

Facies y procesos en los márgenes continentales del Mediterráneo suroccidental: tratamiento estadístico de variables sedimentológicas

José Ignacio DIAZ y Andrés MALDONADO

U.E.I. Geología Marina. Instituto de Ciencias del Mar, C.S.I.C., Paseo Nacional s/n, 08003 Barcelona

RESUMEN

El análisis de testigos de pistón tomados sobre los márgenes continentales del Mediterráneo suroccidental muestra que durante el Plio-Cuaternario estos márgenes han sido edificados a partir de secuencias hemipelágicas (hemipelagitas) y gravitativas (gravititas). Los depósitos asociados a corrientes de fondo (contouritas) tienen únicamente un desarrollo importante al pie del Escarpe de Menorca y en los flancos de los altos fondos del Mar de Alborán.

El tratamiento estadístico de las variables sedimentológicas pone de relieve que las variables cuantificables más significativas son los parámetros texturales calculados por el método de los momentos, el porcentaje de carbonato y los componentes de la fracción arena. Este análisis multivariable permite la diferenciación de tres conjuntos sedimentarios principales: hemipelagitas, gravititas y contouritas. El primer factor incluye dos grupos de variables inversamente relacionadas: planctónicos, arcilla, media y angulosidad con valor positivo, y biógenos no planctónicos, terrígenos, arena y asimetría con valor negativo. Este factor permite diferenciar a los sedimentos finos: con valores positivos los lodos hemipelágicos, mientras que los lodos gravitatorios presentan valores negativos. El segundo factor, con las variables planctónicos, arena, carbonato y clasificación con contribución positiva y limo y terrígenos negativa, permite la caracterización de los depósitos arenosos carbonatados (valores positivos) y los limos terrígenos (valores negativos).

Los diagramas binarios de los tratamientos estadísticos y parámetros granulométricos permiten analizar las relaciones existentes entre los distintos tipos de sedimentos y realizar un ensayo de evolución genética. El modelo propuesto resalta las variaciones de los mecanismos deposicionales y parámetros ambientales que han tenido lugar durante el Cuaternario superior en los ambientes profundos del Mediterráneo suroccidental.

Palabras clave: Mediterráneo suroccidental. Tratamiento estadístico. Sedimentología. Margen continental.

ABSTRACT

Analysis of piston cores from the southwestern Mediterranean continental margin show the relative importance of hemipelagic and mass wasting processes in the building of this margin. Deposits associated to contour currents are restricted to Menorca Escarpment and to seamount in the Alboran Sea.

The statistical treatment of sedimentological variables demonstrates that the most significant variables are the textural parameters, the carbonate percent and composition of the sand fraction. These multivariate statistical tests differentiate three main sediment groups: hemipelagites, gravitites and contourites. The first factor, accounting for 44.99% of the total variance, includes two sets of variables inversely correlated: (1) planktonic components, clay percentage, mean phi and kurtosis with positive values, and (2) biogenic non-planktonic components, terrigenous components, sand percentage and skewness with negative values. Positive values along the factor 1 axis differentiate hemipelagic sediments, while negative values characterize the fine-grained gravitative sediments. The second factor, accounting for an additional 29.54% of the variance, includes planktonic components, sand percentage, carbonate percentage and sorting with positive value; the terrigenous components and silt percentage have a negative contribution to the factor. Positive values in this factor differentiate calcareous biogenic sands, while the turbiditic silts have negative values. Binary diagrams defined by these two factors and the textural parameters illustrate the relations between the different sedimentary processes and genetic evolution.

INTRODUCCIÓN

La cobertura sedimentaria de los márgenes continentales en el Mediterráneo suroccidental está constituida fundamentalmente por materiales finos depositados a partir de suspensiones hemipelágicas y por procesos gravitativos. En el margen continental Balear esta cobertura es muy reducida, predominando los márgenes de tipo abrupto, representados por los escarpes submarinos de Emile-Baudot y de Menorca (Fig. 1). Asimismo, el Escarpe de Mazarrón, en el margen continental de la Península Ibérica, puede considerarse como una prolongación del Escarpe de Emile-Baudot (Stanley et al., 1976; Serra et al., 1979). Los estudios sedimentológicos de los materiales que constituyen la cobertura del Cuaternario en esta zona son escasos. Rupke y Stanley (1974) y Pierce y Stanley (1975) analizan los depó-

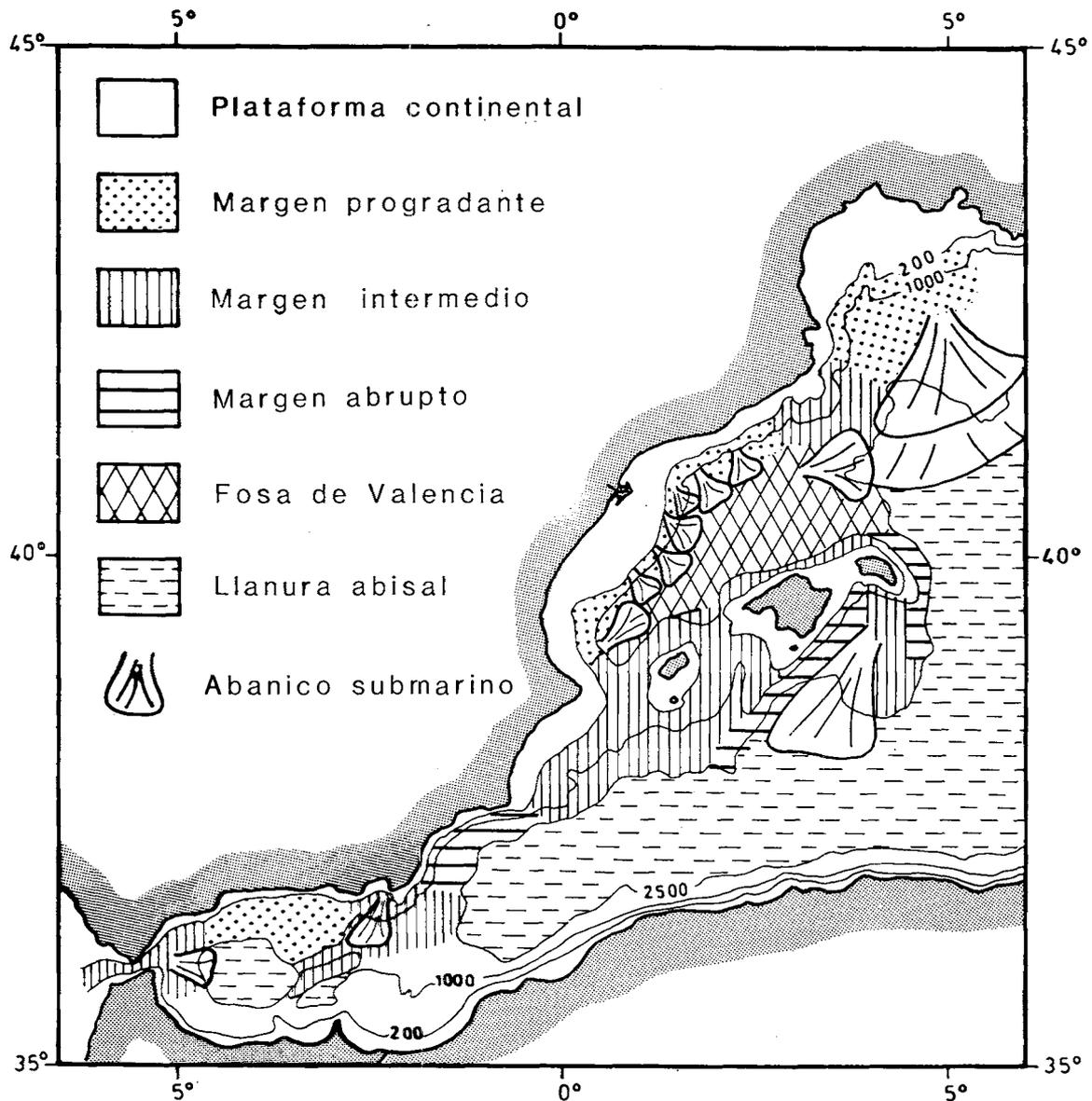


Figura 1.- Distribución de los principales tipos de márgenes continentales en el Mediterráneo occidental. Se han representado asimismo los abanicos submarinos más importantes. En el presente trabajo se estudian los sedimentos del Cuaternario que constituyen la cobertura sedimentaria de los márgenes abruptos e intermedios que rodean al Promontorio Balear, comparándolos con los materiales recuperados en el Mar de Alborán (Modificado de Maldonado, 1985).

Figure 1.- Distribution of the principal continental margin types of the Western Mediterranean Sea. The most important deep sea fans are also depicted. In this paper we focus on the facies definition and sedimentary processes during the Quaternary from the abrupt and intermediate margins around the Balearic Islands and Alboran Sea. (Modified from Maldonado, 1985).

sitos de la llanura abisal balear, poniendo de manifiesto la importancia de las corrientes de turbidez de baja densidad y de las suspensiones hemipelágicas en el relleno de esta cuenca. Posteriormente, Kelling y col. (1979) y Maldonado y Stanley (1979) abordan el estudio del margen continental sub-balear propiamente dicho, pero

centrándose en el cañón submarino de Menorca y su abanico asociado.

Los estudios más recientes de Canals (1980) y Maldonado y Canals (1982), se centraron en el análisis sedimentológico de testigos de pistón situados en el Es-

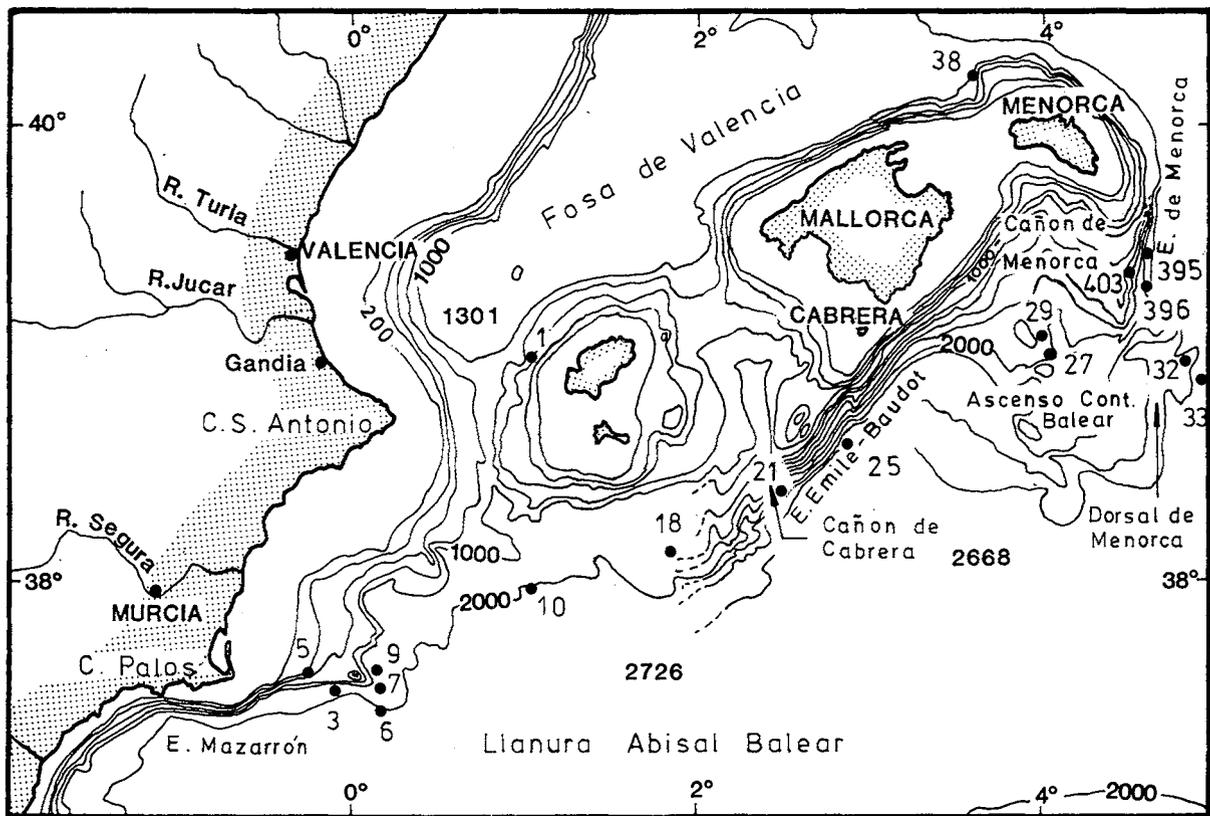


Figura 2.- Carta batimétrica, principales resaltes fisiográficos y situación de los testigos obtenidos en el margen Balear y Bético. Profundidades en metros según Stanley y col. (1976). La mayoría de los testigos que se estudian proceden de escarpes abruptos en ambientes de base del talud y ascenso continental. Se estudian también dos testigos, K-1 y K-38 obtenidos en ambientes más someros, 750, 853 m respectivamente, en el margen norbalear.

Figure 2.- Locations and identification numbers of cores recovered from the Balearic and Betic margins. The isobaths are in meters (Stanley et al. 1976). Most cores are from base of slope and continental rise environments in areas of abrupt escarpments. K-1 and K-38 cores are from the middle continental slope (750 and 853 m depth respectively) of the northern Balearic margin.

carpe de Emile-Baudot y sus proximidades y en la base del Escarpe de Menorca. Estos estudios ponen de manifiesto la importancia de los flujos gravitativos de baja densidad y de las corrientes profundas que, actuando conjuntamente con la sedimentación hemipelágica, han modelado y edificado la cobertera sedimentaria del margen en las áreas fuera de la influencia de cañones submarinos. Se remarca además la importancia de los cambios climáticos-eustáticos en el control del aporte de sedimentos desde las áreas fuente emergidas, hasta los ambientes más profundos, que han originado una sedimentación de carácter cíclico durante el Cuaternario.

En el presente trabajo se analizan los sedimentos de 18 testigos de pistón obtenidos a lo largo de todo el margen continental Balear y su prolongación hacia el

margen Bético, en ambientes de base de talud y ascenso continental. La mayoría de ellos proceden de los escarpes de Menorca, Emile Baudot y Mazarrón, habiendo sido recuperados el resto en los márgenes intermedios existentes entre ellos incluyendo el margen norbalear (Fig. 2, Tabla 1). Además se estudian otros dos testigos procedentes del Mar de Alborán, uno de ellos obtenido en el flanco de un alto fondo y otro en el margen progradante de Málaga (Fig. 3). La distribución de los testigos analizados permite comparar las características de los materiales que se depositan en los márgenes próximos a plataformas carbonatadas, como la de Baleares y las plataformas silicoclasticas del margen suroccidental español. Asimismo el estudio del testigo procedente del flanco de un alto fondo permite discutir el desarrollo de las secuencias sedimentarias en áreas fuera de la influencia de zonas emergidas.

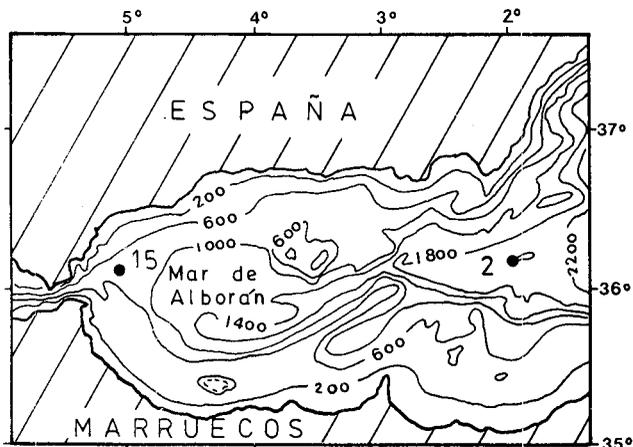


Figura 3.- Carta batimétrica del Mar de Alborán en la que se han situado los dos testigos que se estudian. El K-15 fué obtenido a 853 m en la ascenso continental de las costas de Málaga, mientras que el K-2, a 1342 m, procede del flanco occidental de un alto fondo cuya cima se sitúa a unos 1.000 m de profundidad. Profundidades en metros. Modificado de Olivet y col. (1973).

Figure 3.- Bathymetric chart and core locations on the Alboran Sea. Core K-15 was recovered from 853 m water depth on the continental rise off Malaga. Core K-2 was located at 1342 m water depth, on the flank of a seamount 1.000 m depth. Contours in meters (Modified from Olivet et al., 1973).

METODOLOGÍA

Los sedimentos recuperados han sido procesados en el laboratorio según los tratamientos clásicos utilizados en sedimentología: tamizado en seco de la fracción arena, estudio de la fracción pelítica por medio de un analizador de tamaños por rayos X (SEDIGRAPH 5000D de Micromeritics), contenido total en carbonato y componentes de la fracción arena. Los resultados de estos análisis han sido procesados por métodos estadísticos con el fin de definir los principales tipos de sedimentos y facies. El tratamiento estadístico, para este tipo de análisis, es cada vez más utilizado en sedimentología (Melguen, 1974; Stanley y Maldonado, 1979; Feldhausen et al., 1981; Giró et al., 1984; Palanques et al., 1985). Las ventajas de este método radican fundamentalmente en que permite comparar un número elevado de muestras, en las que se han determinado numerosas variables, de manera rápida y homogénea.

El presente trabajo aborda por un lado, las características principales de las variables más importantes utilizadas, presentando su rango de variación e interpretación y por otra parte las posibilidades de los tratamientos estadísticos empleados así como su aplicación

en la investigación de las secuencias sedimentarias.

ENCUADRE FISIOGRAFICO Y GEOLÓGICO

La cuenca del Mar Balear inicia su apertura en el Oligoceno (hace 25 m.a.) por rotación levógira del bloque Corso-Sardo y puede ser considerada como un mar episutural, establecido en la megasutura alpídica tanto con corteza oceánica como continental (Durand Delga y Fontboté, 1980; Mauffret et al., 1982; Maldonado et al., 1983). Una de las características fisiográficas más sobresalientes de sus márgenes es la presencia de abruptos escarpes. Uno de ellos, el Escarpe de Menorca, se prolonga hacia el sur siguiendo la Dorsal de Menorca, que constituye el flanco oriental del Cañón de Menorca (Fig. 2). Estos resaltes morfológicos están frecuentemente relacionados con fracturas profundas del basamento, destacando dos alineaciones principales NE-SW y NW-SE (Mauffret et al., 1972).

La alineación NE-SW es la continuación de las Cordilleras Béticas y queda reflejada claramente por el Escarpe de Emile-Baudot, que se puede considerar como prolongación del de Mazarrón, así como en las Sierra

TABLA 1.- Profundidad y coordenadas en las que fueron obtenidos los testigos descritos en el presente trabajo. Ver Figs. 2 y 3 para situación de los testigos.

TABLE 1.- Location and water depth of cores recovered in the western Mediterranean Sea (E-3D: R/V Eastward cruise, CO-80 and CO-81: Cornide de Saavedra cruises).

CAMPAÑA	TESTIGO	LATITUD	LONGITUD	PROFUNDIDAD
E-3D-78	35395	39°31.5'N	4°37.4'E	2200 m
E-3D-78	35396	39°21.5'N	4°35.8'E	2027 m
E-3D-78	35403	30°23.0'N	4°32.2'E	1810 m
CO-80-4	K-1	38°57.0'N	0°50.0'E	750 m
CO-80-4	K-3	37°29.8'N	0°09.7'W	1740 m
CO-80-4	K-5	37°32.2'N	0°10.3'W	1160 m
CO-80-4	K-6	37°29.8'N	0°11.8'E	2320 m
CO-80-4	K-7	37°30.8'N	0°08.5'E	1760 m
CO-80-4	K-9	37°34.2'N	0°05.5'E	1240 m
CO-80-4	K-10	38°03.0'N	1°00.9'E	1957 m
CO-80-4	K-18	38°10.5'N	1°57.5'E	1420 m
CO-80-4	K-21	38°28.2'N	2°24.4'E	1585 m
CO-80-4	K-25	38°35.8'N	2°40.6'E	2637 m
CO-80-4	K-27	38°55.8'N	4°04.1'E	1920 m
CO-80-4	K-29	38°56.1'N	4°02.5'E	1760 m
CO-80-4	K-32	39°08.7'N	4°47.5'E	2093 m
CO-80-4	K-33	39°06.9'N	4°50.1'E	2445 m
CO-80-4	K-38	40°15.5'N	3°36.0'E	810 m
CO-81-2	K-2	36°08.0'N	1°55.5'W	1342 m
CO-81-2	K-15	36°06.3'N	5°00.9'W	853 m

TABLA 2.- Características granulométricas y composicionales de los principales tipos de sedimentos del margen Balear y Bético. Los valores representados corresponden al rango de variación más común. El amplio intervalo de variación de los sedimentos no hemipelágicos refleja la variedad de las áreas fuente y las diferencias en los flujos que los originan. Los datos de los sedimentos turbidíticos se refieren únicamente al testigo K-25. Ver Tabla 3 para la identificación de variables.

TABLE 2.- Value ranges of the sand fraction components, carbonate content and sand-silt-clay percentages of the main sediment types identified in the Balearic and Betic margin. See Table 3 for variables identification. The values shown represent the most common range, and not the maximum and minimum values. The large oscillation in values of gravitate sediments reflects the differences in source areas the variability of flow conditions. The data of turbiditic sediments are only from core K-25.

	PLA %	BNP %	TER %	ARE %	LIM %	ARC %	X phi	Dt phi	Sk	Ku	CO3 %
Lodos Hemipelagicos	80/90	3/ 6	4/ 9	4/10	20/25	65/70	8. 0/8. 4	1. 7/2. 0	-0. 7/-0. 9	3. 4/3. 5	39/48
L. Calcareos Microfosilif.	90/95	2/ 5	0/ 4	15/20	15/20	60/65	7. 9/8. 3	2. 0/2. 3	-1. 0/-1. 2	3. 6/4. 1	50/62
L. Calcareos Nannofosilif.	93/95	3/ 4	0/ 2	5/ 9	15/18	70/75	8. 2/8. 7	1. 8/2. 0	-1. 1/-1. 4	4. 5/6. 0	50/62
Lodos Gravitativos	60/80	12/25	5/25	10/20	25/40	40/59	7. 0/7. 9	1. 8/2. 4	-0. 3/-0. 9	2. 3/3. 0	37/57
Lodos de Talud	60/80	3/ 9	4/10	3/ 7	35/42	46/64	7. 5/8. 0	1. 9/2. 1	-0. 1/-0. 4	2. 0/2. 6	33/38
Lodos Turbidíticos	38/43	27/30	23/33	4/ 6	23/36	60/70	7. 9/8. 3	1. 9/2. 0	-0. 3/-0. 6	2. 6/3. 1	37/40
Limos Turbidíticos	20/50	15/43	17/41	5/17	50/65	24/42	5. 9/6. 7	2. 0/2. 1	0. 5/ 1. 0	2. 6/3. 4	36/51
Arenas Turbidíticas	21/27	43	30/36	52/59	25/31	17	5. 0/5. 1	2. 4/2. 5	1. 0	3. 2/3. 3	64/67
Contouritas Arenosas	97/99	5/ 2	5/ 1	46/69	7/10	19/37	5. 2/7. 2	3. 0/3. 8	-0. 7/ 0. 3	1. 4/2. 2	50/63
Contouritas Fangosas	94/98	7/ 3	6/ 2	20/40	10/20	37/49	6. 8/7. 5	2. 9/3. 2	-0. 7/-0. 9	2. 1/2. 5	37/59

Norte y Levante de Mallorca. Estas alineaciones son las más recientes, aunque pueden corresponder al juego de antiguas fracturas que delimitan el hundimiento escalonado del margen Balear desde el Plio-Cuaternario. Las alineaciones NW-SE representan por el contrario el basculamiento del bloque menorquín hacia el sur y la elevación de la parte norte de la isla; morfológicamente quedan reflejadas por el Escarpe de Menorca y por la fractura que separa a esta isla de la de Mallorca.

El Mar de Alborán se originó por el movimiento relativo entre las placas de África y la Península Ibérica y está ligado al desarrollo de las Cordilleras Béticas. Su evolución más reciente se diferencia del Mar Balear por la existencia de distintas fases compresivas, algunas de ellas durante el Plio-Cuaternario y por no presentar corteza oceánica (Mulder y Parry, 1977; Dillon et al., 1980; Maldonado et al., 1983).

TIPOS DE SEDIMENTOS

Los principales tipos de sedimentos que constituyen la cobertera más reciente en el Mediterráneo suroccidental han sido definidos en estudios previos (Huang y Stanley, 1972; Rupke y Stanley, 1974; Maldonado y Stanley, 1979; Kelling et al., 1979; Canals, 1980; Maldonado y Canals, 1982; Díaz y Maldonado, 1983; Díaz,

1984). En esencia los tipos de sedimentos que se diferencian en este trabajo son los mismos que los descritos anteriormente que, en función del proceso responsable de su deposición, se agrupan en tres grandes grupos: hemipelagitas, gravititas y contouritas (Tabla 2).

Hemipelagitas

Las hemipelagitas incluyen aquellos sedimentos depositados por sedimentación diferencial. Han sido identificados en todos los testigos (47,8% del total de la columna sedimentaria), salvo en los obtenidos a menos de 1.000 m. Se han diferenciado tres tipos principales:

Lodos hemipelágicos. Son sedimentos arcillosos (65% - 70%) con porcentajes de limo que varían entre el 20% y el 25%. La fracción arena (4% al 10%), está compuesta mayoritariamente por restos de organismos planctónicos. El porcentaje de carbonato varía entre el 39% y 48%, correspondiendo los valores más bajos a lodos de color gris y los mayores a los de tonalidades amarillentas. Son sedimentos bastante bioturbados, por tubos orgánicos o huellas muy finas del tipo «Mycellium». En sedimentos enriquecidos en materia orgánica se han identificado tubos rellenos de pirta litificados, que se distinguen claramente en las radiografías. Estas estructuras sedimentarias son comunes en todas las hemipelagitas.

TABLA 3.- Diccionario de variables utilizadas en el tratamiento estadístico y características de cada una de ellas.

TABLE 3.- Code identification and values of the parameters used in the statistical analysis.

VARIABLE	MEDIA	DESV. ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO
1 PLA	83.60	16.41	11.35	98.50
2 BNP	6.71	7.27	0.23	43.15
3 TER	8.52	11.71	0.00	80.88
4 ARE	14.06	12.47	1.32	69.21
5 CO3	47.49	10.31	16.40	76.20
6 LIM	23.68	8.39	7.31	65.58
7 ARC	62.37	12.12	16.01	81.53
8 X	8.00	0.69	5.02	8.99
9 Ds	2.14	0.38	1.39	3.82
10 Sk	-0.79	0.49	-1.82	1.07
11 Ku	3.60	1.09	1.40	7.76

Lodos calcáreos microfósilíferos. Estos presentan generalmente un contacto gradacional con los lodos hemipelágicos de tonalidades amarillentas. El porcentaje en carbonato es mayor (50% a 62%) y se caracterizan fundamentalmente por presentar porcentajes de arena relativamente altos (15% al 20%) de composición biogéna (caparzones de foraminíferos y pterópodos). El porcentaje de limo es semejante al de los lodos hemipelágicos y el de arcilla varía entre el 60% y el 65%.

Lodos calcáreos nannofósilíferos. Son sedimentos semejantes en cuanto a tonalidades, proporción de carbonato y composición de la fracción arena a los anteriores. Su distribución textural, en cambio, es diferente presentando unos porcentajes de arcillas superiores (70% - 75%). Las proporciones de limo y arena son ligeramente inferiores (15% - 18% y 5% - 9% respectivamente).

Gravititas

Estos sedimentos se generan a partir de procesos controlados directamente por la gravedad, incluyendo tanto a los derivados de corrientes de turbidez, como los que resultan de flujos de menor densidad. Los primeros han sido indentificados con precisión únicamente en el testigo K-25, donde constituyen el 82% de la sección estudiada (3,7% de la totalidad de los testigos). Los segundos, en cambio, abarcan el 33,1% del total investigado, siendo más abundantes cuanto más somero

es el ambiente de deposición del testigo. Se distinguen cinco tipos principales.

Arenas turbidíticas. Las arenas turbidíticas analizadas son bioclásticas y están mal clasificadas debido a la presencia de una matriz limo-arcillosa. El porcentaje de carbonato es elevado (hasta el 67%). Los contactos basales son netos y en las radiografías se puede observar granoclasificación y estratificación cruzada.

Limos turbidíticos. Se presentan bien como tránsito gradacional con las arenas infrayacentes, o constituyendo el término basal de las secuencias turbidíticas, dando siempre paso de manera gradual a los lodos turbidíticos suprayacentes. La composición de la fracción arena es semejante a la anterior y existe una matriz arcillosa.

Lodos turbidíticos. Estos lodos texturalmente son arcillas limosas, con una proporción de arena muy baja o incluso nula. Se encuentran constituyendo el término superior de las secuencias turbidíticas y suelen presentar una transición gradual a los lodos hemipelágicos por un aumento de la proporción de arena y carbonato, así como por aparición de bioturbación que se hace más intensa verticalmente.

Lodos gravitativos. Estos lodos corresponden a arcillas limosas o arcillas limo-arenosas, con porcentajes de carbonato variable, directamente relacionados con el de arena. Los componentes planctónicos predominan en la fracción arena, aunque están mal preservados. Los biógenos no planctónicos y terrígenos pueden alcanzar porcentajes importantes (hasta el 25%). La única estructura sedimentaria que se aprecia es bioturbación difusa.

Lodos de talud. Los lodos de talud están constituidos por arcillas limosas, con bajos porcentajes en arena y carbonato. Las proporciones de biógenos no planctónicos y terrígenos en la fracción arena son menos importantes que en los lodos gravitativos. Suelen aparecer como una transición gradual de éstos, gradando generalmente a lodos hemipelágicos, de los que son muy difíciles de distinguir ya que pueden presentar tonalidades o estructuras sedimentarias semejantes.

Contouritas

Bajo este término se agrupan los materiales depositados por la acción de corrientes profundas. Están presentes en ocho de los testigos estudiados, alcanzando el 15,3% del total investigado. Salvo en los testigos del

Escarpe de Menorca y del alto fondo del Mar de Alborán, donde son mayoritarios, estos sedimentos se presentan en capas de menos de 5 cm. Las contouritas son de tonalidades siena o amarillentas en los testigos obtenidos en el margen Balear, mientras que en el Mar de Alborán son de color gris verdoso. Este hecho ha sido atribuido a la mayor tasa de sedimentación que existe en el Mar de Alborán (Díaz, 1984). Se distinguen dos tipos.

Contouritas arenosas. Estas son arenas con matriz arcillosa, compuestas mayoritariamente por componentes planctónicos, fundamentalmente foraminíferos mal preservados. La proporción de carbonato es elevada. Generalmente tienen muy poco espesor y contactos netos, sin que se observen estructuras sedimentarias en las radiografías.

Contouritas fangosas. Texturalmente estos depósitos son arenas arcillo-limosas o arcillas areno-limosas de composición semejante a las anteriores, aunque con porcentajes de carbonato inferiores. Pueden aparecer como una gradación de las contouritas arenosas y en ocasiones son difíciles de diferenciar de los lodos calcáreos microfósilíferos.

CARACTERIZACIÓN SEDIMENTOLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS

La caracterización de los principales tipos de sedimentos se ha realizado fundamentalmente en base a tres grandes criterios: (1) distribución granulométrica; (2) contenido en carbonato, y (3) componentes de la fracción arena.

Al ser parámetros cuantificables numéricamente y por tanto susceptibles de ser procesados estadísticamente, los resultados de estos tratamientos, junto con las características visuales y las observadas en las radiografías, han permitido una caracterización más precisa de los distintos tipos de sedimentos definidos en los ambientes profundos del Mediterráneo occidental.

Distribución Granulométrica

Incluye la distribución de tamaños de grano, el cálculo de los parámetros granulométricos por el método de los momentos y el análisis de la forma de la curva acumulativa de la fracción pelítica, basado en el método de los índices de evolución granulométrica (Rivière, 1977).

Distribución textural. El estudio de la distribución de tamaños de grano de los sedimentos profundos permi-

te una primera aproximación al tipo de proceso sedimentario responsable de su deposición.

Los sedimentos profundos se caracterizan por presentar bajos porcentajes de la fracción arena, en la mayoría de los casos inferiores al 10%. Los mayores porcentajes se dan en sedimentos arenosos turbidíticos y en los depósitos contouríticos (Tabla 2). Debido a la abundancia de los componentes biogénos este parámetro no puede considerarse como un indicador de la energía del medio, siendo la naturaleza de sus componentes la que da mayor información sobre el proceso y ambiente de deposición.

La fracción limo presenta unas proporciones mayores que las de arena, oscilando entre un 15% y un 40%. Los mayores porcentajes se dan en sedimentos gravitativos de energía media, como los limos turbidíticos, o en los correspondientes a ambientes más proximales del margen continental (Tabla 2). Mientras que la composición de la fracción arena es variable, la fracción limo es eminentemente detrítica. Es silicoclastica en los sedimentos gravitativos e incluye fragmentos de los componentes planctónicos en las hemipelagitas y contouritas.

La fracción arcilla es predominante en los sedimentos profundos con porcentajes que alcanzan el 75% del total (Tabla 2). La composición de esta fracción es también mayoritariamente silicoclastica, aunque en el caso de los lodos calcáreos nannofósilíferos una parte importante es de origen biógeno carbonatado.

Parámetros granulométricos. El cálculo de los parámetros granulométricos se ha realizado por el método de los momentos. En este cálculo se han utilizado clases centradas de tamaño de grano, de un cuarto de phi de amplitud, hasta 12 phi. Este método permite un cálculo estadístico más preciso, en base a los conceptos teóricos tradicionales para la definición de parámetros granulométricos (Rivière, 1977; Friedman y Sanders, 1978). Se han determinado la media en phi (\bar{x}), desviación típica en phi (σ), asimetría (Sk) y angulosidad (Ku).

El valor de la media en phi indica el nivel de energía del ambiente de deposición, aunque también está relacionado con otros parámetros como la profundidad y la distalidad respecto al margen continental. El límite entre los sedimentos hemipelágicos y gravitativos fangosos puede establecerse en 8 phi; los primeros presentan valores superiores, mientras que los segundos son inferiores (Tabla 2).

La desviación típica en phi es una medida del grado de uniformidad del sedimento cuando éste se ha depo-

sitado a partir de la acción de un fluido en movimiento (Leeder, 1982) y puede utilizarse como indicador del régimen hidrodinámico. Debe tenerse en cuenta también que los valores de este parámetro reflejan tanto la disponibilidad de tamaños de grano, como las condiciones del flujo, aunque también está relacionado con otros parámetros como la profundidad y la distalidad respecto al margen continental.

Aunque generalmente los valores más bajos se presentan en sedimentos arenosos, en los materiales del margen Balear ocurre al contrario, dado que las arenas, sobre todo las contouritas, presentan una elevada proporción de fango. Ello se atribuye a que una importante fracción fina es atrapada por los caparzones de foraminíferos, no siendo el flujo capaz de eliminarla. Además puede haber un problema de toma de muestras debido al reducido espesor de algunos niveles de contouritas arenosas y arenas turbidíticas (Tabla 2).

El valor de la asimetría permite hacer extrapolaciones sobre las condiciones de flujo con una mayor fiabilidad que con los anteriores parámetros. Las asimetrías negativas corresponden a curvas de distribución de frecuencias que presentan una cola desarrollada hacia los materiales más gruesos. Los valores más negativos (hasta -1.4) se dan en los sedimentos hemipelágicos al existir una fracción arenosa mal clasificada debido a la acumulación de foraminíferos planctónicos (Tabla 2).

Por el contrario, las asimetrías positivas representan una distribución granulométrica con una cola desarrollada hacia los valores más finos. En los sedimentos estudiados las asimetrías positivas se desarrollan en los materiales turbidíticos, tanto en arenas, con colas limo-arcillosas, como en limos, con colas arcillosas.

La angulosidad es también un buen criterio de la clasificación del sedimento y presenta un rango de variación mucho más amplio que en las determinaciones por el método gráfico, oscilando entre 1 y 6 (Tabla 2).

En general los sedimentos estudiados tienen una distribución bimodal con una moda de 200 micras en la fracción arena, producida por la acumulación de foraminíferos; la segunda moda se sitúa en las fracciones más finas. A pesar de que los valores obtenidos por este parámetro pierden su significado cuando la distribución granulométrica de la muestra es multimodal, esta bimodalidad no impide la interpretación del parámetro, pues la primera moda representa un porcentaje en peso generalmente bajo.

Los valores máximos se encuentran en los lodos cal-

cáreos nannofosilíferos, debido a la acumulación de placas de coccolitofóridos en un intervalo de tamaños muy restringido (entre 1 y 4 micras). Es un caso de distribución granulométrica de alta angulosidad (leptocúrtica). Los valores más bajos los presentan las contouritas pues son mezclas, a veces en proporciones semejantes de arenas y arcillas. La distribución granulométrica presenta en estos sedimentos una forma aplanada (platicúrtica).

Curva acumulativa de la fracción pelítica. Al ser el porcentaje de arena bajo en la mayoría de los sedimentos y de origen planctónico en las hemipelagitas, la curva acumulativa de los sedimentos finos se puede analizar como si fuera la total, sin que ello suponga una pérdida importante de información. Se han distinguido así tres tipos de curvas en función de su forma, que es un reflejo de la variación del índice medio de evolución granulométrica (Rivière, 1977). Estos tipos de curvas son: (1) parabólicas; (2) sublogarítmicas y logarítmicas, y (3) hiperbólicas, que se identifican por su forma. En la Figura 4 se representan las distintas curvas de las muestras analizadas en el testigo K-25 (Fig. 2, Tabla 1).

Las curvas de distribución parabólicas tienen forma cóncava y corresponden a depósitos originados a partir de flujos gravitativos, con un exceso de carga originado por una disminución de la velocidad y de la turbulencia del fluido (Fig. 4). De esta forma el material más fino queda atrapado entre los elementos más gruesos produciendo en la distribución granulométrica una cola correspondiente a los materiales más finos; la asimetría toma entonces valores positivos. Los sedimentos limosos turbidíticos estudiados tienen distribuciones granulométricas de este tipo. En la secuencia vertical estos depósitos presentan un aumento de la media en ϕ , por sedimentación de materiales paulatinamente más finos paralelamente a la pérdida de competencia de la corriente. En el testigo K-25 (Fig. 4) los análisis realizados a 66, 76, 80 y 160 cm presentan curvas de distribución de este tipo.

Las curvas de distribución sublogarítmicas y logarítmicas son relativamente rectilíneas. Las asimetrías son ligeramente negativas y su distribución no presenta colas diferenciadas, salvo cuando existe una proporción importante de arena; en estos casos la asimetría toma valores negativos altos (Fig. 4).

Este tipo de curvas las presentan los sedimentos pelíticos de origen gravitativo, depositados a partir de flujos de baja energía desprovistos de las partículas más groseras. La transición de estas curvas a los otros dos

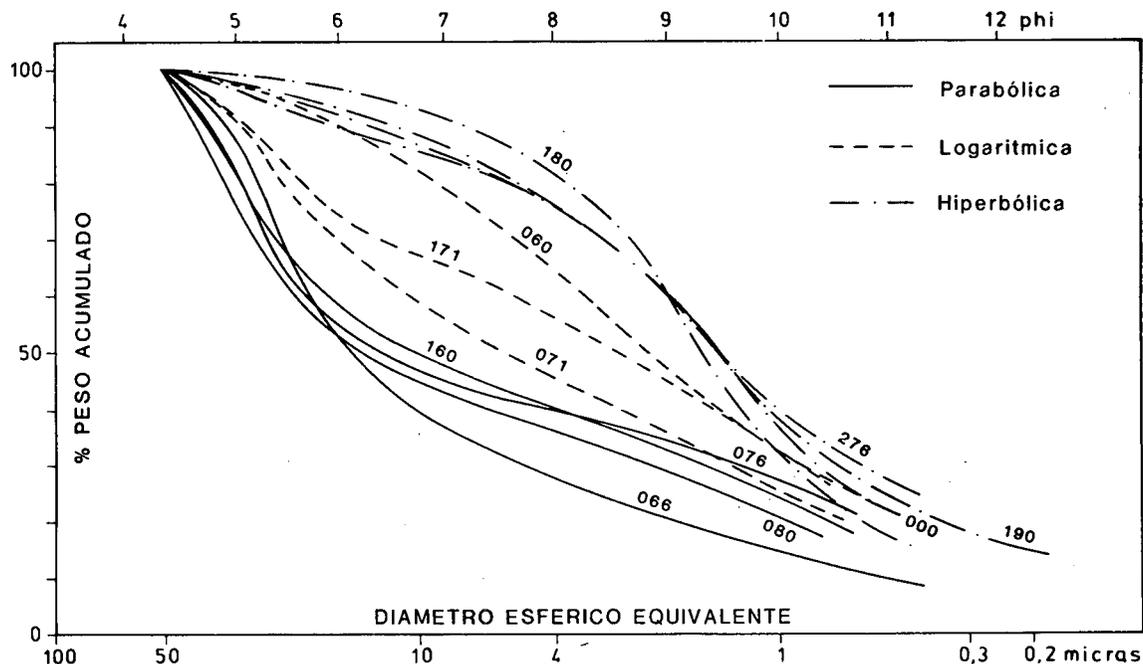


Figura 4.- Distintos tipos de curvas acumulativas de la fracción pelítica (inferior a 50 micras) obtenidas con el analizador de tamaños de partículas Sedigraph 5000D. Todas las curvas representadas corresponden al testigo K-25 (Fig. 2, Tabla 1) apreciándose los tres tipos principales diferenciados. Los números corresponden a las cotas en centímetros de las muestras. Las curvas parabólicas se caracterizan por presentar una forma cóncava y mayor pendiente en el intervalo de tamaños correspondiente a los materiales más gruesos. Son mayoritariamente sedimentos limosos turbidíticos, (muestras a 66, 76, 80 y 160 cm.). Las curvas sublogarítmicas y logarítmicas son de forma más o menos rectilínea y generalmente corresponden a sedimentos gravitativos de grano fino (muestras a 60, 71 y 171 cm). Las curvas hiperbólicas se caracterizan por presentar forma convexa y bajas proporciones de limo (muestras a 0, 190 y 276 cm). Los lodos calcáreos nannofosilíferos presentan curvas de este tipo con una fuerte pendiente en el tramo comprendido entre 4 y 1 micras, debido a la abundancia de placas de cocolitos (muestra a 180 cm). Se aprecia además que la transición entre los distintos tipos de curvas se realiza de una manera gradual.

Figure 4.-Cumulative curves of the fine-grained fraction (less than 50 microns) from a Sedigraph 5000D analyser. All curves belong to samples from core K-25 (Fig. 2, Table 1). Numbers correspond to the sample depth in centimeters. Parabolic curves show a concave shape with the steepest slope on the coarse-grained fraction. These curves are largely represented by the turbiditic silts (samples at 66, 76, 80 and 160 cm). Sublogarithmic and logarithmic curves are relatively rectilinear; they normally belongs to fine-grained gravitite sediments (samples at 60, 71 and 171 cm). Hyperbolic curves show a convex shape and low silt content (samples at 0, 190 and 276 cm). The nannocalcareous oozes have this type of curve with a steepest slope between 4 and 1 microns due to the large proportions of cocolith tests (sample at 180 cm). There are also transitional curves between the main types described, that are observed in the vertical sedimentary sequence.

tipos es gradual, con un amplio abanico de curvas posibles entre ellas (Fig. 4). Así en el testigo K-25 la disminución paulatina de tamaño de grano de una secuencia turbidítica se pone claramente de manifiesto por el paso de curvas de distribución parabólicas (80 y 76 cm) a otra logarítmica (71 cm). La curva de la muestra obtenida a 60 cm es un caso de curva logarítmica, en transición a hiperbólica.

Las curvas de distribución hiperbólicas se caracterizan por presentar forma convexa y muy bajas proporciones de limo (Fig. 4). Corresponden a materiales depositados por sedimentación diferencial. Las hemipelagitas presentan distribuciones granulométricas de la fracción pelítica de este tipo. Además los lodos calcáreos nannofosilíferos se caracterizan por presentar una fuerte pendiente en el tramo comprendido entre 4 y 1

micras, originado por la abundancia de placas de cocolitos (Fig. 4). Un ejemplo es la muestra a 180 cm en el testigo K-25, mientras que las muestras a 0, 190 y 276 cm corresponden a lodos hemipelágicos o lodos calcáreos microfósilíferos.

Contenido en carbonato

La mayoría de las partículas carbonatadas que se encuentran en los sedimentos analizados son de origen biógeno, procedentes de los caparzones y esqueletos de organismos invertebrados. En el Mediterráneo occidental estas partículas no se ven afectadas por procesos de disolución al estar las aguas saturadas en carbonato (Berger, 1971). La proporción de carbonato en los sedimentos estudiados está relacionada directamente con la productividad de los organismos planctónicos

(foraminíferos, coccolitofóridos y pterópodos) e inversamente con el aporte de materiales terrígenos, disminuyendo el tamaño máximo de las partículas calcáreas con el aumento de la profundidad (Smith et al., 1968; Burns, 1974).

En el margen Balear la proporción de carbonato oscila entre 31,5% - 76,2%, mientras que en el Mar de Alborán lo hace entre 16,4% - 26,8%, en el ascenso continental de Málaga, y entre 37,4% - 66,9% en los altos fondos. Los valores máximos los presentan los sedimentos arenosos, aunque algunos lodos calcáreos pueden alcanzar valores semejantes (Tabla 2). Los sedimentos gravitativos de grano fino son, los que muestran los valores inferiores.

Composición de la fracción arena

El estudio de los componentes de la fracción arena es de gran importancia para caracterizar los tipos de sedimentos. En función de su naturaleza estos componentes pueden agruparse en tres grandes grupos: 1, planctónicos; 2, biógenos no planctónicos, y 3, terrígenos.

Los componentes planctónicos incluyen los restos de foraminíferos planctónicos y pterópodos, independientemente de su estado de conservación. En ausencia de fenómenos de disolución, el grado de fracturación de los foraminíferos es un indicador de la intensidad del transporte a que han sido sometidos, mientras que esta fracturación en los pterópodos no puede ser considerada debido a la fragilidad del caparazón.

Los planctónicos son mayoritarios en las hemipelagitas y contouritas estudiadas, estando muy bien conservados en las primeras y mal en las segundas. Los lodos de talud y gravitativos presentan porcentajes bastante menores, estando peor conservados cuanto mayor es la densidad del flujo responsable de su transporte. En los sedimentos turbidíticos son frecuentemente minoritarios y con un grado de fracturación elevada (Tabla 2).

Los componentes biógenos no planctónicos incluyen tanto organismos bentónicos pelágicos (ostrácodos o foraminíferos bentónicos), como restos de bivalvos, gasterópodos o equinodermos, en su mayoría transportados como bioclastos por procesos gravitativos desde la plataforma continental hasta los ambientes más profundos. La proporción de estos componentes está controlada fundamentalmente por la naturaleza del área fuente; cuando ésta es carbonatada, su proporción puede

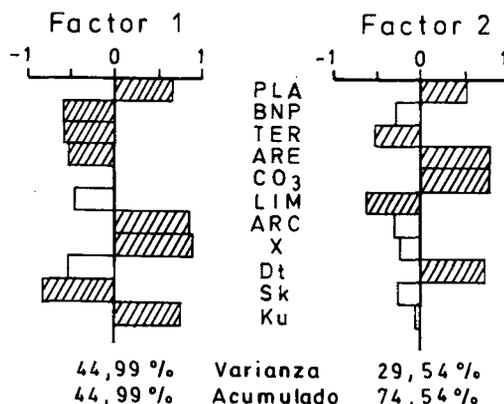


Figura 5.- Histograma de los valores que toman las variables sedimentológicas en los factores 1 y 2 a partir del análisis de componentes principales. Con sólo 2 factores se alcanza el 74,54% de la varianza total; el primer factor pone de manifiesto cuales son las variables más idoneas en la clasificación de los sedimentos fangosos. Con el segundo factor se caracterizan los materiales arenosos carbonatados y los limosos terrígenos. Estos dos factores definen el diagrama binario utilizado para definir los principales tipos de sedimentos y la interpretación de las secuencias sedimentarias. Leyenda de las variables en Tabla 3.

Figure 5.- Histograms representing the contribution of variables to the two first factors of the principal components analysis (74.54% of the total variance). The variables that contribute to the first factor are the most important for the identification of the fine-grained deposits, while the variables included in the second factor serve to differentiate calcareous sand and siliciclastics silts. With both factors the different sediment types identified in the study area are well differentiated. See Table 3 for variables identification.

de incluso superar a los terrígenos, pero cuando es siliciclastica son minoritarios.

En las hemipelagitas y contouritas estos componentes son muy escasos. En los sedimentos gravitativos su proporción aumenta con la densidad del flujo responsable de la deposición y sobre todo cuando los procesos de transferencia ocurren durante las épocas de inestabilidad eustática (Southard y Stanley, 1976). Las arenas turbidíticas estudiadas, obtenidas en un pequeño cañón situado en el Escarpe de Emile-Baudot, presentan elevadas proporciones de bioclastos rodados (43%). Esta composición es semejante a la descrita por Kelling y col. (1979) en el abanico submarino de Menorca y atribuida a la procedencia de los materiales de una plataforma continental carbonatada con predominio de bioclastos gruesos (Tabla 2).

Los componentes terrígenos incluyen a todos los materiales que no son de origen biogénico, excepto la piritita. Tienen una proporción muy baja en las hemipelagitas y contouritas, mientras que son mucho más im-

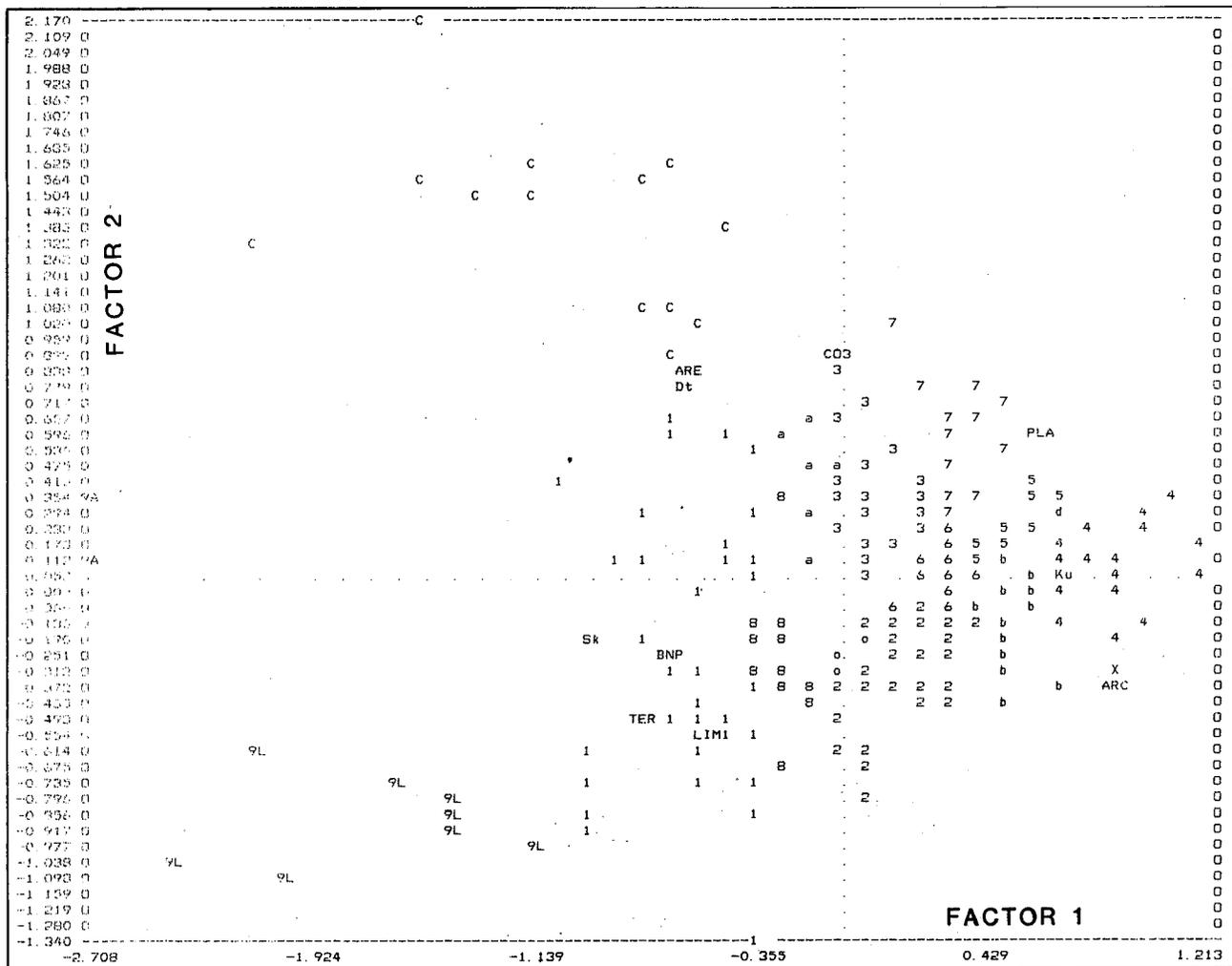


Figura 6.- Distribución de las muestras y variables utilizadas sobre el plano definido por los factores 1 y 2, a partir del análisis de asociaciones no jerarquizado. Este tratamiento crea una serie de clases que, agrupadas en otras más homogéneas, permite la definición de los distintos tipos de sedimentos.

Figure 6.- Binary diagram defined by the two first factors of the principal components analysis with plots of samples clustered by eleven unstandardized variables. Numbers and letter C refer to the major sediment groups. Letters refer to plots of the variables in relation to the factors (See Fig. 5 and Table 3 for variables identification).

portantes en las gravititas, sobre todo en función de la naturaleza del área fuerte y de la densidad del flujo (Tabla 2). Así, en los sedimentos gravitativos del ascenso continental de Málaga (Mar de Alborán) estos componentes son mayoritarios.

TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

El tratamiento estadístico empleado incluye un análisis factorial de tipo componentes principales y un análisis de asociaciones no jerarquizado de las variables granulométricas, contenido en carbonato y componen-

tes de la fracción arena.

Análisis de componentes principales

Este tratamiento es una manipulación matemática de las variables que presenta unas nuevas variables denominadas factores o componentes principales. En éstos cada una de las antiguas aparece ahora con un coeficiente de correlación entre ellas que oscila entre +1 y -1, considerándose que una variable es activa en un factor cuando su coeficiente es mayor que 0.5 en valor absoluto. Cada factor representa un porcentaje de la varianza total, conteniendo más información a medida que aumenta su contribución.

TABLE 4.- Porcentajes de la varianza total de cada uno de los factores individualizados por el análisis de componentes principales. Nótese la importante contribución de los dos primeros factores (74.54%) a la varianza total.

TABLE 4.- Percentage and cumulative percentage of the total variance account for the ten first factors of the principal component analysis. The first two factors account for 74.54% of the total variance and are statistically significant for the identification of sediment types.

VALORES PROPIOS				
VALOR PROPRIO	PORCENTAJE	PORCENTAJE ACUMULADO		
1	4.94908619	44.99	44.99	*****
2	3.24978018	29.54	74.54	*****
3	1.02230203	9.29	83.83	*****
4	0.90181082	8.20	92.03	*****
5	0.37632522	3.42	95.45	*****
6	0.22466142	2.04	97.49	****
7	0.15267314	1.39	98.88	***
8	0.08152986	0.74	99.62	**
9	0.02686573	0.24	99.86	*
10	0.01271408	0.12	99.98	*

Por aplicaciones sucesivas de este tratamiento se han despreciado las variables sin significado respecto a las características de los sedimentos a investigar o las incluidas en factores con bajos porcentajes de la varianza total (Díaz, 1984).

El valor máximo, mínimo, media y desviación de las variables utilizadas se representan en la Tabla 3. Con estas variables el análisis de componentes principales diferencia un total de diez factores, cuyos porcentajes respecto a la varianza total aparecen representados en la Tabla 4. De todos ellos, los dos primeros presentan porcentajes altos respecto de la varianza total (alcanzan el 74.54% entre ambos), notablemente mayores que cualquiera de los factores restantes (Tabla 4).

El primer factor que comprende el 44.99% de la varianza total, incluye ocho variables con contribuciones mayores que 0.50. En función de su signo se determinan dos conjuntos de variables (Fig. 5). Las variables con contribución positiva son la media en phi, arcilla, angulosidad y planctónicos. Estas variables presentan valores altos para este factor y permiten caracterizar a los sedimentos hemipelágicos. Estos presentan un predominio de los componentes planctónicos en la fracción arena y están granulométricamente definidos por valores altos de su media en phi y angulosidad, con asimetrías negativas elevadas. Las variables con contribución negativa son biógenos no planctónicos, terrígenos, arena y asimetría. Los sedimentos con valores

bajos para este factor corresponden a materiales depositados por procesos gravitatorios y con fuerte influencia terrígena. Así pues, el primer factor permite diferenciar a los depósitos de sedimentación diferencial de los que lo hacen por procesos gravitativos.

Las variables con alta contribución positiva al segundo factor (29,54% de varianza total) son carbonato, arena, clasificación en phi y planctónicos (Fig. 5). Las muestras con valores positivos altos en este factor corresponden a sedimentos arenosos carbonatados, poco clasificados. En estos sedimentos, se incluyen las arenas de foraminíferos depositadas por la acción de corrientes de fondo, aunque no son los únicos sedimentos arenosos carbonatados analizados en el área de estudio. Por otro lado y con valores altos de contribución negativa están las variables limo y terrígenos. Los valores negativos en el factor 2 caracterizan a los sedimentos limosos, con bajo contenido en carbonato y alta proporción de componentes terrígenos, depositados por procesos gravitativos.

Análisis de asociaciones no jerarquizado

Así como el análisis de componentes principales, visto en el apartado anterior es un tratamiento de variables, este análisis agrupa las muestras en clases, en las que la varianza entre muestras es mínima, siendo máxima entre las de las diferentes clases (David, 1973).

Figura 7.- Representación de los principales tipos de sedimentos sobre el plano definido por los factores 1 y 2. Las flechas indican las principales tendencias evolutivas de las secuencias sedimentarias. Identificación de las variables en Tabla 3 y leyendas de los símbolos en Figura 8.

Figure 7.- Distribution of sediment types in the binary diagram defined by factors 1 and 2 of the principal component analysis. Arrows show the main trend of the sedimentary sequences. See Table 3 and Fig. 8 for variables and symbol identification.

Para ello el programa utiliza la totalidad de los factores definidos en el análisis de componentes principales así como las coordenadas de las muestras para cada factor. Los resultados se presentan gráficamente por la proyección de las muestras sobre el plano definido por los dos primeros factores (Fig. 6). Las clases individualizadas por el programa son agrupadas en otras más homogéneas que han permitido la caracterización de los tipos de sedimentos en función de las variables analizadas (Fig. 7).

Al estar involucradas todas las variables utilizadas en los factores que definen la distribución de las muestras, se puede analizar las relaciones existentes entre los tipos de sedimentos y establecer un ensayo de evolución genética, que se describe en el apartado siguiente.

SECUENCIAS SEDIMENTARIAS

En este capítulo, se discuten las relaciones que existen entre los diversos tipos de sedimentos y la forma en que evolucionan estos parámetros al modificarse los mecanismos deposicionales y las características ambientales. Este análisis se basa en los diagramas binarios construidos con los parámetros granulométricos más

significativos y con el diagrama de los dos primeros factores del análisis de componentes principales.

Para esta discusión se distinguen cuatro tipos principales de secuencias sedimentarias: (1) turbidíticas, (2) gravitativas, (3) de corrientes de fondo, y (4) hemipelágicas.

Secuencias turbidíticas

Los sedimentos turbidíticos evolucionan según secuencias granodecrecientes clásicas, abundantemente descritas en series modernas y antiguas (Brouma, 1962; Middleton y Bouma, 1973; Nelson y Nilsen, 1984). Estas se inician por arenas o limos gruesos con base erosiva; hacia techo pueden presentar un aumento del tamaño de grano por transición a sedimentos hemipelágicos con una mayor proporción de foraminíferos planctónicos en la fracción arena (Rupke y Stanley, 1974; Piper, 1978).

Estas secuencias corresponden a los depósitos de flujos de mayor energía y densidad de todas las estudiadas. La disminución de la energía en la secuencia queda marcada, aparte de por un aumento de la media en phi, por el paso de asimetrías positivas en las arenas a negativas en los lodos turbidíticos (Fig. 8A).

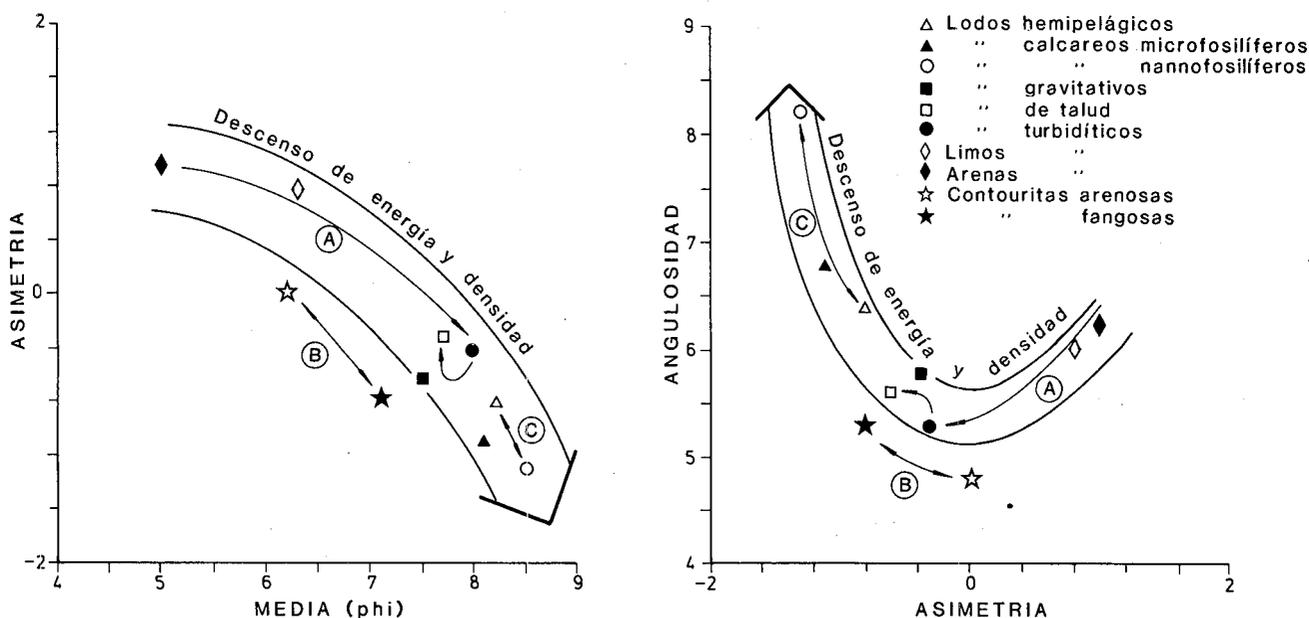


Figura 8.- Diagramas binarios construidos con los valores medios de los principales tipos de sedimentos identificados (Tabla 2). En ambos diagramas se aprecia una disminución de la energía desde los sedimentos hemipelágicos, hasta los turbidíticos gruesos. Se representa además, el sentido de evolución de cada una de las secuencias sedimentarias: A, turbidíticas; B, contouritas o de corrientes de fondo y C, hemipelágicas.

Figure 8.- Mean particle size-skewness and skewness-kurtosis diagrams with plots of the main sediment types identified in the study area. These diagrams show the gradational trends in the sedimentary sequences and serve to interpret the energy level of the deposits. Sequences: A, turbidites; B, contourites, and C, hemipelagites.

El estudio o interpretación de la evolución de estas secuencias según el diagrama binario realizado por el análisis de asociaciones es más ilustrativo ya que se basa en la totalidad de las variables, aunque también es más complejo (Fig. 7).

Estas secuencias se inician por arenas turbidíticas (Fig. 7C), con valores positivos del factor 2, que pasan a limos turbidíticos, con valores negativos de este factor. Ambos tipos de sedimentos presentan valores fuertemente negativos del factor 1, quedando marcada la transición a lodos turbidíticos por una disminución, en valor absoluto de los valores de este factor (Fig. 7D). Únicamente cuando estas secuencias gradan a lodos hemipelágicos pueden aparecer muestras que toman valores ligeramente positivos del factor 1.

Secuencias gravitativas

Como las anteriores son granodecrecientes hacia techo, aunque la gradación es poco aparente al estar compuesta íntegramente por sedimentos de grano fino. Las características de estas secuencias dependen tanto de la naturaleza del área fuente como de la densidad de la suspensión. Los términos basales corresponden a lodos gravitativos con proporciones altas de limo y materiales detríticos que gradan a lodos de talud con una mayor proporción de arcilla (Figs. 7 y 8).

En el margen Balear las muestras estudiadas presentan valores ligeramente negativos del factor 1, quedando la evolución reflejada por el valor que toma el factor 2. Así los lodos gravitativos presentan valores positivos o muy ligeramente negativos, debido a su proporción de carbonato y bioclastos, mientras que los lodos de talud toman valores negativos por una mayor proporción de limos y menor contenido en carbonato (Fig. 7A). Las muestras del margen continental al sur de Málaga toman siempre valores negativos del factor 2 por su composición eminentemente silicoclastica, y muestran una evolución granulométrica clara (Fig. 7B). Los lodos gravitativos presentan valores fuertemente negativos para el factor 1 por su mayor proporción de limo y arena, mientras que los lodos de talud toman valores ligeramente negativos.

Estas secuencias pueden finalmente evolucionar en sentido granocreciente al igual que las turbidíticas cuando se encuentran recubiertas por sedimentos hemipelágicos.

Secuencias asociadas a corrientes de fondo

Son secuencias complejas que requieren para su interpretación del análisis de las condiciones fisiográfi-

cas y oceanográficas del medio de deposición (Stow y Lovell, 1979; Stow, 1981). Son secuencias granodecrecientes y granocrecientes en contouritas arenosas y fangosas originadas por variaciones en la competencia de las corrientes profundas que bordean el Escarpe de Menorca, así como por la acción de la corriente profunda Mediterránea que favorece la deposición de estos materiales en los flancos de los altos fondos situados en el Mar de Alborán (Díaz, 1984).

En ocasiones las contouritas arenosas presentan un desarrollo vertical muy reducido, unos pocos milímetros, correspondiendo en estos casos al relleno de pequeñas depresiones del fondo marino por foraminíferos planctónicos transportados como carga de fondo («bed load»), sin que exista evolución vertical aparente.

Estas secuencias son de menor energía que las turbidíticas (Fig. 8) y su evolución se pone de manifiesto por el valor que presentan las muestras para el factor 1. Las contouritas arenosas con asimetrías positivas toman valores fuertemente negativos, mientras que las contouritas fangosas, con una mayor proporción de arcilla, son ligeramente negativas (Fig. 7G).

Secuencias hemipelágicas

Son las más importantes en el margen Balear y su evolución no está controlada por variaciones en la energía del medio sino por fenómenos climáticos, oceanográficos y biológicos como los desplazamientos y estratificación de las masas de agua o la productividad primaria (Stanley, 1977; Maldonado y Stanley, 1979). Los sedimentos de estas secuencias presentan mayoritariamente valores positivos para el factor 1 (Figs. 6, 7). Su evolución viene controlada bien por la proporción de arena y carbonato (factor 2) o por los porcentajes de arcilla y arena (factor 1).

Así la evolución desde los lodos hemipelágicos a lodos calcáreos microfosilíferos viene marcada por el paso de valores ligeramente negativos para el factor 2, en los primeros a positivos en los segundos (Fig. 7F). Por el contrario la transición a lodos calcáreos nannofosilíferos se pone de manifiesto por el valor que toman las muestras para el factor 1 (Fig. 7E). En los lodos hemipelágicos son ligeramente negativos, mientras que en los lodos calcáreos nannofosilíferos son fuertemente positivos.

CONCLUSIONES

El análisis sedimentológico de un gran número de muestras y variables y la utilización de técnicas estadísticas para el tratamiento de los resultados permite

una definición de las facies sedimentarias más precisa rápida y homogénea que cuando se emplean los diagramas binarios y ternarios clásicos. El tratamiento estadístico de los resultados, no obstante, requiere una cuidadosa selección de las variables, de forma que se deben utilizar variables numéricamente independientes. En el presente trabajo se han utilizado las siguientes: parámetros texturales, componentes de la fracción arena y porcentaje en carbonato. Para la elección de estas variables son de gran utilidad los resultados del análisis de componentes principales. Por una parte permite desechar aquellas variables completamente independiente y con una contribución a la varianza total muy baja y por otra, presenta las relaciones existentes entre las diferentes variables en los factores o componentes principales definidos.

Para los sedimentos del margen continental surbalear, este tratamiento determina dos factores principales que comprenden el 74.54% de la varianza total entre ambos. El primer factor incluye con contribución positivas las variables planctónicas, arcilla, media y angulosidad, mientras que con contribución negativa se encuentran biógenos no planctónicos, terrígenos, arena y asimetría. Con estas variables es posible la diferenciación de los sedimentos más finos; así presentan valores positivos para este factor los lodos hemipelágicos mientras que limo y terrígenos los presentan negativos. Este factor permite la caracterización de los materiales arenosos carbonatados (con valores positivos) y de los limosos silicoclasticos (con valores negativos).

Al realizar una clasificación y definición de los tipos de sedimentos, el análisis de asociaciones no jerarquizados delimita una serie de clases, que manipuladas en función de criterios geológicos no cuantificables, como color o estructuras sedimentarias, dan lugar a los distintos tipos de sedimentos diferenciados. Esta caracterización estadística, basada en la totalidad de los parámetros cuantificables analizados, permite conocer la relación existente entre los distintos tipos de sedimentos y realizar un ensayo de interpretación genética de las distintas secuencias sedimentarias.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha llevado a cabo gracias a una subvención del Comité Conjunto Hispano Norteamericano para la Cooperación Científica y Tecnológica. Queremos agradecer a los capitanes, oficiales y tripulación de los buques EASTWARD y CORNIDE DE SAAVEDRA, así como a todos los compañeros y personal de la Unidad de Geología de Marina del Instituto «Jaime Almera» la ayuda que nos han prestado en la obtención y análisis de los testigos. En especial nuestro agradecimiento va dirigido a Marcel·lí Farrán por toda

la colaboración recibida en estos años de trabajo, a Josep Llopis por su ayuda en el tratamiento de los datos estadísticos, a Maria Teresa Solans por la mecanografía del trabajo y a Eduardo Clavero por la realización de los diagramas.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERBERG, M.R., 1973: *Cluster Analysis for Applications*. New York, Academic Press, 359 p.
- BERGER, W.H., 1971: «Sedimentation of planktonic foraminifera». *Marine Geology*, 11: 325-358.
- BOUMA, A.H., 1962: *Sedimentology of some Flysch Deposits*. Amsterdam, Elsevier Pub. Co., 168 p.
- BURNS, D.A., 1974: «Changes in the carbonate component of recent sediments with depth: a guide to paleoenvironmental interpretation». *Marine Geology*, 16: M13-M19.
- CANALS, M., 1980: «Sedimentos y procesos en el margen continental sur-balear: control climático y oceanográfico sobre su distribución y evolución durante el Cuaternario superior». *Tesis de Licenciatura*, Universidad de Barcelona, Barcelona, 210 p.
- DAVIS, J.C., 1973: *Statistics and Data Analysis in Geology*. New York, John Wiley and Sons, 550 p.
- DIAZ, J.I., 1984: Márgenes continentales y cuencas del Mar Mediterráneo sur-occidental: Tipos de sedimentos y procesos sedimentarios». *Tesis de Licenciatura*. Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 141 p.
- DIAZ, J.I. y MALDONADO, A., 1983: «Sedimentos y procesos sedimentarios en el margen continental distal balear durante el Cuaternario». in A. Obrador ed. *X Congreso Nacional de Sedimentología, Simposium sobre la Geología Marina del Mediterráneo Occidental Español*. Maó, Menorca (Sept. 1983). p. 8.32 - 8.36, Comunicaciones, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona.
- DILLON, W.P., ROBB, J.M., GREENE, H.G. y LUCENA, J.C., 1980: «Evolution of the continental margin of southern Spain and the Alboran Sea». *Marine Geology*, 36: 205-226.
- DURAND-DELGA, M. y FONTBOTE, J.M., 1980: «Le cadre structural de la Méditerranée occidentale». *Mémoire du B.R.G.M.*, 115: 67-85.
- FELDHUSEN, P.H., STANLEY, D.J., KNIGHT, R.J. y MALDONADO, A., 1981: «Homogenization of gravity-emplaced muds and unificites: models from the Hellenic trench» in F.C. Wezel, ed. *Sedimentary Basins of Mediterranean Margins*, pp. 203-226, Bologna, Tecnoprint.
- FRIEDMAN, G.M. y SANDERS, J.E., 1978: *Principles of Sedimentology*, 72 p., New York, John Wiley and Sons.
- GIRO, S., ALONSO, B., DIAZ, J.I., FARRAN, M., MALDONADO, A. y VAZQUEZ, A., 1984: «Cartografía sedimentológica en la plataforma continental: metodología y criterios». *I Congreso Español de Geología*, 1, pp. 339-352. Ilustre Colegio Oficial Geólogos. Segovia.
- HUANG, T.C. y STANLEY, D.J., 1972: «Western Alboran Sea: Sediment dispersal ponding and reversal of currents» in D.J. Stanley, ed. *The Mediterranean Sea: A Natural Sedimentation Laboratory*. Stroudsburg, Pennsylvania, pp. 521-559, Dowden, Hutchinson and Ross Inc.
- KELLING, G., MALDONADO, A. y STANLEY, D.J., 1979: «Salt tectonics and basement fractures: key controls of recent sediment distribution on the Balearic Rise, western Mediterranean». *Smith-*

- son, *Contrib. Marine Sci.*, 3, Washington, D.C. 52 p.
- LEBART, L., MORINEAU, A. y TABARD, 1977: *Techniques de la Description Statistique*, Paris, Dunod, p. 351.
- LEEDER, M.R., 1982: *Sedimentology*. London, George Allen and Unwin, 344 p.
- MALDONADO, A., 1985: «Evolution of the Mediterranean Basins and a detailed Reconstructions of the Cenozoic Paleogeography» in R. Margalef, ed. *A Natural History of the Mediterranean, from the Strait of Gibraltar to the Sicilian Channel*. Key Environmental Series. Pergamon Press. Chapter 2, pp. 17-58. Oxford.
- MALDONADO, A. y STANLEY, D.J., 1979: «Depositional patterns and Late Quaternary evolution of two Mediterranean submarine fans: a comparison». *Marine Geology*, 31: 215-250.
- MALDONADO, A., CANALS, M., 1982: «El margen continental Sur-Balear: un modelo deposicional reciente sobre un margen de tipo pasivo». *Acta Geol. Hispanica*, 17 (4): 241-254.
- MALDONADO, A., ZAMARREÑO, I., BLESCHMIDT, G., CANALS, M., DIAZ, J.I., FARRAN, M., GONZALEZ DONOSO, J.M., IACCARINO, S., MAUFFRET, A., RYAN, W.B.F. y WILLIAMS, D.F., 1983: «El Mediterráneo Occidental Español: un ensayo de síntesis evolutiva». A. Obrador Ed. *X Congreso Nacional de Sedimentología, Simposium sobre el Néogeno del Mediterráneo Español*. Maó, Menorca (Sept. 1983). Comunicaciones, pp. 7.4 - 7.10. Barcelona, Universidad Autónoma de Barcelona.
- MAUFFRET, A., AUZENDE, J., OLIVET, J.L. y PAUTOT, G., 1972: «Le bloc continental Balear (Espagne) extension et evolution». *Marine Geology*, 12: 289-300.
- MAUFFRET, A., LABARBARIE, M. y MONTADERT, L., 1982: «Les affleurements de series sedimentaires pre-pleistocenes dans le bassin Mediterranéen Nord-Occidental». *Marine Geology*, 45: 159-175.
- MELGUEN, M., 1974: «Facies analysis by correspondence analysis, numerous advantages of this new statistical technique». *Marine Geology*, 17: 165-182.
- MIDDLETON, G.V. y BOUMA, A.H., 1973: «Turbidites and deep water sedimentation». *Soc. Econ. Paleont. Mineral. Pacific Section Short Course*. Anaheim, California.
- MULDER, C.J. y PARRY, G.R., 1977: «Late Tertiary evolution of the Alboran Sea at the eastern entrance of the Straits of Gibraltar» in B. Biju-Duval y L. Montadert eds. *International symposium on the structural history of the Mediterranean Basins Split (Yugoslavia)*. p. 401-410, Editions Technip, Paris.
- NELSON, C.H. y NILSEN, T.H., 1984: «Modern and ancient deep sea-fan sedimentation. *Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Short Course n° 14*, Tulsa, Oklahoma.
- OLIVET, J.L., PAUTOT, G. y AUZENDE, J.M., 1973: «Alboran Sea» in W.B.F. Ryan, K.J. Hsü et al., eds. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, 13*. pp. 1417-1429, Washington, U.S. Govern. Printing Office.
- PALANQUES, A., ALONSO, B. y MALDONADO, A., 1985: «Statistical definition of deep-sea mixed siliciclastic-calcareous deposits» 6th European Regional Meeting of Sedimentology, I.A.S., Abstract. pp. 352-355. Lérida.
- PIERCE, J.W. y STANLEY, D.J., 1975: «Suspended-sediment concentration and mineralogy in the central and western Mediterranean and mineralogic comparison with bottom sediment». *Marine Geology*, 19: 15-25.
- PIPER, D.J.W., 1978: «Turbidite muds and salts on deep sea fans and abyssal plains» in D.J. Stanley y G. Kelling eds. *Sedimentation in Submarine Canyons, Fans and Trenches*, pp. 163-176, Stroudsburg, Pa. Dowden, Hutchinson and Ross.
- RIVIERE, A., 1977: *Methodes Granulométriques*. Paris, Masson, 171 p.
- RUPKE, N.A. y STANLEY, D.J., 1974: «Distinctive properties of turbidite and hemipelagic muds layers in the Algero-Balearic Basin, Western Mediterranean Sea». *Smithson. Contr. Earth Sc.*, 13, Washington D.C. 40 p.
- SERRA, J., MALDONADO, A. y RIBA, O., 1979: «Caracterización del margen continental de Cataluña y Baleares». *Acta Geol. Hispanica*, 14. Libro Homenaje al Prof. Luis Solé Sabaris, pp. 494-504.
- SMITH, S.V., DYKAS, J.A. y CHAVE, K.E., 1968: «Distribution of calcium carbonate in pelagic sediments». *Marine Geology*, 6: 391-400.
- SOTHARD, J.B. y STANLEY, D.J., 1976: «Shelf-break processes and sedimentation» in D.J. Stanley y D.J.P. Swift, eds. *Marine Sediment Transport and Environmental Management*. pp. 351-377, New York, John Wiley and Sons.
- STANLEY, D.J., 1977: «Post-miocene depositional patterns and structural displacement in the Mediterranean» in A.E.M. Nairn, W.H. Kanes y F.G. Stehli, eds. *The Ocean basin and margins. 4 A. The Eastern Mediterranean*, pp. 77-130, New York, Plenum Press.
- STANLEY, D.J. y MALDONADO, A., 1979: «Levantine Sea-Nile Cone lithostratigraphic evolution: quantitative analysis and correlation with paleoclimatic and eustatic oscillations in the Late Quaternary». *Sedimentary Geology*, 23: 37-65.
- STANLEY, D.J., GOT, H., KENYON, MONACO, A. y WEILER, Y., 1976: Catalanian, eastern Betic and Balearic margins: structural types and geologically recent foundering of the western Mediterranean Basin. *Smithsonian Contr. Earth., Sci.*, 20, Washington, D.C. 67 p.
- STOW, D.A.V., 1981: «Bottom currents and contourite in the North Atlantic». Actes Colloque International CNRS Bordeaux. *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, 31: 151-166.
- STOW, D.A.V. y LOVELL, J.P.B., 1979: «Contourites their recognition in modern and ancient sediments» *Earth-Science Reviews*, 14: 251-291.

Recibido, Septiembre 1985