

INVESTIGANDO LAS FRONTERAS DEL PLANETA

Hernán Vergara Cortés

INTRODUCCION

Las personas que han visto fotografías de la Tierra tomadas desde el espacio exterior por los satélites artificiales habrán recordado que nuestro planeta está constituido principalmente por agua. Asimismo, esas fotografías debieran recordarnos cuán pocos sabemos de nuestro espacio interior.

Aunque por siglos ha habido personas que han estudiado el mar, la investigación sistematizada y multidisciplinaria de las tres cuartas partes de la Tierra ha sido realizada sólo en los últimos cincuenta años. El estudio de la topografía del fondo marino y las muestras de rocas y sedimentos obtenidos durante ese lapso ha incrementado notablemente el conocimiento que se tiene del fondo marino y de las aguas que llenan esa cuenca. Pero, ¿qué hay debajo de ese fondo marino? La labor visionaria de algunos científicos, estrechamente ligada al desarrollo tecnológico, no ha estado exenta de esfuerzos. A pesar de los obstáculos asociados con las tareas tendientes a conocer más allá de la superficie del lecho marino, hoy en día se puede afirmar que su estudio ha llegado a ser una realidad.

Un ejemplo de ello es la labor de investigación llevada a cabo por el buque *SEDCO/IBP 471* en aguas del sur de nuestro país, frente a la península de Taitao, entre noviembre de 1991 y enero de 1992. Este buque, por la naturaleza de las labores a que se dedica, es la nave científica más grande y compleja del mundo; lo que la hace diferente del resto de los buques científicos es que es el único capacitado para perforar el fondo marino. Una empresa de tal en-

vergadura es difícil, más aún cuando lo hace en lugares donde la profundidad del agua llega a varios kilómetros.

Como una manera de interiorizar al lector sobre los aspectos más relevantes de la manera como se ha llegado a lograrlo, serán relatados algunos antecedentes históricos.

Proyecto "Mohole"

En 1958 la Academia Nacional de Ciencias, de Estados Unidos, creó el Comité de Perforación Profunda (Deep Drilling Committee, DDC) con el propósito de explorar una de las últimas fronteras del planeta, el interior de la Tierra, perforando un pozo en el mar frente a la península de Baja California. Su objetivo final era llegar a la Discontinuidad de Mohorovicic, que separa la corteza del manto terrestre y que se encuentra entre 5 a 10 kilómetros bajo el fondo marino y a alrededor de 35 kilómetros bajo los continentes, aunque puede llegar a 60 kilómetros o más bajo algunas cordilleras.

En cuanto a la estructura interna de la Tierra, la evidencia directa existente en la actualidad se basa en la investigación efectuada en su superficie y en muestras tomadas en minas y en sondeos petrolíferos en aguas poco profundas, como igualmente en los continentes, que en todo caso no penetran más allá de los ocho kilómetros. La otra forma como se ha llegado a obtener alguna información directa del interior terrestre es a través de determinados procesos geológicos que logran exponer en la superficie rocas formadas a 20-25 kilómetros de profundidad, o bien mediante volcanes que erupcionan pedazos de rocas. Aparte de estos

fenómenos naturales no hay datos directos concernientes a la composición interna del planeta.

El conocimiento de su estructura lo han entregado los estudios de la geofísica y muy especialmente de una de sus ramas, la sismología, que se dedica a investigar sobre la ocurrencia de los terremotos. Los geofísicos entregan datos tales como la densidad, rigidez y compresibilidad, obtenidos del estudio de la propagación de las ondas sísmicas. Precisamente, basado en el estudio de las características de las ondas respecto del terremoto ocurrido en Croacia el 8 de octubre de 1909, el yugoslavo Andrija Mohorovicic vio que mientras un determinado tipo de ondas se reflejaban otras se refractaban, por lo que dedujo que a cierta profundidad debía existir una discontinuidad, que él calculó en 50 kilómetros. Esa discontinuidad separaba un medio superficial, en el cual las ondas viajaban a baja velocidad, de otro medio más profundo en el cual las ondas se trasladaban a mayor velocidad. Esta superficie, ubicada entre ambos medios, es hoy conocida como la Discontinuidad de Mohorovicic o simplemente Moho.

Estos y otros antecedentes tenía el DDC cuando elaboró el Proyecto Mohole, palabra compuesta de las voces "Moho" y "Hole", cuyo objetivo fue perforar a través de dicha discontinuidad para obtener muestras del manto. Por lo tanto, el motivo de perforar desde el mar se debe a que allí la corteza terrestre es más delgada. La nave que se utilizaría sería una plataforma de perforación llamada *CUSS*, nombre derivado de las compañías petrolíferas propietarias: Continental, Union, Shell y Superior. El proyecto hubo de cambiar su objetivo inmediato y más tarde fue discontinuado por no existir, en la década de los años sesenta, la tecnología para abrir un pozo en siete kilómetros de roca situada bajo cinco kilómetros de agua.

Proyecto de perforación del fondo marino profundo

Esa era la situación cuando en 1964 cuatro instituciones universitarias de Estados Unidos se unieron en un intento de investigar la estructura geológica y geofísica de la Tierra en un proyecto de perforación a largo plazo que denominaron Deep Sea Drilling Project (DSDP), que contó con el apoyo financiero de la National Science Foundation, entidad gubernamental estadounidense. Para llevar a cabo esta empresa organizaron la Joint Oceanographic Institutions for Deep Earth Sampling, conocida hasta hoy en el ambiente científico como JOIDES. Las cuatro instituciones que le dieron origen fueron el

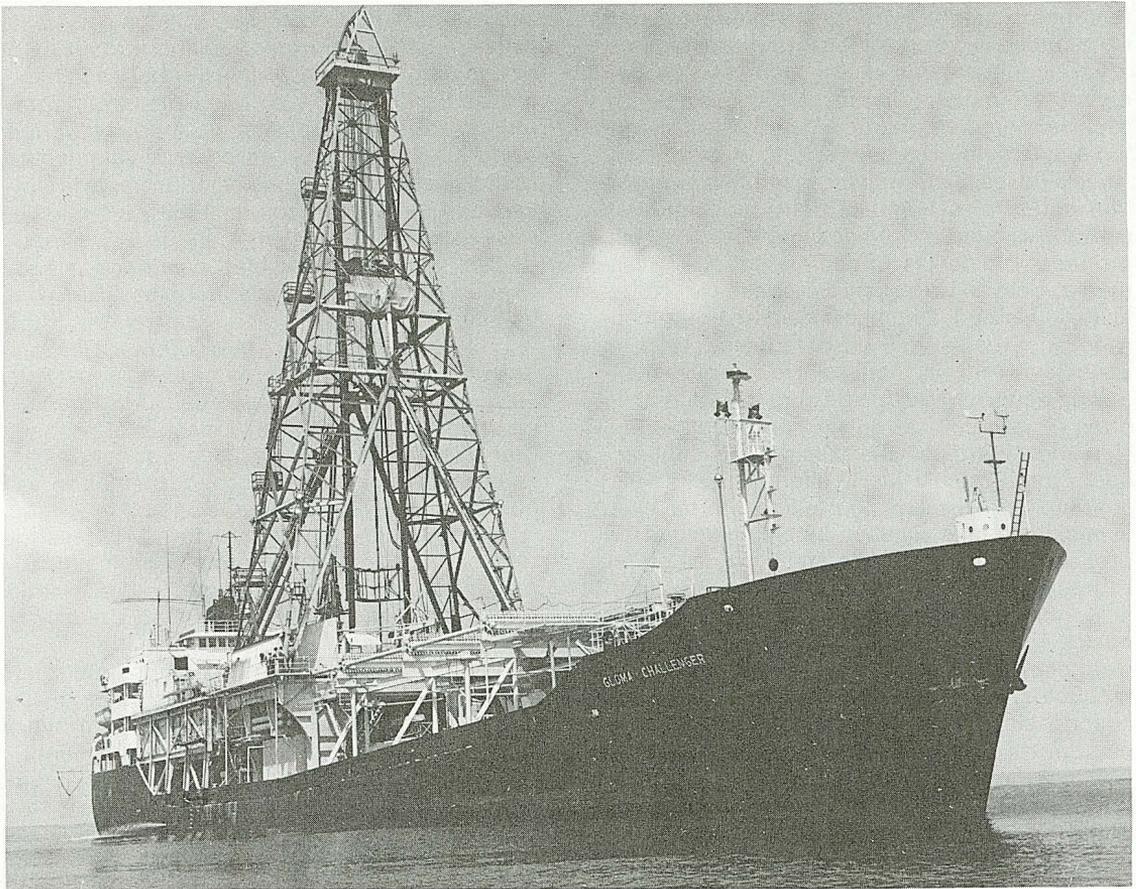
Lamont-Doherty Geological Observatory, de la Universidad de Columbia, la Scripps Institution of Oceanography, de la Universidad de California, en San Diego, la Woods Hole Oceanographic Institution y la Rosenstiel School for Marine And Atmospheric Science, de la Universidad de Miami. A ellas se unieron posteriormente la Universidad de Washington en 1968 y las respectivas escuelas de oceanografía de la Universidad de Hawai, Universidad de Rhode Island, Oregon State University y la Texas A&M University en 1975.

El buque utilizado fue el *Glomar Challenger*, que inició sus cruceros el 11 de agosto de 1968, uniendo su nombre al del *HMS Challenger*, que entre 1872 y 1876 efectuó la primera gran expedición oceanográfica, cubriendo cerca de 70 mil millas náuticas y obteniendo valiosos datos en sus 362 estaciones.

En 1975 el programa pasó a una fase internacional con la incorporación de instituciones oceanográficas de la República Federal de Alemania, Francia, Japón, el Reino Unido y la ex Unión Soviética. El Comité Consultivo de JOIDES aumentó a 250 miembros constituidos en 24 comités, paneles y grupos de trabajo de las diversas disciplinas involucradas en el proyecto, siendo sus miembros distinguidos científicos de instituciones académicas, agencias gubernamentales y de la industria privada de casi todo el mundo. Durante los quince años de duración del proyecto el *Glomar Challenger* realizó 96 cruceros y perforó 1.092 pozos en 624 sitios, habiendo obtenido más de cien kilómetros de testigos de la corteza marina. El conocimiento logrado acerca de los procesos dinámicos de la Tierra fue enorme, ya que pudieron ser estudiados ambientes antiguos, tales como la flora y la fauna depositadas en los sedimentos allí preservados. Asimismo, los avances tecnológicos alcanzados en las tareas de perforación abrieron nuevas dimensiones; uno de ellos ha sido la introducción en 1979 del Hydraulic Piston Corer, que ha permitido traer a la superficie sedimentos no consolidados prácticamente sin alterarlos, y otro es la posibilidad de perforar un mismo pozo en repetidas ocasiones.

El programa de perforación profunda

El DSDP finalizó en 1983, pero inmediatamente fueron echadas las bases de otro proyecto de largo aliento. Tal fue el Ocean Drilling Program (ODP), actualmente en vigencia. El primer crucero fue efectuado en el buque de perforación *SEDCO/IBP 471*, en enero de 1985, aunque la comunidad científica internacional lo identifica mejor como el *JOIDES Resolution* (JOIDES, por



EL "GLOMAR CHALLENGER"

la entidad que dio origen al DSDP y al ODP, y Resolution en honor al nombre de la nave en la que el Capitán Cook hizo sus viajes por los mares del sur hace poco más de un par de siglos).

La organización del ODP en Estados Unidos se encuentra centralizada en la National Science Foundation (NSF), que proveyó los fondos en 1990, ascendentes a 30 millones de dólares. Anualmente, ella organiza una reunión internacional del Consejo ODP y su representante actúa de nexo entre la NSF y las otras agencias internacionales que financian proporcionalmente el programa, las que se han adherido mediante la firma de un Memorando de Entendimiento que consta de 12 artículos y que es un documento contractual entre la NSF como socio principal y los participantes, que son miembros regulares. Estos son Alemania (que firmó el memorando en marzo de 1984), Francia (1984), Japón (1985), la ex Unión Soviética (1985), la sociedad compuesta por Canadá y Australia (1985), el Reino

Unido (1986) y la Fundación Europea para la Ciencia (1986, integrada por Bélgica, Dinamarca, España, Grecia, Finlandia, Italia, Noruega, los Países Bajos, Suecia, Suiza y Turquía).

Dentro del organigrama del ODP, uno de los puntos principales se refiere a la institución responsable de la parte operativa del programa; en este caso es la Texas A&M University, en cuyo campus fue construido un edificio especialmente dedicado al manejo de esta compleja tarea. Esta universidad contrató los servicios del buque de perforación *SEDCO/BP 471*, cuyas particulares características comentaremos a continuación.

CARACTERÍSTICAS DEL BUQUE

Características básicas

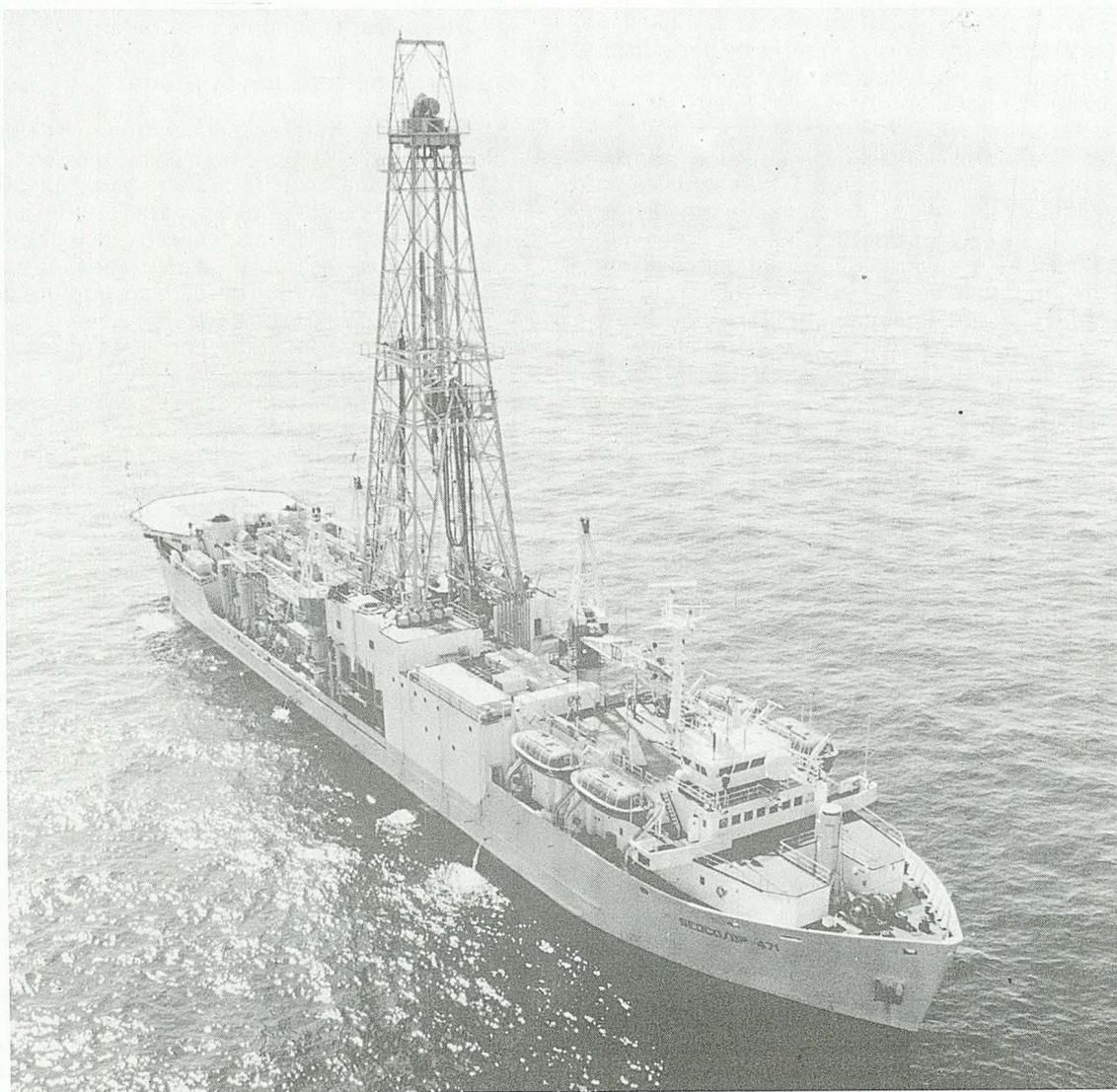
El *SEDCO/BP 471*, que es propiedad de dos consorcios petroleros internacionales (la empresa Schlumberger, de Estados Unidos, y la

SEDCOFOREX, subsidiaria de la British Petroleum, del Reino Unido), es un buque de 143 metros de eslora, 21 metros de manga y 8,4 metros de calado, con un desplazamiento de 16.596 toneladas. Su casco tiene resistencia para navegar en aguas con condiciones medianas de hielo. Está equipado con generadores diesel-eléctricos que le dan poder para las tareas de perforación, propulsión y posicionamiento. Su autonomía es de 70 días sin reabastecerse de combustible, agua y víveres; además, posee reservas para permanecer otros 35 días adicionales en el mar sin llegar a puerto. Las acomodaciones de la tripulación y del puente de mando están a proa, mientras que las máquinas y el

helipuerto se hallan a popa. Tiene acomodaciones para 51 científicos y personal técnico de apoyo, que por lo general cambia en cada crucero, y lleva una tripulación permanente de 54 personas.

Para perforar el fondo marino emplea básicamente el mismo principio de perforación que usa la industria petrolera, estando capacitado para extender 9.150 metros de tubería, pudiendo trabajar en áreas cuya profundidad de agua sea hasta 8.200 metros. Asimismo, está diseñado para operar en lugares cuya temperatura ambiental fluctúe entre -18 y 43 °C y la temperatura del agua entre -2 y 27 °C.

Su torre de perforación, ubicada en el



BUQUE CIENTÍFICO "SEDCO/BP 471"

centro del buque, se eleva 61 metros sobre el nivel del mar y tiene una capacidad de carga de 500 toneladas; bajo ella se encuentra un foso de siete metros de diámetro.

Posicionamiento dinámico

El posicionamiento dinámico emplea un equipo referencial acústico (*sonar beacon*) para mantener el barco sobre un punto específico; dicho equipo está constituido por nueve *thrusters* direccionales —ubicados a proa hacia el costado de babor y a popa hacia el costado de estribor— capaces de generar una energía de 22.600 libras (100.525 newton). En el casco se hallan montados cuatro hidrófonos que reciben una señal continua del sonar, el que es instalado en el fondo antes de las labores de perforación. La señal es transmitida a un computador que calcula la posición relativa de la nave respecto del sensor; así, el computador controla los *thrusters* y la unidad de propulsión principal para mantener la posición del buque. Un equipo satelital Magnavox 1107, que combina los sistemas de navegación GPS (Global Positioning System) y Transit, complementa el posicionamiento dinámico, que también puede ser operado manualmente. Valga comentar que mientras este último trabaja sólo con un satélite que gira en órbita polar, el GPS lo hace con un número mayor, por lo que siempre el buque tiene sobre su cenit entre dos y cinco satélites que le dan una posición exacta del lugar donde se encuentra; el Transit tiene la desventaja que cuando está circunvalando la Tierra por un sector opuesto al cual se encuentra la nave, su señal se hace muy difusa e inexacta, siendo exacta sólo cuando cada cierto tiempo se encuentra sobre el cenit de la nave que lo interroga por su posicionamiento. Bajo condiciones normales de operación este sistema puede mantener el buque sobre un determinado punto dentro de un rango del uno por ciento respecto de la profundidad en que se encuentra perforando.

Medidas previas a la perforación

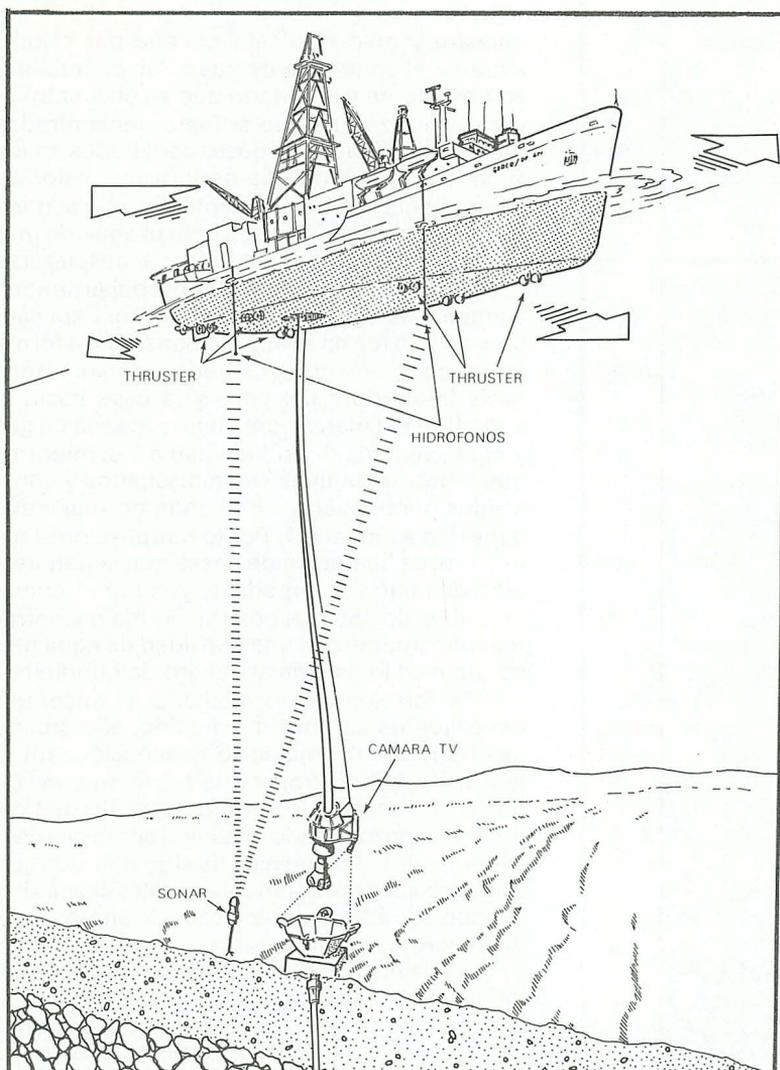
Una vez que la nave llega al lugar escogido para perforar se mide la profundidad del agua con el PDR (Precision Depth Recorder), pero además son tomados en consideración diversos factores, por cuanto al mantener una extensa tubería suspendida cualquier error o inexactitud puede ocasionar grandes contratiempos. Uno de ellos es la temperatura; cuando la larga tubería es desplegada en aguas tropicales sufre una contracción de aproximadamente un metro por cada 4.500 metros de longitud. El posicio-

namiento consiste en que a pesar que el buque puede mantener su posición relativa al uno por ciento de la profundidad del agua, en aguas de 5 mil metros de profundidad ha habido derivas laterales de 50 metros; cuando el barco no está exactamente sobre el pozo se hace difícil calcular la razón entre la vertical que debe tener la tubería con la horizontal en relación al desplazamiento del buque. Por su parte, cuando las corrientes superficiales son fuertes tienden a curvar la tubería e incluso a darle una forma de S. Aunque el efecto de las mareas es insignificante en el océano abierto, el buque encontró una variación de 1,5 metros durante el crucero 111, cuando se hallaba trabajando frente a Ecuador, lo que le ocasionó problemas cuando trataba de utilizar el cono de reentrada.

Equipo de perforación utilizado

Cuando el buque se encuentra en el sitio seleccionado, las labores son desarrolladas las 24 horas del día. Entre la cubierta para helicóptero (a popa) y la torre (al centro del buque) son estibados los tubos, de 9,5 metros de longitud cada uno, que ensamblados en grupos de tres alcanzan la profundidad deseada; el primero de ellos lleva en su parte delantera el barreno, cuyo tipo depende del material encontrado; es así como se trabaja básicamente con cuatro de ellos: el Rotary Core Barrel (RCB), el Advanced hydraulic Piston Core (APC), el Extended Core Barrel (XCB) y el Motor-Driven Core Barrel (MDCB). Esta extensa tubería, con su barreno en el extremo, mantiene "anclado" el buque al fondo; por el interior de ella se baja por gravedad un tubo de 9,5 metros que en su interior lleva un tubo plástico de la misma longitud, que calzan perfectamente; por el interior del tubo plástico (4 mm de grosor) llega a bordo la muestra de sedimentos y roca dura.

Uno de los mayores logros tecnológicos en este tipo de operación es el *re-entry cone* o cono de reentrada. En algunas ocasiones se hace necesario cambiar el barreno, ya sea porque no es adecuado para el tipo de material encontrado o bien porque sufre deterioro. En tal caso todo el arreglo de tuberías debe ser izado, lo cual implica una maniobra riesgosa así como una pérdida enorme de tiempo. Por ello es que previo al izado de los miles de metros de tuberías es enviado al fondo un cono (no recuperable) similar al tradicional embudo doméstico, que tiene una abertura en uno de sus lados y un sistema de bisagras en el lado opuesto, de tal forma que se ajusta en torno al tubo y luego es cerrado y enviado por gravedad al fondo, ocupando la entrada del pozo perforado. Sólo



El "SEDCO/BP 471" DURANTE OPERACION DE BUSQUEDA DEL CONO DE REENTRADA

en ese momento es izado el resto del sistema, por lo que el proceso de reutilización del pozo se facilita debido al apoyo que presta el o los sonares desplegados en el fondo y los hidrófonos adosados al casco de la nave.

Profundización del pozo y técnicas de seguridad en la perforación

La continua perforación de un pozo requiere de una técnica que permita, por un lado, enfriar el cono del barreno debido a que la fricción de éste con la roca genera altas temperaturas, y por otro lado eliminar el material de desecho que va dejando el barreno; en caso contrario éste no podrá seguir penetrando, ya que el mis-

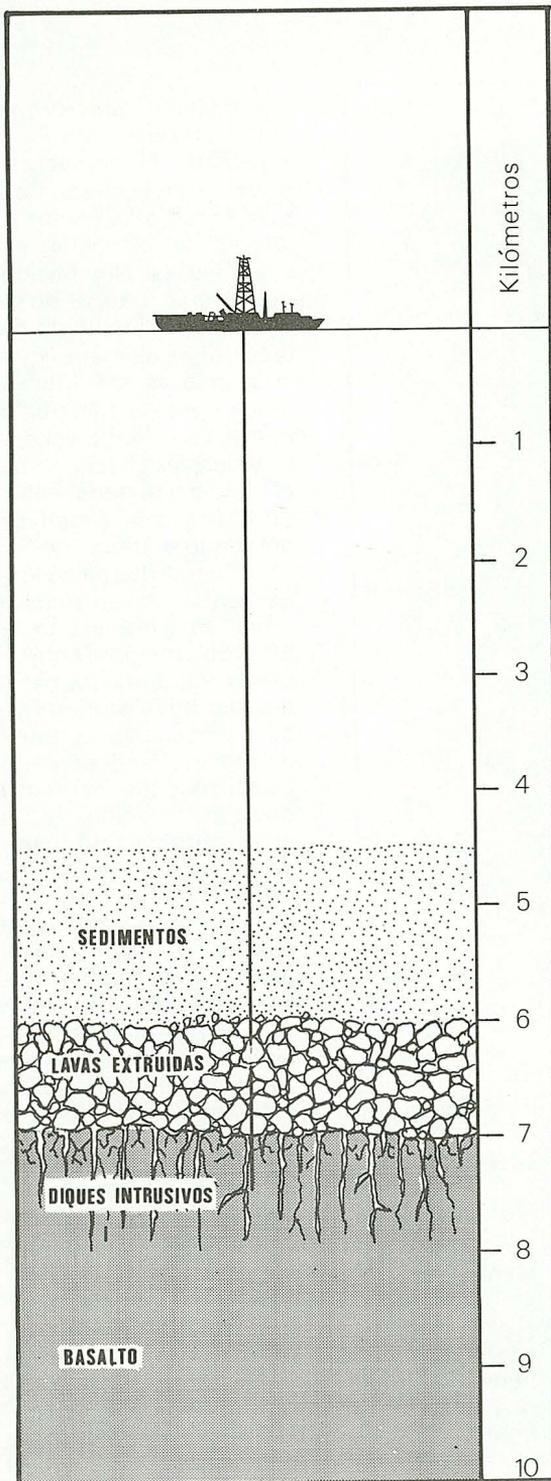
mo material que rompe bloquearía el taladro. Para solucionar el primer aspecto se inyecta agua de mar a gran presión por el interior de la tubería; en cuanto a la eliminación del material de desecho se utiliza barita (derivado de la baritina), elemento químico que es más denso que el agua de mar, por lo que se va al fondo del pozo y desplaza hacia arriba el resto del material hasta que llega a la superficie del fondo marino.

Cuando los niños juegan en la playa cavando hoyos en la arena, uno de los problemas que enfrentan es evitar que las paredes del hoyo se derrumben, por cuanto la arena es material sedimentario no consolidado. En el caso de la perforación de un pozo a grandes profundidades ocurre algo parecido. Una vez que se deja de perforar, la tubería que conecta el buque con el pozo es utilizada para enviar sensores que miden diversos parámetros, tales como temperatura, porosidad y otros. Pues bien, antes que tales sensores sean lanzados se envía abajo una mezcla de barita y gel que impide el derrumbe de las paredes del

pozo, con lo que las mediciones son efectuadas en mejores condiciones.

Otro aspecto de interés es el siguiente: ¿Qué ocurriría si en alguna perforación se encuentran depósitos de gas o de combustible líquido? Ello también está contemplado dado que es algo que podría ocasionar graves accidentes. Al respecto, es necesario establecer que el SEDCO/BP 471 está acondicionado como nave de perforación y exploración pero no de explotación, aunque la tecnología de avanzada desarrollada con la experiencia adquirida con este buque, indudablemente, permitirá construir barcos o, en este caso, readaptarlo para que en el futuro pueda realizar tales labores.

Pues bien, cuando un testigo de 9,5 metros



ESQUEMA DE UNA OPERACION DE PERFORACION

de largo, a veces menos, llega a cubierta, el primer especialista que toma contacto con la muestra es el químico orgánico, quien inserta una jeringa en el tubo plástico que contiene la

muestra y mediante esto obtiene por el otro extremo el contenido de gases (si los hubiera) en un tubo de precipitado que se encuentra al vacío. La razón es que si fueran encontradas grandes cantidades de gases contenidos en los sedimentos, debido a la perforación, éstos se verían liberados bruscamente. En tal caso los gases entrarían en contacto con el agua de mar creando un campo de burbujas; al desplazarse hacia la superficie del mar, las burbujas tienden a ampliar su campo de propagación. Explicándolo en una forma simple, lo harían en la forma de un cono invertido, es decir, con su vértice hacia la abertura del pozo y la base hacia la superficie del mar. Ahora bien, la mezcla de gas y agua crea una densidad igual a 0,6, mientras que todos los buques están diseñados y contruidos para navegar en el agua normal, cuya densidad es igual a 1. Por lo tanto, se produce una brusca liberación de gases que serían desplazados hacia la superficie, y como el buque está ubicado sobre el pozo se podría encontrar repentinamente con una densidad de agua menor, lo cual lo llevaría al peligro de hundirse.

En relación a la posibilidad de encontrar depósitos de combustible líquido, ello crearía un enorme problema de contaminación, por lo que ha sido desarrollada la tecnología de un tipo de cemento que permite tapar herméticamente un pozo usando la tubería como elemento conductor. Esta técnica ha sido utilizada con frecuencia, no precisamente en tales casos sino cuando se ha encontrado pozos de interés científico pero que, por no tenerse los elementos a bordo o la tecnología del momento para trabajarlos, se los ha sellado con el propósito de volver en años posteriores para continuar perforando más abajo. Tal es el caso de la etapa anterior a la que fue efectuada en el sur de Chile; durante el crucero 140, llevado a cabo sobre el eje de la dorsal de Juan de Fuca, frente a la península de Baja California, fue reabierto un pozo para continuar perforándolo, pudiendo hacerlo hasta una mayor profundidad; esta vez se perforó hasta 2 mil metros bajo el fondo marino. Vale la pena mencionar que la mayor profundidad alcanzada en este tipo de trabajos en el mar es de 4.367 metros, durante el crucero 117 realizado en 1987.

Finalmente, debe tenerse en consideración que se perfora sobre un elemento sólido partiendo desde una plataforma inestable, por cuanto el buque no sólo está a expensas de las corrientes que tienden a desplazarlo lateralmente de su lugar, sino que también las olas hacen que suba y baje. Para evitar que la extensa tubería y el barreno sientan los bruscos cambios de peso por los movimientos vertica-

les del buque se cuenta con un equipo compensador montado en la torre de perforación, que mantiene un peso relativamente constante sobre el tubo y su taladro perforador, actuando como un fuelle neumático que se ajusta por la presión de acuerdo a las variaciones de peso que vienen desde arriba.

Laboratorios

Tradicionalmente, los buques científicos que desarrollan investigaciones en el área de la geología y la geofísica marina se limitan a obtener las muestras de rocas y de sedimentos no consolidados o bien la información obtenida por métodos sísmicos, todo lo cual es procesado y analizado en los laboratorios en tierra. Existen algunas excepciones, tales como el buque alemán *Sonne*, que posee laboratorios para sedimentos y rocas, además de un bien equipado laboratorio químico y de rayos X, todo lo cual permite llevar a cabo un análisis grueso a bordo.

El *JOIDES Resolution* posee lo que ha sido considerado el mayor laboratorio flotante, lo cual permite a científicos y técnicos analizar las muestras, procesar los datos computacionalmente y confeccionar los gráficos correspondientes, por lo cual al término de un crucero cada equipo de trabajo entrega sus respectivos trabajos, de tal forma que a los pocos meses sale publicado un volumen denominado *Initial Report of the Ocean Drilling Program*.

A continuación será descrito brevemente cada uno de los laboratorios, los que se hallan distribuidos en siete niveles, cuatro sobre la cubierta principal del buque y los tres restantes bajo ella.

La labor es iniciada cuando el largo tubo metálico (de aquí en adelante identificado como *corer*) llega a cubierta; los técnicos a cargo de la perforación extraen el tubo plástico interior con la muestra y el especialista en química orgánica toma una muestra para verificar el contenido de gases. Luego los técnicos cortan los 9,5 metros de *corer* en secciones de 1,5 metros cada una, para luego cortar éstas por la mitad, vale decir, cortando cada cilindro a lo largo; una de esas partes es la "mitad de trabajo", de la cual todos extraen sus respectivas muestras, y la otra es la "mitad de archivo", que permanecerá como respaldo para cualquier investigación futura. Numerosos investigadores, tanto los que se encuentran participando como otros que no están a bordo, solicitan muestras para sus trabajos personales, antes de ser iniciado el crucero. Todas esas solicitudes son evaluadas por los jefes científicos y, en caso de ser aprobadas, tanto sus muestras como las que

son analizadas a bordo son extraídas desde la "mitad de trabajo".

—*Laboratorio de propiedades físicas*. Los especialistas analizan y evalúan el contenido de sus muestras, estudiando primero las propiedades físicas de toda la sección. Ello se hace empleando el Gamma Ray Attenuation and Porosity Evaluator (GRAPE), instrumento que hace un barrido radiactivo (con rayos gama) a toda la sección de donde será obtenida después la muestra. La cantidad de radiación que pasa a través de la muestra se relaciona con la densidad del material. Este método detecta rápidamente cualquier cambio de densidad, incluyendo nódulos. También mide la porosidad y las características de los materiales magnéticos en los *corer*.

Otros instrumentos son: El que estudia la "conductividad térmica" y que evalúa el flujo calórico que tienen las rocas a esa profundidad; el "velocímetro", que mide la velocidad del sonido transmitido a través de sedimentos y rocas, y el "sicómetro", que mide el volumen de las muestras.

—*Laboratorio de paleomagnetismo*. En él son estudiados los cambios del campo magnético terrestre a través del tiempo. Los cambios más notables en la polaridad magnética de la Tierra ocurrieron hace 50 mil a 30 millones de años, momento en el cual los polos magnéticos norte y sur se invirtieron. Los sedimentos y rocas volcánicas depositadas en el fondo marino registran tales cambios. Al respecto, quienes estudian estos aspectos utilizan un "magnetómetro criogénico" que registra el campo magnético terrestre al momento en que se formaron los minerales contenidos en los sedimentos. Con esta información es posible determinar la historia de las inversiones de polaridad que ha tenido la Tierra a lo largo del tiempo, de lo cual se puede concluir la edad de las rocas. Por su parte, los "desmagnetizadores" miden la desmagnetización térmica y la susceptibilidad magnética del material en estudio.

—*Laboratorio de rayos X*. Emplea dos tipos de instrumentos; el primero es el "difractómetro de rayos X", que usa esta técnica para examinar y clasificar la estructura mineralógica, por cuanto cada mineral posee un modelo de difracción único. A través de complejos programas de computación se rastrea entre decenas de miles de tales modelos para identificar los minerales. El otro equipo es el de "fluorescencia de rayos X", a través del cual se estudia la geoquímica de las rocas, pudiendo obtenerse la identificación de 10 elementos mayores y 15 elementos traza por cada muestra analizada, con un gran grado de exactitud.

—*Laboratorio químico.* Los geoquímicos analizan en las muestras de *corer* la composición química del lecho oceánico y su evolución. Como fuera explicado, ellos llevan a cabo los primeros y más críticos análisis de los *corer* traídos a bordo. Extraen las muestras de gas que después inyectan en el "cromatógrafo de gases" para obtener la cantidad y calidad de los gases. Mediante el empleo de una variedad de instrumentos y técnicas también analizan los minerales, la materia orgánica y el agua contenidos en sedimentos y rocas.

—*Laboratorio de petrología.* Recibe el apoyo del Laboratorio de Secciones Delgadas, que se preocupa de tomar muestras de roca dura y/o sedimentos consolidados (duros), cortarlos de una forma muy delgada, cual si fueran mantequilla, luego pulirlos hasta que quedan de un espesor de 0,03 milímetros, de manera que la estructura interna de la roca puede ser estudiada al microscopio por los petrólogos en cuatro microscopios que tienen a su disposición. Dos de ellos tienen adosados permanentemente cámaras fotográficas, mientras que a los cuatro se les puede conectar cámaras de video para que los científicos puedan ver a través de una pantalla la calidad y cantidad de minerales que contiene la muestra.

—*Laboratorio de sedimentos.* Los sedimentólogos analizan este tipo de muestra y proceden a hacer una descripción, capa por capa, estudiando al microscopio algunas muestras especiales con el propósito de investigar sobre los minerales que contienen los barros como también los microorganismos que allí se encuentran.

—*Laboratorio de paleontología.* Cuando cada *corer* llega a cubierta, los paleontólogos toman sus muestras para determinar la edad de los microfósiles, de los pequeños esqueletos y de organismos marinos de menos de un milímetro de tamaño que es posible encontrar en las muestras. Ellos recuperan estos fósiles desde los sedimentos y examinan su estructura interna con el apoyo del "microscopio petrográfico", que emite luces que pasan a través de los especímenes; con el "microscopio estereográfico" estudian sus características superficiales.

—*Laboratorio fotográfico.* Dos técnicos se encargan, desde la denominada "mitad de archivo", de fotografiar todos los *corer*, en blanco y negro para el informe general poscrucero y en color para investigaciones a futuro. También sacan copias fotográficas de todos los registros sísmicos que realiza el barco cuando va en navegación de un punto a otro y dan apoyo a los

científicos que desean obtener fotografías para sus propias investigaciones.

—*Laboratorio de geofísica marina.* Los científicos de este laboratorio están a cargo de la obtención de datos tanto cuando el buque se encuentra navegando como cuando se halla estacionado haciendo una perforación. Para el primer caso llevan un registro computacional de toda la navegación.

Junto a lo anterior se encargan de registrar la profundidad del buque en todo momento utilizando el sonar llamado Precision Depth Recorder (PDR), que funciona en 12 KHz, o bien el ecosonda de canal simple Raytheon, que sirve para registrar la profundidad y espesor de la capa de sedimentos depositados sobre el fondo marino y que emplea la frecuencia de 3,5 KHz. Otro instrumento es el Magnetómetro Geometrics 801, que mide las variaciones del campo magnético de las rocas y sedimentos que se encuentran sobre el lecho del mar. Finalmente, se encargan de efectuar mediciones de refracción sísmica multicanal, que consiste en el envío de una burbuja de aire a través del emisor llamado "cañón de aire" (air-gun), a través del cual se emite aire de varios miles de libras de presión. Simultáneamente, el barco remolca dos hileras de hidrófonos que registran la señal una vez que ésta atraviesa las capas de sedimentos del fondo. Habitualmente es una técnica utilizada para averiguar dónde obtener muestras de sedimentos superficiales.

Sistema computacional usado a bordo

El *JOIDES Resolution* está equipado con un sistema computacional que permite a científicos y técnicos llevar a cabo las labores rutinarias de investigación a bordo. Consta de cuatro computadores principales, dos VAX 11/750S y dos VAX 3500S, que están conectados a todos los equipos periféricos, consistentes en 60 microcomputadores distribuidos por todo el barco, que incluyen IBM-PC AT, Apple Macintosh II, SE y Plus, todo lo cual permite desarrollar diversas funciones, tales como ingreso de datos derivados del análisis de las muestras, dibujos de todo tipo de gráficos, preparación de manuscritos, control de inventarios, control de la parte ingenieril de la perforación. Asimismo, durante las 24 horas del día se encuentra disponible un analista, que junto con actualizar diariamente los archivos atiende las consultas de los usuarios.

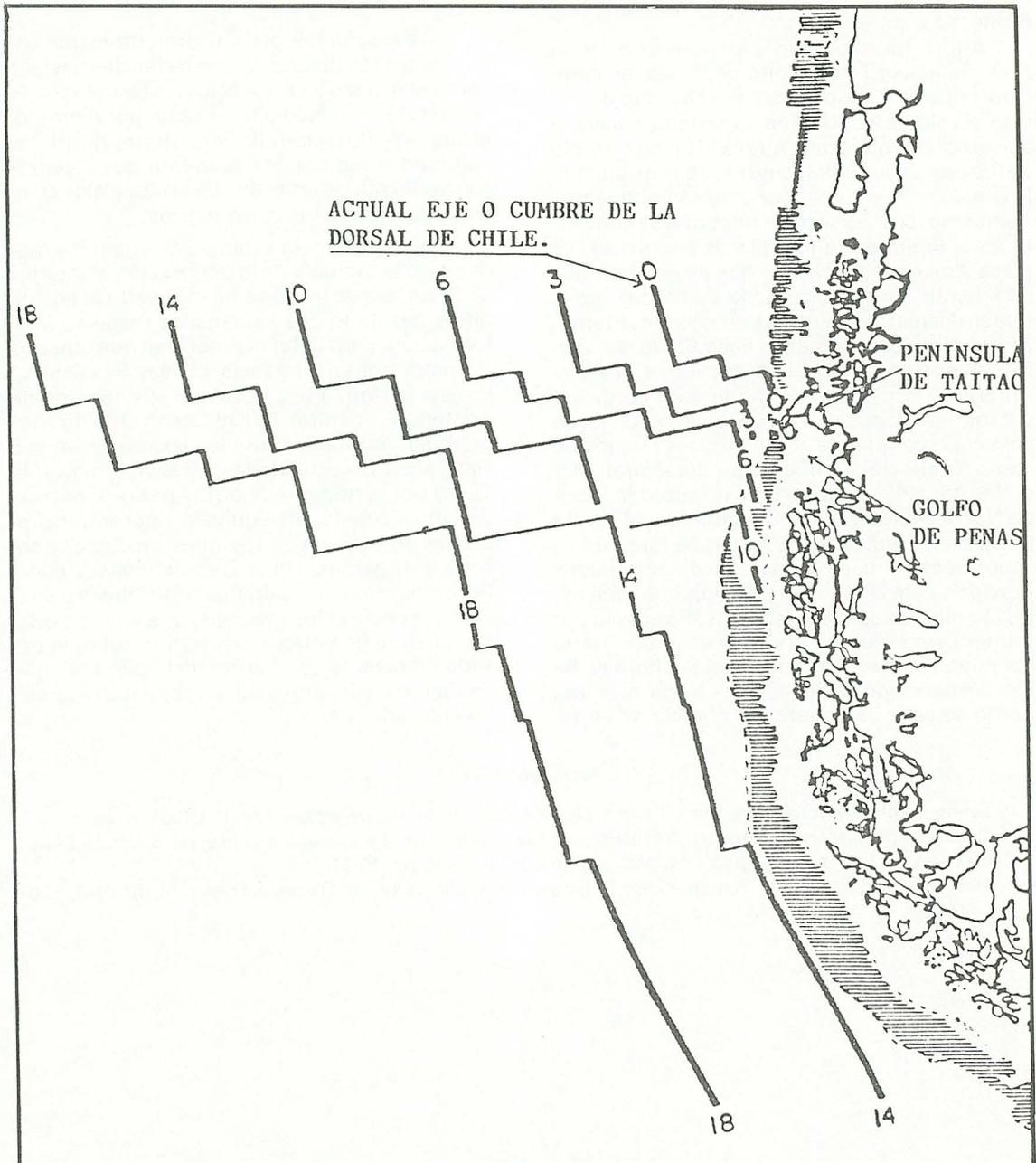
A bordo se encuentra archivada computacionalmente toda la información obtenida durante los 15 años de actividades del DSP (cruceos 1 al 96) y los correspondientes al ODP (desde el 1 al 138); el acceso a la información es rápido

y flexible y, como comentario al margen, su almacenamiento equivale a 3,5 gigabytes (casi un millón de páginas).

Biblioteca

La biblioteca del buque consta de alrede-

dor de 800 publicaciones que contienen referencias básicas. También se hallan todos los volúmenes del ODP y un conjunto con todos los DSDP, mapas geológicos, cartas batimétricas y monografías que cubren variados aspectos de geología, geofísica, geoquímica, ingeniería, computación, etc.



EVOLUCION EN EL TIEMPO DE LA DORSAL DE CHILE
(Valores indicados en millones de años)

EL CRUCERO 141 DEL ODP

En más de veinte años que está siendo perforado el suelo marino en todos los océanos, el Pacífico suoriental había sido el menos investigado hasta ahora. Dos cruceros anteriores, uno con el *Glomar Challenger* (N° 34) y el otro con el *SEDCO/BP 471* (N° 112), fueron efectuados frente al Perú.

Ahora fue realizado un crucero frente al área península Taitao-golfo de Penas, en atención a que es el único lugar en el mundo donde una cordillera submarina (o dorsal) colisiona con el continente, por lo que es el único ejemplo de los procesos geológicos que ocurren cuando la dorsal se hunde bajo una masa continental. Asimismo, su intersección hace que se convierta en el límite entre tres placas tectónicas: La Placa Americana, sobre la que se encuentra el continente sudamericano; la Placa de Nazca, que se desplaza en sentido opuesto a la anterior, convergiendo ambas en la Fosa Chile; por último, al sur de la dorsal se encuentra la Placa Antártica. Por lo tanto, donde esta cordillera submarina (conocida como Dorsal de Chile) se conecta al continente ocurre lo que es conocido como Triple Unión, que se produce alrededor de los 46° 12'S. Al norte de esa latitud la Placa de Nazca se desliza bajo Sudamérica. Al sur de la citada latitud, la Placa Antártica también es "succionada" bajo Sudamérica. Resultados previos a este crucero han demostrado que hace 14 millones de años esta dorsal contactó por primera vez el continente en la latitud de Tierra del Fuego y desde entonces hasta ahora se ha ido desplazando oblicuamente hacia el norte. Como se sabe, la corteza del planeta se forma

continuamente en la longitud de las fracturas que tienen las dorsales a lo largo de sus cumbrones y donde éstas colisionan con el continente su edad geológica es muy joven (del orden de los 3 millones de años y menos). En la península Tres Montes, situada en un extremo de la península de Taitao, hay rocas que corresponden al fondo marino.

Los resultados preliminares muestran interesantes resultados, tanto en ciencias básicas como aplicadas y en aspectos de tecnología de perforación. En este último caso, por ejemplo, el buque pudo desarrollar sus labores normales con fuertes temporales de viento que alcanzaron los 55 nudos (más de 100 Km/h) y olas cuya altura alcanzaba los cinco metros.

Por lo pronto, la exploración científica mediante la tecnología de la perforación al interior de la corteza de la Tierra ha mostrado aspectos diferentes de lo que se pensaba respecto a su formación. Pero debe reconocerse que aún nos encontramos en la infancia. El Deep Sea Drilling Project perforó 1.092 pozos en sus 15 años de existencia, mientras que el Ocean Drilling Program ha perforado sobre los 600 pozos en sus siete años de actividades. Si dividiéramos la Tierra por el número de pozos perforados, nos daríamos cuenta que equivale a hacer perforaciones en una o dos regiones de Chile, para conocer la geología de la Tierra a través de ellos. Sin embargo, sus resultados contribuyen a analizar y mensurar los procesos que en ellas ocurren, dando una nueva percepción sobre el pasado, presente y futuro del planeta que habitamos, para aprovechar mejor los recursos que nos entrega.

BIBLIOGRAFIA

- Lewis, Stephen y Berhmann, Jan: "Chile triple junction", en *Scientific prospectus* N° 4/1991, p. 46.
- Cande Stephen y Lewis Stephen: "Investigating the subduction of a spreading center off southern Chile", en *Lamont-Doherty geological observatory publication*, 1988, pp. 18-31.
- Ocean Drilling Program: "Handbook for Shipboard scientific party", en *Technical report* N° 10/1988, p. 67.

* * *