TÉCNICAS Y MÉTODOS DE ESTUDIO EN GEOLOGÍA MARINA
1.-TÉCNICAS DE MUESTREO
2.-TÉCNICAS ACUSTICAS
3.-TÉCNICAS DE GEOFISICA
4.-TÉCNICAS DE LABORATORIO
- Análisis granulométrico y textural
- Análisis de componentes de la fracción arena
- Análisis de rayos X
- Ensayos Geotécnicos
- Análisis molecular
- Tratamiento estadístico
BIBLIOGRAFÍA DE INTERÉS

TÉCNICAS Y MÉTODOS DE ESTUDIO EN GEOLOGÍA MARINA

La Oceanografía, en general, es una ciencia joven pero con una historia relativamente larga. Ya en los siglos XVII y XVIII comenzaron los primeros intentos de los científicos por estudiar el medio marino, pero los resultados fueron muy pocos. La mejora importante tuvo lugar en el siglo XIX que con los avances tecnológicos tuvo lugar por primera vez la exploración sistemática del medio marino. Una contribución importante al desarrollo de la tecnología para la geología marina vino dado con el avance de las comunicaciones telegráficas que permitió una exploración progresiva de los medios marinos profundos.

La capacidad de medición y obtención de datos constituye el primer paso en cualquier investigación científica. En Geología Marina la disponibilidad de barcos resulta imprescindible, ya que representan el laboratorio flotante donde se instalan las diferentes técnicas de medición y obtención de datos, que posteriormente serán analizadas en detalle e interpretadas mediante otras técnicas de laboratorio y de gabinete. Las técnicas empleadas para la obtención de datos en las campañas de geología marina comprenden tres grandes grupos: técnicas de muestreo, técnicas acústicas y técnicas de geofísica

1.-TÉCNICAS DE MUESTREO

Las muestras del fondo marino se obtienen con unos equipos denominados dragas y sacatestigos. Estas técnicas permiten conocer los tipos de sedimento que conforman el fondo marino y el subfondo. La definición de los tipos de sedimento así como su distribución vertical, es decir a lo largo del tiempo, y superficial permitirán conocer los procesos sedimentarios más recientes que han controlado la evolución reciente del fondo marino.

Las **dragas** permiten una obtención superficial del sedimento, pero sin una preservación de los primeros centímetros de su estratigrafía ya que aparece totalmente removilizado. La draga consiste en dos muelas o cucharas que penden de un cable, y permanecen separadas cuando

descienden por la columna de agua. Cuando la draga toca fondo, las muelas o cucharas de hincan en el sedimento superficial y el dispositivo que las separa se libera. El sedimento es recogido o bien porque las muelas se cierran con presión, o bien cuando se iza a la draga. Representa una técnica pionera empleada en las primeras expediciones para conocer como era el sedimento que recubría los fondos marinos. Su utilización se remonta al siglo XIX. Actualmente se siguen empleando, ya que tienen la ventaja de ofrecer una primera visión del tipo de sedimento y procesos sedimentarios que caracterizan los ambientes sedimentarios modernos. Además, desde el punto de vista tecnológico su utilización y manejo a bordo es fácil por lo que puede ser empleado incluso en condiciones de mala mar.

draga de cuchara modelo "Van Been"

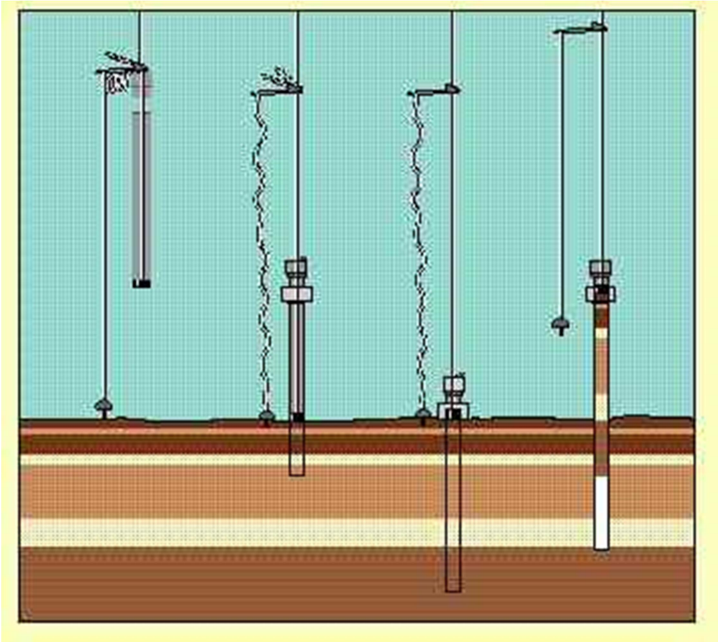
Los sacatestigos permiten la obtención de testigos continuos de sedimento que conservan las estructuras y las secuencias sedimentarias. El más simple de todos es el **sacatestigos de gravedad**, que consiste en una cabeza cilíndrica de gran peso (<500 kg o más), con lanzas de acero de varios centímetros (9, 11 cm) de diámetro y varios metros de longitud, con ojivas de acero en su extremo y sistema para retención de sedimento en flejes de acero inoxidable. Para la toma de muestras el equipo se utiliza una camisa interna de PVC. Este sistema de muestreo funciona mediante la adquisición de energía cinética en su caída libre hasta el fondo durante un recorrido de 25-40 m. Una vez alcanza el fondo y debido a la energía acumulada el equipo penetra en el sedimento, que queda dentro de la camisa interna de PVC siendo retenido por el sistema de cierre de lanza. El sedimento es recogido y conservado dentro de los cilindros de PVC, previamente cerrados herméticamente para su mejor preservación y convenientemente etiquetados.

Otro sistema de sacatestigos, pero más sofisticado, es el **sacatestigo de caja**, que tiene un diámetro mayor para reducir la fricción, hecho que favorece además que se puedan tomar varias muestras del mismo nivel de sedimento. Este sistema no se hinca en el sedimento por gravedad, sino que dispone de una guillotina que se acciona cuando el sacatestigos toca fondo. La guillotina secciona el sedimento por la parte inferior de la caja, quedando el sedimento atrapado dentro de la misma. Este sistema de guillotina y el amplio diámetro permite que la interfase agua-sedimento quede bien preservada, pudiendo incluso estudiarse las estructuras sedimentarias superficiales. La longitud de sedimento obtenido es de varios decenas de centímetros.

Un sistema similar al sacatestigos de caja pero aun más complejo es el sistema de **multicore**, que consiste en un trípode multitubo de muestreo del sedimento superficial (hasta 40 cm) y de la interfase agua-sedimento con un alto grado de preservación. Tras depositarse el sistema

sobre el fondo, el equipo entra en funcionamiento introduciendo hasta ocho tubos de metacrilato dentro del sedimento gracias a un dispositivo hidráulico de pistón. Estos tubos quedan herméticamente cerrados por su base y techo.

El **sacatestigos de pistón** fue diseñando para la obtención de testigos largos de sedimento, de hasta 50 m.



La acción del pistón dentro de la camisa reduce la fricción interna, succionando el sedimento dentro la camisa. Los sacatestigos de pistón, al igual que los de gravedad, pierden la interfase

agua-sedimento, el cual al ser material no consolidado es expulsado al exterior.

Muestreando testigos de pistón

La técnica empleada para la obtención de rocas del fondo marino, es un sistema muy complejo que conlleva la instalación de **torres de perforación**. La tecnología es similar a las perforaciones realizadas en tierra.

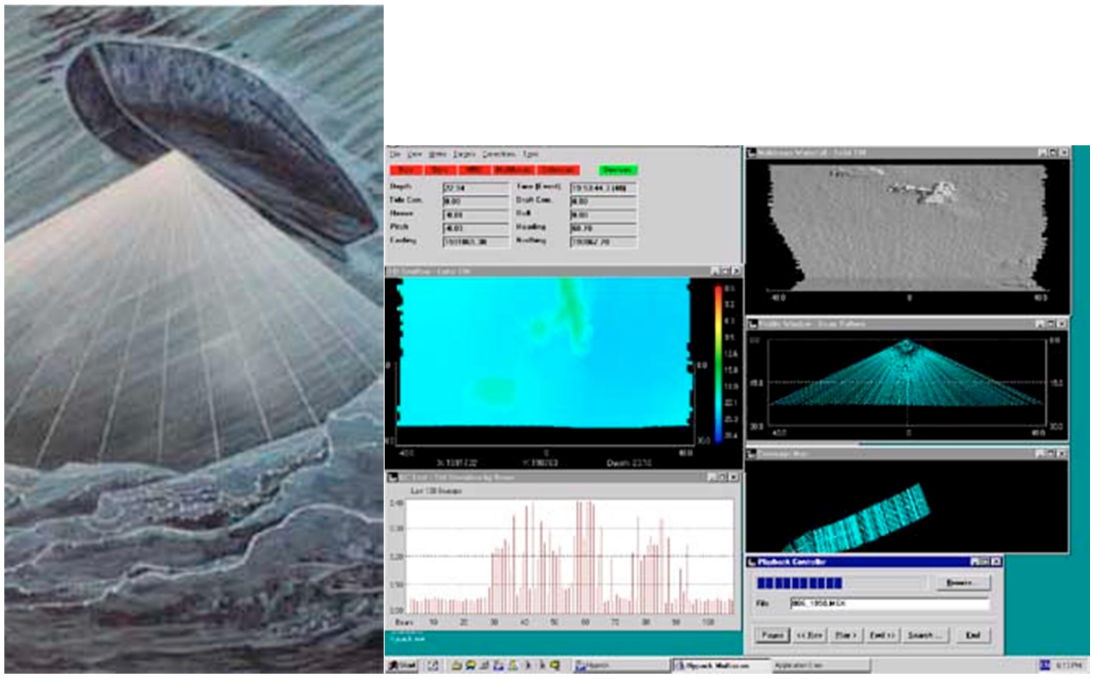
Barco de perforación

2.-TÉCNICAS ACÚSTICAS

Son métodos físicos que permiten conocer la morfología del fondo marino y la estructura del subfondo marino de un modo indirecto. Una de las técnicas más empleadas es la sísmica de reflexión. El principio de funcionamiento consiste en la emisión de ondas acústicas que cuando cambian las condiciones del medio (cambios de impedancia acústica), debido por ejemplo, a la interacción con el fondo marino o los diferentes niveles o estructuras sedimentarias del subfondo marino, parte de la energía se refleja. La profundidad a la que se obtiene el reflector al que corresponde dicho eco, se obtiene en tiempo doble. Las técnicas acústicas generalmente se agrupan en función de su frecuencia de emisión y naturaleza de la fuente acústica. Estos condicionan a su vez la penetración y la resolución del sistema, relación que es inversa, de modo que a mayor penetración se obtiene menor resolución y viceversa. La resolución se utiliza en los estudios de mucho detalle, o lo que es lo mismo en los estudios de alta resolución. Por el contrario, la penetración se emplea en aquellos estudios que pretenden

conocer como es la geología profunda, en detrimento de los detalles. Entre ambos extremos existe toda una gama de técnicas que habitualmente se emplean de forma conjunto al objeto de tratar de conseguir ambos efectos: resolución y penetración.

Las **ecosondas** permite conocer la profundidad del mar. Estos sistemas se basan en la medida del tiempo que tarda una onda acústica en recorrer la distancia existente entre el punto de partida y el fondo del mar donde se refleja, y su retorno al punto de partida. La emisión y recepción acústica se realiza generalmente a través del mismo transductor que convierte las variaciones mecánicas en pulsos eléctricos y viceversa, de forma que en la emisión, la energía eléctrica se convierte en acústica, y en la recepción de la onda acústica se transforma en señal eléctrica. El rango optimo de frecuencias se extiende de 15 a 200 kHz y se elige en función de calado, naturaleza del fondo y tipo de equipo. Los transductores se sitúan generalmente en el casco del barco con el haz orientado verticalmente hacia el fondo. El haz puede comprender o bien un sólo pulso, o bien una banda de pulsos que se distribuyen con una ángulo variable a babor y estribor del barco. Estos últimos, que representan los mayores avances en sistemas de ecosonda reciben el nombre de **sondas multihaz**.

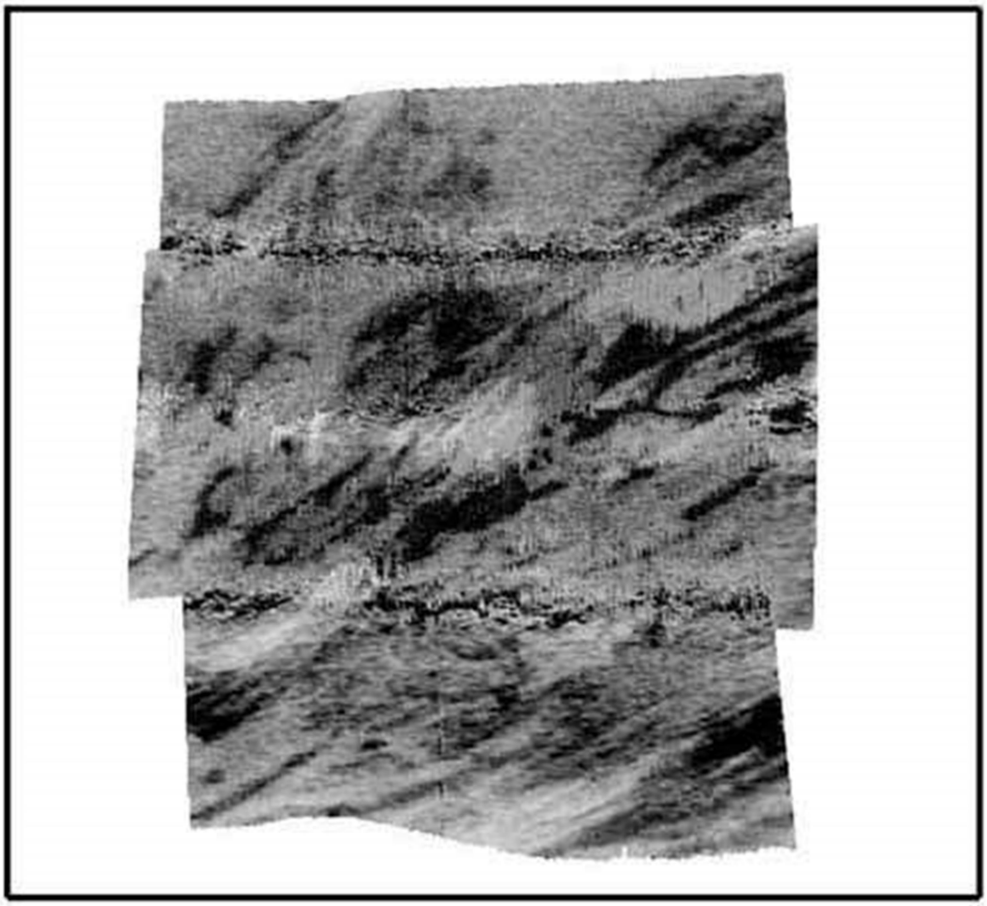


Pantalla de control de la sonda multihaz "SeaBeam"

En España se disponen de dos sistemas de sondas multihaz instalados a bordo del buque BIO-Hespérides, EM12 y EM 1000. La ecosonda multihaz EM12 trabaja a profundidades de centenares y miles de metros y llega a cubrir hasta dos veces y medio la profundidad del agua a la que se trabaja. La ecosonda multihaz EM 1000 trabaja a profundidades de hasta 400 m y permite la observación de un área hasta 7 veces la profundidaddel mar a la que se está trabajando.

La técnica de los **sonares de barrido lateral** se desarrolló a finales de 1950 a partir de experimentos utilizando la ecosonda inclinada respecto la vertical. Emplean transductores que emiten pulsos de altas frecuencias (10 a 500 kHz) y que están especialmente diseñados para

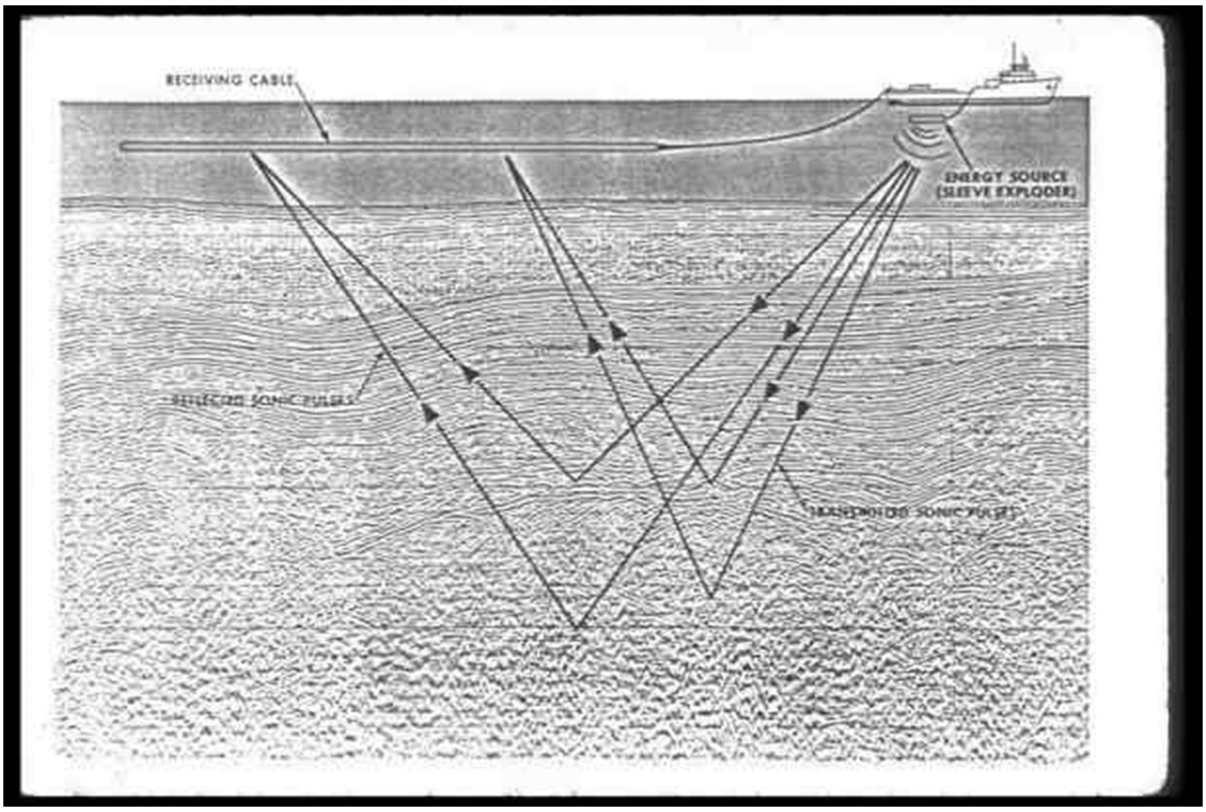
que emitan un haz concentrado de sonido que tienen un ángulo de abertura horizontal de menos de 21 y un ángulo de abertura vertical mayor de 201, y cada impulso de sonido es de muy corta duración (< 1ms). Presenta un sistema de doble canal para conseguir la máxima superficie de fondo cubierta por la linea de navegación. La imagen obtenida viene a ser como la de una fotografía aérea, y representa uno de los mejores sistemas diseñados para obtener una visión de como es el fondo marino. Las imagen del fondo marino se dibuja en tonos de grises en función de la reflectividad del fondo, y en dos coordenados, rango y distancia, a lo largo de la trayectoria seguida por el barco. La reflectividad es consecuencia directa de la morfología del fondo y orientación de las mismas, así como del tipo de sedimento que conforma la superficie y los primeros centímetros del subfondo. El avance tecnológico ha permitido la construcción conjunta de un sistema de sonar de barrido lateral y de sonda multihaz, lo cual ha favorecido las interpretaciones geológicas, dado que permiten identificar con gran precisión si los cambios en la reflectividad del fondo pueden ser causados por variaciones de relieve o de textura.



Mosaico realizado con perfiles de sonar de Barrido

En los sistemas de **sísmica de reflexión** la recepción de los ondas reflejadas se efectúa sobre un soporte continuo en sentido transversal, en cuyo extremo se localiza el cero de la emisión, y a diferentes intervalos los trazos de los ecos recibidos. En sentido longitudinal del soporte donde se registra, y a una distancia tal que no se superponga a la traza, pero que tampoco quede separada, se repite el proceso de emisión de otro pulso, con la consiguiente recogida de nuevos ecos, y así sucesivamente. Estos receptores de las ondas acústicas reciben el nombre

de hidrófonos (Fig.). Como el buque va navegando siguiendo una trayectoria establecida, el resultado es un gráfico, donde se representa la disposición de fondo del mar y de los diferentes reflectores a modo de líneas. Estas líneas no tienen porqué coincidir con el concepto de capa, niveles, o estratos que se utilizan en Geología, ya que también pueden corresponder a interfases físicas relacionadas con la existencia de fallas, zonas con gas, superficies de erosión, etc. Los técnicas de sísmica monocanal de reflexión comprenden una amplia gama de emisores acorde a la penetración y resolución que se desee conseguir. Entre las técnicas más empleadas están las siguientes: 3,5 kHz, Boomer, Sparker, Geopulse y Uniboom, y Cañones de Aire (Fig.)



Sísmica de reflexión. Receiving cable= Hidrofono. El subfondo marino esta represntado por uno de los perfiles que se obtienen con esta técnica.

Cañón de aire. (Sleeve gun)

3.-TÉCNICAS DE GEOFÍSICA

Dentro de las técnicas de geofísica, las más representativas son el magnetómetro de protones y el gravímetro. El magnetómetro marino, es un sistema para medir campos magnéticos, incluye un ordenador de control y visualización, una fuente de alimentación, una CPU y un sensor los dos ultimos remolcados a una distancia de mas del doble de la eslora del barco para evitar interferencias. El primero almacena, visualiza e imprime en tiempo real los datos recibidos por el módem desde la CPU remolcada. La CPU remolcada contiene un conjunto electrónico que se encarga de la adquisición de la señal procedente del pez sensor y de su transmisión vía módem hacia el ordenador de adquisición, así mismo lleva incorporado un transductor de presión que le sirve para calcular la profundidad a la que se encuentra el sensor. El gravímetro es un sistema de adquisición de datos de gravimetr&iacutea.El sistema tiene un sensor montado en una plataforma giro-estabilizada. Los datos en bruto se procesan, filtran y escalan en un ordenador, que a su vez almacena los datos en disco duro y disquete. También se dispone de un registro impreso de todas las medidas efectuadas.

4.-TECNICAS DE LABORATORIO

Análisis granulométrico y textural

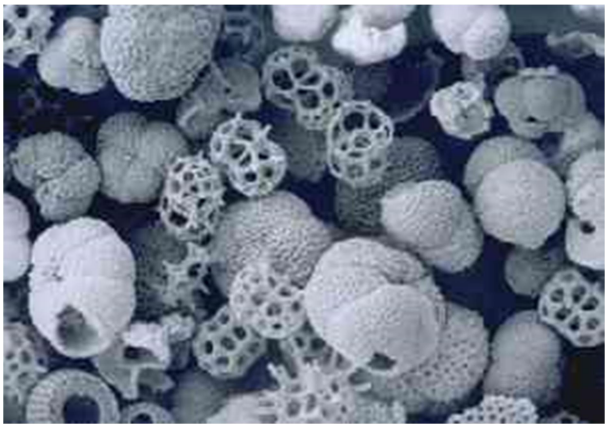
El análisis granulométrico se realiza dividiendo la muestra en dos fracciones mediante tamizado en húmedo a través de un tamiz estándar de 50 micras. La fracción gruesa es separada por tamaños mediante el tamizado en seco en una columna de tamices de aperturas entre 50 y 2000 micras o se analiza mediante la técnica del tubo de sedimentación. La fracción menor de 50 micras, se estudia mediante un analizador de tamaño de partículas (sedigraph o Coulter), con el que se obtiene una curva granulométrica en forma de porcentaje acumulativo, en peso, de la fracción entre 50 y 0,3 micras. El método más usado para esta descripción es el de los momentos o estadística-m.

Análisis de componentes de la fracción arena

La fracción mayor de 63 Fm se estudia mediante una lupa binocular, realizándose el contaje de 300 a 500 granos por cada muestra, identificándose entre diversos componentes biógenos y terrígenos. Los componentes analizados habitualmente son los siguientes:

- Terrígenos: Cuarzo, minerales ligeros, mica, y minerales pesados.

- Biógenos: Foraminíferos plantónicos enteros y fragmentados, foraminíferos bentónicos enteros y fragmentados, pterópodos, enteros y fragmentados y otros organismos no planctónicos (gasterópodos, bivalvos, corales, briozoos, espículas, ostrácodos...etc).



Arenas de Foraminíferos

- Otros componentes: minerales autigénicos de morfología variada, especialmente globosa o alargada, o formando rellenos internos de foraminíferos planctónicos, fundamentalmente constituídos por pirita y glauconita.

Análisis de rayos X

Los análisis de rayos X permiten estudiar las estructuras sedimentarias (laminaciones paralelas, onduladas, bioturbaciones, fracturas ...) que a simple vista no se observan durante la apertura y descriptiva del sedimento. Asimismo, las radiografías de sedimento permiten identificar variaciones en el tipo de textura del sedimento, límites entre tipos de sedimento, y detectar componentes biógenos dentro del sedimento.

Ensayos Geotécnicos

El propósito de un estudio geotécnico en el mar es conocer las propiedades mecánicas del sedimento y la respuesta del mismo frente a diferentes cargas de carácter externo o ambiental. Además de la presión ejercida por la columna de agua, el sedimento está sujeto a diversos esfuerzos causados por la propia carga sedimentaria, olas de diversos tipos...etc. Algunos esfuerzos de origen ambiental son de naturaleza cíclica y en áreas sísmicamente activas deben ser también investigados los efectos que los terremotos pueden producir sobre el sedimento del fondo. El conocimiento de las propiedades geotécnicas del sedimento puede ser fundamental de cara a la comprensión de los procesos que en él han tenido lugar, y que han quedado reflejados en su estructura, como el proceso de depósito, empaquetamiento del esqueleto sólido, modificación del mismo por diversas causas (bioturbación, generación de gas), grado de consolidación, cementaciones...etc. Asimismo, proporciona información acerca de la posible inestabilidad sedimentaria originada por los diferentes factores oceánicos y ambientales.

Un estudio geotécnico puede ser afrontado mediante la utilización de tres diferentes metodologías:

a) ensayos in-situ

b) ensayos sobre muestras en laboratorio

c) correlación empírica con propiedades índices, características geofísicas o tipo de sedimento.

Análisis molecular

Los análisis moleculares se utilizan en la disciplina de creación reciente denominada estratigrafía molecular, que se basa en el análisis de la materia orgánica que forma de las partes blandas de los organismos.La matera orgánica, compuesta por moléculas sintetizadas por organismos marinos y continentales, se halla casi siempre en los sedimentos marinos, aunque habitualmente en proporciones pequeñas (0,1 a 1 %). Esto es debido a que la mayor parte de la materia orgánica que entra, o que es generada directamente en el sistema marino, es destruida o asimilada durante su camino hacia el fondo, y una vez en él, también es destruida en los primeros estadios de la diagénesis. La estratigrafía molecular se basa, pues, en el estudio de biomarcadores, que son muchos y variados, así como de la información que de ellos se desprende. El continuo avance y desarrollo de la biogeoquímica ha permitido la identificación de un tipo de biomarcadores que permiten la estimación de la temperaturas siendo de gran aplicación a los estudios de Paleoceanografía y Paleoclimatología.

Tratamiento estadístico

El tratamiento estadístico es habitualmente utilizado en sedimentología, ya que con frecuencia estos estudios requieren el trabajo con un número considerable de muestras, en las que se han analizado diferentes propiedades, que se pretende agrupar en clases relacionadas genética o composicionalmente. La estadística, en estos casos, es una herramienta útil para la descripción y agrupación de las muestras, y permite establecer la relación entre las diversas variables cuantificadas. Un problema a considerar en la utilización de métodos estadísticos en sedimentología consiste en la selección de las variables a utilizar, debido al gran número de factores diferentes que caracterizan un ambiente deposicional. Las mayores dificultades radican en la cuantificación de algunas variables y en el establecimiento de su significado sedimentológico o ambiental. Es importante asimismo eliminar las variables sin un significado ambiental y que solo constituyen una complicación matemática del proceso.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA DE INTERÉS

Allen J.R.L. (1985). Principles of Physical Sedimentology. Allen & Unwin, London.

- Ardus, D.A., (ed.), 1978. Offshore Site Investigation. Graham & Trotman, Ltd. London.

- Bouma, A.H., Sangrey, D., Coleman, J., Prior, D., Trippet, A., Dunlap, W., Hooper, J. (Eds) (1981). Offshore Geologic Hazards. Am. Assoc. Pet. Geol. Education Course Note Series, n1 18, 485 pp.

- Brassell, S.C., Eglinton, G., Marlowe, I.T., Pfaumann, U. y Sarnthein, M. (1986). Molecular stratigraphy: a new tool for climatic assesment. Nature, 320: 129-133.

- Brown, L.F. y Fisher, W.L. (1980). Seismic Stratigraphy Interpretation and Petroleum Exploration. American Association of Petroleum Geologists. Contin. Ed. Course Note Ser., 16, 125 pp.

- Denness, B., (ed.), 1984. Seabed Mechanics. IUTAM, Graham & trotman, London.

- Friedman, G. y Sanders, J. (Eds.)(1978). Principles of Sedimentology. John Wiley & Sons, New York.

- Griffiths, G. (1992). Observing the ocean - recent advances in instruments and techniques for physical oceanography. Sci. Progr., 76, 167-190.

- Poulos, H.G., 1988. Marine Geotechnics. Unwin Hyman, London, 473 pp.

- Siker, E.L. y Volkman, J.K. (1993). Calibration of alkenone unsaturation ratios (U^{k37}) for paleotemperature estimation in cold polar waters. Geoch. Cosmoch. Acta, 57: 1883-1889.

- Swanson, R.G. (1985). Sample Examination Manual. Am. Assoc. Pet. Geol., Tulsa, Oklahoma.

- Trabant P.K. (1984). Applied High-Resolution Geoghysical Methods-- Offshore Geoengineering Hazards. IHRDC, Boston. 265 pp.

- Urick, R.J. (1975). Principles of Underwater Sound, 2nd edition, McGraw-Hill, New York.