

# Distribución de minerales pesados en los sedimentos de la plataforma continental de Cádiz

## *Heavy minerals distribution on sediments of the continental shelf of Cadiz*

J. M. Gutiérrez Mas, J. P. Moral Cardona, D. Morata Céspedes, J. M. Parrado Román, J. M. Jódar Tenor

Dpto. Cristalografía y Mineralogía, Estratigrafía, Geodinámica y Petrología y Geoquímica. Facultad Ciencias del Mar (Univ. de Cádiz). Apto. 11510-Puerto Real (Cádiz)

### ABSTRACT

*The heavy mineral distribution on recent sediments of continental shelf of Cadiz; shows great relation with the granulometric distribution, source areas, hydrodynamic behavior grains and the depositional regimen. Ultrastable heavy minerals are predominate in south sector, in coincidence with quartzitic sand deposits sedimentation low rate and high maturity of the sediments. Northward, in neighboring prodeltaic muddy sediments to the Guadalquivir river mouth, metastables heavy minerals predominate, in coincidence with high sedimentation rate and a greater mineralogical variability in the sediments, due to the fluvial contribution. The main mineralogical assemblage is: epidote, garnet, rutile and zircon, very similar to the showed by other authors in neighboring littoral and continental areas. The main source areas are in the Iberian Masif (Sierra Morena), Cordillera Bética and Depresion of Guadalquivir. The main transport agents are the Guadalquivir and Guadalete rivers and others which have their mouth northward of the study area. Others sources of sediments to the continental margin can be related with the Atlantic Water Flow and Mediterranean Out Flow from external zones to this geographical area.*

**Key words:** heavy minerals, continental shelf, Gulf of Cadiz.

*Geogaceta*, 21 (1997), 143-146  
ISSN: 0213683X

### Introducción

Los minerales pesados se han utilizado para determinar áreas fuente y trayectorias de transporte de sedimentos y, aunque su uso ha sido restringido, la aplicación de técnicas modernas de análisis mineralógico y de la estadística mediante ordenador, permiten abordar nuevamente estos procedimientos. La clave del uso de los minerales pesados como trazadores naturales reside, tanto en su comportamiento hidrodinámico, debido a su densidad, como a su potencial de preservación, dada su resistencia a la meteorización (Pettijohn, 1975). En este trabajo se aborda el estudio de la distribución de los minerales de la fracción pesada presentes en los sedimentos recientes de la plataforma continental de Cádiz. Se analizan las posibles áreas fuente y el patrón de distribución en los sedimentos. Los resultados se comparan con los obtenidos por otros autores como, Melières (1974) en el margen continental; Mabesoone (1963 y 1966) y Pérez Mateos *et al.* (1982) en el litoral y Mabesoone (1966), Viguié (1974) y Zazo (1979) en formaciones continentales, con objeto de comprender el modelo sedimentológico y

abordar su actualización.

### Características de la zona de estudio

La plataforma continental de Cádiz (Fig. 1A) por sus características sedimentológicas, es un ejemplo de plataforma siliciclástica de latitudes medias. La influencia del sistema hidrodinámico, cambios de nivel del mar, estructura tectónica y morfología de la costa y margen continental, se refleja en la variedad y distribución de las facies (Fig. 1B). El margen continental, se orienta de NNO a SSE, con tramos E-O, debido a accidentes tectónicos (Sanz de Galdeano, 1990), que condicionan la ubicación de las desembocaduras de los ríos y la orientación de los cañones submarinos. Entre la desembocadura del río Guadalquivir y el cabo de Trafalgar, la plataforma es relativamente amplia, 25km, y de pendiente suave. El talud tiene morfología cónica, con poca pendiente, mostrando aterrazamientos, cañones y crestas estructurales, entre las que se ubican valles que condicionan la dirección de las corrientes (Baraza y Nelson, 1992).

El régimen hidrodinámico está controlado por la *Corriente Superficial Nordatlántica* (NASW) (Fig. 1: C1) que

barre la plataforma con dirección SE, y el *Flujo Mediterráneo* (MOW) (Fig. 1: C2) que circula hacia el O y NO por el talud, entre 300 y 1500 m de profundidad (Madelain, 1970; Zenk, 1975; Ambar y Howe, 1979; Heezen y Johnson, 1969; Baraza y Nelson, 1992), sin alcanzar la plataforma (Palanques *et al.*, 1987). Las corrientes litorales están controladas por los temporales del O y NO, y circulan hacia el SE, aunque con viento de levante, se observan corrientes hacia el O, y con viento del S hacia N. El régimen de mareas es mesomareal semidiurno, con amplitud máxima de 3,7m, pero dada la morfología abierta de la costa, su acción sólo es significativa en zonas fisiográficamente apropiadas, como la bahía de Cádiz.

### Metodología

El muestreo se llevó a cabo con tomastigos de gravedad, en 60 estaciones distribuidas en la plataforma continental frente a Cádiz, en fondos con el suficiente contenido en arena como para permitir la extracción de los minerales pesados. Inicialmente, con objeto de determinar las distribuciones de tamaño de grano, se procedió al análisis mecánico de las muestras. La

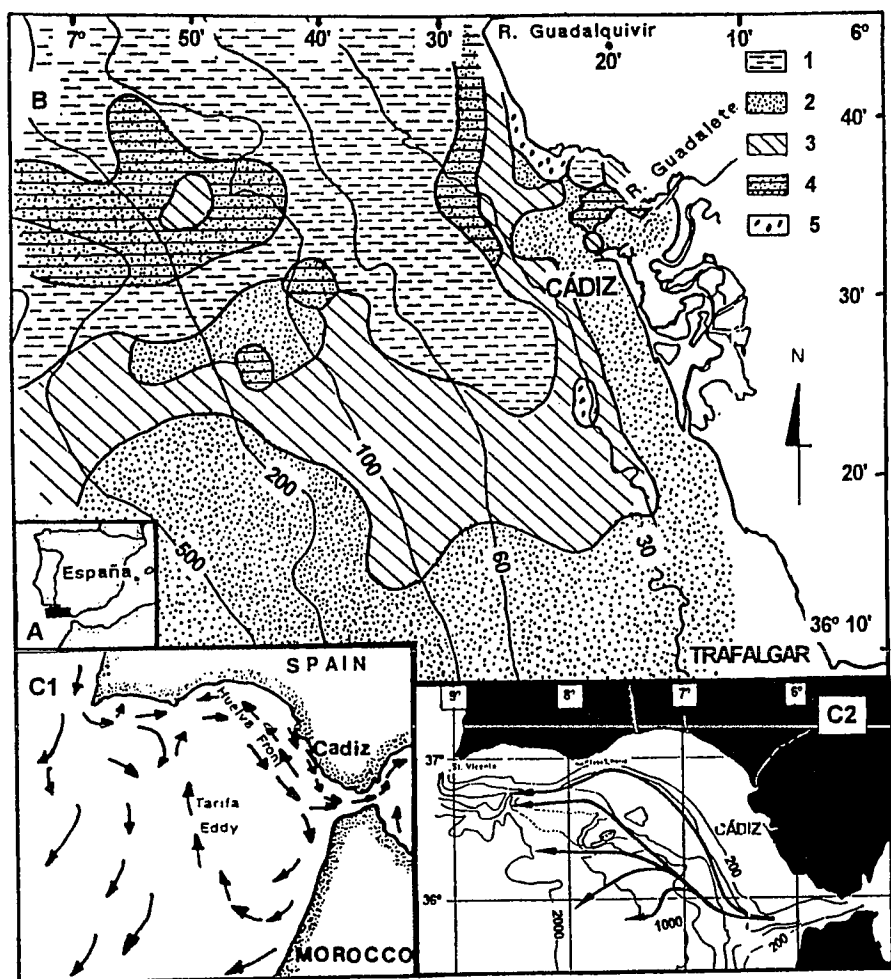


Fig. 1.- A) Situación de la zona de estudio. B) Distribución de facies granulométricas en la plataforma continental de Cádiz: 1: Fango arcilloso; 2: Arena; 3: Arena fangosa; 4: Fango arenoso; 5: Grava. C) Modelo de distribución de corrientes en el Golfo de Cádiz: C1: Circulación Atlántica (Stevenson, 1977); C2: Flujo Mediterráneo de Salida (Zenk, 1975).

Fig.1.- A) Situation of study area. B) Distribution of granulometric facies on the continental shelf of Cadiz: 1: Clayey mud; 2: Sand; 3: Muddy sand; 4: Sandy mud; 5: Gravel. C) Distribution pattern currents in the Gulf of Cadiz: C1: Atlantic Circulation (Stevenson, 1977); C2: Mediterranean Out Flow (Zenk, 1975).

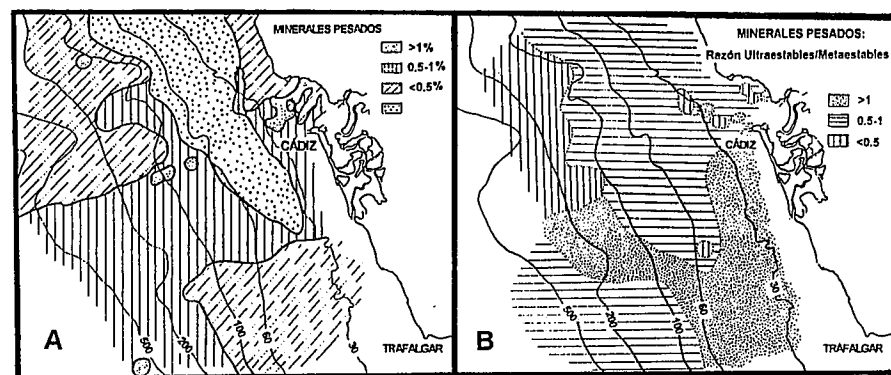


Fig. 2.- A) Distribución del contenido en minerales pesados en fracción total; B) Distribución de la proporción de minerales ultraestables y metaestables en sedimentos de la plataforma continental de Cádiz.

Fig.2.- A) Distribution of the heavy minerals content in total fraction; B) Distribution of ultrastable and metastables heavy minerals rate in sediments of the continental shelf of Cadiz.

separación de la fracción pesada se realizó mediante la técnica de líquidos densos, tras la eliminación de los carbonatos. El análisis mineralógico se realizó mediante difracción de rayos-X (DRX). El contenido se expresa como porcentaje en muestra total, para la fracción pesada, y porcentaje relativo de cada mineral respecto al conjunto de minerales determinados. Las asociaciones mineralógicas se han determinado mediante Análisis Factorial Multivariante (modo-Q).

**Resultados**

Los sedimentos superficiales de la plataforma continental de Cádiz son siliciclásticos, con un contenido medio en cuarzo del 80%. Los carbonatos están en proporciones medias del 20%, son de origen bioclástico y están constituidos mayoritariamente por calcita. Bajo el punto de vista granulométrico se diferencian tres sectores: a) una franja litoral y sublitoral de arena cuarcifera bioclástica (Fig. 1B); b) un cuerpo prodeltaico fangoso, relacionado con los aportes del río Guadalquivir que, desde la desembocadura del río alcanza el borde de la plataforma y se orienta paralelamente a la costa; c) un tercer sector arenoso cuarcífero, ocupa la plataforma continental al S y SO de Cádiz.

Los contenidos de minerales pesados en los sedimentos de la plataforma son bajos, 1% en muestra total, con máximos del 5% en áreas sublitorales arenosas cercanas a la bahía de Cádiz, (Fig. 2A). La representación de la proporción de minerales ultraestables respecto a la de metaestables (Fig. 2B), permite diferenciar tres sectores: uno, al S y SO de Cádiz, coincidente con las facies arenoso cuarcíferas, donde predominan minerales ultraestables; b) otro, en la parte central de la zona, en sedimentos fangosos, donde ambos grupos minerales aparecen proporciones similares, con ligero predominio de los metaestables, y un tercer sector, al NO, donde predominan los metaestables.

Las distribución de contenidos de minerales se muestra en la figura 3. El rutilo (Fig. 3A), muestra concentraciones medias del 10% en plataforma y máximas superiores al 20% en la bahía de Cádiz. El circón (Fig. 3B) presenta contenidos medios del 6% y máximos del 10 al 15% en la bahía de Cádiz y en borde de la plataforma. La turmalina (Fig. 3C) muestra contenidos máximos en facies arenosas cercanas a la bahía y en el borde de la plataforma, mientras que los mínimos aparecen ligados a sedimentos más arcillosas.

El granate (Fig. 3D) presenta contenidos del 20 al 25% en zonas sublitorales al

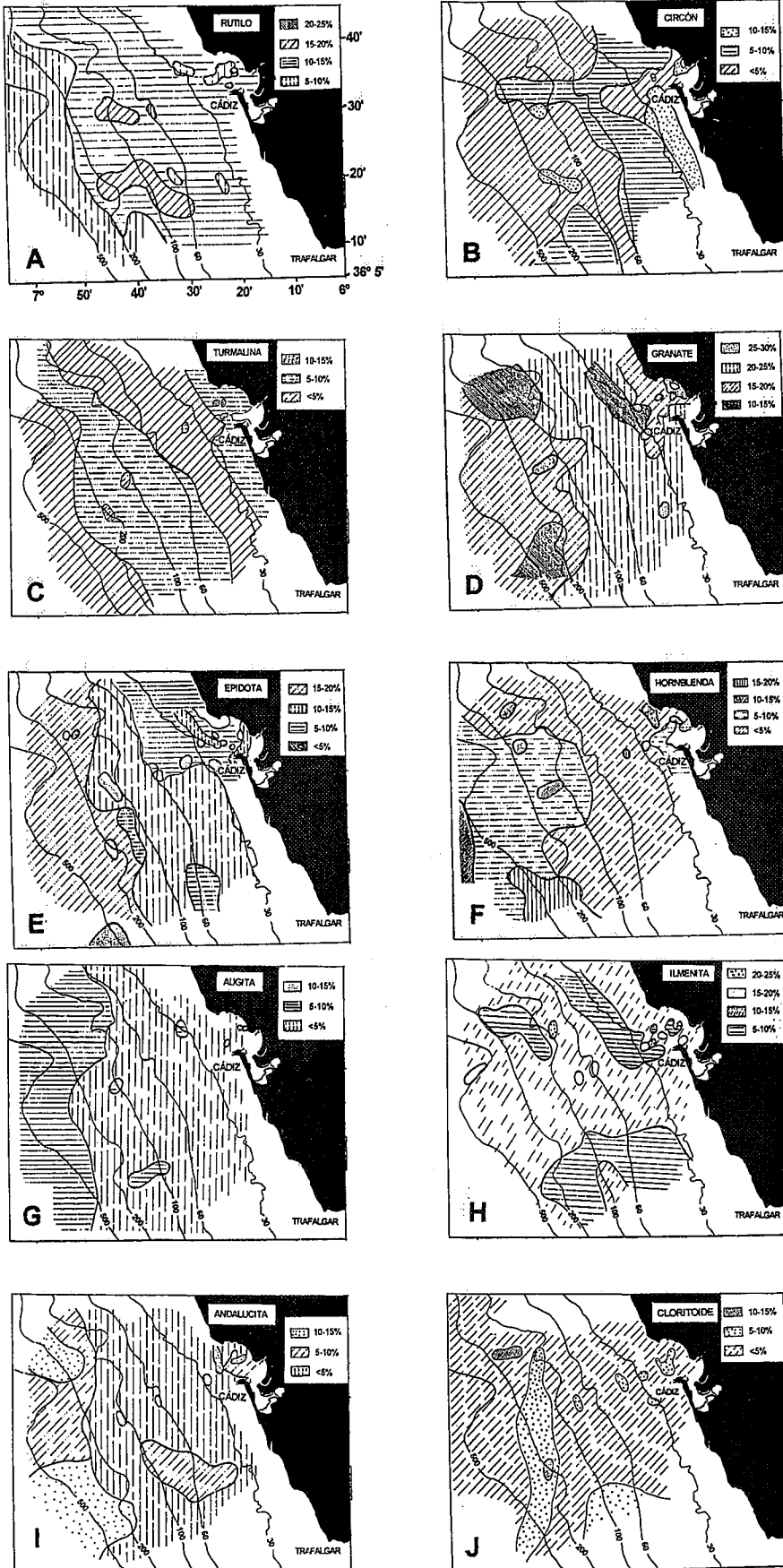


Fig. 3.- Distribución de los minerales pesados en los sedimentos recientes de la plataforma continental de Cádiz.

Fig. 3.- Distribution of heavy minerals in present day sediments on continental shelf of Cádiz.

N de la bahía de Cádiz, mientras que en plataforma externa son del 15 al 20% y se asocia a sedimentos arenoso cuarcíferos. La *epidota* presenta contenidos medios del 15% (Fig. 3E), apareciendo los valores máximos en el borde de la plataforma. La *hornblenda* (Fig. 3F) muestra concentraciones medias del 10% y máximas del 20%. La *augita* (Fig. 3G) aparece con concentraciones muy bajas, inferiores al 5% y distribución homogénea, con concentraciones máximas del 10% en las zonas profundas de la plataforma externa. La *ilmenita* (Fig. 3H) presenta contenidos medios del 13% y máximos del 25% en áreas sublitorales próximas a la bahía. La *andalcita* (Fig. 3I) aparece con concentraciones cercanas al 15% en zonas litorales, incrementándose con la profundidad. El *cloritoide* (Fig. 3J) presenta concentraciones inferiores al 5%, dándose los valores máximos en las proximidades del cañón frente al río Guadalquivir y en el promontorio submarino frente a Rota.

En cuanto a los resultados del Análisis Factorial Multivariante (modo-Q), éstos han permitido determinar que, la asociación mineralógica dominante en los sedimentos de la plataforma continental de Cádiz, está contituida en orden de importancia por los siguientes minerales: *epidota*, *granate*, *rutilo* y *circón* (Gutiérrez Mas et al., 1994).

Discusión y conclusiones

Entre la desembocadura del río Guadalquivir y el cabo de Trafalgar se aprecian diferentes facies y condiciones de depósito. Entre Cádiz y Trafalgar, aparecen arenas cuarcíferas muy seleccionadas. En esta zona, los aportes fluviales son escasos y la tasa de sedimentación pequeña, estando el régimen deposicional dominado por la erosión de acantilados y frente litoral por la removilización del fondo durante los temporales, adquiriendo las facies el carácter de sedimentos tipo *palimpsepto* debido al retrabajamiento. En las zonas prodeltaicas entre Cádiz y la desembocadura del Guadalquivir, la tasa de sedimentación es mayor y el régimen deposicional está dominado por los aportes de éste río, que alcanzan la plataforma e inicio del talud. Estas diferencias deposicionales, condicionan a su vez la variedad y distribución de los minerales pesados en los sedimentos, cuya distribución, con independencia de la roca madre, se relaciona con los procesos de clasificación selectiva ligados a la acción de la erosión y transporte, condicionados a su vez por el comportamiento hidrodinámico de los granos y su estabilidad físico-química.

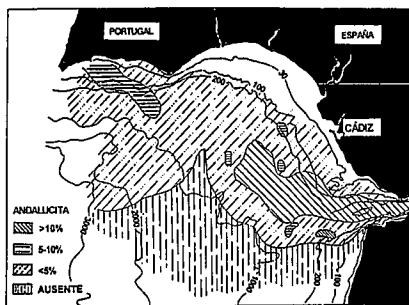
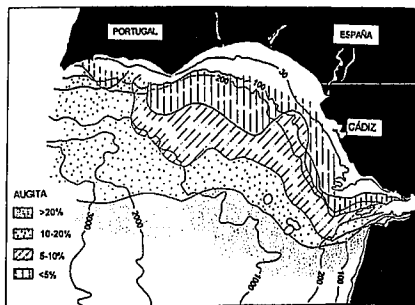


Fig. 4.- Distribución de augita y andalucita en los sedimentos del margen continental del Golfo de Cádiz (modificado de Melières, 1974).

Fig. 4.- Distribution of augite and andalucite in sediments of the continental margin of the Gulf of Cadiz (modified from Melières, 1974).

La relación entre minerales ultraestables y metaestables (Fig. 2B), indica un mayor contenido de los primeros en el sector sur de la zona, en relación con el mayor grado de retrabajamiento de los sedimentos arenoso presentes y la mayor resistencia de estos minerales a la erosión. En los sectores centro y norte de la plataforma, entre 30 y 100m de profundidad, la razón ultra/metaestables presenta valores más equilibrados, con ligero predominio de los metaestables, que se acrecienta hacia el NO de la zona. Este hecho, se explica por la mayor variedad mineralógica de los sedimentos, debido al menor grado de madurez, que aportan los principales ríos que tienen su desembocadura al norte de la zona (Guadalquivir, Odiel-Tinto y Guadiana).

En cuanto a la procedencia de los minerales, el circón podría tener diferentes orígenes. En la plataforma parece relacionado con los aportes del río Guadalete. Viguier (1974), considera que el circón procede de los materiales subbéticos presentes en la cuenca del Guadalete, hecho poco probable si se tiene en cuenta la escasa presencia de este mineral en los materiales que constituyen estas formaciones. Melières (1974), ubica el área fuente de este mineral en el norte de Marruecos y atribuye al Flujo Mediterráneo su distribución en el margen continental. En cuanto a la turmalina, los mayores contenidos aparecen en zonas sublitorales cercanas a la bahía de Cádiz, lo que justifica un aporte desde el Guadalete, principal curso fluvial que tiene aquí su desembocadura, idea reforzada por el hecho de que este mineral está presente en las terrazas del Guadalete (Moral Cardona, 1996).

La distribución del granate, permite pensar en una procedencia relacionada con la erosión de los materiales calcareníticos del Mioceno Superior, presentes en las cuencas de los ríos que desembocan en la zona y que afloran también en varios tramos de costa y

fondo de la plataforma (Mabesoone, 1963; 1966). La epidota aparece también en la zona de influencia del Guadalete, y está presente en las arenas rojas plio-pleistocenas y playas actuales cercanas a Cádiz. Este mineral, aunque se presenta con contenidos moderados, dada su frecuencia y constancia en los sedimentos, constituye el mineral principal de la asociación mineralógica dominante. La andalucita es aportada en gran parte por el río Guadalete, detectándose un empobrecimiento hacia el S debido a la poca eficacia en el transporte de sedimentos de las corrientes litorales (Mabesoone, 1963), que no alcanzan grandes distancias desde las desembocaduras de los ríos, a causa de la morfología escalonada de la costa, que favorece la inclusión en el medio litoral de sedimentos procedentes de fuentes locales, como pequeños ríos y arroyos, que tienen su desembocadura al norte de las ensenadas, y por la existencia de corrientes litorales contrapuestas generadas al cambiar el régimen de vientos en la zona. En la plataforma, la andalucita muestra una distribución más homogénea, debido a la ausencia de estos factores. Para zonas más profundas, Melières (1974), propone al Flujo Mediterráneo de Salida y la Corriente de Portugal como agentes del transporte y fuente de aportes de este mineral.

Estudios recientes en la plataforma continental de Cádiz (Gutiérrez Mas *et al.*, 1994), y en la bahía de Cádiz y cuenca del río Guadalete (Moral Cardona *et al.*, 1996), revelan que las asociaciones mineralógicas obtenidas, coinciden con las propuestas por otros autores para áreas litorales y continentales próximas, sugiriéndose varias fuentes de aportes. Por un lado, el río Guadalete, que suministra material retra-bajado procedente de la erosión de las formaciones sedimentarias presentes en su cuenca (Subbético Medio, areniscas del Aljibe, calcarenitas del Mioceno Superior, arenas pliocenas y pleistocenas, etc.); por otro, el Guadalquivir, en cuya cuenca afloran terrenos ígneos y metamórficos (Macizo Ibérico),

y que aporta sedimentos poco maduros; una tercera fuente se relaciona con la erosión de acantilados y sedimentos litorales. Este modelo contradice la consideración de fuentes de aportes de zonas marinas externas al entorno geográfico del Golfo de Cádiz, idea basada en la regularidad de la distribución de contenidos en el margen continental (Melières, 1974), que induce a pensar en la influencia del Flujo Mediterráneo de Salida (Fig. 4). A este respecto, nos inclinamos más por un modelo basado en los aportes de los ríos que tienen su desembocadura en la zona de estudio, aunque sin descartar, por el momento, otras posibilidades.

**Agradecimientos**

Este trabajo ha sido parcialmente financiado con fondos del Proyecto AMB 94/0501 de la CICYT y del Grupo 4166 de Geología Marina del PAI (Junta de Andalucía).

**Referencias**

Ambar, I. y Howe, M.R. (1979): *Deep-Sea Researchs*, 26: 535-554.  
 Baraza, J. y Nelson, H. (1992): *III Congr. Geol. de Esp. y VIII Congr. Latinoamericano de Geol. Salamanca. Simposios*. Tomo, 2: 427-486.  
 Gutiérrez Mas, J.M., Dominguez-Bella, S. y López-Aguayo, F. (1994): *Geo-Mar. Lett.*, 14: 52-58.  
 Heezen, B. y Johnson, G. (1969): *Bull. Ins. Oceanograph. Monaco* 67:1-95.  
 Mabesoone, J. M. (1963): *Geol. Minjbouw*: 42: 23-43.  
 Mabesoone, J.M. (1966): *Geol. Minjbouw*: 45: 25-32.  
 Madelain, F. (1970): *Extrait des Cahier Oceanographiques*, 22 (1): 43-61.  
 Melières, F. (1974): *Thèse Sci. Nat. Univ. Paris VI*. 235 pp. + ann.  
 Moral Cardona, J.P., Achab, M.; Dominguez Bella, S., Gutiérrez Mas, J.M., Morata, D. y Parrado Román, J.M. (1996): *Geogaceta*, 20 (7): 14-17.  
 Pérez-Mateos, L., Pinilla, A., Alcalá del Olmo, L. y Aleixandre, T. (1982): *Bol. Geol. Min.*, T. XCIII-I: 1-18.  
 Palanques, A., Plana, F. y Maldonado, A. (1985): *XI Congr. Esp. Sedimentología, Barcelona* p-128.  
 Pettijohn, F.J. (1975): *Sedimentary rocks* (3rd edition). Harper & Row. London.  
 Sanz de Galdeano, C. (1990): *Tectonophysic*, 172: 107-119.  
 Stevenson, R. (1977): *Deutsche Hydrographische Zeitschrift, Heft 2*: 52-57.  
 Viguier, C. (1974): *Thèse Univ. Bordeaux*, 449 pp.  
 Zazo, C. (1979): *Tesis Doctoral* (2 II), Univ. Madrid.  
 Zenk, W. (1975): *Reihe A.*, 16: 23-25. Berlin.