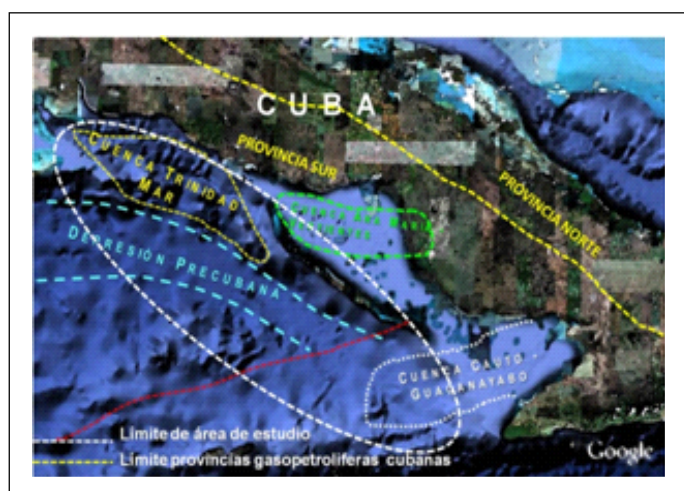


Fig. 1. Cuencas marinas al sur de Cuba Centro Oriental

La provincia petrolera Sur Cubana, ha sido poco estudiada para la exploración de hidrocarburos; la misma está conformada fundamentalmente por cuencas terciarias en tierra y aguas someras, mientras que en aguas profundas las cuencas son mayormente cretácicas, ubicadas en la denominada Cuenca de Yucatán.

Durante el año 2010 se tomó una imagen de la zona marina al sur de Cuba (figura 2), entre Bahía de Cochinos y Cabo Cruz con ayuda del sistema *Google Earth* no profesional [2], con el objetivo de obtener alguna información de esta vasta área, teniendo en cuenta que el mismo había incluido información batimétrica a la parte marina, se observaron doce anomalías en el fondo marino, las mismas parecen ser hundimientos o depresiones, de forma casi circular, y gran tamaño (diámetros 2 000 m de diámetro), guardan similitud con los denominados *pockmarks*, que no son más que depresiones en el lecho marino de forma generalmente circular con diámetros que van desde unidades de metros hasta 10-12 km, que han sido encontrados en mares someros y profundos de cualquier latitud, y la mayoría de los estudiados están relacionados con la presencia de hidratos de gas o de metano, petróleo y gas de origen biogénico y termogénico.

MATERIALES Y MÉTODOS

La imagen tomada del área de estudio (figura 2) en el año 2010 y 2012, con el sistema *Google Earth* fue a una altura del ojo de 300 km, conservada en formato de barrido y extensión BMP. Las anomalías circulares del fondo marino fueron observadas en las siguientes áreas: a) dos al sur sudeste de Bahía de Cochinos; b) una en la cuenca al sur de Trinidad; c) cinco alineadas en el Golfo de Ana María; d) tres en el sector de aguas profundas al sur de Ana María y e) una en la zona de talud de la cuenca Cauto-Guacanayabo.

Como la mayor concentración de las anomalías circulares se observaron en el Golfo de Ana María, con el objetivo de obtener información sobre las posibles causas de origen de las mismas, se analizaron varias líneas sísmicas ubicadas en el Golfo de Ana María, correspondientes al levantamiento

de 1989, donde se registró con longitud de cable de 1 500 m, distancia entre receptores de 25 m, cobertura de 2 400 % y la imagen final obtenida fue de migración después de la suma [3].

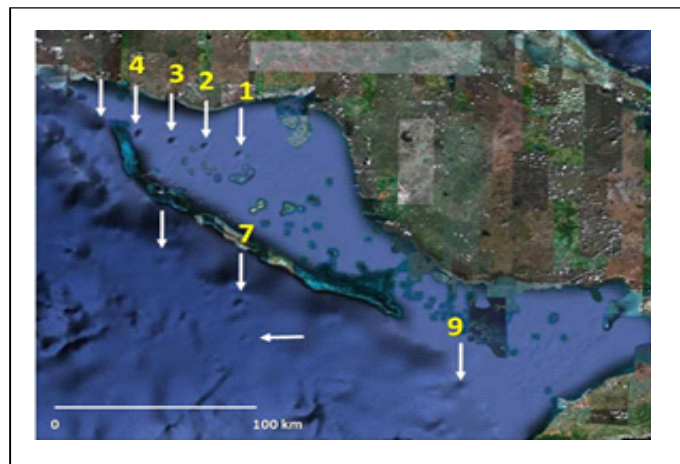


Fig. 2. Imagen tomada de *Google Earth* del área de estudio en el año 2010, las flechas blancas señalan la ubicación de las anomalías circulares de interés

Los *Pockmarks*

Las depresiones anómalas del fondo marino fueron descubiertas en la década del 60 del siglo XX en las costas de Nueva Escocia, Canadá, durante una investigación con sonar de barrido lateral, y fueron denominadas *pockmarks* [4]; estas depresiones se encuentran en los mares de cualquier latitud y también en algunos lagos, son en general de forma circular, aunque también pueden tener forma subcircular, alargados e irregulares; las dimensiones pueden ser desde pequeñas con diámetros de unidades de metros hasta gigantes, en estas últimas los diámetros alcanzan hasta 10-12 km. Se presentan en solitario, agrupados o alineados en cadenas que pueden llegar a tener 50 km de largo y de manera general se asocian a la presencia de gas, hidratos de metano o petróleo. Han sido estudiados en diferentes regiones como el Mar del Norte, en la Trinchería de Noruega, en Nueva Zelandia, en la costa oeste de África, en el este y oeste de Estados Unidos, por solo citar algunos.

Uno de los primeros estudios relacionados con *pockmarks* fue realizado en 1981 en la Trinchería de Noruega [5], donde fueron observados en concentraciones de hasta 40 - 50 por kilómetro cuadrado con diámetros que varían entre 2 y 300 m, y muchos de ellos presentaron emanaciones de gas y líquidos. En las cercanías de la zona con gran densidad de *pockmarks* fue descubierto un yacimiento de gas.

En la cuenca del río Congo [6] en el margen continental de África Occidental, a partir de los resultados de un levantamiento sísmico 3D de alta resolución, levantamiento geoquímico y otras técnicas, en un área con profundidades del mar entre 950-1900 m, se obtuvo la información de que existe presencia de gas termogénico y petróleo en los sedimentos del fondo de los *pockmarks* del área de estudio; además, mediante sísmica se detectó una capa de 300 m de espesor de hidratos de metano, por debajo de la cual se encuentra una acumulación de gas libre.

Según Pilcher [7], las depresiones denominadas *pockmarks*, no son más que la evidencia de las manifestaciones de fluidos en el fondo del mar, las mismas se encuentran ampliamente distribuidas en el margen continental de África Occidental, donde aparecen en pequeños grupos, en grandes áreas, o en los denominados "trenes de *pockmarks*". Los diámetros en esta zona varían entre 150 y 1 500 m y el relieve de las depresiones oscila desde los 10 hasta 150 m de profundidad.

Sultan y otros [8], a partir de información geológica, geofísica y geotécnica, así como la aplicación de modelado, estudiaron las causas que permiten la formación de estos "colapsos del fondo marino" en el delta del río Níger, en la costa atlántica de África (figura 3); entre los resultados obtenidos se encuentran que los *pockmarks* analizados tienen una arquitectura interior similar, estando conformados por sedimentos ricos en hidratos de gas, y se concluyó que los colapsos del fondo son originados por flujos de gas provenientes de la disolución de los hidratos de metano.

En el margen continental occidental de la India [9] se realizó un levantamiento batimétrico mediante el uso de ecosonda de amplio espectro (*multibeam echo-sounder*) e imagen de retrodispersión (*backscatter image*), en un área donde la profundidad del mar oscila entre 145 y 330 m. Para estudiar la morfología de los *pockmarks*, los que en esta área son de forma circular, elíptica o alargada, se ubican de manera general a lo largo del eje de las fallas, y en estudios anteriores se había definido que su origen es debido a emanaciones de gas biogénico y termogénico así como a otros fluidos existentes en los poros de las rocas ubicadas en profundidad y que migran verticalmente a través de fallas.

En las Islas Maldivas en el Océano Índico, existen depresiones del fondo marino [10], las que tienen diámetros de hasta 3 000 m y su relieve puede alcanzar los 180 m, en una zona donde la profundidad del mar es de unos 300 m, estos cráteres han sido interpretados como *pockmarks* formados a partir de la salida de gas y otros fluidos a la superficie del fondo marino.

Según los resultados de la adquisición sísmica multicanal se pudo determinar la relación de las depresiones del fondo con estructuras ubicadas en profundidad, ya que bajo las depresiones o *pockmarks* fueron detectados puntos brillantes y disminución de la frecuencia instantánea, hechos estos que han sido asociados a lentes de gas, pues también han sido observadas las características propias de las chimeneas de gas.

Al sudeste de Nueva Zelanda en Chatam Rise [11] existe presencia de estas depresiones del fondo marino, en un área de más de 20 000 km² y diferentes profundidades del mar (figura 4). Se observó que: a) en las áreas donde las profundidades del mar son entre 500 y 700 m, los diámetros de los *pockmarks* llegan a 150 m con un relieve de 4-8 m; b) en las zonas donde la batimetría se encuentra entre 800 y 1100 m, se detectaron dos grandes grupos: en el primero los diámetros alcanzan los 1500 m y el relieve de estas depresiones se encuentra entre 50-150 m de profundidad, mientras que en el segundo las estructuras circulares hundidas llegan a tener diámetros entre 8 y 11 km y sus profundidades varían entre 80 y 100 m. Se considera que los colapsos del fondo más profundos han sido provocados por escapes de gas que pueden ser el resultado de la disolución de los hidratos de metano, mientras que los más someros están cercanos al límite superior de los hidratos de gas.

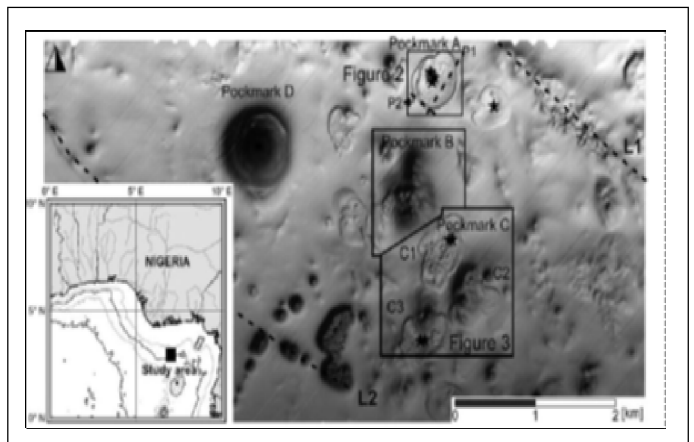


Fig. 3. *Pockmarks* en África Occidental [8]

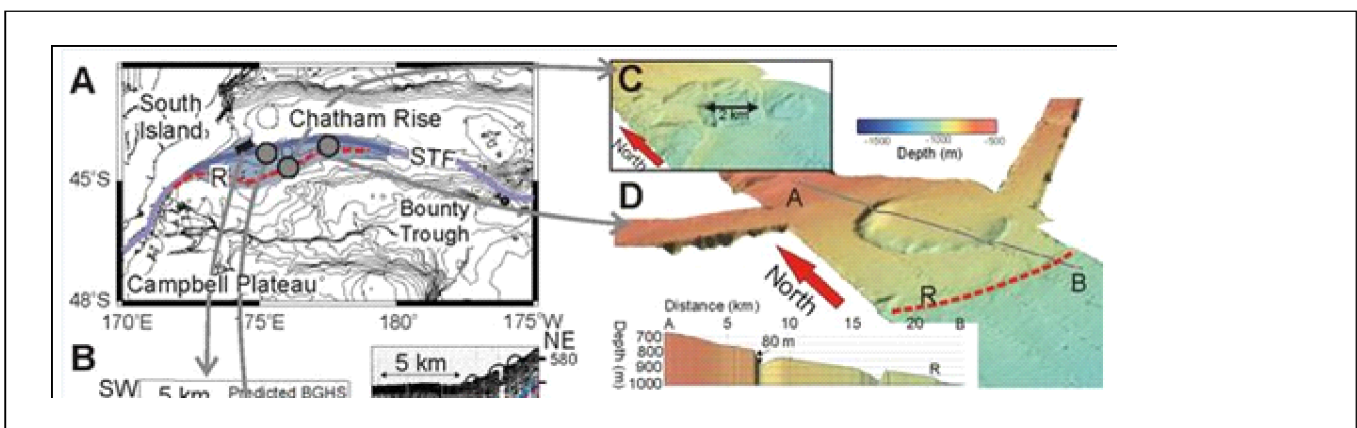


Fig. 4. Depresiones circulares del fondo marino o *pockmarks* de 2 000 m de diámetro al sudeste de Nueva Zelanda [11]

En Irlanda, en Malin shelf [12] se realizó un estudio a partir de los resultados de diferentes técnicas como sísmica somera, levantamiento electromagnético, resonancia magnética nuclear y geoquímica, los principales resultados del estudio detectaron el aumento de la actividad microbiana asociada a gas y la presencia de un bolsón de gas debajo y alrededor de un área de *pockmarks*.

No todas las investigaciones de las depresiones del fondo marino o *pockmarks* han podido establecer una relación entre las mismas y emanaciones de fluidos, un ejemplo es el estudio realizado en el Big Sur, California [13] donde existen unos 1500 *pockmarks* en un área de 560 km², con diámetros entre 130-160 m y relieve de 8 -12 m, allí se tomaron muestras de sedimentos y de la columna de agua sobre las depresiones, los análisis realizados descartaron la presencia de gas y de hidratos de metano.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cuenca Ana María - Vertientes de dirección SO-NE, se ubica en la parte sur de las provincias Sancti Spíritus, Ciego de Ávila y Camagüey; tiene su extremo nordeste en tierra (Vertientes) y el resto se desarrolla bajo el mar en el Golfo de Ana María, donde fueron perforados los pozos Tortuga Shoal y Ana María, los cuales cortaron los sedimentos cretácicos a 1 600 y 2 530 m respectivamente. En el pozo Ana María 1 [14], fueron detectados: potentes espesores de sellos, la existencia de buenos reservorios (principalmente carbonatados) y manifestaciones de hidrocarburos de interés, además de conjunto con la información sísmica, se estableció la presencia de más de 3 000 m de espesor sedimentario, por lo que confirmó la capacidad gasopetrolífera del área, ello explica el interés que proporciona el conocimiento de la existencia de estructuras circulares que pudieran ser consideradas como *pockmarks*.

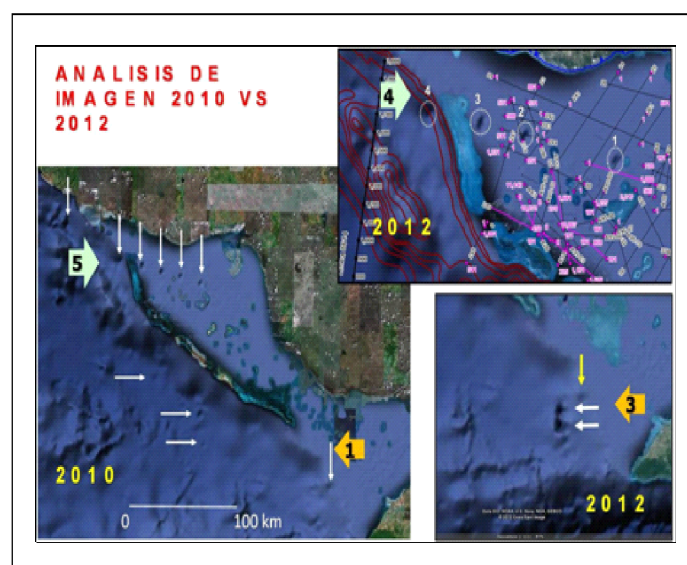


Fig. 5. Comparación de las imágenes 2010 y 2012. Nótese las variaciones del 2010 con las del 2012

Comparación de imágenes

En el año 2012 se tomó una nueva imagen del área y se pudo observar que hubo cambios en las depresiones circulares (figura 5), en el Golfo de Ana María y cinco taludes en el 2010, pero en la imagen 2012, solo aparecen cuatro. Por otra parte, en la zona correspondiente al talud del Golfo de Guacanayabo en la imagen 2010, solo aparecía una estructura circular, mientras que en la observación realizada en agosto 2012, se notan tres depresiones circulares. Estos cambios podrían ser debidos a variaciones en las condiciones técnicas en que se toman las imágenes o ser a consecuencia de que las mismas se relacionen con emanaciones de gas las que, como es conocido, no son constantes en el tiempo.

Teniendo en cuenta la información de otras áreas donde se han estudiado las depresiones del fondo marino denominadas *pockmarks*, en noviembre de 2012 se procedió a tomar una imagen con *Google Earth* no profesional de la zona del delta del río Níger para comprobar si existían similitudes o diferencias con respecto a la de la parte marina al sur de Cuba (figura 6). Se pudo notar que existe cierta semejanza en el carácter general de la imagen tomada a una altura análoga (unos 300 km) y en el área de Cuba se presentan dos estructuras circulares que son muy similares a una de las observadas en la costa occidental de África.

Comparación con la información sísmica

Para continuar la búsqueda de posibilidades de existencia de una relación estructuras circulares - hidrocarburos, se analizaron las líneas sísmicas de 1989 [3] en el Golfo de Ana María (figura 7), con el objetivo de localizar algún indicio en las líneas sísmicas, aunque con pocas esperanzas, si se tiene en cuenta que las chimeneas de gas no son permanentes en el tiempo y existe una diferencia de más de veinte años entre las observaciones sísmicas y de *Google Earth*.

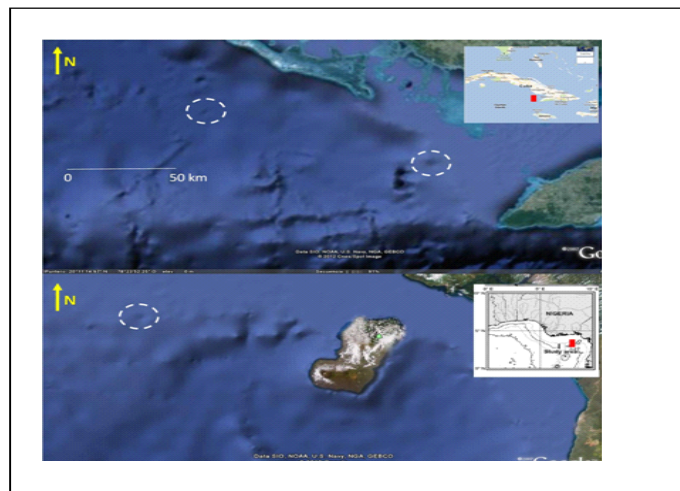


Fig. 6. En la parte superior la imagen correspondiente a la parte marina en la zona suroriental de Cuba; en la inferior, la imagen en África occidental, encerradas en círculos las anomalías del fondo marino que son semejantes en cuanto a forma y dimensiones

Las líneas sísmicas existentes, son de bajo recubrimiento, por ello no se esperaba poder observar claramente la distorsión de la imagen que produce una chimenea de gas, sino que se buscaron otros indicios en el área donde se observan las estructuras circulares denominadas 1 y 2, como falta de continuidad lateral de los reflectores, abombamiento de reflectores y *flat spot*.

En la línea sísmica asociada a la estructura circular 1, solo se nota una bifurcación de la reflexión correspondiente al fondo marino, sin embargo, en la línea sobre la cual se encuentra la estructura circular no. 2, con tiempos menores que 0,5 s, se pudieron distinguir varios indicios que en sísmica 2D se asocian a presencia de gas (figura 8), como falta de continuidad en los reflectores, la aparición de una reflexión fuerte y extendida que puede ser asumida como un *flat spot* y el abombamiento de varios reflectores ubicados sobre la misma, todo lo cual apunta a la presencia de gas en ese sector.

En la imagen tomada de *Google Earth* en el 2010 del área de estudio, se puede observar la presencia de 12 anomalías circulares de gran diámetro, con forma de cráter; es de destacar que 8 de ellas están alineadas en dirección ONO - ESE y están ubicadas desde el sur de Cienfuegos hasta el Golfo de Ana María.

Teniendo en cuenta la poca experiencia referida a la presencia de estas anomalías circulares, 9 de ellas fueron ubicadas en el mapa de lineamientos tectónicos por el tope de cretácico, a partir de datos sísmicos y de campos potenciales que para el área Ana María - Guacanayabo [3]. En la figura 9 se presentan los resultados obtenidos, donde se aprecia que en el área de Ana María las cuatro depresiones del fondo marino se relacionan con fallas del referido mapa, y las numeradas 1 y 2 se ubican en el sector con mayores espesores del terciario. Por otra parte, la anomalía marcada con el número 7, ubicada en la depresión precubana coincide con un punto de confluencia de dos fallas.

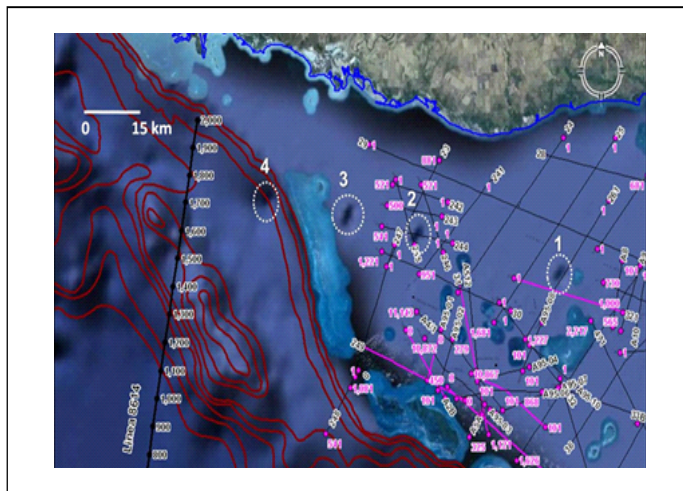


Fig. 7. Imagen tomada con el sistema *Google Earth* del área de estudio, en abril del 2012, con los números 1, 2, 3 y 4 se han señalado las anomalías circulares de gran diámetro. Nótese que solo se observan tres estructuras circulares en el Golfo de Ana María.

En el caso de la anomalía no. 9, se observa que se ubica en una zona con gran espesor del terciario y sobre una línea de falla.

Los resultados alcanzados de la comparación de las diferentes imágenes obtenidas y del amarre con las fallas, detectadas a partir de sísmica y campos potenciales, son muy interesantes y permiten asegurar que las anomalías circulares observadas en el área de estudio tienen muchas características similares a los denominados *pockmarks* lo cual es un indicio favorable para la exploración en esta zona.

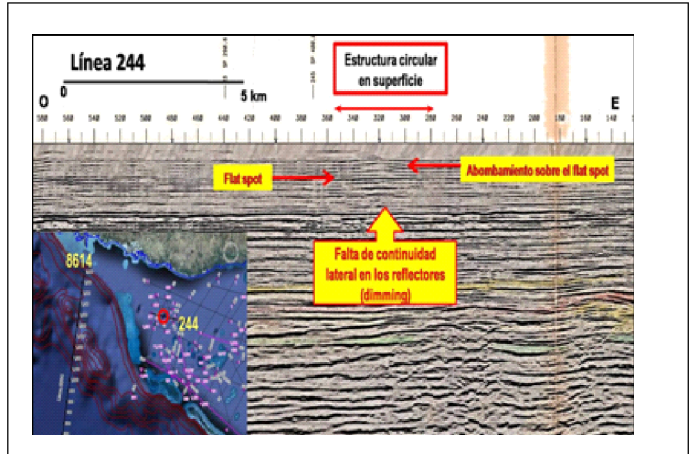


Fig. 8. Línea sísmica 2D donde se pueden observar algunos indicios de presencia de gas, en el área relacionada con la anomalía circular

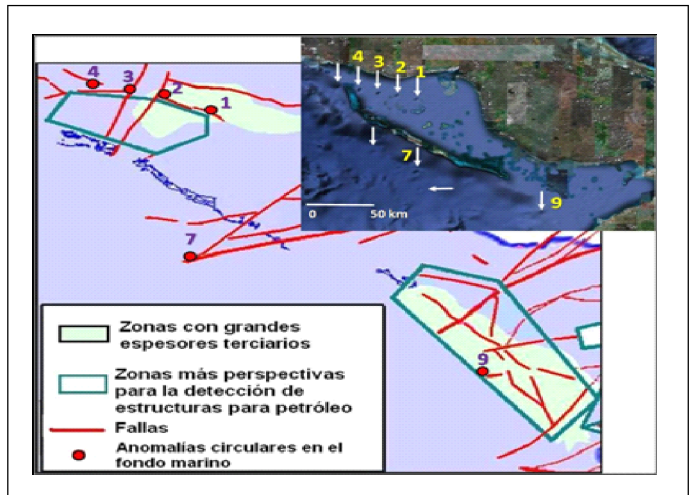


Fig. 9. Ubicación de las anomalías circulares sobre el mapa de lineamientos tectónicos de Ana María - Guacanayabo [3]

CONCLUSIONES

El estudio del fondo marino en los mares al sur de Cuba, con diferentes métodos es útil para la exploración de hidrocarburos en esa región.

Las anomalías circulares observadas en la zona marina al sur de Cuba centro oriental tienen muchas características similares a los denominados *pockmarks* lo cual es un indicio favorable para la exploración en esta zona.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al doctor Osvaldo Rodríguez Morán, y a los másteres Julio Gómez Herrera y Ramón Pico Peña, por la revisión minuciosa del manuscrito y por las recomendaciones hechas para la mejora del mismo

REFERENCIAS

1. **HOLLIS, Jim.** "Multiple measurements lead to singular insight". *E&P*, 2011, vol. 84, núm. 5, pp. 52 - 55.
2. **SURVEY, G.** "Imagen de América Central (en línea)". Google Earth pro versión 4.2.0180.1134 (Beta). Disponible en Web: http://earth.google.com/central_america [consultado en abril 2010 y abril 2012].
3. **DOMÍNGUEZ GARCÉS, René; TOUCET TÉLLEZ, Sonia.** *et al.* "Caracterización geólogo geofísica de los trabajos ejecutados en los bloques 23 sur, 22, V, VA, VI, VIA, VII, VIIA, y 20 en Cuba Suroriental", *Reporte Técnico*. Inédito, CEINPET, La Habana, 2000, 105 pp.
4. **HOVLANDA, Martin; SVENSEN, Henrik, et al.** "Complex pockmarks with carbonate-ridges off mid-Norway: Products of sediment degassing". *Marine Geology*, vol. 218, pp. 191 - 206. 2005. Disponible en Web: http://folk.uio.no/hensven/Hovland_et_al_MarGeol_05.pdf [consultado abril 2012]
5. **HOVLAND, Martin.** "Characteristics of pockmarks in the Norwegian Trench". *Marine Geology*, 1981, vol. 39, núm. 1-2, pp. 103 - 117.
6. **GAY, A.; LÓPEZ, M. et al.** "Isolated seafloor pockmarks linked to BSRs, fluid chimneys, polygonal faults and stacked Oligocene-Miocene turbiditic palaeochannels in the Lower Congo Basin". *Marine Geology*, 2006, vol. 226, núm. 1-2, pp. 25 - 40.
7. **PILCHER, Robin; ARGENT, John.** "Mega-pockmarks and linear pockmark trains on the West African continental margin". *Marine Geology*, 2007, vol. 244, núm. 1-4, pp. 15 - 32.
8. **SULTAN, N.; MARSSET, B. et al.** "Hydrate dissolution as a potential mechanism for pockmark formation in the Niger delta". *Journal of Geophysical Research*, 2010, vol. 115, núm. B08101, 33 pp.
9. **DANDAPATH, Sumanta; CHAKRABORTY, Bishwajit et al.** "Morphology of pockmarks along the western continental margin of India: Employing multibeam bathymetry and backscatter data". *Marine and Petroleum Geology*, 2010, vol. 27, núm. 10, pp. 2107 - 2117.
10. **BETZLER, C.; LINDHORST, S. et al.** "Giant pockmarks in a carbonate platform (Maldives, Indian Ocean)". *Marine Geology*, 2011, vol. 289, núm. 1, pp. 1 - 16.
11. **GPECHER, I.; GORMAN, A. et al.** "Pockmarks and their possible link to glacial gas hydrate destabilization". Disponible en Web: <http://www.gns.cri.nz/Home/Our-Science/Energy-Resources/Gas-Hydrates/Current-Research/Pockmarks-and-their-possible-link-to-glacial-gas-hydrate-destabilization> [consultado noviembre 2011].

search/Pockmarks-and-their-possible-link-to-glacial-gas-hydrate-destabilization [consultado noviembre 2011].

12. **SZPAK, M. T.; MONTEYS, X. et al.** "Geophysical and geochemical survey of a large marine pockmark on the Malin Shelf, Ireland". *Geochemistry, Geophysics Geosystems*, 2012, vol. 13, núm. Q01011, pp. 18.
13. **PAULL, C.; USSLER, W. et al.** "Pockmarks off Big Sur, California". *Marine Geology*, 2002, vol. 181, núm. 4, pp. 323 - 335.
14. **ÁLVAREZ CASTRO, J.; FERNÁNDEZ CARMONA, J. et al.** "Informe final del pozo Ana María 1" *Reporte Técnico*, Inédito, CEINPET, La Habana, 1997, 24 pp.

AUTORES

Isabel Morales Carrillo

Ingeniera Geofísica, Máster en Ciencias Geológicas, Centro de Investigación del Petróleo, La Habana, Cubana

José Álvarez Castro

Ingeniero Geofísico, Doctor en Ciencias Geológicas, Profesor Consultante, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Ramón González Caraballo

Ingeniero Geofísico, Doctor en Ciencias Geológicas, Profesor Titular, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Guillermo Miró Pagés

Ingeniero Geofísico, Doctor en Ciencias Geológicas, Profesor Consultante, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Alternatives for Hydrocarbon Exploration Offshore Southern Cuba

Abstract

Today oil and gas exploration has integrated to the geology and geophysics studies, new technologies as data from remote sensing that helps to detect interesting aspects for research. Cuban southern petroleum province has a low exploration level. The study area includes Ana María Gulf and the deep waters sector between Bahía de Cochinos and Cabo Cruz (batimetry over 200m). In 2010, using Google Earth non professional system was taken and image of the study area and were detected twelve (12) anomalies associated to seabed, they look like depressions, their shape is almost circular and they have a big size (higher than 2000 m), these anomalies could be similar to pockmarks, that are depressions in seabed mainly circulars with a range of diameters from units of meters to 10 – 12 km, and they have been found in shallow and deep waters in any latitude. The majority of pockmarks are associated to the presence of oil, gas and hydrates of gas. The seabed study with different nontraditional methods can be useful for hydrocarbon exploration in offshore Southern Cuba.

Key words: gas, oil, pockmarks, seabed