

VARIACIÓN EN LAS ASOCIACIONES DE FORAMINÍFEROS BENTÓNICOS ABISALES EN EL D.S.D.P. SITE 135 DURANTE EL PLEISTOCENO SUPERIOR

G.Francés, F.J.Sierro, J.Civis y J.A.Flores(1)

(1) Departamento de Geología (Paleontología). Facultad de Ciencias. Universidad. 37008 SALAMANCA

RESUMEN

El estudio de las asociaciones de Foraminíferos planctónicos y Nanoplancton calcáreo ha permitido correlacionar el testigo estudiado con el Pleistoceno superior, zonas NN19 y NN20 de Martini y los estadios isotópicos 14-6. Durante el intervalo analizado se producen significativas fluctuaciones tanto en la fauna de Foraminíferos planctónicos como en los bentónicos, que ponen de manifiesto oscilaciones en la dinámica de las masas de agua superficiales y profundas relacionadas con ciclos glaciales-interglaciales. Las variaciones en la abundancia de Uvigerínidos y otras especies bentónicas constituyen un excelente registro de los cambios ocurridos en las propiedades de las aguas de fondo.

Palabras clave: Foraminíferos planctónicos y Bentónicos profundos, Nanoplancton calcáreo, Dinámica termohalina, Paleocceanografía, Paleoclimatología, Pleistoceno superior, D.S.D.P. site 135, Atlántico Nororiental.

ABSTRACT

Study of the assemblages of planktonic Foraminifera and Calcareous Nannoplankton permitted us to correlate the samples studied with the Upper Pleistocene, Zones NN19 and NN20 of Martini and isotopic stages 14-6. During the interval analyzed, significant fluctuations occurred in the fauna of both planktonic and benthonic foraminifera, pointing to oscillations in the dynamics of surface and deep waters related to glacial and interglacial cycles. The variations in the abundance of Uvigerinids and other benthonic species provide an excellent recording of the changes that occurred in the properties of the waters of the ocean floor.

Key words: Planktonic and deep Benthic Foraminifera, Calcareous Nannoplankton, Termohaline circulation, Paleocceanography, Paleoclimatology, Upper Pleistocene, D.S.D.P. site 135, Northeastern Atlantic.

Francés,G., Sierro,F.J., Civis,J. y Flores,J.A. (1990): Variación en las asociaciones de Foraminíferos bentónicos Abisales en el D.S.D.P. site 135 durante el Pleistoceno superior. *Rev. Soc. Geol. España*, 3: 127-135

Francés,G., Sierro,F.J., Civis,J. y Flores,J.A. (1990): Variations in the assemblages of abyssal benthonic Foraminifera at D.S.D.P. site 135 during the Upper Pleistocene. *Rev. Soc. Geol. España*, 3: 127-135

1. INTRODUCCIÓN

El sondeo D.S.D.P. site 135, correspondiente a la Campaña 14 del *Deep Sea Drilling Project*, está situado aproximadamente a 260 km al sureste del Cabo de San Vicente (35° 20.80' N; 10° 25.46' W), a la misma latitud que el Estrecho de Gibraltar (Fig. 1). Bajo una capa de agua de 4152 m se inició la perforación de la cobertera sedimentaria, recuperándose de forma discon-

tinua un total de nueve testigos que cubren el lapso Pleistoceno-Aptense inferior.

En este trabajo se presentan los resultados de Foraminíferos correspondientes al testigo 1, al que se atribuye una edad cuaternaria (Hayes, Pimm *et al.*, 1972). Estos autores sitúan el testigo dentro de las Zonas de *Gephyrocapsa oceanica* y de *Globorotalia truncatulinoides*, basándose en datos de Nanoplancton calcáreo y de Foraminíferos planctónicos respectivamente, lo que

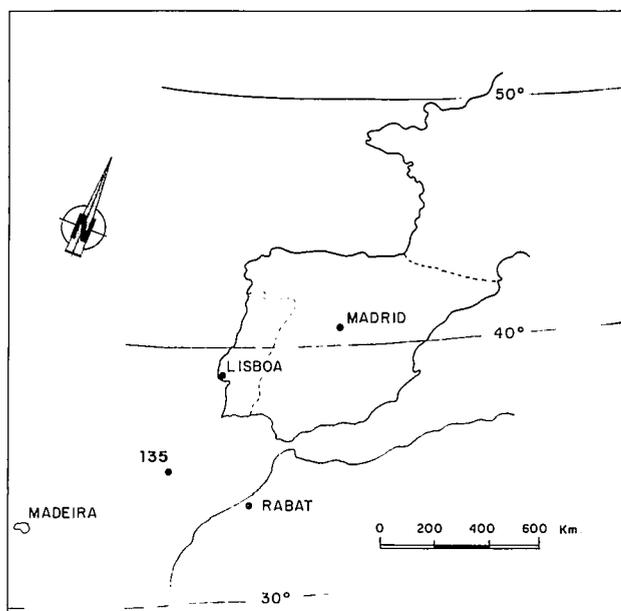


Fig. 1.-Localización geográfica del sondeo D.S.D.P. site 135
Fig. 1.-Geographic location of D.S.D.P. site 135.

corresponde a un Pleistoceno superior según la primera biozona mencionada (Roth y Thierstein, 1972; Bukry, 1972).

Actualmente, en la región donde se localiza el sondeo estudiado, de acuerdo con los datos de Sarnthein *et al.* (1982), existe una clara influencia de las aguas que salen del Mediterráneo, MOW ("Mediterranean Outflow Water"), si bien su efecto, observable por un incremento de la salinidad y de la temperatura, se deja sentir solamente hasta una profundidad de 1500 m. Inmediatamente debajo de esta masa de agua aparecen las aguas profundas noratlánticas, NADW ("North Atlantic Deep Water"), que fluyen hacia el sur y se caracterizan por su elevado contenido en oxígeno y por su relativamente baja temperatura (4-5 ml/l y 3-4° C respectivamente). Los fondos más profundos, por debajo de 3800 m, están bañados por aguas de procedencia antártica, AABW ("Antarctic Bottom Water"), que fluyen hacia el norte y que han sido identificadas, al menos, hasta 35° N de latitud. Esta masa de agua se caracteriza por temperaturas inferiores a 2° C y ejerce un claro control sobre la posición de la lisoclina debido a la subsaturación en carbonato cálcico que manifiesta.

Mediante el estudio de los Foraminíferos bentónicos que hemos llevado a cabo pretendemos conocer la evolución de las comunidades y su relación con posibles cambios en la dinámica de las diferentes masas de agua intermedias y profundas que acabamos de mencionar. Por su parte, los Foraminíferos planctónicos nos han suministrado información acerca de la circulación superficial y, por tanto, de los cambios climáticos acaecidos durante el lapso que cubre el testigo 1.

2. MATERIAL Y TÉCNICAS

El testigo estudiado está constituido en su totalidad por fangos calcáreos cuyo componente principal es el Nanoplancton calcáreo y, en menor medida, los Foraminíferos, arcillas y cuarzo tamaño limo (Hayes, Pimm, *et al.*, 1972).

Para el análisis de las muestras se tomaron 10 gramos de sedimento seco que se disgregó y tamizó en húmedo mediante los tamices de 500, 125 y 62 micras de luz de malla. En la fracción mayor de 125 micras se seleccionaron al azar 200 individuos de Foraminíferos bentónicos y 200 de planctónicos. En algunas muestras no se pudo alcanzar esta cifra de los primeros debido a su escasez. Para la asociación de Foraminíferos bentónicos se han calculado los índices de diversidad de Shannon-Weaver, H y de Margalef, D (in Margalef, 1974).

3. DESCRIPCIÓN DE LAS ASOCIACIONES DE FORAMINÍFEROS

3.1 Foraminíferos bentónicos

En líneas generales el conjunto de la fauna se caracteriza por la presencia de unos pocos táxones dominantes. *Eponides frigidus* (Cushman), *Eponides umbonatus* (Reuss), *Epistominella exigua* (Brady), *Planulina wuellerstorfi* (Schwager), *Cibicides ungerianus* (d'Orbigny) y *Gyroidina soldanii* (d'Orbigny) representan entre el 50 y el 70% del total. *Eggerella bradyi* Brady, *Textularia articulata* d'Orbigny, *Uvigerina pygmaea* d'Orbigny y diversas especies de *Pyrgo*, *Lagenina*, *Fissurina* y *Pullenia* completan prácticamente el espectro de fauna (Fig. 2).

Por subórdenes, Rotaliina es dominante, alcanzando valores aproximados entre 70 y 80%. Por su parte, Textulariina, Miliolina y Lagenina aparecen con porcentajes similares entre sí (2-15%).

La diversidad se mantiene sin grandes variaciones a lo largo de toda la columna. El índice de Shannon-Weaver toma valores entre 3 y 4, mientras que el de Margalef oscila alrededor de 5, lo que podemos considerar normal en ambientes oceánicos profundos. La elevada diversidad y la baja proporción de Foraminíferos bentónicos, si exceptuamos la muestra 1-3/132, donde estos suponen más del 6% del conjunto, son indicativas de una baja disolución en las muestras (Fig. 3). Estos resultados contrastan con los obtenidos en este mismo sondeo a partir de muestras del Mioceno superior, en las que se han obtenido elevados porcentajes de Foraminíferos bentónicos (hasta un 50%) coincidiendo con mínimos en la diversidad y con el dominio absoluto de especies planctónicas muy resistentes a la disolución (Francés *et al.*, 1989).

Como se puede observar en la figura 2, a lo largo del testigo se reconocen variaciones de diferente rango en la composición faunística. Por una parte, las de menor orden se manifiestan por marcadas oscilaciones, de

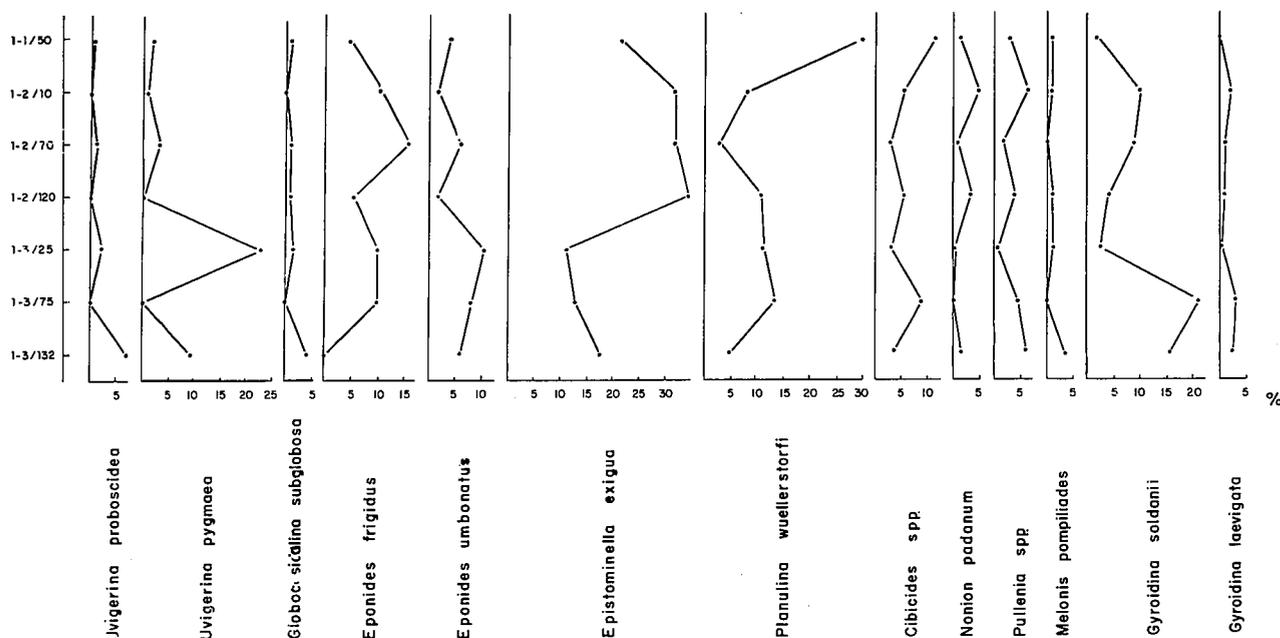


Fig. 2.-Variación cuantitativa de las principales especies de Foraminíferos bentónicos a lo largo del Pleistoceno superior.
Fig. 2.-Quantitative variation of the main benthonic species throughout the Upper Pleistocene.

corta duración temporal. Estas quedan reflejadas en la figura mencionada por característicos dientes de sierra que se atenúan hacia el techo. A su vez existe una variación de orden mayor, superpuesta a las anteriores, detectable por un cambio importante en la fauna hacia la mitad de la sección (muestra 1-2/120), que en la figura es visible por la suavización de los antedichos dientes de sierra.

Analizando detalladamente las fluctuaciones de menor entidad en la abundancia específica se pone de manifiesto la aparición de comportamientos paralelos y opuestos entre diferentes táxones que componen la asociación. De este modo, la abundancia de *Uvigerina pygmaea* d'Orbigny, *Uvigerina proboscidea* Schwager, *Pyrgo* spp., *Globocassidulina subglobosa* (Brady) y, en menor medida, *Eponides umbonatus* (Reuss) y *Eponides frigidus* (Cushman) evolucionan paralelamente. Por el contrario, *Epistominella exigua* (Brady), *Cibicides* spp., *Pullenia* spp., *Gyroidina laevigata* d'Orbigny, *Gyroidina soldanii* (d'Orbigny) y *Quinqueloculina* spp. muestran tendencias contrarias al grupo anterior. Tomando como referencia las especies de *Uvigerina* (*U.pygmaea* y *U.probosidea*) se detecta una sucesión alternante de máximos y mínimos en lo que respecta a su abundancia como consecuencia de las pulsaciones de menor orden. Los niveles con altos porcentajes de *Uvigerina* se correlacionan con mínimos en la proporción de especies tales como *E. exigua*, *Cibicides* spp., *Pullenia* spp., etc.

Si analizamos ahora la tendencia general de las curvas, apreciamos claras diferencias entre la mitad basal de la sección y la mitad superior. Táxones como *Uvigerina* spp., *G. subglobosa*, *Gyroidina* spp., etc., bien

representados en algunas muestras del tramo inferior, ven reducida su proporción hacia la mitad de la serie, manteniéndose a partir de ese punto con valores menos fluctuantes. La disminución de los anteriores se compensa con un fuerte incremento de *E. exigua*, que llega a constituir el 30% de la asociación, acompañado por *Planulina wuellerstorfi* (Schwager) en el nivel más alto de la sección.

3.2 Foraminíferos planctónicos

La asociación de Foraminíferos planctónicos aparece en líneas generales bien conservada, excepto en los niveles 1-3/132 y 1-2/70, donde se observan algunos indicios de disolución en los caparazones que coincide también con incrementos en la proporción de Foraminíferos bentónicos.

En todos los niveles analizados es característica la coexistencia de especies subtropicales y tropicales con poblaciones subpolares, hecho que es congruente con la localización geográfica del sondeo, en el extremo oriental del anillo subtropical noratlántico. Para establecer la relación entre las especies encontradas y las diferentes provincias faunísticas nos hemos basado en los trabajos de Be (1977) y Pujol y Duprat (1985). Entre las formas típicamente subtropicales y tropicales destaca *Globigerinoides ruber*, que alcanza valores muy elevados en algunas muestras, acompañado en menor proporción por *Globigerinoides quadrilobatus*, *Globorotalia crassaformis* y *Globigerina rubescens*. Por el contrario, *Neogloboquadrina pachyderma* (forma dextrorsa) juntamente con algunas formas de transición a *Neo-*

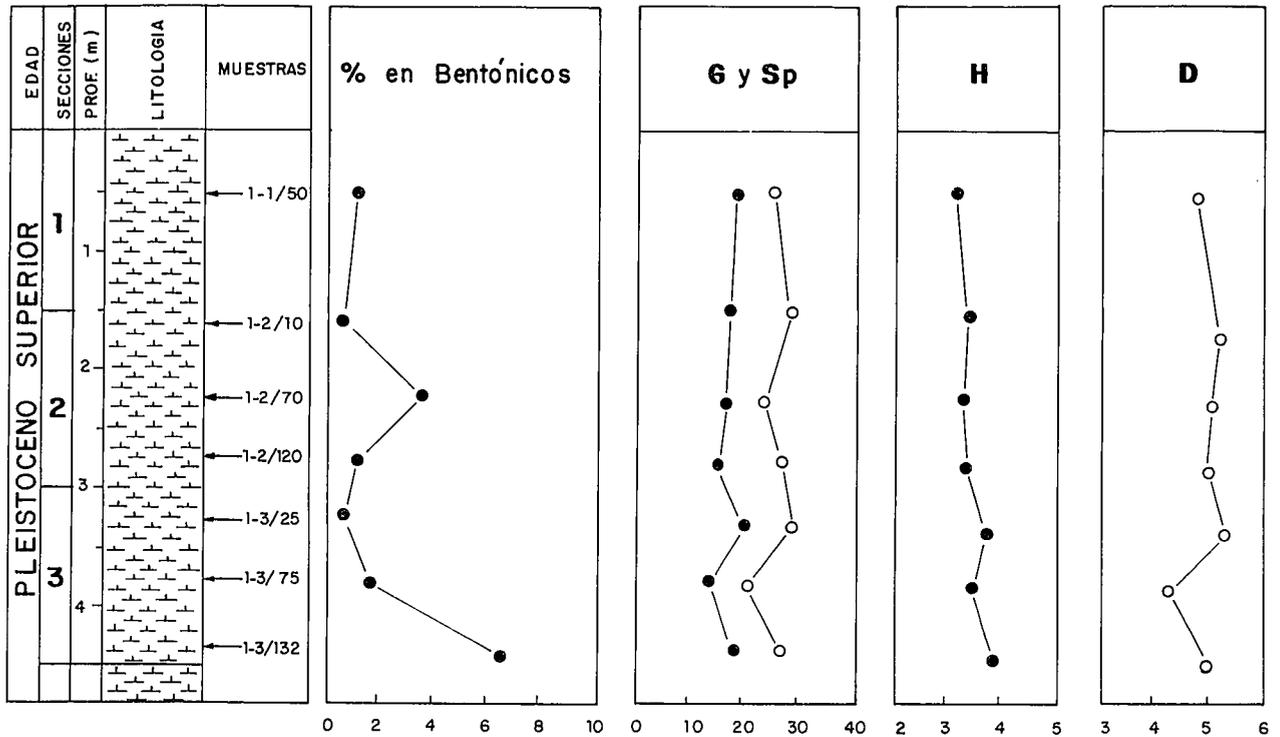


Fig. 3.-Variación de diferentes parámetros a lo largo del testigo estudiado. (G: número de géneros; Sp: número de especies; H: Índice de Shannon-Weaver; D: Índice de Margalef)

Fig. 3.-Variation of different parameters in the studied core. (G: number of genera; Sp: number of species; H: Shannon-Weaver Index; D: Margalef Index)

globoquadrina dutertrei, *Globigerina quinqueloba* y *Globigerina bulloides* están entre las especies dominantes de la zona subpolar. En el gráfico de la fig. 4 se representan las variaciones de estos dos grupos faunísticos, junto con el que puede considerarse característico de la zona de transición, dominado por *Globorotalia inflata*, *Globorotalia truncatulinoides*, *Globigerina glutinata*, etc.

A lo largo del testigo se aprecian fuertes oscilaciones en la fauna relacionadas sin duda con la alternancia de períodos glaciales e interglaciales durante las últimas etapas del Pleistoceno.

Comparando las asociaciones de Foraminíferos planctónicos y de Nanoplancton calcáreo con las descritas por otros autores en el Atlántico nororiental (Caralp, 1971; Pujol, 1981; Pujol *et al.*, 1974; Pujol y Caralp, 1974; Pujol y Duprat, 1985; Duplessy *et al.*, 1975; Thierstein *et al.*, 1977; Grousset *et al.*, 1978; Troelstra, 1984; Pujos, 1977, 1985; Vergnaud Grazzini y Saliège, 1985a, 1985b) consideramos que el testigo corresponde al Pleistoceno superior, última parte de la zona de *Pseudoemiliana lacunosa* y la mayor parte de la zona de *Gephyrocapsa oceanica*, extendiéndose aproximadamente desde los estadios isotópicos 14 al 6 (Fig. 5).

Para establecer esta correlación nos hemos basado en la detección de determinados eventos, como son

el último registro de *P. lacunosa*, localizado entre los niveles 1-3/132 y 1-3/75 y que coincide aproximadamente con el último registro de *Pulleniatina* y el primer registro de *Globorotalia hirsuta*. Estos eventos, reconocidos también en algunos de los trabajos citados anteriormente han sido localizados entre los estadios isotópicos 13 y 12, hace aproximadamente 450.000-470.000 años (Thierstein *et al. op. cit.*; Pujos, 1977). La ausencia de *Emiliana huxleyi* nos lleva a suponer que no se alcanza el techo de la zona de *G. oceanica*, que se sitúa aproximadamente entre los estadios isotópicos 4 y 5. La presencia de *Globigerinoides conglobatus* en los niveles más altos del testigo nos lleva a suponer que no se alcanza el estadio 5, ya que esta especie desaparece del Atlántico nororiental en dicho intervalo de acuerdo con Pujol y Duprat (*op. cit.*) Por otra parte, siguiendo a dichos autores, *G. hirsuta* es principalmente sinistrorsa en los estadios 2, 3 y 4, mientras que en las muestras estudiadas es preferentemente dextrorsa.

Si asumimos por tanto, que el primer registro de *G. hirsuta* y el último registro de *P. lacunosa* coinciden aproximadamente con el estadio isotópico 12, podemos estimar, si la velocidad de sedimentación no varió drásticamente, que las dos pulsaciones de fauna subtropical observadas en los niveles 1-3/75 y 1-2/120 se correlacionan con los estadios isotópicos 11 y 9 respectiva-

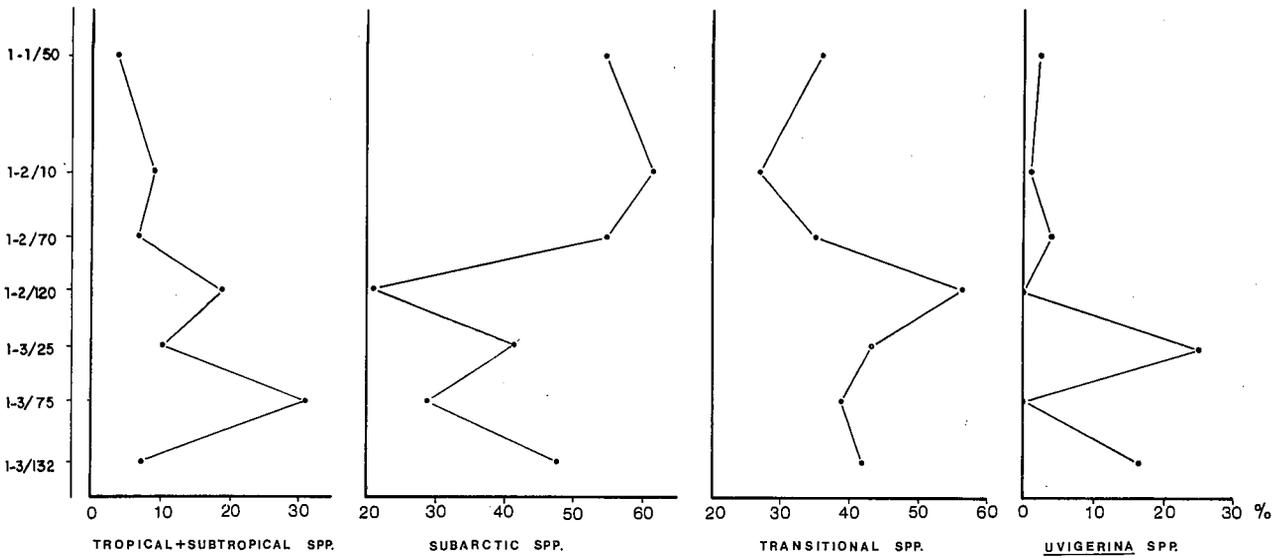


Fig. 4.-Relación entre la evolución de las principales asociaciones de Foraminíferos planctónicos y la abundancia de Uvigerínidos.
 Fig. 4.-Relationship between the evolution of the main planktonic Foraminifera assemblages and the Uvigerinid abundance.

mente. Esta estimación se apoya también en la existencia de dos picos de formas sinistrorsas en las poblaciones de *G.truncatulinooides* en los mismos niveles, que coinciden con los encontrados por Pujol y Duprat (1985) durante los estadios 11 y 9 en el Atlántico nororiental. La probable correlación de los niveles superiores con el estadio isotópico 6 (intervalo frío) se ha estimado considerando una tasa de sedimentación más o menos constante.

4. INTERPRETACIÓN

La circulación termohalina es un mecanismo decisivo que posibilita el asentamiento de la vida en el fondo del océano, ya que suministra el oxígeno y nutrientes necesarios para el desarrollo de las comunidades bentónicas profundas. Estas comunidades mantienen un delicado equilibrio con las características físico-químicas de la masa de agua que baña la región, por lo que pequeñas variaciones en la dinámica termohalina pueden ocasionar importantes cambios en las asociaciones.

En las últimas décadas son muchos los estudios dirigidos a conocer los efectos de la sucesión glacial-interglacial, característica dominante del clima durante el Cuaternario, sobre las comunidades que normalmente se desarrollan en el sistema océano superficial-atmósfera. Pero ¿cuál ha sido la respuesta del océano profundo a estas fluctuaciones climáticas?. Los trabajos más recientes abordan el problema bajo diferentes líneas de investigación, entre las que podemos citar el estudio de las asociaciones de Foraminíferos bentóni-

cos y Ostrácodos, los análisis biogeoquímicos en capas de Foraminíferos bentónicos (isótopos de oxígeno y de carbono, relación Cd/Ca, ¹⁴C...), el estudio de sedimentos profundos, etc.

Mediante la primera de las líneas citadas hemos intentado realizar una aproximación a las características dinámicas de las masas de agua en la región durante el Pleistoceno superior. Una interpretación basada únicamente en el análisis de los Foraminíferos bentónicos debe ser tomada con precaución, ya que se desconocen en gran medida las exigencias ecológicas de la mayoría de las especies. Por ello hemos contrastado nuestros resultados con otros modelos obtenidos mediante análisis biogeoquímicos y otras técnicas, comprobando que existen significativas coincidencias.

En el gráfico de la figura 4 se puede observar la estrecha relación entre las abundancias de formas subtropicales y de los Uvigerínidos. Es inmediato deducir que las fluctuaciones de menor orden reconocidas en la asociación de Foraminíferos bentónicos responden a condicionamientos climáticos. De esta forma se observa que las etapas más cálidas, definidas por máximos en la abundancia de la asociación subtropical, coinciden con mínimos o incluso nulos porcentajes de Uvigerínidos, mientras que los picos de estos últimos hay que asociarlos con condiciones de baja temperatura en las masas de agua superficiales, lo que está en consonancia con que la sucesión de etapas glaciales-interglaciales ejerció una influencia directa sobre la dinámica termohalina en la región.

La presencia de aguas profundas ricas en Uvigerínidos durante el Pleistoceno ha sido puesta de manifiesto por diversos autores en los últimos años (Schnit-

ker, 1974, 1979, 1980; Streeter, 1976; Lutze, 1977, 1979; Lutze *et al.*, 1979; Streeter y Shackleton, 1979; Balsam, 1981; Caralp, 1985, 1987; Corliss *et al.*, 1986; etc.). Todos ellos atribuyen una especial relevancia a este grupo desde el punto de vista paleoecológico, si bien, no existe unanimidad en cuanto a las interpretaciones. Nuestros datos están de acuerdo con la documentación existente en lo que se refiere a la relación entre la abundancia de *Uvigerina* y los periodos glaciales del Cuaternario, como se apuntaba anteriormente. La controversia surge a la hora de definir qué parámetros físico-químicos de la masa de agua controlan la distribución del género.

Está ampliamente admitida la relación entre *Uvigerina* y aguas viejas pobres en oxígeno. Sin embargo no podemos olvidar los datos puestos de relieve por diversos autores que encuentran *Uvigerina peregrina* en aguas bien oxigenadas (Miller y Lhomann, 1982; Corliss *et al.*, 1986, Pedersen *et al.*, 1988). Los factores ecológicos determinantes para los mencionados autores serían la abundancia de materia orgánica y fondos con sedimento de grano fino. Es conveniente tener en cuenta el hábitat del género, puesto que al tratarse de una forma infaunal somera, el control ecológico más fuerte está impuesto por las características físicas y químicas de la interfase sedimento-agua antes que por las de la masa de agua propiamente (Corliss, 1985). Por tanto, un fondo de grano fino rico en materia orgánica tiende indefectiblemente a un ambiente anóxico en su interior. En relación con el sedimento, no se observa ningún cambio litológico significativo a lo largo del testigo.

En la actualidad los *Uvigerinidos* son característicos de la masa de agua intermedia del Atlántico Norte. Se trata de aguas viejas, ricas en nutrientes y pobres en oxígeno, de origen meridional y mediterráneo que se instalan hasta profundidades de 2500 m aproximadamente (Schnitker, 1974; Streeter y Shackleton, 1979). Bajo estas aguas aparece la NADW, con altos contenidos en oxígeno, bajas proporciones de nutrientes y con una asociación característica dominada por *Epistominella exigua*, *Planulina wuellerstorfi*, *Cibicides* spp., etc. Su rango de profundidad abarca desde los 2500 m hasta los 4000 m y se origina en el Mar de Noruega-Groenlandia. A profundidades mayores de 4000 m la AABW, de origen antártico, se caracteriza por el dominio de *Osangularia umbonifera*.

De acuerdo con este modelo podemos interpretar que, durante el intervalo analizado, el fondo ha sido bañado por aguas profundas noratlánticas -NADW-, como se constata por la presencia de *E. exigua*, *P. wuellerstorfi*, *Cibicides* spp., etc. Esta situación se interrumpió episódicamente, lo que queda reflejado por fuertes incrementos en la abundancia de *Uvigerina* spp. durante los periodos fríos deducidos a partir de los cambios en la asociación de foraminíferos planctónicos (Fig. 4). Por tanto, el contexto paleoceanográfico deducido únicamente de los datos de foraminíferos bentónicos reflejaría un reemplazamiento de aguas profundas en la región. En las etapas interglaciales, el fondo a esta latitud estuvo bañado por aguas jóvenes, pobres en nutrientes y ricas en oxígeno que se renuevan constantemente

debido a su elevada tasa de formación en el Atlántico más septentrional. Por el contrario, durante los periodos glaciales las aguas se caracterizan por su mayor tiempo de residencia en niveles profundos del océano, mayor concentración de nutrientes y, probablemente, bajos contenidos en oxígeno. Las características de esta última masa de agua pueden ser explicadas, bien por una mayor influencia antártica como consecuencia de una reducida tasa de formación de la NADW o bien por un incremento en la productividad de las aguas superficiales en el Atlántico oriental. La situación observable en las tres muestras más recientes, alta proporción de foraminíferos planctónicos subárticos, se relaciona con condiciones de temperaturas mínimas en las masas de agua superficiales. Por su parte, las aguas de fondo tendrían un contenido relativamente bajo en nutrientes y una oxigenación similar a la de la NADW actual.

La proximidad del sondeo al continente está en consonancia con un mayor aporte de materia orgánica debido a la erosión de las plataformas durante los periodos de bajo nivel del mar y/o por la intensificación de los *upwelling* costeros de Portugal y África Noroccidental.

La ausencia de rasgos de disolución en el sedimento es indicativa de una concentración normal de carbonato cálcico para las aguas de fondo, hecho que explica la no aparición de *Osangularia umbonifera*, especie típicamente asociada a las aguas de origen antártico, generalmente subsaturadas en este compuesto (Bremer y Lohmann, 1982 in Corliss *et al.*, 1986). Dichas aguas antárticas se encontrarían probablemente a profundidades mayores dentro de la cuenca, tal como parece deducirse de los datos de Caralp (1985) que encuentra *O. umbonifera* en el Pleistoceno superior de esta misma región en sondeos por debajo de 4000 m de profundidad.

Otros autores (Streeter y Shackleton, 1979; Caralp, 1987; etc.) describen modelos similares para otras zonas del Atlántico nororiental.

La interpretación propuesta es congruente con los modelos de circulación basados en los análisis biogeoquímicos realizados con Foraminíferos bentónicos. Diferentes autores han reconocido la existencia en el Atlántico Norte de aguas glaciales con bajos contenidos en ^{13}C (ricas en nutrientes) que contrasta con la presencia de aguas enriquecidas en ^{13}C (pobres en nutrientes) durante los periodos interglaciales (Boyle y Keigwin, 1982, 1985; Curry y Lohmann, 1983; Mix y Fairbanks, 1985; Oppo y Fairbanks, 1987; Curry *et al.*, 1988; Duplessy *et al.*, 1988). La reducción de ^{13}C es especialmente intensa en el Atlántico oriental. La mayor parte de los autores que acabamos de mencionar sugieren la existencia de un descenso en la tasa de formación de la NADW respecto a las aguas ricas en nutrientes del Océano Antártico. Mix y Fairbanks (1985), sin embargo, plantean la posibilidad de un área fuente para la NADW, durante las épocas glaciales, caracterizada por la presencia de aguas ricas en nutrientes, similar a la existente hoy en las costas de la Antártida. Para Du-

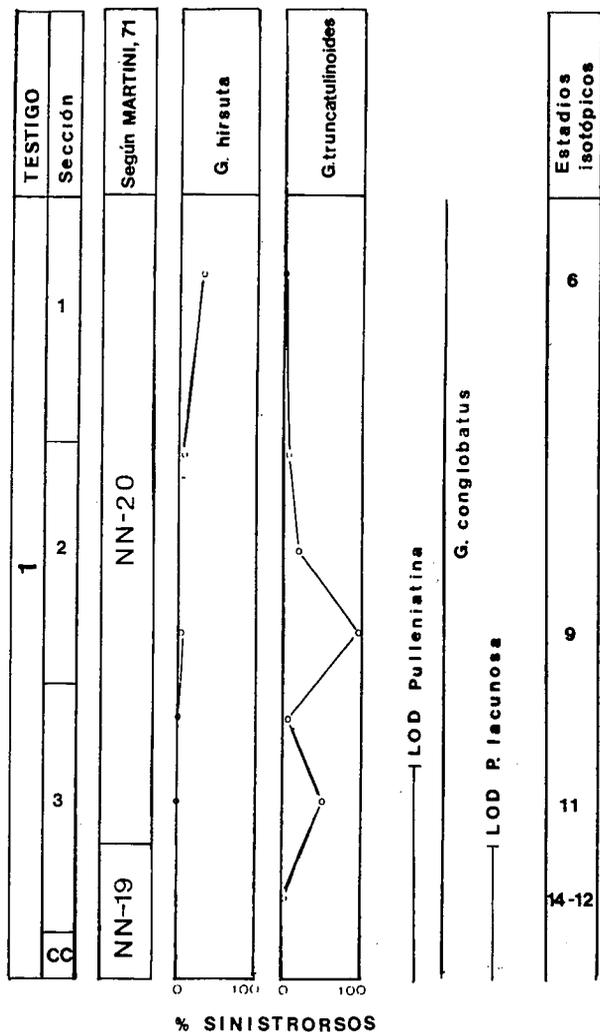


Fig. 5.-Localización estratigráfica de los principales eventos en el plancton calcáreo.

Fig. 5.-Stratigraphic location of the main calcareous plankton events.

plessy *et al.* (1988) las aguas profundas de origen meridional habrían incrementado su influencia durante el último máximo glacial en el Atlántico NE, al menos hasta una latitud de 40° N.

Los análisis de la relación Cd/Ca en caparazones de Foraminíferos bentónicos (Boyle y Keigwin, 1982) apuntan hacia una disminución del 50% en el flujo de la NADW durante el último glacial en relación con el flujo de las aguas ricas en nutrientes procedentes del Océano Antártico. Según Boyle y Keigwin (1985) las aguas del océano glacial tenían un 22% más de Cd y un 0,46% menos de ¹³C que el océano actual.

Los datos de ¹⁴C apuntan en esta misma dirección. Broecker *et al.* (1988) encuentran que la edad de las aguas profundas del Atlántico durante el último má-

ximo glacial fue algo mayor (600 ± 250 años) que la actual (400 años).

5. CONCLUSIONES

El estudio de los Foraminíferos planctónicos y Nanoplankton calcáreo ha permitido localizar una serie de eventos como son el último registro de *Placunosa* o el primer registro de *G. hirsuta*, que junto con otras características del plancton calcáreo nos permiten situar el testigo en el Pleistoceno superior, zonas de *P. lacunosa* y *Gephyrocapsa oceanica*. Por otra parte, el intervalo analizado se correlaciona con los estadios isotópicos 14 al 6.

Las variaciones en las asociaciones de Foraminíferos planctónicos en el testigo estudiado indican la existencia de fuertes oscilaciones térmicas en las masas de aguas superficiales, relacionadas con ciclos glaciales-interglaciales durante el período analizado.

En lo que respecta a los Foraminíferos bentónicos observamos que las etapas cálidas coinciden con mínimos o incluso nulos porcentajes de Uvigerínidos y otras especies asociadas, mientras que los máximos en este grupo van asociados con bajas temperaturas en las aguas de superficie. En la mitad superior del testigo, cuando se dan las condiciones de máximo enfriamiento en superficie, el fondo estuvo bañado por aguas similares a la NADW actual, si bien, la presencia escasa de Uvigerínidos sugiere una menor tasa de renovación de las aguas de fondo.

Del análisis conjunto de Foraminíferos planctónicos y bentónicos podemos deducir que durante el período estudiado el fondo estuvo bañado por aguas profundas noratlánticas -NADW- caracterizadas por la presencia de *E. exigua*, *P. wuellerstorfi*, *Cibicides* spp., etc. Este modelo se vio interrumpido, al menos durante dos episodios glaciales en los que dominan los Uvigerínidos. En el primer modelo, similar al actual, las aguas eran jóvenes, pobres en nutrientes y ricas en oxígeno, mientras que las aguas glaciales se caracterizaban por su mayor contenido en nutrientes y probablemente bajas concentraciones de oxígeno, lo que podría ser explicado por un incremento de la productividad en el Atlántico nororiental o por una disminución en la tasa de formación de la NADW acompañada por una mayor influencia de las aguas de fondo antárticas, si bien no hemos encontrado las especies características de esta masa de agua.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación de la C.I.C.Y.T., Proyecto PB85-0315-CO2-00. Las muestras fueron gentilmente cedidas por la organización del D.S.D.P. Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a ambos organismos.

BIBLIOGRAFÍA

- Balsam, W. (1981): Late Quaternary sedimentation in the western North Atlantic: Stratigraphy and paleoceanography. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 35: 215-240.
- Be, A.W.H. (1977): An ecological, zoogeographic and taxonomic review of recent planktonic foraminifera. In: A.T.S. Ramsay (Ed.): *Oceanic Micropaleontology (1)*, Academic Press (Londres), 1-100.
- Boyle, E.A. y Keigwin, L.D. (1982): Deep circulation of the North Atlantic over the last 200,000 years: Geochemical evidence. *Science*, 218: 784-787.
- Boyle, E.A. y Keigwin, L.D. (1985): Comparison of Atlantic and Pacific paleochemical records for the last 215,000 years: Changes in deep ocean circulation and chemical inventories. *Earth Planet. Sci. Letters*, 76: 135-150.
- Broecker, W.S., Andree, M., Bonani, G., Wolfli, W., Oeschger, H., Klas, M., Mix, A. y Curry, W. (1988): Preliminary estimates for the radiocarbon age of deep water in the Glacial Ocean. *Paleoceanography*, 3: 659-669.
- Bukry, D. (1972): Coccolith Stratigraphy-Leg XIV, Deep Sea Drilling Project. In: D.E. Hayes, A.C. Pimm *et al.*, (Eds.): *Init. Repts. D.S.D.P., 14: Washington (U.S. Govt. Print. Office)*, 487-494.
- Caralp, M.H. (1971): Les Foraminifères planctoniques du Pleistocène terminal dans le Golfe de Gascogne. Interpretation biostratigraphique et paleoclimatique. *Bull. Inst. Geol. Bassin Aquit.*, 11: 1-190.
- Caralp, M.H. (1985): Quaternary calcareous benthic Foraminifera, Leg 80. In: P.C. de Graciansky, C.W. Poag *et al.*, (Eds.): *Init. Repts. D.S.D.P., 80 (2): Washington (U.S. Govt. Print. Office)*, 725-755.
- Caralp, M.H. (1987): Deep-sea circulation in the northeastern Atlantic over the past 30,000 years: The benthic Foraminiferal record. *Oceanol. Acta*, 10: 27-40.
- Corliss, B.H. (1985): Microhabitats of benthic Foraminifera within deep-sea sediments. *Nature*, 314: 435-438.
- Corliss, B.H., Martinson, D.G. y Keffer, T. (1986): Late Quaternary deep-ocean circulation. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 97: 1106-1121.
- Curry, W.B., Duplessy, J.C., Labeyrie, L.D. y Shackleton, N.J. (1988): Special section: Quaternary deep-water circulation changes in the distribution of $\delta^{13}\text{C}$ of deep water CO_2 between the last glaciation and the Holocene. *Paleoceanography*, 3: 317-341.
- Curry, W.B. y Lohmann, G.P. (1983): Reduced advection into Atlantic Ocean deep eastern basins during last glaciation maximum. *Nature*, 306: 577-580.
- Duplessy, J.C., Moyes, J., Pujol, C., Pujos-Lamy, A., y Reyss, J.L. (1975): Stratigraphie des depots quaternaires d'une carotte prélevée au Nord-Est des Açores. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 281: 1971-1974.
- Duplessy, J.C., Shackleton, N.J., Fairbanks, R.G., Labeyrie, L., Oppo, D. y Kallel, N. (1988): Deepwater source variations during the last climatic cycle and their impact on the global deepwater circulation. *Paleoceanography*, 3: 343-360.
- Francés, G., Sierro, F.J. y Civis, J. (1989): Foraminiferos bentónicos profundos del Mioceno superior y Plioceno inferior en el D.S.D.P. site 135 (Atlántico Nororiental). *Rev. Esp. Paleontol.*, 4: 9-18.
- Grousset, F., Duprat, J., Gonthier, E., Maillet, N., Parra, M., Poutiers, J., Pujol, C., y Pujos-Lamy, A. (1978): Etude préliminaire du matériel planctonique et sédimentaire recueilli lors de la mission Faegas II (1er au 22 Juillet 1977) fracture de Gibbs-Islande (Atlantique Nord-Est). *Bull. Inst. Geol. Bassin Aquit.*, 23: 199-213.
- Hayes, D.E., Pimm, A.C., Beckmann, J.P., Benson, W.E., Berger, W.H., Roth, P.H., Supko, P.R. y Rad, U. von (1972): Site 135. In: D.E. Hayes, A.C. Pimm *et al.*, (Eds.): *Init. Repts. D.S.D.P., 14: Washington (U.S. Govt. Print. Office)*, 15-48.
- Lutze, G.F. (1977): Neogene benthonic Foraminifera from site 369, Leg 41, Deep Sea Drilling Project. In: Y. Lancelot, E. Seibold *et al.*, (Eds.): *Init. Repts. D.S.D.P., 41: Washington (U.S. Govt. Print. Office)*, 659-666.
- Lutze, G.F. (1979): Benthic Foraminifera at site 397: Faunal fluctuations and ranges in the Quaternary. In: U. von Rad, W.B.F. Ryan *et al.*, (Eds.): *Init. Repts. D.S.D.P., 47(1): Washington (U.S. Govt. Print. Office)*, 419-432.
- Lutze, G.F., Sarnthein, M., Koopmann, B., Pflaumann, U., Erlenkeuser, H. y Thiede, J. (1979): Meteor cores 12309: Late Pleistocene reference section for interpretation of the Neogene of site 397. In: U. von Rad, W.B.F. Ryan *et al.*, (Eds.): *Init. Repts. D.S.D.P., 47(1): Washington (U.S. Govt. Print. Office)*, 727-739.
- Margalef, R. (1974): *Ecología*. Ediciones Omega, S.A., 951 p.
- Miller, K.G. y Lohmann, G.P. (1982): Environmental distribution of recent benthic Foraminifera on the northeast United States continental slope. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 93: 200-206.
- Mix, A.C. y Fairbanks, R.G. (1985): North Atlantic surface-ocean of Pleistocene deep-ocean circulation. *Earth Planet. Sci. Letters*, 73: 231-243.
- Oppo, D.W. y Fairbanks, R.G. (1987): Variability in the deep and intermediate water circulation of the Atlantic Ocean during the past 25,000 years: Northern Hemisphere modulation. *Earth Planet. Sci. Letters*, 86: 1-15.
- Pedersen, T.F., Pickering, M., Vogel, J.S., Southon, J.N. y Nelson, D.E. (1988): The response of benthic Foraminifera to productivity cycles in the Eastern Equatorial Pacific: Faunal and geochemical constraints on glacial bottom water oxygen levels. *Paleoceanography*, 3: 157-168.
- Pujol, C. (1981): Planktonic foraminifera in biostratigraphy. Modelisation of biozonation in a Quaternary model. In: J. Martinell (Ed.): *Inter. Symp. Concept and Method in Paleontology, Barcelona*: 209-221.
- Pujol, C., y Caralp, M. (1974): Variations du sens d'enroulement des Foraminifères planctoniques dans l'interprétation stratigraphique du Quaternaire terminal de l'Océan Atlantique nord. *Bull. Inst. Geol. Bassin Aquit.*, 16: 31-50.
- Pujol, C., Duprat, J., Gonthier, E., Peypouquet, J. P. y Pujos-Lamy, A. (1974): Resultats préliminaires de l'étude effectuée par l'institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine concernant la mission Faegas (25-Juin-17 Juillet, 1973) dans l'Atlantique Nord-Est. *Bull. Inst. Geol. Bassin Aquit.*, 16: 65-94.
- Pujol, C., y Duprat, J. (1985): Quaternary and Pliocene planktonic foraminifera of the Northeastern Atlantic (Goban Spur), Deep Sea Drilling Project Leg 80. In: P.C. Graciansky, C.W. Poag *et al.*, (Eds.): *Init. Repts. D.S.D.P. 80: Washington (U.S. Govt. Print. Office)*: 683-724.
- Pujos, A. (1977): Emiliania et Gephyrocapsa (Nannoplankton calcaire): biométrie et intérêt biostratigraphique dans le Pleistocène supérieur des Açores. *Rev. Esp. Microp.*, 9(1): 69-84.
- Pujos, A. (1985): Quaternary Nannofossils from Goban Spur, Eastern North Atlantic Ocean, Deep Sea Drilling Project Holes 548 and 549. In: P.C. Graciansky, C.W. Poag *et al.*, (Eds.): *Init. Repts. D.S.D.P., 80(2): Washington (US Govt. Print. Office)*: 767-792.
- Roth, P.H. y Thierstein, H. (1972): Calcareous Nannoplankton: Leg XIV of the Deep Sea Drilling Project. In: D.E. Hayes, A.C. Pimm *et al.*, (Eds.): *Init. Repts. D.S.D.P., 14: Was-*

- hington (U.S. Govt. Print. Office): 487-494.
- Sarnthein, M., Thiede, J., Pflaumann, U., Erlenkeuser, H., Fütterer, D., Koopmann, B., Lange, H. y Seibold, E. (1982): Atmospheric and oceanic circulation patterns off Northwest Africa during the past 25 million years. In: U. von Rad *et al.* (Eds.): *Geology of the Northwest African Continental Margin*. Springer-Verlag Ed., 545-604. Berlin.
- Schnitker, D. (1974): West Atlantic abyssal circulation during the past 120,000 years. *Nature*, 248: 385-387.
- Schnitker, D. (1979): The deep waters of the western North Atlantic during the past 24,000 years, and the re-initiation of the western boundary undercurrent. *Mar. Micropaleontol.*, 4: 265-280.
- Schnitker, D. (1980): Quaternary deep-sea benthic Foraminifers and bottom water masses. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 8: 343-370.
- Streeter, S.S. (1976): Deep water benthic Foraminiferal faunas in the Atlantic during the Late Pleistocene. The significance of Uvigerinid peaks. *EOS*, 57: 258.
- Streeter, S.S. y Shackleton, N.J. (1979): Paleocirculation of the deep North Atlantic: 150,000-year record of benthic Foraminifera and oxygen-18. *Science*, 203: 168-170.
- Troelstra, S.R. (1984): Foraminiferal studies on cores from the Madeira abyssal plain, eastern North Atlantic. In: A. Kuijpers *et al.*, (Eds.): *Geological studies in the eastern North Atlantic. Mededelingen rijks geologische dienst* 38(2): 153-168.
- Vergnaud-Grazzini, C. y Salige, J.F. (1985a): Pleistocene climatic changes in surface waters of the Northeastern Atlantic: and carbon isotopic compositions of planktonic foraminifers at Deep Sea Drilling Project sites 548 and 549. In: P.C. Graciansky, C.W. Poag *et al.*, (Eds.): *Init. Repts. D.S.D.P.*, 80(2) Washington (US Govt. Print. Office): 793-803.
- Vergnaud-Grazzini, C. y Salige, J.F. (1985b): Oxygen and carbon isotopic composition of Benthic foraminifers at Deep Sea Drilling Project sites 548 and 549 (Hole 549A): Pleistocene climatic changes and circulation in the Northeastern Atlantic. In: P.C. Graciansky, C.W. Poag *et al.*, (Eds.): *Init. Repts. D.S.D.P.*, 80(2) Washington (US Govt. Print. Office): 805-815.

Recibido el 30 de septiembre de 1989

Aceptado el 21 de diciembre de 1989