

# El margen continental sur-balear: un modelo deposicional reciente sobre un margen de tipo pasivo

por Andrés MALDONADO y Miquel CANALS

U.E.I. Geología Marina y Regional. Instituto «Jaime Almera», C.S.I.C. Calle Alcarria, s/n, Ciudad Universitaria, BARCELONA

## RESUMEN

El estudio sedimentológico de testigos continuos de pistón, complementado con el análisis de perfiles de sismica de reflexión del talud y ascenso continental sur-balear, ha permitido caracterizar tres grupos de sedimentos genéticamente relacionados. Los sedimentos gravitativos, volumétricamente los más abundantes, son los únicos presentes en la mayoría del talud continental. Entre éstos se incluyen las arenas de desbordamiento, las arenas limosas gravitativas, los lodos gravitativos y los lodos de talud. Estos sedimentos muestran una clara afinidad con las diferentes provincias deposicionales del margen y una gradación entre ellos hacia aguas profundas. Las turbiditas y las hemipelagitas están preferentemente en los sectores más distales del margen y asimismo gradan con los otros sedimentos gravitativos.

Los índices de sedimentación tienen una correlación directa con los tipos de procesos responsables de los diferentes depósitos. Los mayores índices aparecen en los sedimentos atribuidos a procesos gravitativos en masa (más de  $70 \text{ cms}/10^3$  años), y los menores en las hemipelagitas ( $2-8 \text{ cms}/10^3$  años). No obstante los índices característicos de cada provincia del margen en general no guardan relación con los reducidos espesores de sedimentos del Plio-Cuaternario calculadas en los perfiles sísmicos. Este hecho implica una resedimentación de los depósitos que son transportados progresivamente a las provincias más distales del margen. La evolución geodinámica reciente de estas provincias y su geomorfología, parecen ser los factores de control más importantes de la geometría del recubrimiento sedimentario.

Aunque la distribución de los depósitos en las diferentes provincias está fundamentalmente controlada por la batimetría y la morfología, hay otra serie de factores que influyen notablemente en la sedimentación. Entre ellos se deben incluir, el aporte o facilidad de acceso de los sedimentos del área fuente y las condiciones oceanográficas. Durante el Cuaternario superior, estos factores han experimentado notables variaciones como resultado de los cambios climático-eustáticos, los cuales han quedado registrados en los sedimentos del margen sur-balear.

El modelo deposicional propuesto para este margen puede encontrar aplicación para otros ejemplos de márgenes actuales de tipo pasivo y para la interpretación de series antiguas en el registro geológico.

## SUMMARY

Three genetically related groups of sediments on the slope and rise of the southern Balearic continental margin have been characterised on the basis of detailed analyses of piston cores complemented by high resolution and airgun seismic profiles. Gravitative sediment types are the most abundant on the slope where they include shelf-edge spill-over sands, gravitative silty sands, gravitative muds and shallow water muds. Complete and base cut-out turbidites, hemipelagites and less abundant contourites predominate on the more distal continental margin. These sediments show a gradation and a preferential distribution in the several provinces of the margin.

Sedimentation rates reflect the processes that develop each sediment type. The highest rates correspond to sediments attributed to mass-gravity processes (more than  $70 \text{ cm}/10^3 \text{ yr}$ ) while the lowest rates are observed in the hemipelagic muds ( $2-8 \text{ cm}/10^3 \text{ yr}$ ). Plio-Quaternary slope deposits, however, are much thinner than expected from the sedimentation rates. We believe that this is due to mass flow of the slope sediments to more distal areas. The principal factors controlling the geometry of the depositional systems seem to be the recent evolution and the geomorphology of the margin provinces.

Other factors that influence sedimentation on the distal margin include the sediment supply or the accessibility of the sediment supply from the more proximal areas (continental shelf and shore line) and the oceanographic conditions. During the Upper Quaternary these factors have varied largely as a result of climatic and eustatic oscillations. These oscillations are clearly reflected by cyclic patterns in the hemipelagic sediments of the southern Balearic margin.

The depositional model proposed for this margin may be applicable to other modern margins of passive type and also may be useful for the interpretation of the geological record.

## INTRODUCCION

Estudios acerca de la sedimentación reciente en el margen continental han demostrado que los principales tipos de procesos que originan los depósitos de talud y

ascenso continental son los de tipo gravitativo y hemipelágico (Kelling y Stanley, 1976). Otro grupo importante de procesos ligados al desarrollo de la cobertera sedimentaria del margen continental distal son los asociados con corrientes profundas (Hollister y Heezen, 1972). La importancia relativa de los procesos gravitativos y los asociados a corrientes profundas ha sido intensamente investigada en los márgenes del Atlántico noroccidental y sigue siendo en la actualidad objeto de una viva controversia (Stow, 1977; Stow y Lowell, 1979). Asimismo la estrecha relación existente entre la variedad de procesos gravitativos es bien conocida y ha sido puesta de relieve tanto desde el punto de vista teórico (Middleton y Hampton, 1973), como en numerosos estudios de series antiguas y márgenes continentales actuales.

Por el contrario, son mucho menos abundantes los análisis de las relaciones que deben existir entre estos tres grandes grupos de procesos sedimentarios para el desarrollo de los tipos de depósitos más abundantes en el margen continental medio y distal. En el Mar Mediterráneo han sido propuestos diversos modelos que atienden a la interpretación, entre otros, de aspectos tales como el desarrollo estratigráfico de la cobertera sedimentaria del margen (Stanley et al., 1980), la formación de diversos tipos de depósitos (Stanley y Maldonado, 1981) y la cuantificación de algunos de estos depósitos (Maldonado y Stanley, 1976; Stanley y Maldonado, 1979).

Todos estos estudios ponen de relieve que existen sobre el talud una gran variedad de depósitos, entre los que indudablemente predominan los lodos, cuyo origen es difícilmente atribuible de una manera unívoca a uno de los principales grupos de procesos sedimentarios.

El margen continental sur-balear, en el Mediterráneo noroccidental, reúne una serie de características que hacen de él un área particularmente favorable para el análisis de los procesos que han dado lugar al desarrollo de la cobertera sedimentaria del talud y ascenso continental durante el Cuaternario Superior.

Este margen pasivo en el sentido geotectónico del *Continental Margins Panel* (1979), es de tipo intermedio en el sector central y de tipo abrupto en el resto, presentando una gran variedad morfológica y de provincias sedimentarias (Stanley et al., 1976; Kelling et al., 1979; Serra et al., 1979). Un abanico submarino, alimentado por un cañón que atraviesa todo el talud continental, se desarrolla en la transición entre el margen abrupto e intermedio, existiendo además una serie de altos morfológicos y escarpes estructurales no comunmente encontrados en otros tipos de márgenes (Mauffret, 1979; Maldonado y Stanley, 1979).

La gran variedad morfológica ha favorecido el desarrollo en las diferentes provincias sedimentarias del margen de numerosos tipos de sedimentos (Canals, 1980). Por otra parte su extensión relativamente reducida (unos 15.000 Km<sup>2</sup>) y el encontrarse en una cuenca semi-cerra-

da, de la cual las condiciones oceanográficas durante el Cuaternario Superior son relativamente bien conocidas (Maldonado, 1978), permiten analizar las interrelaciones entre los diversos depósitos y llevar a cabo un ensayo de evaluación de los procesos responsables de su formación.

En este estudio se atiende, en consecuencia, a caracterizar los tipos de sedimentos y cualificar los procesos sedimentarios que han jugado un papel preponderante en la formación de la cobertera sedimentaria del margen sur-balear durante el Cuaternario Superior. Asimismo, se realiza un ensayo de evaluación de los diversos factores sedimentológicos, fisiográficos y oceanográficos que han controlado dicha sedimentación. Todo ello orientado al establecimiento de un modelo que sea aplicable a otros márgenes actuales y de la escala geológica.

## METODOLOGIA

Los materiales analizados en este trabajo han sido recolectados en el curso de una campaña oceanográfica realizada en Agosto de 1978 a bordo del R/V EASTWARD. Las estaciones de muestreo fueron posicionadas sobre perfiles perpendiculares al margen con el fin de caracterizar sedimentológicamente las diferentes provincias deposicionales del margen continental medio y distal, exceptuando el abanico submarino de Menorca y sus zonas de influencia más directa. Este abanico submarino ha sido objeto de otros estudios independientes (Maldonado y Stanley, 1979; Kelling et al., 1979).

Se han analizado registros de sismica de reflexión (airgun y 3.5 kHz), fotografías submarinas y testigos continuos de pistón (Fig. 1). En total, se describen detalladamente nueve testigos de pistón, de longitudes comprendidas entre 4.4 y 9 metros (Tabla 1, Figura 1). Estos testigos han sido submuestreados, con alguna excepción, cada 10 cms. Sobre las submuestras se han realizado 285 calcimetrías, 172 análisis texturales por el método de la pipeta, 80 análisis granulométricos por el método del hidrómetro, 117 análisis de componentes de la fracción arena (> 63 µm) y 122 radiografías.

Las calcimetrías se han efectuado mediante un calcímetro de Bernard modificado (Maldonado, 1972). Los resultados de los análisis hidrométricos han sido tratados estadísticamente mediante un programa de computador (Maldonado et al., 1973). El análisis de componentes de la fracción arena se ha realizado por conteo de 300 a 400 granos en cada muestra, teniendo en cuenta el grado de fracturación de los componentes biógenos.

Los ocho testigos analizados han sido datados por microfaua (foraminíferos planctónicos y nannofósiles) y métodos absolutos (C-14 y Th-230). Para todos ellos, se ha determinado una antigüedad inferior a 100.000 a.A.A. en la base (cf., A. Mangini, S. Iaccarino y G. Blechschmidt, com. pers.).

| Testigo | Latitud   | Longitud  | Prof. (m) | Long. test. (m) |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------------|
| 289     | 39°52.2'N | 04°50.5'E | 2.610     | 5,4             |
| 405     | 39°25.5'N | 04°24.0'E | 1.400     | 4,6             |
| 406     | 39°26.0'N | 04°16.9'E | 1.480     | 5,5             |
| 411     | 39°25.2'N | 03°33.2'E | 730       | 4,5             |
| 413     | 39°22.1'N | 03°37.3'E | 1.343     | 4,5             |
| 414     | 39°21.0'N | 03°39.3'E | 1.505     | 4,4             |
| 418     | 38°57.0'N | 03°00.5'E | 1.835     | 4,8             |
| 419     | 38°57.9'N | 02°59.9'E | 1.820     | 4,5             |
| 426     | 38°39.2'N | 02°57.2'E | 355       | 9,0             |

TABLA 1. Situación geográfica, profundidad y longitud de los testigos analizados en este estudio.

## ENCUADRE GEOLOGICO Y FISIOGRAFIA DEL MARGEN

Los elementos fisiográficos más importantes en el margen continental sur-baleár son, de Oeste a Este: el escarpe de Emile Baudot (situado al Sur de Cabrera), el abanico submarino y cañón de Menorca, y la dorsal y escarpe de Menorca (Fig. 1).

En el escarpe de Emile Baudot y en la dorsal y escarpe de Menorca, el margen es de tipo abrupto, mientras que en la cabecera del cañón de Menorca es de tipo intermedio (Mauffret et al., 1973; Stanley et al., 1976; Serra et al., 1979). Este cañón da lugar a la más importante acumulación sedimentaria del margen continental sur-baleár, constituida por el abanico submarino de Menorca (Kelling et al., 1979). En él es característica la presencia de pináculos volcánicos y diapíricos (Stanley et al., 1976).

La dorsal de Menorca, de dirección aproximada N-S, separa por el Este el ascenso continental sur-baleár de la llanura abisal algero-baleár. Por el Sur, el contacto entre el ascenso continental y la llanura abisal es generalmente muy abrupto y de tipo mecánico (Stanley et al., 1976).

La fisiografía del margen sur-baleár está determinada por dos importantes direcciones estructurales; la primera, más antigua, tiene dirección NNW-SSE y está relacionada con la tectónica miocena baleár y con los movimientos de deriva oligo-miocenos en todo el ámbito del Mediterráneo occidental; la segunda es más moderna y tiene dirección NE-SW. La acción combinada de estos dos sistemas ha provocado el hundimiento del ascenso continental sur-baleár (Stanley et al., 1976; Mauffret, 1979).

La neotectónica determina la aparición de otros dos sistemas de fracturación, con direcciones respectivas N-S y E-W a ESE-WNW, que delimitan bloques con un elevado índice de subsidencia en el ascenso continental sur-baleár.

La cobertera sedimentaria sobre el basamento acústico del Mesozoico muestra una distribución muy irregular que presenta unas características definidas en las diferentes provincias del margen. La serie del recubrimiento más completa se localiza en la base del ascenso continental y aumenta de potencia hacia el centro de la cuenca profunda.

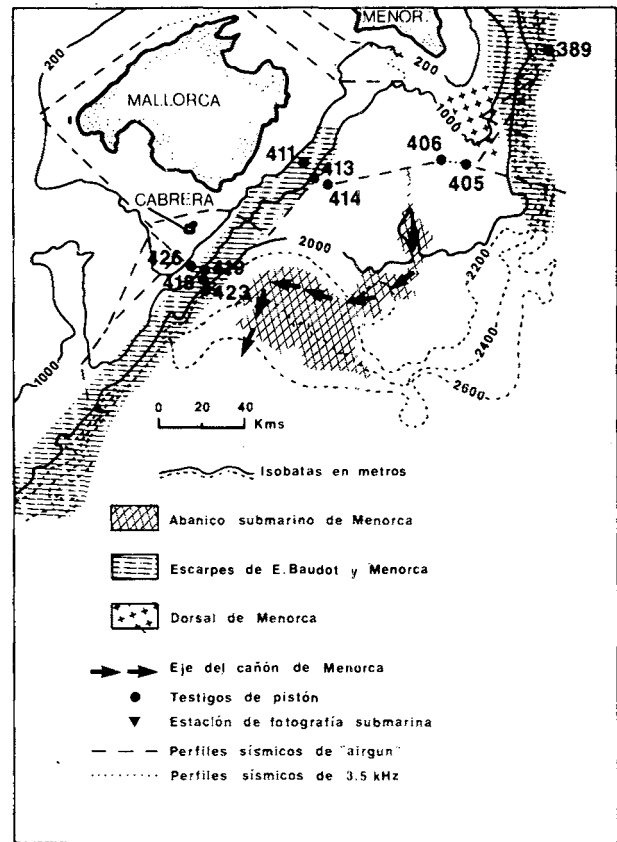


Fig. 1. Principales elementos fisiográficos del margen surbaleár y situación de las estación de fotografía, testigos y perfiles sísmicos analizados en este estudio.

Esta serie ha sido bien reconocida a partir de los perfiles de sísmica y datada gracias a los sondeos del Deep Sea Drilling Project (Stanley et al., 1976; Hsü et al., 1978; Mauffret, 1979). En síntesis la serie está constituida de más antiguo a moderno por las siguientes unidades lito-sísmicas:

1) una unidad probablemente formada por sedimentos terciarios post-oligocenos consolidados o semi-consolidados que reposan directamente sobre el basamento acústico;

2) una unidad acústicamente transparente o "couche fluante" que corresponde a la serie salina habitualmente atribuida al Messiniense. El espesor original de esta unidad varía entre los 100 y 400 metros y está en contacto disconforme con la unidad suprayacente;

3) una unidad con buenos reflectores, constituida por yesos, anhidritas, dolomitas y margas messinienses. El contacto con la unidad suprayacente también es disconforme y su espesor varía entre 100 y 300 metros. Estas dos unidades evaporíticas originan una importante tectónica salina en toda el área sur-baleár;

4) Plio-Cuaternario, constituido fundamentalmente por lutitas turbidíticas y hemipelágicas y arenitas turbidíticas y cuyo espesor total oscila entre 100 y 700 metros.

En el ascenso continental la serie del Neógeno-Cuaternario se acuña y desaparecen los términos más modernos, llegando a aflorar incluso el basamento acústico sobre los altos estructurales. Esta disminución de espesor se generaliza sobre la mayoría del talud continental donde sólo existe una delgada cobertera sedimentaria excepto en las depresiones delimitadas por los bloques estructurales. Ocasionalmente, el basamento acústico aflora en el escarpe de Cabrera, en los márgenes del canal de Menorca y en la dorsal y escarpe de Menorca (Fig. 1).

La plataforma continental de las Baleares asimismo está caracterizada en muchos sectores por un Neógeno subaflorante sobre el que se sitúa una delgada cobertera de sedimentos más modernos. Al igual que en el talud continental, existen lineaciones estructurales que han dado lugar al desarrollo de depresiones con fuertes acumulaciones de sedimentos del Plio-Cuaternario.

A grandes rasgos la cobertera sedimentaria más potente en el margen continental surbalear se localiza en las depresiones definidas por los bloques estructurales en el sector del abanico submarino de Menorca, donde puede alcanzar los 700 metros de potencia. En el resto del área estudiada este recubrimiento del Plio-Cuaternario no sobrepasa por lo general los 100-200 metros de potencia (ver perfiles publicados por Stanley et al., 1976; Maldonado y Stanley, 1979; Mauffret, 1979).

## LOS SEDIMENTOS RECIENTES DEL MARGEN SUR-BALEAR

Los sedimentos del Cuaternario Superior del ascenso y talud continental sur-balear han sido analizados por Maldonado y Stanley (1979) y Kelling et al. (1979). La mayor variedad de facies se da en el cañón y abanico submarinos de Menorca, que desempeñan un papel de gran importancia en toda la zona. La mayoría de sedimentos de tamaño arena están asociados al abanico submarino de Menorca; estos sedimentos consisten fundamentalmente en arenas de canal y arenas turbidíticas, generalmente interstratificadas con lodos hemipelágicos. Según Maldonado y Stanley (1979) en el resto del área predominan las facies constituidas fundamentalmente por lodos hemipelágicos. Al Este de la dorsal de Menorca, y en su base, el espesor de sedimentos del Plio-Cuaternario es muy pequeño o inexistente y abundan los vacíos erosionales y los hiatos. El fondo está a menudo cubierto por gravas (observaciones no publicadas de las campañas EASTWARD-78 y CORNIDE DE SAAVEDRA-80-4). La presencia de estos materiales groseros, así como la de contouritas en esta área, debe ser atribuida a corrientes que

barren el fondo con una intensidad no conocida al Oeste de la dorsal de Menorca.

El presente estudio de los testigos, en base a las diversas técnicas sedimentológicas, ha permitido caracterizar los siguientes tipos de sedimentos de las partes más proximales a las más distales del margen continental: arenas de desbordamiento, lodos de talud, lodos gravitativos, arenas limosas gravitativas, turbiditas, hemipelagitas y contouritas (Fig. 2 y Tabla 3).

Estos sedimentos pueden ser agrupados en tres grandes categorías en función de los diferentes procesos responsables de su deposición. Por lo tanto, se atiende fundamentalmente a un criterio de tipo genético, lo cual lleva necesariamente implícito un cierto grado de interpretación. La agrupación de los diversos tipos de depósitos desde el punto de vista genético permite: (a) establecer las relaciones mútuas entre ellos y (b) definir de una manera más precisa los tipos de procesos implicados en su desarrollo (Middleton y Hampton, 1973). Los tres grupos principales de sedimentos que se distinguen en el margen sur-balear en función de los diferentes tipos de procesos implicados en su desarrollo son: (1) sedimentos asociados con suspensiones, (2) sedimentos gravitativos, y (3) sedimentos asociados a corrientes profundas (Tabla 3).

### Sedimentos asociados con suspensiones

Los principales depósitos formados por sedimentación diferencial lenta de las partículas en suspensión muy diluida en las masas de agua son los lodos hemipelágicos.

Los lodos hemipelágicos (\*) se caracterizan por una apariencia uniforme o moteada en las radiografías y en ellos la única estructura sedimentaria generalmente observada es bioturbación del tipo Mycellium. Los porcentajes de arena oscilan entre un 30% y un 14% y el contenido de carbonato varía entre un 31% y un 73% (Fig. 3). Las asociaciones de foraminíferos están bien o bastante bien preservadas. La fracción arena está constituida fundamentalmente por componentes biógenos, entre los que destacan por su abundancia los foraminíferos planctónicos y los pterópodos (Fig. 3). La selección es muy pobre y la asimetría en phi tiene tanto valores positivos como negativos (Tabla 2).

Es característica la alternancia entre diferentes tipos de lodos hemipelágicos: lodos amarillos-marrón calcáreos, niveles oscuros de lodos orgánicos que podrían ser asimilados a sapropeles (Maldonado, 1978), lodos grises y lodos marrones. Estas alternancias constituyen, a menudo, auténticos ciclos sedimentarios (Maldonado 1978; Stanley y Maldonado, 1979; Canals, 1980).

Excepto en el testigo 426, los lodos hemipelágicos están presentes en todos los testigos analizados, constituyendo en el caso de los testigos 405 y 406 la totalidad de la sección recuperada (Fig. 2).

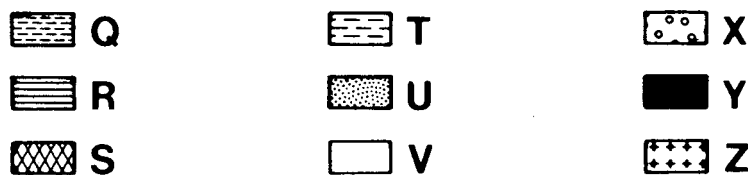
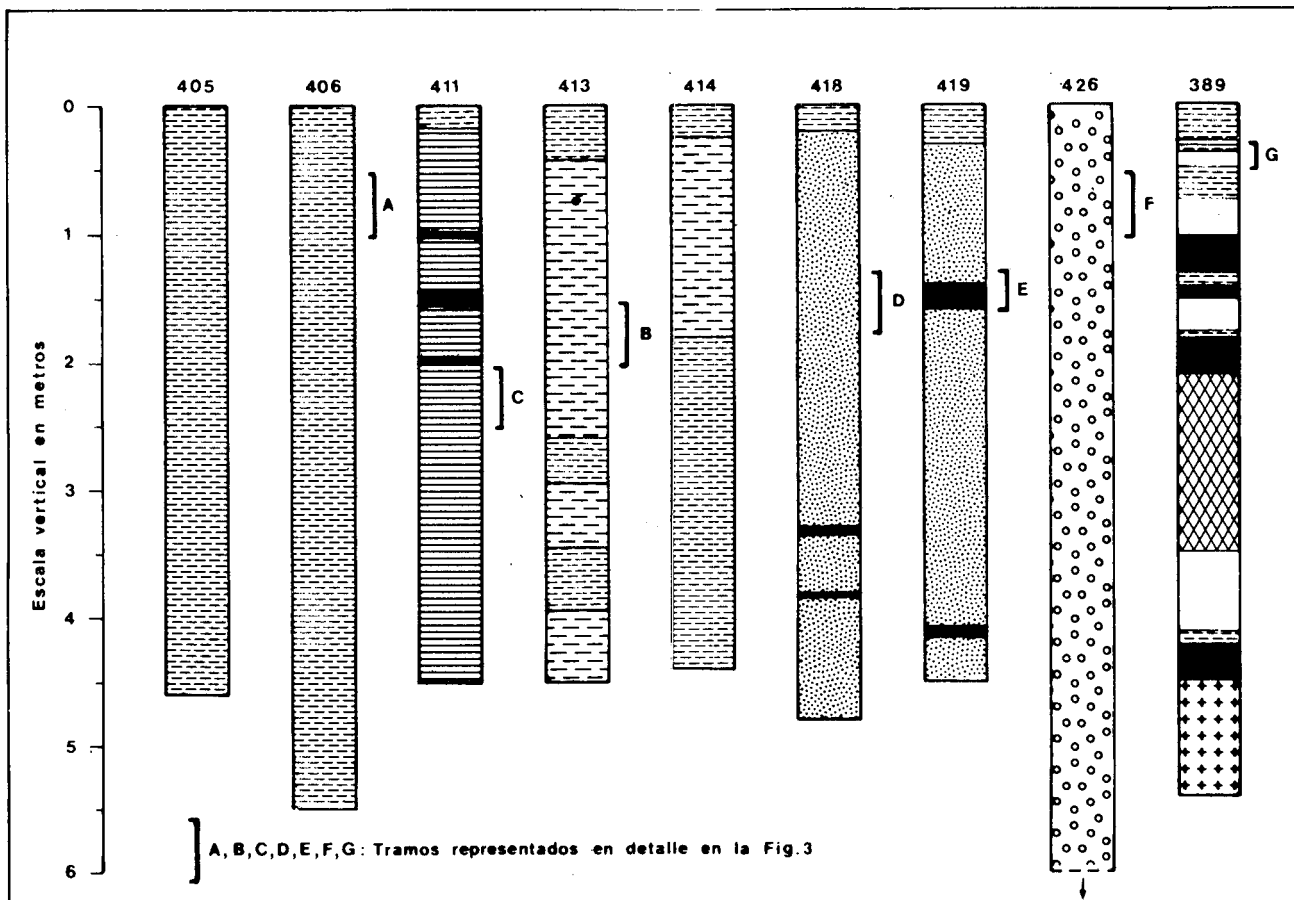


Fig. 2. Perfiles litológicos de los testigos analizados en este estudio. Leyenda, Q: lodos hemipelágicos; R: lodos gravitativos; S: "slumping"; T: lodos de talud; U: arenas limosas gravitativas; V: sedimentos asociados a corrientes; X: Arenas de desbordamiento de borde de plataforma; Y: arenas turbidíticas; Z: otros tipos de sedimentos.

### Sedimentos gravitativos

Se incluyen en este grupo genéticamente asociado depósitos de diversos tipos de sedimentos originados fundamentalmente a partir de flujos gravitativos (Middleton y Hampton, 1973). En el margen sur-balear se pueden distinguir dos grandes asociaciones de depósitos dentro de esta categoría. Un grupo está constituido por los diversos tipos de sedimentos clásicamente asociados a corrientes de turbidez y flujos en masa o flujo de arena (Cf. Stanley, 1974). A este grupo pertenecen las arenas limosas gravitativas y las arenas, limos y lodos turbidíticos. El segundo grupo de sedimentos está menos caracterizado en la literatura geológica y corresponde a sedimentos gravitativos formados a partir de otros procesos gravitativos.

En este grupo se diferencian: las arenas de desbordamiento de la plataforma continental, los lodos de talud y los lodos gravitativos.

### Sedimentos gravitativos clásicos

Las arenas limosas gravitativas no son turbidíticas en sentido estricto; están constituidas por potentes capas de arenas limosas inmaduras localizadas generalmente en la base de taludes continentales de fuerte pendiente. Estas arenas son atribuidas a los términos más distales de los depósitos iniciados a partir de desbordamientos del borde de la plataforma continental que han sido transformadas en diversos flujos gravitativos en masa o corrientes de turbidez poco evolucionadas a su paso a lo largo del talud continental.

| TIPO DE SEDIMENTO                               | C  | Q <sub>3</sub> | Md    | Q <sub>1</sub> | φ <sub>16</sub> | Md <sub>φ</sub> | φ <sub>84</sub> | So  | Sk        | α <sub>φ</sub> | D     | σ <sub>φ</sub> | k             | M <sub>φ</sub> |
|---|--|----------------|-------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|-----------|----------------|-------|----------------|---------------|----------------|
| Lodos hemipelágicos                             | 233,2                                      | 21,7           | 3,2   | 0,6            | 4,8             | 8,2             | 12,2            | 5,9 | 1,2       | 0,1            | 6,3   | 3,7            | 0,2           | 8,5            |
| Lodos de talud                                  | 246,1                                      | 12,7           | 3,2   | 0,4            | 5,5             | 8,2             | 12,9            | 5,3 | 0,5       | 0,3            | 6,1   | 3,7            | 0,1           | 9,2            |
| Lodos gravitativos                              | 198,9                                      | 25,9           | 8,1   | 0,5            | 4,4             | 6,9             | 14,2            | 7,1 | 0,2       | 0,5            | 12,7  | 4,9            | 0,2           | 9,4            |
| Arenas limosas gravitativas                     | 235,6                                      | 116,0          | 60,6  | 11,1           | 2,7             | 4,0             | 9,7             | 3,2 | 0,3       | 0,5            | 52,5  | 3,5            | 0,3           | 6,2            |
| Arenas turbidíticas                             | 636,3                                      | 462,3          | 289,7 | 112,7          | 0,9             | 1,7             | 4,8             | 2,0 | 0,6       | 0,5            | 174,7 | 1,9            | 0,4           | 2,8            |
| Arenas de desbordamiento de borde de plataforma | 180,0                                      | 97,0           | 68,5  | 33,0           | 3,1             | 3,8             | 6,0             | 1,7 | 0,7       | 0,3            | 32,5  | 1,2            | 0,3           | 4,3            |
| Contouritas s.str.                              | No hay datos por insuficiencia de muestras |                |       |                |                 |                 |                 |     |           |                |       |                |               |                |
| Contouritas "winnowed"                          | 360,0                                      | 39             | 5     | 1,5            | 2,3             | 7,6             | 10,5            | 4,5 | 3 a<br>10 | -0,25          | 18    | 3,9            | 0,04<br>a 0,3 | 6,3            |
| Depósitos residuales                            | 3200                                       | 1340           | 370   | 34,3           | 0,9             | 1,4             | 7,7             | 6,2 | 0,3       | 0,4            | 651,0 | 4,3            | 0,3           | 3,4            |

TABLA 2. Valores usuales de los principales parámetros granulométricos estadísticos de los diferentes tipos de sedimentos recientes caracterizados en el margen continental sur-baleár. C, centilo; Q<sub>3</sub> y Q<sub>1</sub>, cuartiles; Md, mediana; φ<sub>16</sub> y φ<sub>84</sub>, cuartiles en phi; Md<sub>φ</sub>, mediana en unidades phi; So, clasificación ("sorting" de Trask); Sk, asimetría ("skewness" de Trask); α<sub>φ</sub>, asimetría en phi ("skewness" de Inman); D, desviación de cuartiles; σ<sub>φ</sub>, desviación en phi ("sorting" en phi de Inman); k, angulosidad ("kurtosis" de Kelley). M<sub>φ</sub>, tamaño medio de grano en unidades phi.

En el margen sur-baleár estas arenas forman niveles potentes (hasta 3 metros) que carecen de estructura en los tramos basales, pero que hacia el techo pueden desarrollar una granoclasificación decreciente debido a la disminución de la turbulencia y la velocidad de flujo. Presentan intercalaciones de arenas turbidíticas limpias de base truncada (Fig. 2). Predominan los componentes terrígenos, que forman más del 50% de la fracción arena, lo que indica la procedencia nerítica de los materiales, mientras que las asociaciones de foraminíferos están entre medianamente y muy mal preservadas (Fig. 3). La relación terrígenos/biógenos es siempre superior a 1 y la clasificación es mejor cuanto mayor es la mediana. Constituyen casi la totalidad de los testigos 418 y 419 (Fig. 2).

En el ascenso continental sur-baleár, asimismo, se identifican los tres tipos de depósitos turbidíticos clásicamente descritos en la literatura geológica: arenas turbidíticas, limos turbidíticos y lodos turbidíticos (Rupke y Stanley, 1974). Los dos primeros están ubicados casi exclusivamente en el canal y abanico submarinos de Menorca. Cuando se presentan conjuntamente, existe una continuidad estructural, textural y composicional entre los lodos turbidíticos y los limos y arenas turbidíticas infra yacentes. Todos los tipos de depósitos turbidíticos presentan una granoclasificación decreciente muy marcada; paralelamente a la granoclasificación, se observa un aumento del grado de fracturación de los componentes planctónicos hacia el techo de los niveles turbidíticos. Los lodos turbidíticos están mejor clasificados que los lodos hemipelágicos debido al efecto de la selección hidrodinámica durante el transporte por la corriente de turbidez (Rupke y Stanley, 1974).

#### Otros sedimentos gravitativos

En este grupo se incluyen aquellos depósitos gravitativos formados a partir de flujos en masa y suspensiones de sedimentos de diversa densidad. El representante más fácilmente identificable de este grupo está constituido por las arenas de derramamiento de borde de plataforma (cf. Stanley y Unrug, 1972).

Estos depósitos derivan de suspensiones relativamente densas formadas en la ruptura de pendiente del borde de la plataforma continental por una fuerte agitación del fondo, frecuentemente debida a la acción de tormentas, corrientes profundas u olas internas y coincidiendo, en general, con los mínimos eustáticos. Los sedimentos puestos en suspensiones relativamente densas, son transferidos gravitativamente al talud continental donde pueden llegar a formar importantes acumulaciones. Deslizamientos gravitativos en masa de arenas litorales relictas ubicadas en el borde de la plataforma continental han podido asimismo contribuir al desarrollo de estos potentes depósitos.

Los sedimentos atribuidos a este grupo están constituidos en el margen sur-baleár por arenas lutíticas carentes de estructuras sedimentarias observables. En ellas, predominan los componentes terrígenos y, debido a su elevado grado de fracturación, las asociaciones de foraminíferos están muy mal preservadas (Fig. 3). La clasificación de estas arenas es buena (1, 5 a 2) y el centilo está comprendido entre 150 μm y 200 μm (Tabla 2). Constituyen la totalidad del testigo 426 (Fig. 2).

Los lodos gravitativos son el resultado de la interacción de procesos gravitativos y procesos asociados con suspensiones en las partes superiores del talud. En estu-

| SEDIMENTOS                                      | PROCESOS   |
|---|--|
| DEPOSITO DE SUSPENSIONES                        |  |
| Hemipelagitas                                   | Sedimentación diferencial  |
| SEDIMENTOS GRAVITATIVOS                         |  |
| A) Clásicos                                     |  |
| Turbiditas                                      | Corrientes de turbidez   |
| Arenas limosas gravitativas                     | Corrientes de turbidez y flujos de arena en masa   |
| B) Otros tipos                                  |  |
| Arenas de desbordamiento de borde de plataforma | Flujos en masa y suspensiones de diversa densidad e incluso corrientes de turbidez incipientes (que generarían turbiditas inmaduras) |
| Lodos gravitativos                              |  |
| Lodos de talud                                  |  |
| SEDIMENTOS ASOCIADOS                            |  |
| A CORRIENTES DE FONDO                           |  |
| Contouritas s.str.                              | Retrabajamiento y depósito por corrientes de fondo   |
| Contouritas de retrabajamiento                  |  |
| Depósitos residuales                            |  |

TABLA 3. Cuadro resumen de los tipos de sedimentos recientes definidos en el margen continental sur-baleár y de los principales procesos responsables de su formación. En la Fig. 5 se representa la distribución espacial de estos sedimentos en el margen continental y las relaciones entre sedimentos y procesos.

dios anteriores (Huang y Stanley, 1972; Rupke y Stanley, 1974; Kelling et al., 1979) se les presta poca o nula atención. No obstante, en el estrecho de Sicilia, Maldonado y Stanley (1976) estudian unos lodos neríticos que guardan cierta semejanza textural y estructural con los lodos gravitativos y a los que denominan "lodos de aguas someras" (*shallow water muds*).

Los lodos gravitativos del margen sur-baleár se presentan en potentes niveles (40 cms a 250 cms) intercalados con delgadas pasadas turbidíticas (Fig. 2). La preservación de las asociaciones de foraminíferos es pobre debido a la mezcla de elementos terrígenos procedentes de la plataforma y de elementos pelágicos. Se diferencian de los lodos hemipelágicos en que los lodos gravitativos son mucho más arenosos (10% al 15%, habitualmente), la composición de la fracción arena es netamente distinta y en ella la proporción de terrígenos es mucho más alta (25% al 75%), las asociaciones de foraminíferos están pobremente preservadas, la asimetría en phi es siempre positiva y, por último, los lodos gravitativos no presentan nunca un desarrollo cíclico (Tabla 2). Los lodos gravitativos constituyen prácticamente la totalidad del testigo 411 (Fig. 3).

El tercer representante de este grupo lo constituyen los lodos de talud, que son materiales de grano fino procedentes de las partes superiores del talud y que han sido transportados a zonas más profundas por flujos gravitativos de baja densidad (Canals, 1980). Sus características

distintivas son intermedias entre las de los lodos gravitativos y los lodos hemipelágicos. El 70% y el 36%, respectivamente, de los testigos 413 y 414 están constituidos por lodos de talud (Fig. 2).

Los lodos hemipelágicos, los lodos de talud y los lodos gravitativos son el resultado de un balance entre flujos gravitativos de diversa densidad y procesos posicionales asociados con suspensiones. En un extremo están los lodos gravitativos y en el otro los lodos hemipelágicos.

### Sedimentos asociados a corrientes de fondo.

A este tipo de sedimentos se les suele aplicar el término de "contouritas". Estas se definen como sedimentos depositados por corrientes de fondo de circulación lenta que sigan el contorno del margen continental (Heezen y Hollister, 1971; Hollister y Heezen, 1972; Bouma y Hollister, 1973). Las citas de contouritas en todos los océanos han aparecido con profusión en la última década habiendo sido más recientemente propuestos criterios que permiten su identificación (Stow, 1977; Stow y Lovell, 1979). Así, se distingue entre contouritas distales o contouritas s. str. y contouritas de retrabajamiento (*winnowed*), según la denominación de Stow (1977). el con-

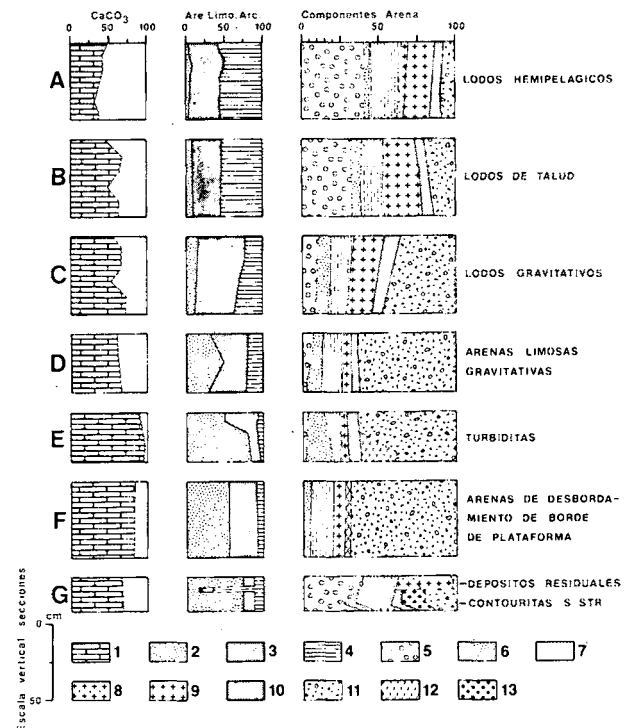


Fig. 3. Perfil de porcentajes de carbonato, textural y de composición de la fracción arena ( $63\mu\text{m}$ ) para los diferentes tipos de sedimentos caracterizados. A, composición global del sedimento: 1, % carbonato; 2, % arena; 3, % limo; 4, % arcilla. B, composición fracción arena: 5, foraminíferos plactónicos; 6, foraminíferos bentónicos; 7, fragmentos de foraminíferos plactónicos; 8, pterópodos; 9, fragmentos de pterópodos; 10, otros componentes biógenos; 11, terrígenos; 12, otros moluscos; 13, glauconita.

cepto de contourita distal sólo implicaría una deposición por corrientes de fondo, mientras que el concepto de contourita de retrabajamiento implica, además de depósito, fundamentalmente cernido y entresacado del sedimento original. Los depósitos residuales serían un caso extremo de contouritas de retrabajamiento.

En el testigo 389, del escarpe de Menorca, se distinguen tres tipos de sedimentos asociados a corrientes de fondo: contouritas s. str., contouritas de retrabajamiento y depósitos residuales; de éstos, las contouritas de retrabajamiento y los depósitos residuales estarían genética y conceptualmente emparentados y pertenecerían al mismo grupo de sedimentos.

Debido al pequeño espesor de los niveles respectivos de estos tipos de sedimentos el testigo 389 se han agrupado todos ellos en la Fig. 2 bajo la denominación de sedimentos asociados a corrientes de fondo.

#### *Contouritas s. str.*

Las contouritas s. str. dan lugar a unos cuerpos sedimentarios de granulometría y dimensiones muy variables, desde los grandes montículos alargados de gravas y arenas de ciertas zonas oceánicas hasta delgadas láminas que no superan los 5 mm. de espesor. Las características estructurales y composicionales varían mucho de un lugar a otro.

Las contouritas s. str. del testigo 389 son un nivel de unos 12 cms., con contacto basal erosivo, que pasan gradualmente hacia el techo a lodos hemipelágicos. Este nivel está formado por una alternancia de láminas delgadas irregulares, onduladas, claras y oscuras. Las láminas oscuras presentan concentraciones de glauconita y minerales pesados (Fig. 3). Las asociaciones de foraminíferos están bastante mal preservadas y la relación terrígenos/biógenos en la fracción arena es 0,35. Hay un 16,6% de glauconita y cantidades insignificantes de pirita. Los principales componentes biogénicos, que en total constituyen el 61,6% de la fracción arena, son los foraminíferos planctónicos (26%) y los fragmentos de foraminíferos planctónicos (23,5%). Prácticamente, no hay mica (Fig. 3).

#### *Contouritas de retrabajamiento*

Las contouritas de retrabajamiento del testigo 389 no presentan, a semejanza de las definidas por Stow (1977), ninguna estructura primaria y ofrecen un aspecto sacaroide, como bioturbado. Estos niveles acaban frecuentemente por un contacto neto con los sedimentos suprayacentes, mientras que el contacto basal suele ser de carácter más gradual.

Las contouritas de retrabajamiento estudiadas tienen un contenido en arena bastante elevado (35% a 19%) mostrando una textura con poca dispersión de los puntos

en la zona central del diagrama ternario arena-limo-arcilla. El contenido en carbonato oscila alrededor del 65%.

Las asociaciones de foraminíferos de la fracción arena están bien preservadas, quizás debido a la rotura y transporte por las corrientes de fondo de los caparzones más frágiles; este puede ser el caso de los pterópodos, ausentes casi por completo. La misma acción de las corrientes de fondo ha favorecido la acumulación de importantes concentraciones (55% a 77% en la fracción arena) de foraminíferos planctónicos de buen tamaño y de caparazón más resistente. La relación entre terrígenos y biógenos es extremadamente baja (máximo: 0,05). A veces, hay pirita (máximo: 10,6%) y glauconita (máximo: 1,2%) y casi siempre algo de mica (< 1,5 %) en la fracción de arena.

El limitado número de muestras analizadas de este tipo de sedimento revela una variabilidad notable de los parámetros granulométricos. Un aumento de la velocidad de la corriente de fondo hace cambiar la asimetría del sedimento de negativa a positiva a medida que aumenta el tamaño de grano del depósito (Maldonado, 1979). En los casos extremos, la asimetría es fuertemente positiva (hasta 10,2) (Tabla 2).

El tamaño medio de grano aumenta paralelamente al aumento de la velocidad de la corriente de fondo, pero el centilo C (máximo: 1.490  $\mu\text{m}$ ) disminuye debido a la fragmentación y removilización de los foraminíferos planctónicos. La clasificación del sedimento es mala (valores superiores a 4,5) y el tamaño medio de grano oscila entre 6 y 7 phi (Tabla 2).

#### *Depósitos residuales*

Los depósitos residuales forman un nivel de unos 3 cms de grosor, con base erosiva en el testigo 389 (Fig. 3); el contacto superior también es neto. No se observa la laminación de las contouritas s. str. y su aspecto es más parecido al de las contouritas de retrabajamiento. Se diferencian de éstas, por su elevado contenido en arena (71% frente a un 35%-19%), mientras que el contenido en carbonato es muy parecido (66% y 65%, respectivamente).

La mediana en phi es 1,4 (arena gruesa) y la asimetría en phi es positiva. El centilo toma valores muy elevados y la mediana M es 371  $\mu\text{m}$ . La clasificación es mala.

Los principales componentes biógenos de la fracción arena son los foraminíferos planctónicos (37,5%), los pterópodos (15%) y los fragmentos de ambos tipos de organismos (20,5 % y 23,5 % respectivamente). La relación terrígenos/biógenos es 0,015. La glauconita, la pirita y los foraminíferos bentónicos faltan o están presentes en cantidades mínimas (Fig. 3). Esta composición de la fracción arena, junto a las características texturales y estructurales sugiere que los depósitos residuales pueden haber derivado de los lodos hemipelágicos por cernido de la fracción fina debido a las corrientes de fondo.



## SECUENCIAS SEDIMENTARIAS

Los diferentes tipos de sedimentos caracterizados en el margen continental sur-baleár pueden ser agrupados en secuencias, las cuales consisten en la sucesión vertical y repetición de determinados tipos de sedimentos. Son el resultado de procesos sedimentarios específicos de carácter local, tales como corrientes de turbidez o deslizamientos gravitacionales y, por tanto, no permiten correlacionar a nivel de cuenca (Maldonado, 1979). A menudo, las secuencias son difíciles de correlacionar incluso entre testigos muy próximos entre sí (Maldonado y Stanley, 1976).

En el abanico submarino de Menorca, Kelling et al., (1979) y Maldonado y Stanley (1979) distinguen tres tipos de secuencias: de canal, turbidítica y hemipelágica. Las secuencias de canal están formadas por arenas verticalmente grano-crecientes o grano-decrecientes mientras que las secuencias turbidíticas, con el término pelítico  $T_e$  muy reducido o que incluso puede faltar, siempre son grano-decrecientes (Kelling et al., 1979). Las secuencias hemipelágicas son las más ampliamente extendidas en el abanico submarino de Menorca, y están constituidas exclusivamente por lodos hemipelágicos.

En las áreas del talud y ascenso continental superior adyacentes al abanico submarino de Menorca, se encuentra, además de las secuencias hemipelágicas y turbidíticas, otra secuencia característica del talud continental, que la denominamos secuencia de talud. Desaparecen, en cambio, las secuencias de canal.

Las secuencias hemipelágicas están representadas en los testigos 405 y 406 (Fig. 2). En estos dos testigos, los lodos hemipelágicos se presentan en niveles alternantes cuyo colorido, contenido en carbonato, características geoquímicas y posibilidades de correlación a nivel de cuenca les confieren un carácter cíclico que trasciende del simplemente secuencial (Kelling et al., 1979; Canals, 1980).

Las secuencias turbidíticas al pie del escarpe de Emile Baudot son muy inmaduras, suelen presentar la base truncada y se encuentran por lo general asociadas a las arenas limosas gravitativas, con las que pueden ser transicionales. No obstante, se pueden presentar algunas turbiditas de arenas con base truncada, que muestran la secuencia característica de estos depósitos. Las secuencias turbidíticas están representadas en los testigos 389, 418 y 419 (Fig. 2).

Dentro de la secuencia de talud, se distinguen dos subtipos: el primero está constituido fundamentalmente por potentes niveles muy homogéneos de los lodos de talud; el segundo subtipo es más variado y está constituido por lodos gravitativos que alternan con secuencias hemipelágicas. Estas secuencias están representadas en los testigos 411, 413 y 414 (Fig. 2).

La única secuencia que resta por definir es la representada por sedimentos asociados con corrientes de fondo, que está compuesta por contouritas s. str., contouritas de retrabajamiento depósitos residuales, todos ellos intercalados con otros tipos de sedimentos, entre los que incluso hay paquetes slumpizados. Esta es la más compleja de todas las secuencias definidas y sólo aparece en el testigo 389 (Fig. 2).

Finalmente, los sedimentos del testigo 426 no pertenecen a ninguna de las secuencias anteriormente descritas, sino que consisten en potentes capas de arenas de desbordamiento que no muestran granoclasificación ni tendencias verticales bien definidas.

## INDICES DE SEDIMENTACION

El análisis de los índices de sedimentación de los testigos continuos del margen sur-baleár pone de relieve dos hechos de gran importancia: 1) la estrecha correlación existente entre los tipos de procesos responsables de la génesis de los diferentes depósitos y la velocidad con que éstos se acumulan, y 2) el paralelismo entre las variaciones de los índices de sedimentación en el tiempo y las oscilaciones climático-eustáticas del Cuaternario Superior (Fig. 4). Estas últimas, han condicionado la migración de los centros deposicionales de la plataforma hacia el continente, lo que da lugar a un descenso generalizado de los índices de sedimentación durante el Holoceno superior (Stanley y Maldonado, 1977; Kelling et al., 1979; Stanley y Maldonado, 1979).

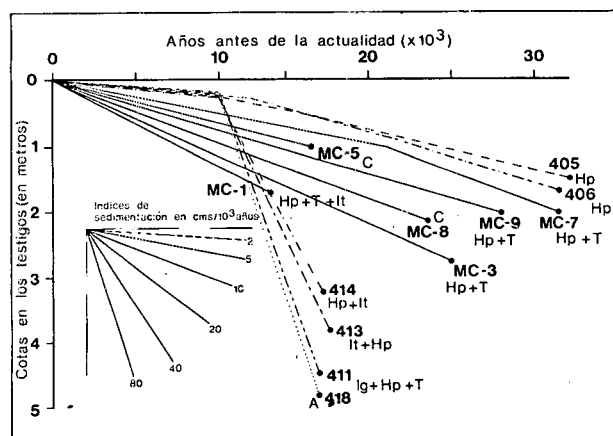


Fig. 4. Índices de sedimentación de los diferentes testigos del ascenso continental sur-baleár. Se establece una comparación entre los testigos de Kelling et al. (1979), para los que se mantiene la nomenclatura original (MC-1, MC-3, MC-5, MC-7, MC-8 y MC-9), y los testigos analizados en el presente estudio (405, 406, 411, 413, 414 y 418). Se indican, asimismo, las diferentes litologías presentes en cada testigo. Hp: lodos hemipelágicos; T: turbiditas; C: arenas de canal; It: lodos de talud; Ig: lodos gravitativos y A: arenas limosas gravitativas.

Los índices de sedimentación, establecidos en datación directa o por correlación a partir de las dataciones con C-14 y Th-230, presentan los valores más altos en las arenas de desbordamiento, los lodos de talud y los lodos gravitativos. Para estos dos últimos tipos de sedimentos, los valores son superiores a 60 cms/1.000 años (testigos 411, 413 y 414; Figs. 2 y 4). Por el contrario los lodos hemipelágicos presentan los valores más bajos (2 a 8 cms./1.000 años; Fig. 4). Además, estos índices de sedimentación no son constantes, sino que varían a lo largo del tiempo. Para el Cuaternario Superior, los valores más altos calculados en los lodos hemipelágicos corresponden al período comprendido aproximadamente entre 32.000 y 21.000 a. A. A., con un índice de sedimentación de 8 cms/1.000 años. Entre 21.000 y 12.000 a. A. el índice de sedimentación es 5 cms/1.000 años, para ser aún menor entre 12.000 a. A. y la actualidad, período durante el cual sólo alcanza a 2 cms/1.000 años. Entre 100.000 y 32.000 a. A. A. el índice de sedimentación es de 6 cms/1.000 años (Fig. 4). Estos valores equivalen a un índice de sedimentación medio de los lodos hemipelágicos para los últimos 100.000 de 5,5 cms/1.000 años.

La notable disminución vertical de los índices de sedimentación a partir de 32.000 a. A. A. en la sección estratigráfica también la observan Kelling et. al. (1979). Estos autores señalan en un testigo compuesto exclusivamente por lodos hemipelágicos, recogidos en una área elevada del ascenso continental sur-baleár, índices de sedimentación que pasan de 9 cms/1.000 años entre 30.000 y 20.000 a. A. A., a 5 cms/1.000 años entre 20.000 y 3.000 a. A. A., y a 2 cms/1.000 años en los últimos 3.000 años. El índice de sedimentación medio de este testigo está comprendido entre 6 y 7 cms/1.000 años.

Se debe además señalar que los índices de sedimentación de los lodos hemipelágicos del margen continental sur-baleár son sensiblemente inferiores a los de otras áreas del Mediterráneo occidental. Así, el índice de sedimentación de los sedimentos hemipelágicos de la adyacente cuenca algero-baleár es de unos 10 cms/1.000 años (Rupke y Stanley, 1974).

Los testigos del margen sur-baleár que contienen lodos turbidíticos, presentan valores intermedios entre los lodos hemipelágicos y los lodos mixtos y gravitativos del talud (testigos 1, 3, 5, 8 y 9 de Kelling et al., 1979; Fig. 4). Estos valores son más o menos altos en función de la proporción de lodos turbidíticos en el testigo.

La comparación entre las curvas climático-eustáticas del Cuaternario Superior y las variaciones de los índices de sedimentación en el tiempo muestra por lo general una buena correspondencia. Este fenómeno ha sido claramente puesto de manifiesto en la zona del estudio (Kelling et al., 1979) y en otras áreas del Mar Mediterráneo (Stanley y Maldonado, 1979; Feldhausen et al., 1981). A grandes rasgos, se observa un aumento de los índices de sedimentación durante los mínimos eustáticos y un claro

descenso durante los niveles altos del mar. Sin embargo los valores máximos y mínimos de los índices de sedimentación no coinciden con los correspondientes niveles eustáticos sino que ocurren durante momentos de cambios eustáticos, por lo que hay otra serie de factores que deben controlar las variaciones de los índices de sedimentación.

En el margen sur-baleár el cambio más notable en los índices de sedimentación ocurren a partir de hace unos 10.000-12.000 años (Fig. 4). Este cambio está asociado a una generalización de la sedimentación hemipelágica en el área estudiada, con la consiguiente disminución brusca de los índices de sedimentación, que pasan a ser de 2 cms/1.000 años en las diferentes provincias deposicionales del margen. Este hecho debe relacionarse con una notable alteración de las condiciones oceanográficas de la cuenca sedimentaria tal como ha sido asimismo puesto de manifiesto en las cuencas orientales del Mar Mediterráneo. No obstante, en dichas cuencas, este fenómeno ocurre mucho más tardíamente alrededor de hace unos 6.000 años (Stanley y Maldonado, 1979).

## DISCUSION

Los diferentes tipos de sedimentos caracterizados en el margen continental sur-baleár a partir del análisis de testigos continuos muestran una distribución claramente preferencial en las diferentes provincias del margen (Fig. 5).

Los sedimentos detríticos de grano grueso presentan la mayor afinidad con áreas específicas de deposición: arenas de desbordamiento en el talud superior, arenas limosas gravitativas en la base de fuertes pendientes y en zonas de ruptura de pendiente, turbiditas completas en el ascenso continental y abanico submarino de Menorca. Los sedimentos de grano fino, por el contrario, están menos restringidos, aunque asimismo son más abundantes en determinadas provincias sedimentarias: lodos gravitativos en el talud y ascenso continental, disminuyendo progresivamente hacia aguas profundas; lodos de talud en el talud continental inferior, preferentemente aunque también se presentan en otras zonas del ascenso y talud continental; lodos hemipelágicos, preferentemente en zonas del margen continental aisladas o protegidas del acceso directo de los aportes terrígenos procedentes de la plataforma continental.

Esta distribución espacial de los diferentes tipos de sedimentos en el margen es una consecuencia directa de los tipos de procesos deposicionales responsables de su desarrollo, los cuales se encuentran ligados (Fig. 5 Tabla 3) genéticamente.

La relación genética entre algunos de los depósitos gravitativos identificados en el margen sur-baleár es reconocida a partir de los trabajos de Middleton y Hampton

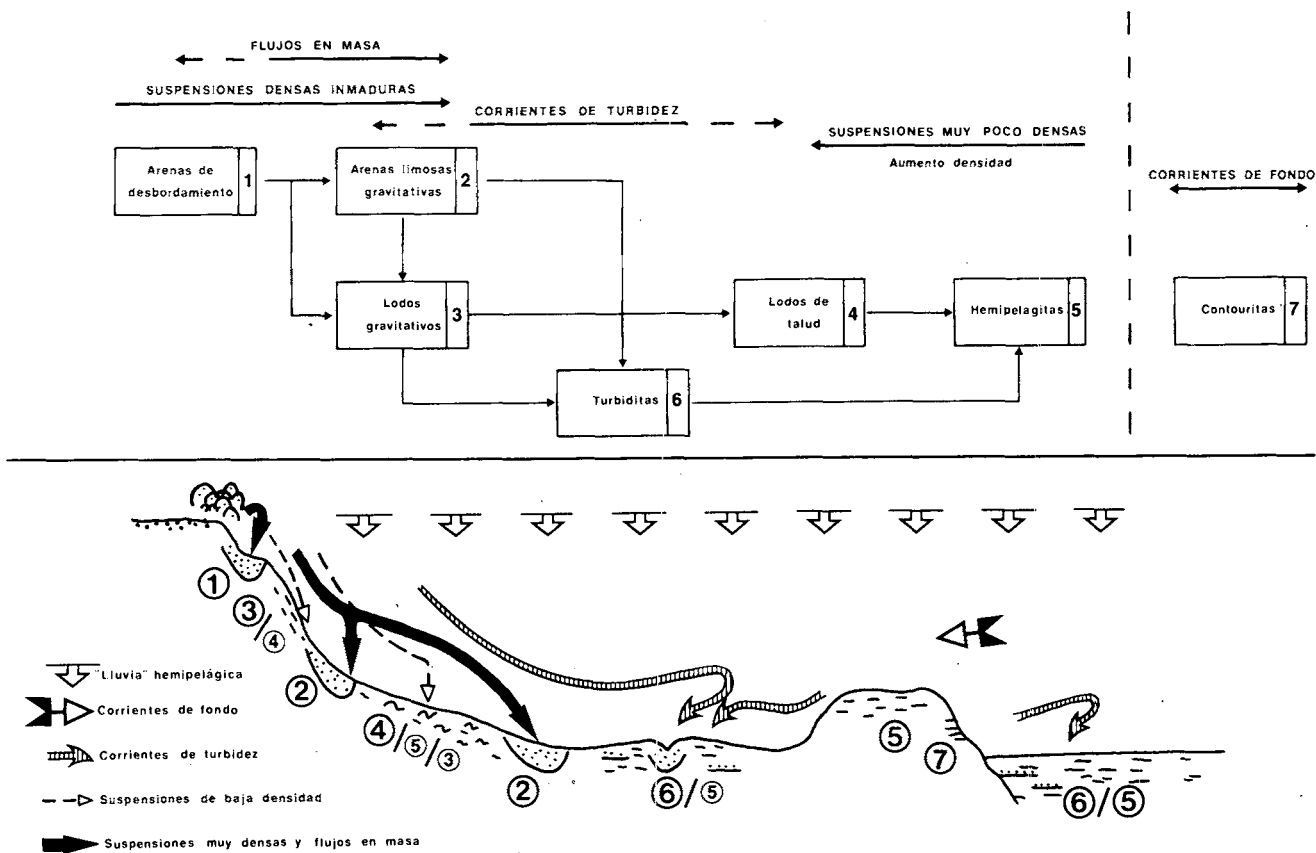


Fig. 5. Esquema del modelo deposicional propuesto sobre los procesos actuantes en el margen continental sur-baleár y los sedimentos que de ellos resultan.

(1973) y es generalmente aceptada habiendo sido puesta de relieve en numerosos modelos establecidos a partir de series modernas y antiguas. En este grupo incluimos las arenas limosas gravitativas, formadas a partir de flujos en masa o suspensiones densas inmaduras, y las turbiditas, a las cuales se encuentran asociadas.

Otros tipos de sedimentos gravitativos identificados en el margen sur-baleár, por el contrario, no han sido frecuentemente reconocidos como miembros de esta serie de depósitos genéticamente ligados. Entre éstos están las arenas de desbordamiento, los lodos gravitativos y los lodos de talud (Fig. 5). Las arenas de desbordamiento ocupan las zonas deposicionales más próximas del margen y se interpretan como el primer término de todos los depósitos gravitativos. Estas arenas pueden haber sido generadas a partir de suspensiones de diversa densidad y flujos de arena en masa; su producto más directo en las provincias más distales del margen son las arenas limosas gravitativas y las turbiditas. Las arenas de desbordamiento asimismo pueden haber evolucionado por sedimentación diferencial de su fracción gruesa, hacia los lodos gravitativos o lodos de talud y turbiditas. No obstante en las genesis de los lodos gravitativos y lodos de talud, estos dos

claramente ligados, hay asimismo una importante contribución directa de sedimentos detríticos finos aportados por suspensiones de diversa densidad por debajo de la línea del lodo (*mud line*, cf. Stanley y Wear, 1978; Pierce, 1976), así como por fenómenos de difusión y advección de las partículas en suspensión procedentes de la plataforma continental (cf. McCave, 1972). Estos lodos gravitativos podrían evolucionar a su vez hacia los denominados lodos uniformes o uniformitas (Cf. Stanley y Maldonado, 1981). Esto no ocurre en el margen sur-baleár, debido probablemente a su tamaño relativamente reducido, que impide la aparición de los últimos términos de esta serie.

Los lodos de talud muestran una clara relación con las hemipelágicas y tanto su composición sedimentológica como su distribución espacial parece demostrar que debe existir una relación genética entre ambos. De hecho, las únicas diferencias entre algunos lodos hemipelágicos y los lodos de talud están fundamentalmente establecidas sobre la base de un mayor aporte terrígeno en los últimos. Por lo tanto, según nuestro modelo, se puede postular que la diferencia genética entre estos dos tipos de depósitos sea más bien de tipo cuantitativo que cualitativo, habiendo sido más importante para el desarrollo de los lo-

dos de talud los aportes de suspensiones relativamente densas en comparación a las suspensiones que generan las hemipelagitas. Asimismo, se puede postular que las turbiditas de baja densidad y velocidad, así como los términos distales de las turbiditas clásicas, deben contribuir de una manera notable al desarrollo de las hemipelagitas por aporte de material terrígeno muy fino (Fig. 5). Esta sedimentación hemipelágica se supone que ocurre de una manera uniforme en la generalidad del margen, pero la presencia de hemipelagitas en los depósitos está ligada a la falta de un enmascaramiento o dilución por otros tipos de sedimentos. Así, las hemipelagitas indican una falta de aportes terrígenos importantes, que puede estar ligada tanto a la batimetría y morfología, como a la distalidad respecto a las áreas fuentes.

De esta manera el modelo propuesto establecè que la gran mayoría de los depósitos que forman el margen continental se encuentran íntimamente ligados en el aspecto genético y que su distribución espacial depende de la intensidad relativa con que actúan un grupo de procesos similares. Los depósitos asociados al desarrollo de abanicos submarinos deben ser, no obstante, considerados como un grupo aparte, pues aunque el conjunto de procesos actuantes se mantiene básicamente igual, hay otra serie de factores que les confieren su propia independencia. Kelling et al. (1979) y Maldonado y Stanley (1979) discuten estos procesos y factores para el abanico submarino de Menorca.

Mención aparte merecen asimismo los depósitos ligados a las corrientes de fondo que parecen formar un grupo totalmente independiente. Estos depósitos son atribuibles frecuentemente en el margen sur-baleár a retrabajamiento por corrientes de fondo de sedimentos de otro origen y en general se encuentran en sectores donde existe una cobertera sedimentaria poco importante (Kelling et al., 1979). Aunque en el margen baleár ha sido puesto de relieve la existencia de importantes corrientes de fondo, la relativa escasez de estos depósitos parece indicar que las condiciones deposicionales en el sector estudiado no favorecen su desarrollo, al contrario de lo que ocurre en el margen del Atlántico nor-occidental. En este sentido se debe señalar que ambos márgenes se encuentran en una posición geográfica equivalente; es decir, en el margen occidental de la cuenca de depósito y en el hemisferio norte.

Los índices de sedimentación reflejan asimismo los procesos principales que han dado lugar a los diferentes tipos de depósitos (Fig. 4, Tabla 3). Los mayores índices aparecen en los sedimentos atribuidos a flujos gravitativos en masa (arenas de desbordamiento a lodos gravitativos), con más de  $70 \text{ cms}/10^3 \text{ años}$ , y los menores a las hemipelagitas, que descienden hasta  $2 \text{ cms}/10^3 \text{ años}$ . En la mayoría de los sectores del margen sur-baleár al existir una sedimentación alternante de diversos tipos de depósitos, los índices promedio encontrados para el Cuaternario Superior oscilan entre estos valores. En general,

se puede establecer que, en función de la distribución de los diferentes tipos de depósitos en el margen continental, los índices de sedimentación decrecen hacia las partes más distales del margen sur-baleár. Como excepción a esta regla general hay que señalar el sector ocupado por el abanico submarino de Menorca, donde aparecen índices de sedimentación intermedios.

La comparación entre los índices de sedimentación y el espesor de la cobertera sedimentaria del Plio-Cuaternario, calculada a partir de perfiles de sismica de reflexión, debe ser asimismo considerada para la interpretación correcta de los procesos sedimentarios actuantes sobre el margen sur-baleár. En efecto, esta cobertera sedimentaria tiene un desarrollo muy diferente en las diferentes provincias del margen, y su potencia no coincide, en general, con los espesores que podrían esperarse por extrapolación de los índices de sedimentación. El sector donde esta cobertera sedimentaria es más importante (400-700 metros para el Plio-Cuaternario) es el abanico submarino de Menorca, mientras que sobre gran parte del talud se encuentra muy reducida o es inexistente. La extrapolación de los índices de sedimentación calculadas sobre el abanico de Menorca coincide a grandes rasgos con los espesores de la cobertera sedimentaria. Por el contrario, en el resto del margen sur-baleár, y especialmente sobre el talud continental, hay una clara discrepancia entre ambos tipos de datos.

Este fenómeno lleva necesariamente a diferenciar desde el punto de vista de la cobertera sedimentaria entre los índices de sedimentación, los cuales están directamente relacionados con el tipo de depósito, y la acumulación neta resultante o tiempo de residencia de un depósito en determinado medio deposicional. Así, para la mayoría del talud continental, aunque los índices de sedimentación son elevados, los tiempos de residencia de los depósitos deben ser bajos, lo que resulta en una acumulación neta relativamente baja o nula. Los depósitos formados en estos ambientes deben ser posteriormente transportados a otras provincias deposicionales del margen por procesos gravitativos. Por el contrario, la gran mayoría de los sedimentos que son depositados sobre el abanico de Menorca son incorporados al registro geológico, lo cual debe estar favorecido por la morfología y la evolución geodinámica de esta zona (Maldonado y Stanley, 1979).

Las secuencias sedimentarias y la evolución estratigráfica de los tipos de depósitos demuestra asimismo que hay otra serie de factores que controlan la distribución de los tipos de sedimentos en el margen, además de la batimetría y morfología de las diferentes provincias del margen continental. En este sentido, la tendencia generalizada en todo el área estudiada hacia una sedimentación de tipo hemipelágico desde hace unos  $10^3 \text{ años}$  refleja el último ascenso postglacial. Los cambios climático-eustáticos del Cuaternario Superior han variado indudablemente la batimetría absoluta del margen, pero esta variación ha debido tener poco impacto sobre la sedimenta-

ción en las zonas profundas. La transgresión del Holoceno ha influido sobre la evolución estratigráfica en las partes profundas del margen continental de dos maneras principales: (1) desplazando los centros deposicionales del borde de la plataforma continental hacia el continente y en consecuencia cortando el acceso directo de los sedimentos terrígenos de aporte fluvial al talud continental, y (2) modificando las condiciones oceanográficas en toda la cuenca. En el margen sur-baleár el primer factor es el que indudablemente ha ejercido un mayor impacto sobre la distribución de los tipos de depósitos, mientras que las variaciones de las condiciones oceanográficas han quedado registradas por el desarrollo de ciclos sedimentarios, principalmente en los depósitos hemipelágicos.

## CONCLUSIONES

El análisis sedimentológico detallado de los depósitos del margen continental sur-baleár ha permitido caracterizar una gran variedad de sedimentos que se encuentran genéticamente ligados. Los procesos de tipo gravitativo predominan en los sectores proximales del margen dando lugar a depósitos detríticos de grano grueso y a lodos que evolucionan entre el talud y el ascenso continental. Los procesos hemipelágicos, aunque se encuentran actuando uniformemente según la generalidad del margen, son cuantitativamente más importantes en las partes distales. Se pone así de relieve la íntima relación entre ambos tipos de procesos en el desarrollo de los depósitos del margen continental.

Cada tipo de depósito presenta unos índices de sedimentación característicos que están en función del tipo de proceso que lo ha generado. No obstante, hay en el margen sur-baleár una clara discrepancia entre los índices de sedimentación de cada provincia deposicional y la acumulación neta de depósitos durante el Cuaternario Superior. Ello implica un múltiple reciclado de los sedimentos que son transportados por procesos gravitativos y hemipelágicos a provincias del margen cada vez más distales.

La distribución espacial de los diferentes tipos de depósitos en el margen no se mantiene en el tiempo, apreciándose una clara evolución estratigráfica resultante de los cambios eustático-climáticos del Cuaternario. Así, aunque cada provincia deposicional del margen está caracterizada por unos tipos de depósitos, unos índices de sedimentación y una acumulación neta determinada, hay otra serie de factores, además de la batimetría y morfología, que controlan la sedimentación en el margen. Entre estos factores destacan el aporte de sedimentos, las condiciones oceanográficas y la evolución geodinámica durante el tiempo de acumulación del depósito. Todos estos factores se encuentran íntimamente ligados y en función del equilibrio dinámico que exista entre ellos se desarrollarán las características deposicionales de cada margen continental.

Como conclusión final, en este estudio se pretende, además de proponer un modelo de sedimentación reciente en un margen de tipo pasivo, llamar la atención sobre la necesidad de análisis sedimentológicos detallados en márgenes bajo diferentes contextos geológicos. Estudios comparativos con esta orientación nos pueden permitir conocer de una manera cualitativa la importancia de los diferentes factores que controlan la sedimentación para el desarrollo de cada modelo deposicional.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido llevado a cabo en el marco del proyecto "Investigación Cooperativa de la Paleogeografía del Mar Baleár durante el Neógeno", subvencionado por el Comité Conjunto Hispano-Norteamericano para la Cooperación Científica y Tecnológica, agradeciéndose el apoyo prestado. Asimismo, queremos agradecer a nuestros compañeros su ayuda en la recogida de muestras durante las campañas oceanográficas sin lo cual no hubiera sido posible este trabajo. Este artículo ha sido revisado por la Dra. I. Zamarreño y el Prof. S. Reguant, a quienes agradecemos vivamente sus críticas constructivas.

## BIBLIOGRAFIA

- BOUMA, A. H., HOLLISTER, C. D., 1973: "Deep ocean basin sedimentation". In: Middleton, G. V., Bouma, A. H., *Turbidities and deep water sedimentation*. Anaheim, 79-118.
- CANALS, M., 1980: *Sedimentos y procesos en el margen continental sur-baleár: control climático y oceanográfico sobre su distribución y evolución durante el Cuaternario Superior*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Barcelona, 210 p.
- CONTINENTAL MARGINS PANEL, 1979: *Continental margins. Geological and geophysical research needs and problems*. Nat. Acad. Sci., Washington, D. C., 302 p.
- FELDHAUSEN, P. H., STANLEY, D. J., KNIGHT, R. J., MAIDONADO, A., 1981: "Homogenization of gravity emplaced muds and unifies: models from the Hellenic Trench". In: Wezel, F. C., *Sedimentary basins of Mediterranean margins*. Tecnoprint, Bologna. 203-226.
- GARY, M., McAFEE, R. Jr., WOLF, C. L. (Eds.), 1972: *Glossary of Geology*. American Geol. Institute. Washington, D. C. 805 p.
- HEEZEN, B. C., HOLLISTER, C. D., 1971: *The face of the deep*. Oxford University Press, Nueva York, 650 p.
- HOLLISTER, C. D., HEEZEN, C., 1972: "Geologic effects of ocean "bottom currents" Western North Atlantic". In: Gordon, A. L., *Studies in physical oceanography*. Gordon & Breach, Nueva York. 2: 37-66.
- HSU, K., MONTANDERT, L. et al., 1978: *Initial reports of the Deep Sea Drilling Project*. U. S. Gov. Printing Office, Washington D. C., XLII (1): 1249 p.
- HUANG, T. C., STANLEY, D. J., 1972: "Western Alboran Sea: sediment dispersal, ponding and reversal of currents". In: Stanley, D. J., *The Mediterranean Sea: A natural sedimentation laboratory*. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. Stroudsburg. 521-559.

- KELLING, G., STANLEY, D. J., 1976: "Sedimentation in canyon, slope and base-of-slope environments". In: *Stanley, D. J., Swift, D. J. P. Marine sediment transport and environmental management*. John Wiley & Sons, Inc., Nueva York. 379-435.
- KELLING, G., MALDONADO, A., STANLEY, D. J., 1979: "Salt tectonics and basement fractures: key control's of recent sediment distribution of the Balearic Rise, Western Mediterranean". *Smith. Contr. Mar. Sc.*, n° 3: 52 p.
- MALDONADO, A., 1972: "El delta del Ebro. Estudio sedimentológico y estratigráfico". Tesis doctoral. *Bol. Estra.*, Dept. Estratigrafía y Geol. Ha., Fac. de Geología, Universidad de Barcelona. 1, 480 p.
- MALDONADO, A., 1978: "El estancamiento de las aguas del Mar Mediterráneo". *Investigación y Ciencia*, 23: 32-44.
- MALDONADO, A., 1979: "Upper Cretaceous and Cenozoic depositional processes and facies in the distal North Atlantic continental margin of Portugal, D. S. D. P. Site 398". In: *Sibuet, J., Ryan, W. B. F., et al., Init. Rep. D.S.D.P.*, U. S. Gov. Printing Office. Washington, XLVII (2): 373-401.
- MALDONADO, A., STANLEY, D. J., 1976: "Late Quaternary sedimentation and stratigraphy in the Strait of Sicily". *Smith. Contr. Earth. Sc.*, n° 16: 73 p.
- MALDONADO, A., STANLEY, D. J., 1979: "Depositional patterns and Late Quaternary evolution of two Mediterranean submarine fans: a comparison". *Mar. Geol.*, 31: 215-250.
- MALDONADO, A., RIBA, O., SOLE, R., 1973: "Programa de computador para el cálculo granulométrico por medio del análisis con el hidrómetro". *Bol. Inst. Geol. Min.*, I. G. M. E., Madrid, LXXXIV (6): 438-446.
- MAUFFRET, A., 1979: "Étude géodynamique de la marge des Îles Baléares." *Mém. Soc. Géol. France*, n. s., LVI (132): 96 p.
- MAUFFRET, A., FAIL, J. P., MONTADERT, L., SANCHO, J., WINNOCK, E., 1973: "Northwestern Mediterranean sedimentary basin from seismic reflection profiles." *Am. Ass. Petr. Geol. Bull.*, 57: 2245-2262.
- McCAVE, I. N., 1972: "Transport and escape of fine-grained sediment from shelf areas". In: *Swift, D.J.P., Duane, P.B., Pilkey, O. M., Shelf sediment transport and patterns*. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., Stroudsburg. 225-278.
- MIDDLETON, G. V., HAMPTON, M. A., 1973: "Sediment gravity flows: mechanics of flow and deposition." In: *Middleton, G. V., Bouma, A. H., Turbidities and deep water sedimentation. Soc. Econ. Paleontol. Min., Pacific section, Short Course*, Anaheim. 1-38.
- PIERCE, J. W., 1976: "Suspended sediment transport at the shelf break and over the outer margin." In: *Stanley D. J., Swift, D. J. P., Marine sediment transport and environmental management*. Wiley Interscience, Nueva York. 437-458.
- RUPKE, N. A., STANLEY, D. J., 1974: "Distinctive properties of turbiditic and hemipelagic mud layers in the Algero-Balearic Basin, Western Mediterranean Sea." *Smith. Contr. Earth. Sc.*, n° 13: 40 p.
- SERRA, J., MALDONADO, A., RIBA, O., 1979: "Caracterización del margen continental de Cataluña y Baleares." *Acta Geol. Hispanica (Homen. L. Solé Sabarís)*. 14: 494-504.
- STANLEY, D. J., 1974: "Dish structures and sand flow in ancient submarine valleys, French Maritime Alps." *Bull. Centre Rech. Pau-SNPA*, 8 (1): 351-371.
- STANLEY, D. J., MALDONADO, A., 1977: "Nile cone: Late Quaternary stratigraphy and sediment dispersal." *Nature*, 266: 129-135.
- STANLEY, D. J., MALDONADO, A., 1979: "Levantine Sea-Nile cone lithostratigraphic evolution: Quantitative analysis and correlation with paleoclimatic and eustatic oscillations in the Late Quaternary". *Sed. Geol.*, 23: 37-65.
- STANLEY, D. J., MALDONADO, A., 1981: "Depositional models for fine-grained sediment in the western Hellenic Trench, Eastern Mediterranean." *Sedimentology*, 28: 273-290.
- STANLEY, D.J., UNRUG, R., 1972: "Submarine channel deposits, fluxoturbidites and other indicators of slope and base-of-slope environments in modern and ancient marine basins". In: *Rigby, J.K., Hamblin, W.K., Recognition of ancient and modern sedimentary environments. Soc. Econ. Paleontol. Min. Sp. Publ.*, 16: 287-304.
- STANLEY, D.J., WEAR, C.M., 1978: "The 'mud-line': An erosion-deposition boundary on the upper continental slope". *Mar. Geol.*, 28: 19-29.
- STANLEY, D.J., REHAULT, J.P., STUCKENRATH, R., 1980: "Turbidite bypassing model: The Corsican Trough, Northwestern Mediterranean". *Mar. Geol.*, 37: 19-40.
- STANLEY, D.J., GOT, H., KENYON, N.H., MONACO, A., WEILER, Y., 1976: "Catalonian, Eastern Betic, and Balearic margins: Structural types and geologically recent founding of the Western Mediterranean Basin". *Smith. Contr. Earth. Sci. n.º* 20: 67 p.
- STOW, D.A.V., 1977: "The turbidite-contourite controversy: Distinguishing between fine-grained turbidites and contourites on the Nova Scotia outer continental margin". *Soc. Econ. Paleontol. Min. Amer. Ass. Petr. Geol. Mem. Ann. Meet.*, Washington, D.C.
- STOW, D.A.V., LOWELL, J.P.B., 1979: "Contourites: Their recognition in modern and ancient sediments". *Earth Sc. Rev.*, 12: 251-291.

Recibido, 18 enero 1982.