

# CAMPAÑAS OCEANOGRÁFICAS EN COLOMBIA, UN PRIMER PASO PARA LA EXPLORACION DE NUESTRAS CUENCAS OFFSHORE

Pulido Tabora, M.A.<sup>1</sup>

## RESUMEN

Ecopetrol - ICP participó en la última campaña oceanográfica de investigación y reconocimiento del Integrated Ocean Drilling Program (IODP) cuya misión era reconocer un área en el Océano Pacífico (Papette (Tahiti) - Honolulu (Hawaii)) donde se harán ocho perforaciones estratigráficas. El objetivo es hacer estudios referentes a cambio climático, paleoproductividad, bioestratigrafía, calibraciones astronómicas de eventos geológicos, perfiles de temperatura, evolución geológica y modelos de circulación y sedimentación. El reconocimiento del área se basa en el uso de unas herramientas, que permiten la visualización de las características del suelo marino a perforar. Estas herramientas son la sísmica, magnetometría, eco-sonda, batimetría multi-beam, piston coring y el multi system track, entre otras.

Ecopetrol - ICP realizó una prueba en la bahía de Santa Marta, aplicando las metodologías aprendidas en la campaña del IODP para recuperar muestras del fondo marino. Esta prueba resultó ser un éxito, se obtuvieron corazonas a profundidades que oscilan entre 20 y 400 m. Con estas muestras se busca realizar estudios bioestratigráficos basados en la distribución de foraminíferos recientes, para generar un modelo que permita predecir paleoambientes y paleobatimetrías y por ende, aportar al entendimiento de la geometría de los reservorios en cuencas marinas.

**Palabras Clave:** IODP, Exploración, Cuencas Offshore, Ecopetrol – ICP, Foraminíferos.

## OCEANOGRAPHIC CRUISES IN COLOMBIA, A FIRST STEP FOR THE EXPLORATION OF OUR OFF-SHORE BASINS

### ABSTRACT

Ecopetrol ICP took part in the last Research & Reconnaissance Oceanographic Cruise of the Integrated Ocean Drilling Program (IODP), its mission was to recognize an area in the Pacific Ocean (Papette (Tahiti) - Honolulu (Hawaii)) where they will drill eight stratigraphic wells. The objective is to develop studies about climate change, palaeoproductivity, biostratigraphy, astronomic calibrations of geological events, temperature profiles, geological evolution and circulation and sedimentation patterns. The reconnaissance of the area is based in the use of some tools, which allow the visualization of the sea floor characteristics to drill. Those tools are the seismic, magnetometry, ecosounder, multi-beam bathymetry, piston coring and the Multi System Track, among others.

Ecopetrol ICP made a test in the Santa Marta bay applying the learned methods in the IODP cruise to extract sea floor samples. This test turned out successful, we obtained depth core samples between 20 and 400 meters. With those samples we want to made biostratigraphy studies based in recent foraminifera distribution, to generate a model that allows to predict palaeoenvironments and palaeodepths and in this way contribute to the understanding of reservoir geometry in marine basins.

**Key words:** IODP, Exploration, Offshore Basin, Ecopetrol – ICP, Foraminifera.

---

<sup>1</sup> Ecopetrol S.A. Instituto Colombiano del Petróleo – Investigación en Exploración y Producción, Km. 7 Vía Piedecuesta, Santander, Colombia, Mauricio.Pulido@ecopetrol.com.co

## INTRODUCCION

El cambio climático de los últimos años, la ocurrencia de fenómenos naturales cada vez más dramáticos, el inminente agotamiento de recursos naturales energéticos y un interés por poder reconstruir la historia de nuestro planeta, ha venido estimulando la creación de programas científicos internacionales para explorar nuestros océanos. El programa más importante de todos es el ODP (Por sus siglas Ocean Drilling Program) el cual se ha venido llevando a cabo desde 1958 bajo el nombre de *Mohole* (National Academy of Science, 2005; Brewer *et al.* 2005; Oner, 2004) en 1966 fue llamado *DSDP* (Deep Sea Drilling Program) (IODP - USIO, 2006; Brewer *et al.* 2005), en 1988 *ODP* (Ocean Drilling Program) (NGDA, 2006; Brewer *et al.* 2005; Geotimes, 2004) y finalmente en el 2004 fue nombrado *IODP* (Integrated Ocean Drilling Program) (NGDA, 2006; Brewer *et al.* 2005). El principal objetivo de estos programas es recuperar los sedimentos depositados en las profundidades oceánicas, los cuales guardan el registro de mayor resolución de la historia de nuestro planeta (Pulido, 2006; Brewer *et al.* 2005).

Si bien algunas tecnologías usadas en la industria del petróleo son desplegadas con fines de investigación científica, otros métodos y herramientas desarrollados específicamente para la perforación de pozos profundos en los océanos también están encontrando una directa aplicación en la industria energética (Brewer *et al.* 2005).

Este trabajo tiene como objetivo, dar una visión global de los métodos y herramientas usadas para la prospección del fondo marino, durante las campañas oceanográficas de investigación y reconocimiento del IODP, y como ECOPETROL S.A.- ICP las está aplicando con miras a lo que será el reto de encontrar nuevas reservas de hidrocarburos en el Caribe Colombiano.

## ANTECEDENTES

Desde 1958 cuando se creó el primer programa de perforaciones en los océanos (*Mohole*), se han obtenido muestras de sedimentos del fondo marino en más de 1300 sitios, cubriendo la totalidad de los océanos, en excepción del Ártico (National Academy of Science, 2005; Brewer *et al.* 2005; Oner, 2004). (FIGURA 1)

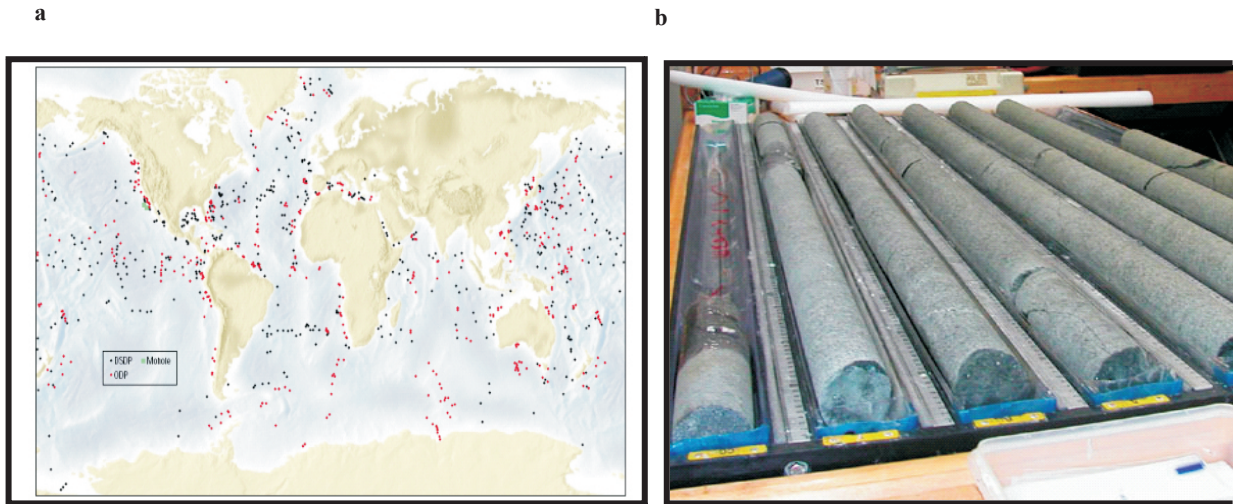
Estos programas de perforación han llegado a grandes descubrimientos, por ejemplo en 1968 el DSDP obtuvo la evidencia de presencia de domos salinos a través de la recuperación de núcleos, que contenían evidencias de hidrocarburos debajo del manto salino a profundidades abisales en el Golfo de México. El descubrimiento de hidrocarburos profundos asociados a estos diapiros incentivó a las compañías petroleras a buscar nuevos hallazgos en la zona (Winterer, 2007; Moran, 2000; Flemings & Fuman, 2000). Desde el primer descubrimiento subsalino comercial realizado por Phillips, Anadarko y Amoco en 1993, las operaciones de exploración y producción en el Golfo de México continúan prosperando (Brewer *et al.* 2006).

En 1970 el DSDP recolecta primeras evidencias sólidas de secado de mares en el Mediterráneo. En 1974 se prueba la relación entre el ciclo precesional de la tierra de 23.000 años y cambios climáticos a gran escala. En 1978 se logra perforar en el área de la fosa de las Marianas a una profundidad de más de 23000 pies de tirante de agua (Brewer *et al.* 2006).

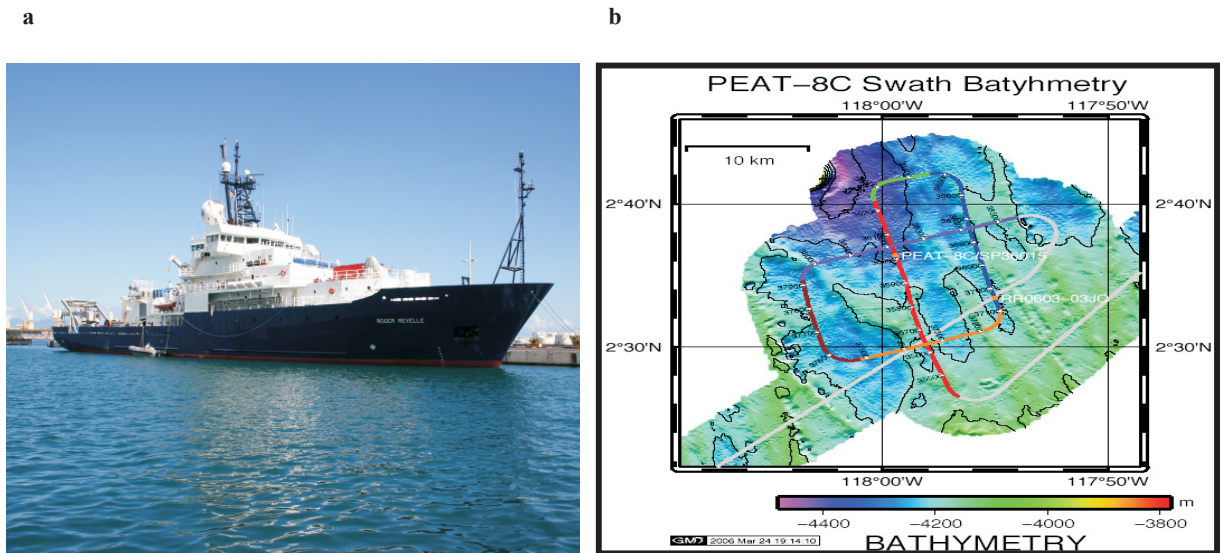
En 1982, se recuperaron evidencias de hidratos de gas marinos macizos presentes en los sedimentos de aguas profundas de América Central; los hidratos han recibido cada vez más atención en la industria del petróleo y gas porque constituyen tanto un riesgo de perforación como un recurso energético potencial para el futuro (López & Ojeda, 2006; Velásquez, 2004; E.C.G, 2002; Collet *et al.* 2000).

En el año 2004, las actividades de perforación llevadas a cabo en las aguas congeladas del Océano Ártico, proporcionaron evidencias preliminares que demostraron que las aguas del Ártico estaban libres de hielo y eran templadas hace unos 56 millones de años. Los científicos también están especulando acerca de la posibilidad de que existan áreas prospectivas de petróleo y gas en el Océano Ártico (Brewer *et al.* 2005; Backman, 2004).

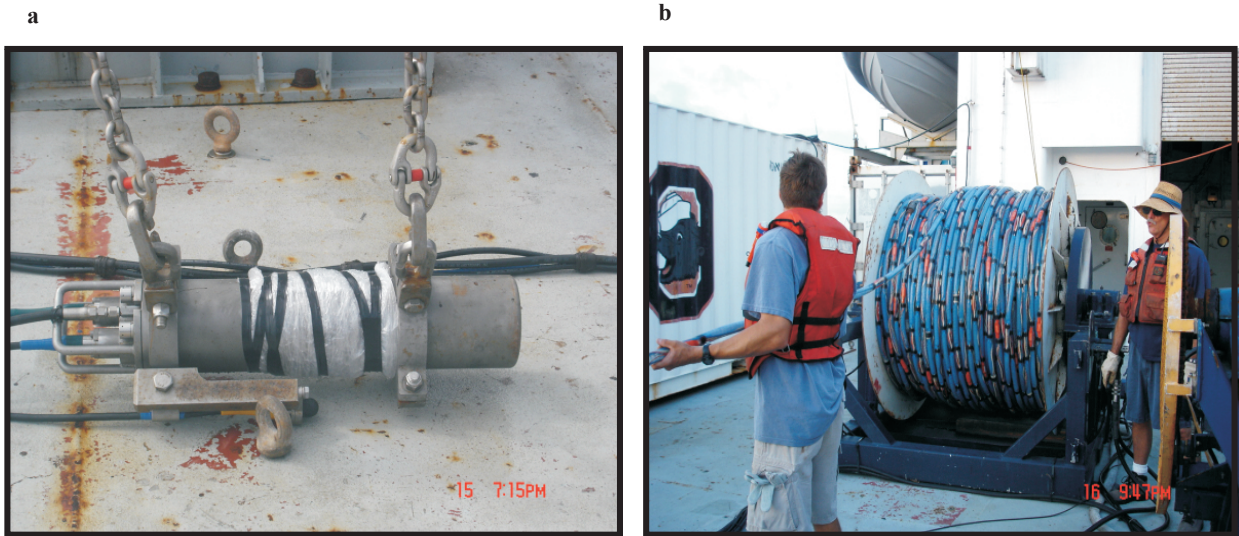
Los avances tecnológicos en perforación y extracción de núcleos han hecho que algunas compañías petroleras se involucren en los programas de perforación del ODP. Cabe señalar, que el desarrollo de tecnologías para abordar los desafíos planteados en términos de perforación de pozos profundos en los océanos, ha sido el resultado de una estrecha colaboración entre



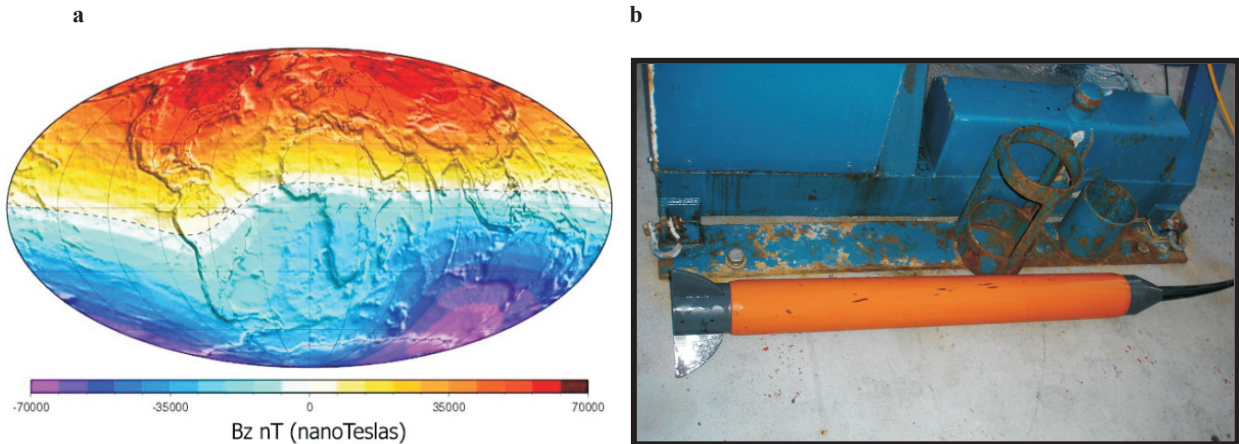
**FIGURA 1. (a)** Localización de pozos perforados en el mundo. **(b)** Muestras de corazón recuperadas durante las campañas del ODP. Note se la calidad de las muestras extraídas a profundidades que superan los 5000m de profundidad de masa de agua. Tomado de Brewer *et al.* (2005).



**FIGURA 2. (a)** *R/V Roger Revelle* Este buque oceanográfico está equipado con tecnología de último nivel para llevar a cabo campañas oceanográficas en cualquier océano del mundo. **(b)** Batimetría de alta resolución. Se muestra el curso del barco durante la llegada a uno de los sitios, el objetivo es barrer en varias direcciones el área para recolectar información sobre las propiedades del fondo oceánico y posteriormente ubicar el lugar óptimo para hacer la perforación.



**FIGURA 3. (a)** Pistola de aire. Modelo de pistola de aire usada para la adquisición de datos sísmicos. Este mecanismo contiene 2 pistolas en una. La primera pistola o generador produce el pulso primario, mientras que la segunda pistola o inyector es usada para controlar la oscilación de la burbuja de aire producida por el generador. Dentro del mecanismo se manejan presiones de aire de 3000 psi. **(b)** Proceso de Adquisición de datos sísmicos. “Streamer” el cual lentamente va siendo ingresado al agua, los puntos naranjas son los hidrófonos separados uno del otro 1,5 metros



**FIGURA 4. (a)** Campo Magnético Terrestre. La unidad de medida de la densidad de flujo magnético es nanoTeslas y como la gráfica muestra cambia según la posición geográfica. Para el caso de la campaña oceanográfica los valores oscilan entre 30.000 y 35.000 nT. Tomado de [www.astrofli.org](http://www.astrofli.org). **(b)** Magnetómetro SeaSPY Overhauser. La precisión de la medida de densidad de flujo magnético de este mecanismo es de 0,001nT. El magnetómetro siempre está sumergido en el agua a una distancia prudencial de 100m para evitar que el campo magnético inducido por el barco afecte la medida de la densidad de flujo magnético ejercida por el ambiente.

la comunidad científica y la industria del petróleo (Pulido, 2006; Brewer *et al.* 2005; Hsu & Currie, 2000; Enachescu, 2000).

### CAMPAÑA OCEANOGRÁFICA DE INVESTIGACIÓN Y RECONOCIMIENTO (PAPETTE (TAHITI) – HONOLULU (HAWAII))

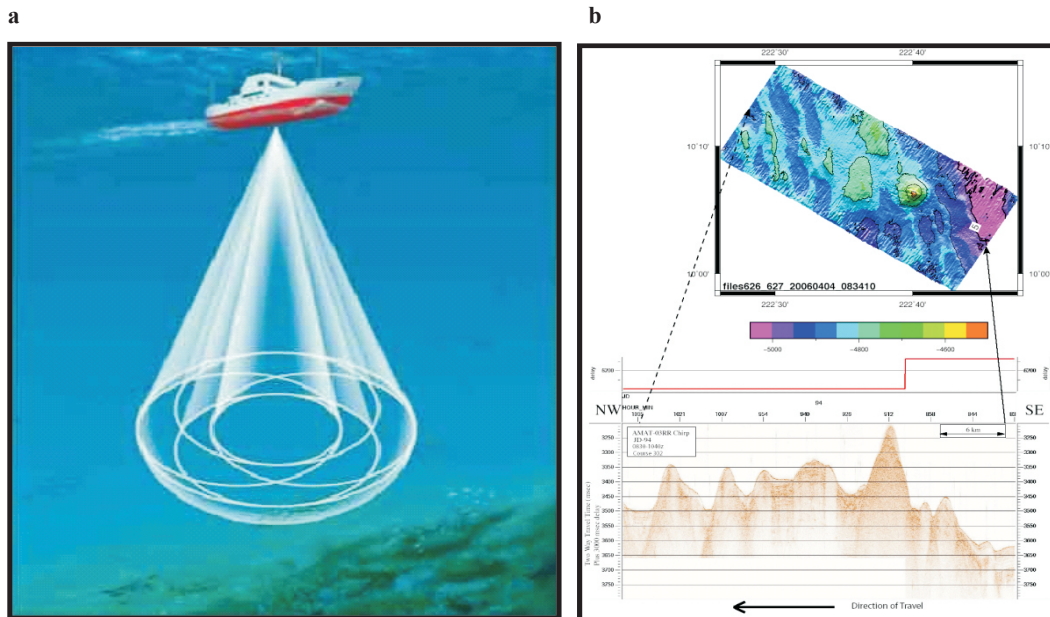
Antes de perforar en el océano, debe realizarse una campaña de investigación y reconocimiento para estudiar las condiciones del área y ubicar de una forma precisa el lugar de las perforaciones. La campaña en la cual Ecopetrol – ICP participó, partió del puerto de Papette, en la Isla de Tahití, el 7 de Marzo de 2006 y 40 días después arribó al puerto de Honolulu en la isla de Oahu, en Hawaii. Se recorrieron más de 12.000 kilómetros a bordo del buque Oceanográfico *R/V Roger Revelle*, operado por el Instituto oceanográfico SCRIPPS, de California (FIGURA 2).

El reconocimiento del área se basa en el uso de una serie de herramientas de última tecnología, que permiten la visualización y estudio de las características del suelo

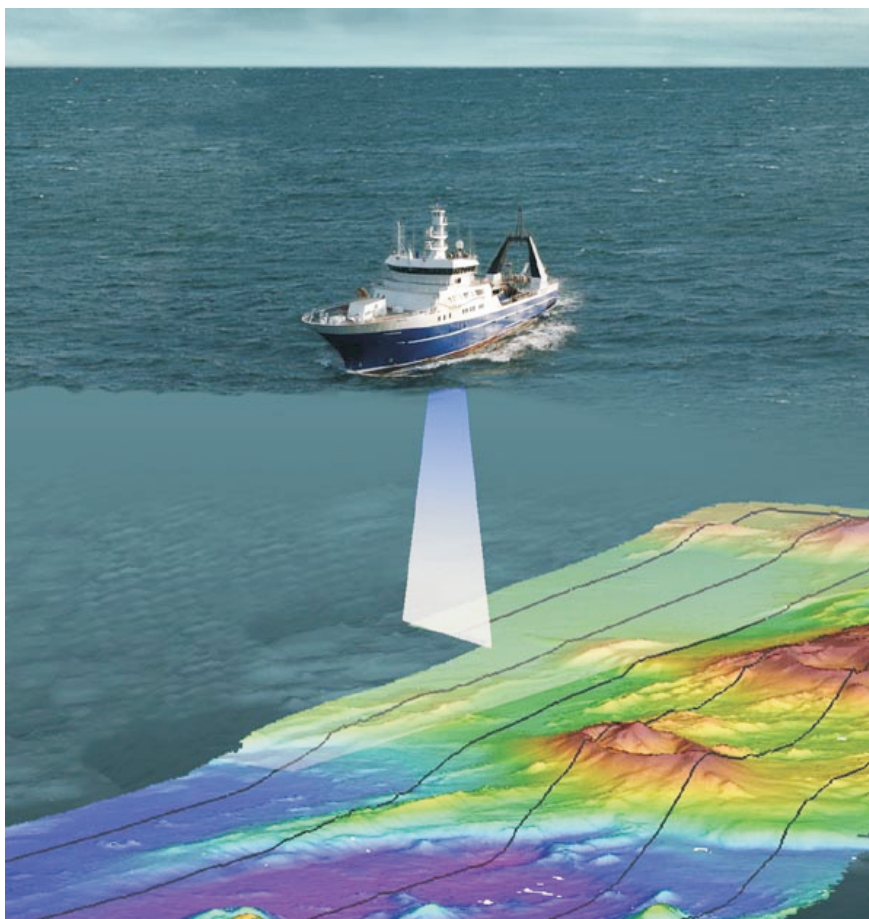
marino a perforar. Entre estas herramientas figuran la adquisición sísmica, magnetometría, ecosonda, batimetría, toma de muestras de fondo y multi system track, entre otras (Pulido, 2006).

### ADQUISICIÓN SÍSMICA

Este proceso se hace a través de un arreglo de hidrófonos (receptores de señal acústica) conectados por cables cubiertos con un material sintético llamado “*Streamer*”; las fuentes de sonido son dos pistolas de aire que se disparan al mismo tiempo cada diez segundos, de una forma precisa y controlada por un software especial. Las ondas acústicas generadas por las pistolas viajan por el agua a una velocidad de aproximadamente 1.500 m/s y en las rocas la velocidad de propagación es cercana a 800 m/s; la frecuencia de la señal acústica puede oscilar entre 20 y 70 Hz. Estas ondas penetran las rocas del fondo oceánico, parte de la onda se refracta y otra se refleja; la información reflejada es adquirida por los geófonos y finalmente es transformada a un formato digital donde puede visualizarse en líneas sísmicas (FIGURA 3) (Pulido, 2006).



**FIGURA 5. (a)** Funcionamiento de la ecosonda. También llamada “Chirp”, da el dato de la profundidad sobre la cual fue generado el primer eco. El tiempo entre la transmisión y la recepción es usado por el mecanismo para calcular la profundidad. **(b)** Perfil obtenido con la ecosonda. La imagen muestra que solo se obtiene información de la parte más superficial del fondo oceánico. Sin embargo, es lo necesario para analizar si la ubicación es adecuada para muestreo



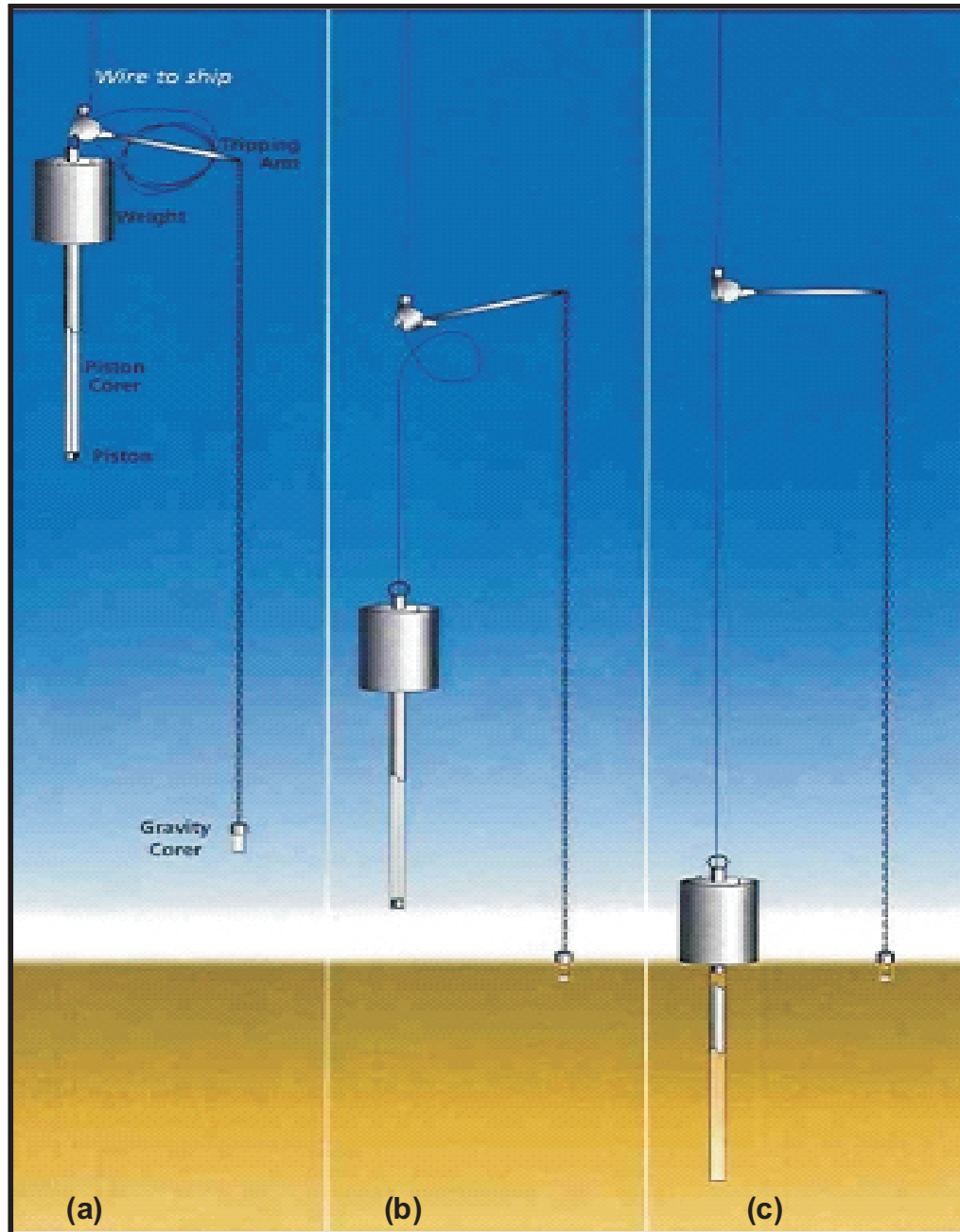
**FIGURA 6.** Perfil batimétrico obtenido con la técnica de Multi-beam. Adquisición de batimetría de alta resolución (Multi-beam). El mecanismo hace un barrido total del terreno usando varios rayos controladamente dirigidos, de esta forma se obtiene un perfil batimétrico detallado del suelo marino. A más profundidad el área del terreno barrido será mayor. Este mecanismo proporciona el dato batimétrico de dos formas, valor de la profundidad en metros o valor de la intensidad de la señal recibida conocida como backscattering. Tomado de [www.cri.nz](http://www.cri.nz)

## MAGNETOMETRÍA

La tierra posee un campo magnético generado por el efecto conductivo del núcleo líquido de la tierra, la magnitud de dicho campo varía según la posición en el globo, en general, es mucho mayor en los polos que en latitudes ecuatoriales. El “Magnetómetro” es una herramienta usada para medir la densidad de flujo magnético generado por el campo magnético terrestre en cualquier punto, usando tecnología de resonancia magnética nuclear (FIGURA 4) (Pulido, 2006).

## ECOSONDA

Esta herramienta permite conocer la profundidad de agua sobre la cual está el barco en todo momento; el principio de este mecanismo es una fuente acústica con una frecuencia que oscila entre 2.000 y 6.000 Hz, que produce ondas que viajan a través de la masa de agua y que son reflejadas en el momento en que tocan el suelo marino. El tiempo que tarda la onda en ir y volver es usado para calcular la profundidad; cabe señalar que la onda acústica por su alta frecuencia sólo puede penetrar los primeros 100 metros de sedimento. La información obtenida con



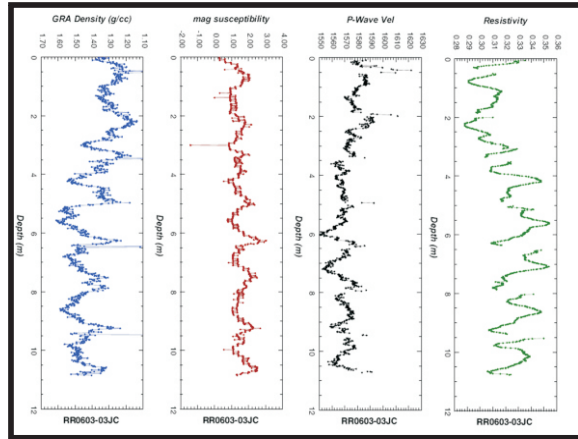
**FIGURA 7.** Funcionamiento del mecanismo de Piston Coring. (a) El mecanismo es lanzado al agua a una velocidad controlada de caída de 40 m/min. 200m. Antes de tocar el fondo oceánico, el mecanismo es detenido por unos segundos con el objetivo de estabilizarlo y así permitir la entrada del gravity corer en forma vertical al fondo oceánico. (b) El Gravity Corer toca el fondo oceánico, esto crea una disminución de la tensión del cable que sujeta el Gravity al *trigger arm*, este se mueve hacia arriba activando el mecanismo de expulsión del Piston Corer el cual cae en caída libre hacia el fondo oceánico. (c) El émbolo que se encuentra dentro del piston corer se mueve hacia arriba generando succión para facilitar la entrada del sedimento además de ayudar a liberar el agua por la parte superior del mecanismo.

Tomado de [http://oceanworld.tamu.edu/students/forams/forams\\_piston\\_coring.htm](http://oceanworld.tamu.edu/students/forams/forams_piston_coring.htm)

(a)



(b)



**FIGURA 8. (a)** Multi Sensor Track System. Cada sección de 1.5m de corazón es sometida a este análisis el cual incluye medidas de resistividad, Rayos Gamma, Susceptibilidad magnética, Temperatura y Velocidad de Ondas P. **(b)** Resultados de las medidas hechas por la herramienta de Multi System Track para una de las secciones recuperadas

ayuda de la ecosonda es usada para saber dónde colocar el punto de muestreo, basándose en la disposición de las capas más superficiales del fondo. Es importante evitar paquetes competentes de roca, al igual que altas inclinaciones de los estratos (FIGURA 5) (Pulido, 2006).

### BATIMETRÍA – MULTI-BEAM

Una herramienta más avanzada que la ecosonda y que da una información batimétrica mucho más exacta es el Multi-beam. Su principio también es acústico pero toma medidas de varios puntos del suelo oceánico, a diferencia de la ecosonda que solo toma la medida del primer eco. El Multi-beam, como su nombre lo dice, usa múltiples rayos, cada uno de ellos dirigido hacia un punto singular del suelo oceánico para así obtener un perfil batimétrico de alta resolución (FIGURA 6) (Pulido, 2006).

### TOMA DE MUESTRAS DE FONDO (PISTON CORING)

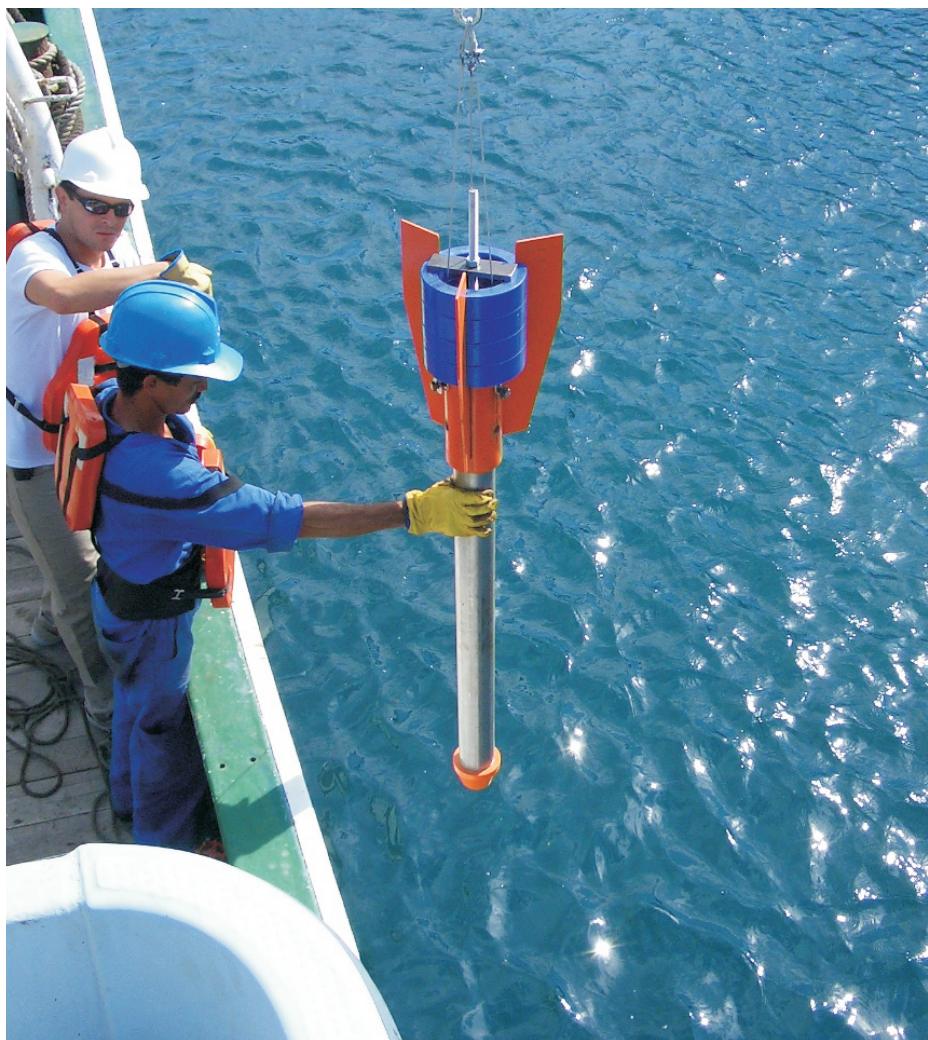
Para tomar muestras de corazón a profundidades superiores a los 5.000 metros es necesario un equipo especializado que consta de un winch (motor), con capacidad de 30.000 libras, y un equipo mecánico muy ingenioso que como resultado obtiene hasta 13 metros de sección corazonada muy bien preservada. La FIGURA 7 muestra el funcionamiento del mecanismo.

### MULTI SYSTEM TRACK

Cuando ya se tiene el corazón, el primer paso es dividirlo en secciones de 150 cm. de largo para su posterior análisis, descripción y preservación. A cada una de las secciones se le realiza una serie de mediciones que las resume el proceso de *Multi System Track*, este arreglo incluye medidas de rayos gamma, susceptibilidad magnética, temperatura, velocidad de propagación de ondas P en el sedimento y resistividad (FIGURA 8) (Pulido, 2006). Este proceso es complementado con descripción macro del sedimento, análisis bioestratigráficos para la datación de la sección extraída y, finalmente, una cuantificación del contenido de carbonatos en la muestra a través de un analizador volumétrico de Dióxido de Carbono.

Durante la campaña, el uso de estas herramientas permitió ubicar 8 localidades donde se perforaran el año entrante los pozos; toda esta información junto con las muestras de fondo recolectadas, serán usadas para generar ciencia y nuevas ideas que nos ayuden a entender cada vez más la historia geológica y climatológica de nuestro planeta. Este material se encuentra en la Universidad de Oregon (EEUU) y en los grandes repositorios de muestras en Bremen (Alemania) donde reposan para libre consulta de cualquier persona o grupo de investigación en el mundo que desee usarlas.





**FIGURA 9.** Campañas Oceanográficas en Colombia. ECOPETROL ICP realizando un muestreo del fondo oceánico en la bahía de Santa Marta con un “Gravity Corer” de la Universidad EAFIT.

## EXPLORANDO EL CARIBE COLOMBIANO

Ecopetrol aprendió de esta campaña la metodología para llevar a cabo la prospección de nuestro Caribe Colombiano y en general cualquier cuenca marina, tarea en la cual el Instituto Colombiano del Petróleo ya comenzó a trabajar.

El área de bioestratigrafía del Instituto Colombiano del Petróleo ha venido impulsando una campaña oceanográfica para la toma de muestras de sedimentos marinos en el Caribe colombiano, como parte de la estrategia de ampliar el conocimiento geológico de esta área, y que

en la actualidad explora Ecopetrol en asociación con las compañías Exxonmobil, Petrobrás y BHP.

Con la ayuda de un Gravity Corer, fabricado por ingenieros de la Universidad EAFIT de Medellín, y las facilidades del buque ANCON, propiedad del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras de Colombia - INVEMAR -, Ecopetrol - ICP realizó una prueba de la herramienta en la bahía de Santa Marta, aplicando las metodologías aprendidas en la campaña del ODP. Esta prueba resultó ser un éxito, luego de la preservación y cantidad de muestra recuperada (Corazones de 1 metro aprox.) a profundidades que oscilan entre 20 y 400 m (FIGURA 9) (Pulido, 2006).

El objetivo de este muestreo es realizar estudios bioestratigraficos basados en la distribucion de foraminiferos recientes, para generar un modelo que permita predecir paleoambientes y paleobatimetrias y por ende, aportar al entendimiento de la geometria de los reservorios en cuencas marinas. Adicionalmente, las muestras extraidas se usaran para estudios geoquimicos y sedimentologicos, los cuales seran fundamentales en la exploracion del Caribe colombiano.

## AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos al programa de Maestria en Ciencias de la Tierra de la Universidad EAFIT en Medellin, en especial, al Dr. Jose Ignacio Martinez por hacer posible la participacion en esta campana oceanografica; al Instituto Colombiano del Petroleo de Ecopetrol S.A por su patrocinio; a los ingenieros Orlando Diaz y Nestor Saavedra, geologos Andres Reyes y Vladimir Torres y a la microbiologa Maria Carolina Vargas de la Unidad de Investigacion del Instituto Colombiano del Petroleo (ICP) por su gestion y apoyo para hacer posible la participacion en este evento. El autor expresa tambien expresa sus agradecimientos a los Doctores Mitchell Lyle, Theodore Moore, Heiko Palike, Jan Backman, Steve Hovan, y los demas participantes de la campana oceanografica por la invitacion para hacer parte del equipo de trabajo y por sus constantes aportes y enseñanzas durante este tiempo.

## REFERENCIAS

Brewer, T.; Endo, T.; Kamata, M.; Fox, J.; Goldberg, D.; Myers, G.; Kawamura, Y.; Kuramoto, S.; Kittredge, S.; Mrozewski, S. and Rack, F. (2005). Scientific Deep Ocean Drilling: Revealing the Earth's Secrets. Oilfield Review. Spring 2005.

Collett, T.; Lewis, R. & Takashi, U.(2000). El creciente interes en los hidratos de gas. Oilfield Review Otoño de 2000.

Enachescu, M. (2000). ODP Drilling Offshore Newfoundland: Sampling an Atlantic MArgin from Continental Shelf to Rise. Husky Oil Operation Ltd. Calgary, Alberta

Flemings, P. & Huffman, A (2000). Summary of Workshop in Geofluid of overpressured strata in the Gulf of Mexico. Houston, Texas, EEUU.

Hsu, D & Currie, D. (2000). Global Coverage of Geosat / DSDP / ODP Dta: Its application and case studies in Petroleum Exploration. CSEG Conferences. Calgary, Canada.

Lopez, C. & Ojeda, G. (2006). Heat Flow in the Colombian Caribbean from the Bottom Simulating Reflector (BSR). CT & F – Ciencia, Tecnologia y Futuro. Vol 3, No. 2, pp 29 - 39.

Palike, H.; Lyle, M.; Moore, T.; Mitchell, N.; Backman, J. and Rea, D. (2004). Following the Equator in Time and Space. IODP Proposal Cover Sheet.

Pulido M.A; (2006). Como se hace una campana oceanografica de Investigacion y Reconocimiento. Caso Integrated Ocean Drilling Program (IODP). Informe Interno Ecopetrol S.A. ICP.

Pulido, M.A. (2006). Ecopetrol en el Integrated Ocean Drilling Program (IODP). CT & F – Ciencia, Tecnologia y Futuro. Vol 3, No. 2, pp 200 – 203.

Pulido, M.A.; (2006). 40 dias a bordo de un banco explorador. Carta petrolera. Edicion 115. Ecopetrol S.A.

Winterer, E. (2007). Scientific Ocean Drilling, from ANSOC and COMPOST. Scripps Institution of Oceanography. University of California, San Diego, EEUU.

## Páginas Web

[http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid\\_3634000/3634600.stm](http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid_3634000/3634600.stm) Backman, J. (2004). Polo Norte Paraiso Subtropical [http://www.geotimes.org/aug01/feature\\_odp.html](http://www.geotimes.org/aug01/feature_odp.html) Geotimes (2001). Integrated Ocean Drilling Program.

<http://www-odp.tamu.edu/glomar.html> Integrated Ocean Drilling Program, U.S. Implementing Organization IODP USIO (2006). Glomar Challenge: Drillship of the Deep Sea Drilling Program.

<http://www.oceandrilling.org/> Integrated Ocean Drilling Program, U.S. Implementing Organization IODP USIO. (2006). Integrated Ocean Drilling Program

<http://www.nas.edu/history/mohole/> National Academy of Sciences. (2005) Digging a hole in the Ocean..

<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/geology/drill.html> National Geophysical Data Center NGDA (2006). Deep Sea Drilling Project & Ocean Drilling Program Data.

<http://www.ejge.com/iGEM/Articles/MoHole/MoHole.htm>. Oner, M (2004) Deepest borehole ever drilled. EJGE Magazine / GEM Article,

<http://www.geologia.ucr.ac.cr/paganini/webpaga.htm> Escuela Centroamericana de Geologia E.C.G. (2002) Estudio del fondo oceánico y los eventos morfológicos de la interacción entre la Placa de Cocos y la Placa Caribe de Costa Rica.

<http://www.revistamarina.cl/revistas/2004/1/velasquez.pdf> Velásquez, M. (2004). Los hidratos de gas submarinos, una esperanza energética.

---

Trabajo recibido: marzo 30 de 2007  
Trabajo aceptado: junio 22 de 2007