

CONTAMINACIÓN DE METALES PESADOS EN LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DE BARCELONA (MEDITERRÁNEO NOROCCIDENTAL)

A.Palanques(1) y J.I.Díaz(1)

(1) Instituto de Ciencias del Mar, CSIC, Paseo Nacional s/n, 08039.- BARCELONA.

RESUMEN

Los sedimentos de la zona interna de la plataforma continental situada frente a Barcelona están fuertemente afectados por la contaminación antropogénica de cobre, cromo, cadmio, plomo níquel, hierro y manganeso. Los cinco primeros metales presentan altos niveles de contaminación en los sedimentos localizados frente a las desembocaduras del río Besós y de la antigua riera del Bogatell. La contaminación de estos metales disminuye gradualmente hacia el sur y mar adentro, afectando principalmente a los fangos del prodelta del río Besós. En el límite externo del prodelta, la contaminación de metales pesados es relativamente baja excepto en la zona donde se acumulan los materiales vertidos a través del emisario submarino de la planta depuradora Barcelona-Besós. Estos materiales presentan niveles de plomo muy superiores a los detectados frente a las desembocaduras del río Besós y de la riera del Bogatell y niveles de cobre y cadmio similares a los detectados en estas zonas. También presentan niveles elevados de cromo, cobalto y níquel aunque no tan elevados como frente a estas desembocaduras. Los sedimentos relictos de la zona externa de la plataforma no se ven afectados por la contaminación de estos metales.

Palabras clave: Metales pesados, Contaminación antropogénica, Sedimentos superficiales, Prodelta del Besós, Barcelona.

ABSTRACT

Sediment of the inner Barcelona continental shelf are highly affected by heavy metal anthropogenic pollution discharged by the littoral sewers and the Besós River. High concentrations of Cu, Cr, Cd, Pb and Ni have been detected near the Besós River mouth and the Bogatell sewer mouth. The pollution of these metals decrease gradually southward and seaward affecting mainly the sediment of the Besós prodelta. In the outer part of the prodelta the pollution level of these metals is relatively low, except in the area where the waste discharged by the pipeline of the Barcelona-Besós wastewater treatment plant is accumulated. In this waste deposit the Pb concentration is higher than those detected in front of the Besós River and the Bogatell sewer mouths, and the Cr and Ni concentrations are similar to those detected at these locations. The waste deposit also has high concentrations of Cr, Co and Ni but they are not as high as those detected in front of the Bogatell and Besós mouths. The relict sediments of the outer part of the shelf are not affected by the pollution of these metals.

Key words: Heavy metals, anthropogenic pollution, surface sediment, Besós prodelta, Barcelona.

Palanques, A. y Díaz, J.I. (1990): Contaminación de metales pesados en los sedimentos superficiales de la plataforma continental de Barcelona (Mediterráneo Noroccidental). *Rev. Soc. Geol. España*, 3: 357-371.

Palanques, A. and Díaz, J.I. (1990): Heavy metal pollution in the surface sediments of the Barcelona continental shelf. (Northwestern Mediterranean). *Rev. Soc. Geol. España*, 3: 357-371.

1. INTRODUCCIÓN

La plataforma continental situada frente al litoral barcelonés recibe el impacto contaminante de los materiales suministrados por el río Besós, por los colectores litorales (como el situado en la antigua riera del Bogatell) y por el emisario submarino de la planta depu-

rador Barcelona-Besós. Los niveles de contaminación de metales pesados en los sedimentos marinos de esta zona no empezaron a ser determinados hasta la década de los ochenta. Al principio de esta década, Serra *et al.* (1980) estudiaron la distribución del contenido de la fracción menor de 45 μm y de la materia combustible a 550°C (indicativo del contenido de materia orgá-

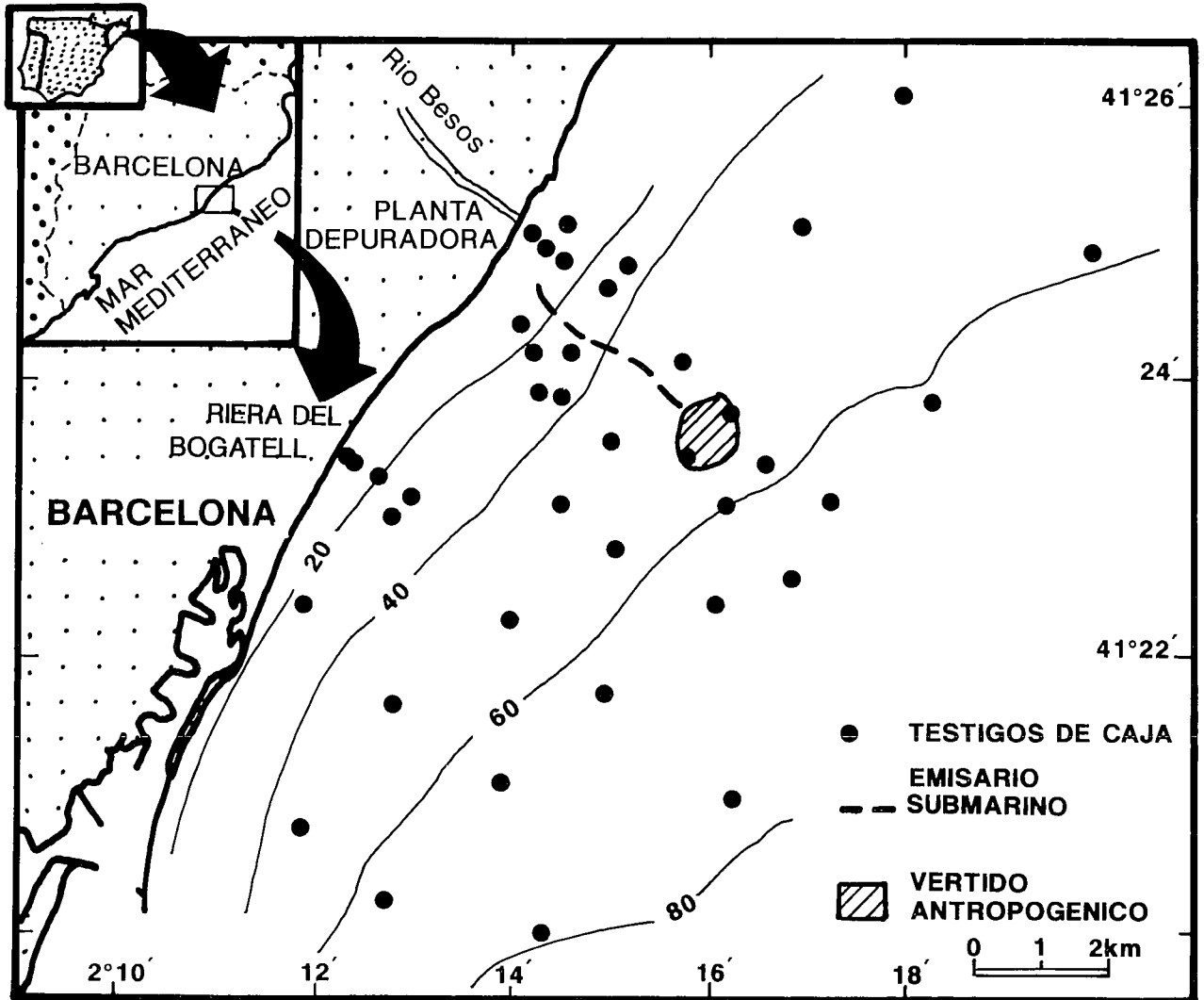


Fig. 1.-Mapa de situación de las muestras analizadas.
Fig. 1.-Map showing the location of the samples.

nica) en el sedimento superficial, constatando el aumento de estos dos parámetros hacia el sur del río Besós, y en espejal en las cercanías de las desembocaduras del río y de los colectores, como consecuencia de los procesos de floculación que tienen lugar en las zonas de transición (Monaco, 1977; Aloisi, 1979). También indicaron que la distribución de estos dos parámetros permitía deducir de modo aproximativo la evolución y la distribución de la contaminación en esta zona, aunque no realizaron ninguna medida directa de los niveles y la distribución de la contaminación. Posteriormente, se estudió el impacto comtaminante de Hg (Cross y García-Rey, 1980), de Fe, Pb, Mn, Ni, Co, Cu, Cd y Cr (Díaz *et al.*, 1983) y de Hg, Pb, Cr Cu y Cd (Modamio, 1986) en los sedimentos de algunos puntos situados en la proximidad de la desembocadura del río Besós y frente a los colectores de la playa de la Barceloneta. Estos trabajos pusieron ya de manifiesto que las concentraciones de metales pesados en los sedimentos depositados a pocos cientos de metros de la línea de costa, frente

a las desembocaduras del río Besós y de los colectores, son muy elevados. Sin embargo, estos trabajos no permiten conocer ni la distribución superficial, ni los límites de la contaminación antropogénica de metales pesados en los sedimentos de la zona. Tampoco existen estudios precedentes que traten acerca del impacto contaminante del depósito de materiales descargados por el emisario submarino, cuya desembocadura está situada a unos 56 metros de profundidad. La sedimentología reciente de la plataforma continental del barcelonés ha sido estudiada durante los últimos años dentro de los trabajos realizados para la cartografía geológica de la zona (Giró *et al.*, 1986; Medialdea *et al.*, 1989).

El objetivo de este trabajo es el estudio de los niveles, de la distribución superficial y de los límites de la contaminación antropogénica de metales pesados en los sedimentos superficiales de la plataforma continental situada frente a la ciudad de Barcelona, entre la desembocadura del río Besós y el espigón del puerto de dicha ciudad (Fig. 1). La zona de estudio comprende

el área de influencia del río Besós, del colector del Bogatell y del emisario submarino de la planta depuradora. Con este objetivo se realizó una campaña de exploración geofísica seguida por otra campaña de muestreo de sedimentos de fondo a bordo del B/O García del Cid. Durante la campaña de geofísica se estudió la disposición de los sedimentos y se localizaron los depósitos antropogénicos de la zona de estudio (Checa *et al.*, 1988). Durante la campaña de muestreo se tomaron muestras de fondo con el fin de realizar análisis sedimentológicos y geoquímicos de los sedimentos superficiales depositados en la zona de estudio.

Este trabajo incluye la descripción de los métodos analíticos empleados, a continuación se exponen los resultados obtenidos, presentando la distribución de metales pesados en los sedimentos superficiales de la zona de estudio y analizando las anomalías causadas por las distintas fuentes contaminantes. Más adelante se muestran los resultados del tratamiento estadístico realizado a partir de los datos geoquímicos y de los parámetros sedimentológicos más significativos.

2. METODOLOGÍA

2.1.- Metodología de campaña

La campaña de muestreo, abordo del B/O García del Cid, tuvo lugar en el mes de mayo de 1987. Previamente se había localizado, mediante métodos geofísicos, el emplazamiento del emisario submarino y del cuerpo sedimentario que éste genera (Checa *et al.*, 1988). Para muestrear dicho depósito con la mayor exactitud posible, se utilizó un sistema de radio posicionamiento MAXIRAN cuya precisión es de orden métrico. Este sistema se utilizó complementándolo con el sistema de posicionamiento por satélite GPS y TRANSIT.

Las muestras de sedimento han sido extraídas por medio de un sacatestigos de caja. Este método de muestreo penetra hasta 60 cm en el sedimento de fondo y extrae una muestra de éste sobre un área de 20 x 30 cm sin ocasionarle ningún tipo de deformación y conservando la superficie del sedimento inalterada. Durante la campaña de muestreo se tomaron un total de 33 testigos de caja en la zona de estudio, que fueron analizados posteriormente en el laboratorio. También se analizaron muestras pertenecientes al fondo documental de la Unidad de Geología Marina del C.S.I.C.. La situación de las muestras analizadas puede observarse en la Figura 1.

2.2.- Metodología de laboratorio

En el laboratorio las muestras tomadas fueron sometidas a análisis sedimentológicos y geoquímicos. Los análisis sedimentológicos consistieron en la determinación de la textura de las muestras y en el estudio de la composición de la fracción arena. Para realizar el análisis granulométrico de las muestras se separó por ta-

mizado húmedo la fracción menor de 50 micras que se analizó con un SEDIGRAPH 5000D, la fracción mayor de 50 micras se analizó con un tubo de sedimentación, todo ello según el método descrito por Giró y Maldonado (1985). Estos resultados se integran para obtener la distribución total de la muestra y los distintos parámetros granulométricos se calculan por ordenador. La composición porcentual de la fracción arena se ha analizado al binocular contabilizando más de 300 granos por muestra.

Los análisis geoquímicos han consistido en la determinación del contenido de metales pesados y de carbonato en el sedimento. Para realizar dichos análisis la muestra es previamente triturada en un molino de ágata para su completa homogeneización. Los metales pesados de origen antropogénico se localizan principalmente en la fracción no silicatada de los sedimentos. Por este motivo, se ha escogido el ácido nítrico para realizar la digestión de la muestra, ya que este ácido consigue un alto grado de extracción de los metales contenidos en la fracción autógena del sedimento sin disolver apenas los silicatos. La extracción en frío con este ácido presenta además la ventaja de que los resultados pueden ser comparados con los obtenidos anteriormente en ésta y en otras zonas en las que se han realizado estudios similares. (Díaz *et al.*, 1983; Alonso y Maldonado, 1986; Palanques *et al.*, 1990a). El procedimiento de digestión de las muestras se basa en el método de Frignani *et al.* (1978) y en los trabajos citados anteriormente.

La determinación de la concentración de metales pesados en la solución resultante del proceso de digestión de las muestras se realizó por espectrofotometría de absorción atómica a la llama. El aparato utilizado fue un espectrómetro Perkin-Elmer 460. Las interferencias que presenta el cromo se resolvieron añadiendo a la solución problema y a la solución patrón un 10% de NH₄Cl al 20%.

La determinación del contenido en carbonato se efectuó mediante el calcímetro de Bernard, a partir del cual se mide el volumen de CO₂ desprendido por el ataque de la muestra con HCl a presión atmosférica (Maldonado, 1972).

2.3.- Tratamiento estadístico.

Los resultados de los análisis de metales pesados junto con algunos parámetros sedimentológicos, han sido tratados estadísticamente por un paquete de programas que incluye el cálculo de los parámetros estadísticos fundamentales (la media aritmética, la desviación típica y los valores máximo y mínimo de cada variable), el cálculo de los coeficientes de correlación entre las distintas variables y un análisis factorial.

3. CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES

En el área estudiada se han identificado tres pro-

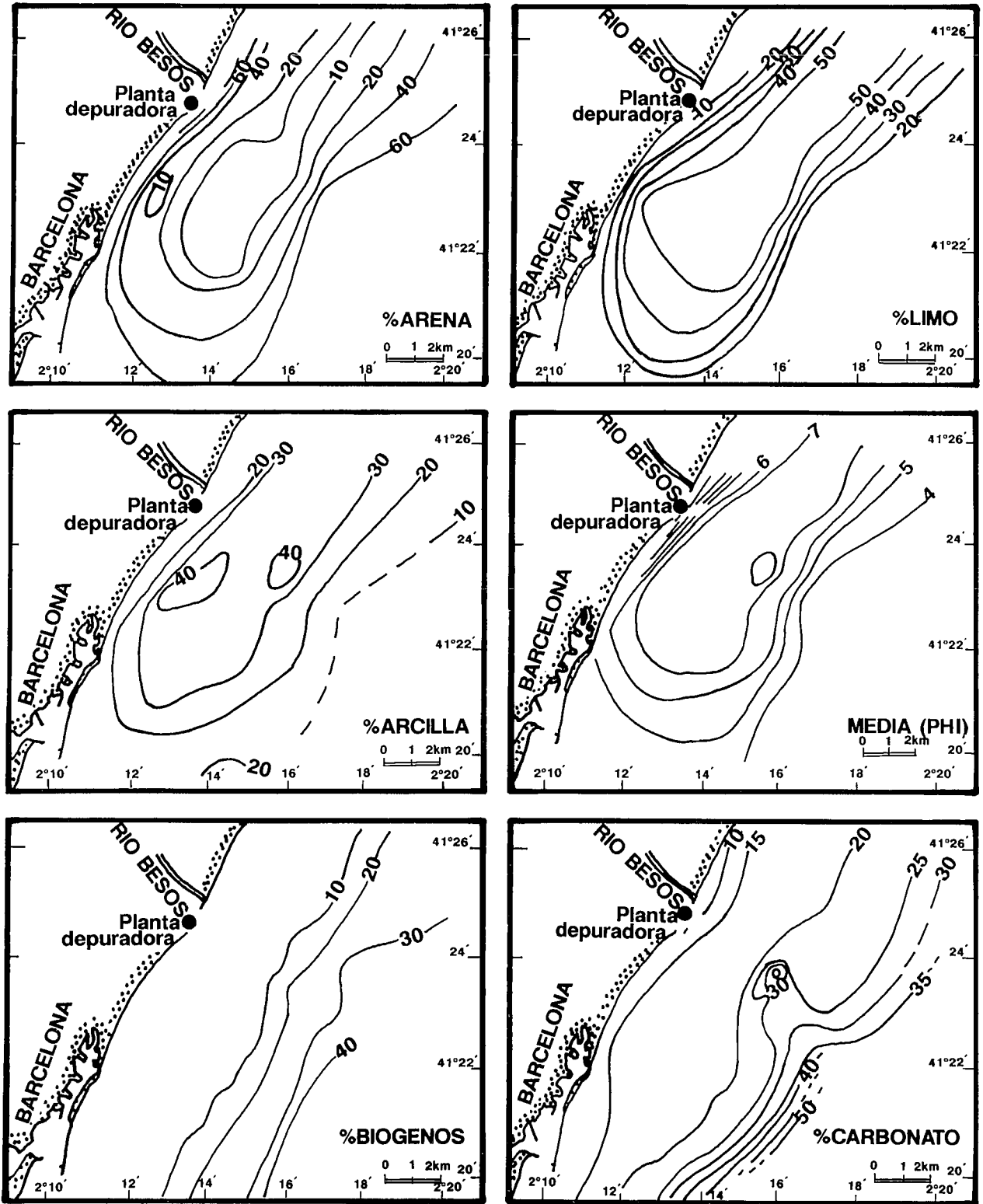


Fig. 2.-Mapas de distribución de los contenidos de arena limo y arcilla, de la media granulométrica, del contenido de biógenos en la fracción arena y del contenido de carbonato de los sedimentos superficiales en la zona de estudio.

Fig. 2.-Maps showing the distribution of the sand ("arena"), silt ("limo") and clay ("arcilla") content, the distribution of the mean ("media"), and the distribution of the biogenous content in the sand fraction ("biógenos") and of the carbonate content ("carbonato") in the surface sediment of the study area.

vincias deposicionales de características energéticas distintas. Estas provincias son: (1) el ambiente litoral, que es la zona donde las corrientes generadas por el oleaje y los temporales tienen mayor impacto. (2) el prodelta del río Besós, donde el efecto del oleaje superficial disminuye al aumentar la profundidad pasando a predominar el efecto de la circulación general de corrientes. (3) la plataforma continental media-externa, donde predomina mayoritariamente el efecto de la circulación de procesos de menor energía, como general de corrientes y la productividad de los organismos plácticos y bentónicos. En esta última provincia deposicional se localiza el depósito de vertidos procedentes del emisario submarino de la planta depuradora de Barcelona-Besós, que, por su situación en la plataforma media a unos 56 m de profundidad, se ve tan solo afectado por el régimen general de corrientes y por la propia dinámica del emisario.

Los sedimentos superficiales del prodelta del río Besós en la plataforma continental de Barcelona presentan una disminución gradual de tamaño de grano hacia la parte central del prodelta, que se debe en gran parte a la disminución de la energía en el medio de deposición y a los procesos de agregación de partículas finas en el medio marino (Drake, 1976). Mar adentro, a partir del límite externo del prodelta del Besós, el tamaño de grano aumenta debido al afloramiento de materiales relictos consistentes en sedimentos fangosos y materiales bioclásticos heterométricos de grano grueso Medialdea *et al.*, 1989). Al norte del prodelta, el tamaño de grano de los sedimentos de la plataforma interna y media también aumenta (Serra *et al.*, 1980; Medialdea *et al.*, 1989). A continuación se describirán las características, la distribución de algunos parámetros sedimentológicos y la distribución del contenido de carbonato de los sedimentos superficiales en la zona de estudio

3.1. Arena

En la plataforma continental estudiada los máximos porcentajes de arena están situados en la zona litoral y en las proximidades de la desembocadura del río Besós. El porcentaje disminuye gradualmente hacia la zona central del prodelta, donde esta fracción es inferior al 10 %. Desde el límite externo del prodelta hasta el borde de la plataforma continental, el porcentaje de arena se incrementa hasta alcanzar valores del 73 %. Los porcentajes mínimos de arena se localizan en los vertidos descargados por el emisario submarino, que contienen menos del 5 % (Fig. 2).

3.2. Limo

En el prodelta del Besós el tránsito de la sedimentación de partículas de tamaño arena a tamaño limo, indica la deposición bajo condiciones hidrodinámicas de energía progresivamente menores. Este hecho es el

resultado de la disminución del efecto de las corrientes inducidas por el oleaje superficial sobre el fondo al aumentar la profundidad, y de la pérdida de competencia de la carga sólida aportada por el río al alejarse de la desembocadura. En el área estudiada la proporción de limo aumenta mar adentro y hacia el suroeste alcanzándose valores próximos al 60 % a lo largo del límite externo del prodelta. Desde éste límite hasta el borde de la plataforma continental, el porcentaje de limo disminuye hasta valores del 10% (Fig. 2).

3.3. Arcilla

En la zona de estudio la fracción arcilla es importante únicamente en la zona del prodelta, donde su proporción aumenta hacia el sur y también mar adentro hasta alcanzar valores del 35 %. Las mayores concentraciones de esta fracción (40 %) se localizan al sur de la desembocadura del río Besós y en el depósito de vertidos procedentes de la planta depuradora Barcelona-Besós (Fig. 2) y se deben a los procesos de agregación de la materia particulada en suspensión que tienen lugar en la interfase entre el agua dulce y el agua marina. En el resto de la plataforma continental su porcentaje es inferior al 20 %.

3.4. Media granulométrica

El valor de este parámetro granulométrico indica el tamaño medio de las partículas que constituyen el sedimento. Los valores de la media en ϕ más bajos corresponden a las zonas donde el sedimento tiene un mayor porcentaje de arena, es decir a la zona costera: 2 ϕ (250 μm) y a la plataforma externa: entre 3 y 4 ϕ (entre 63 y 125 μm) (Fig. 2). Los depósitos fangosos de prodelta presentan medias comprendidas entre 7 y 8 ϕ (4 - 8 μm), mientras en los vertidos del emisario submarino la media granulométrica es superior a 8 ϕ (menos de 4 μm).

3.5. Carbonato

La proporción de carbonato en los sedimentos de la plataforma continental está generalmente relacionada con el porcentaje de componentes biógenos que incluyen (Burns, 1974). Sin embargo una proporción importante de carbonato puede ser también de origen terrígeno, de neoformación (Leeder, 1982) o incluso de origen antrópico. Los componentes biógenos mayoritarios de naturaleza carbonatada son fundamentalmente restos de moluscos y restos de foraminíferos. Generalmente las mayores concentraciones tienen lugar en zonas de baja influencia terrígena.

En el área estudiada, la concentración de carbonato aumenta desde la zona litoral, donde los valores son del 10 %, hasta la zona externa de la plataforma, donde se detectan valores próximos al 50 %. En los ver-

tidos del emisario submarino los valores de carbonato son relativamente altos (30 -35%) con respecto a los valores detectados en los sedimentos circundantes (Fig. 2) debido al aporte adicional de cal procedente de su tratamiento en la planta depuradora.

3.6. Biógenos y terrígenos

El contenido de componentes biógenos en la fracción arena representa la proporción de restos esqueléticos de organismos marinos. Los componentes biógenos identificados, independientemente de su grado de preservación, son restos de foraminíferos bentónicos, ostrácodos, foraminíferos planctónicos, pterópodos, moluscos, equínidos y también espículas de esponjas. Algunos de estos restos biógenos son componentes relictos, acumulados durante el retroceso erosional del dominio infralitoral que tuvo lugar durante el último periodo postglacial de ascenso del nivel del mar (Swift, 1970). También se han identificado restos vegetales que son abundantes en ambientes prodeltaicos (Giró *et al.*, 1985). Los componentes terrígenos mayoritarios son minerales ligeros, micas y escorias industriales indicadores de aportes antropogénicos.

Los materiales litorales y del prodelta presentan una proporción de biógenos inferior al 10 %, aumentando progresivamente hasta la plataforma externa donde los porcentajes son superiores al 40%. Las concentraciones de componentes biógenos en la fracción arena de los materiales del vertido del emisario submarino oscilan entre el 10 y el 25 %. El resto son componentes terrígenos. Los componentes de origen antropogénico (no biógenos) no superan el 5 % del porcentaje total.

4.- DETERMINACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES NATURALES DE METALES PESADOS EN LOS SEDIMENTOS DE LA ZONA DE ESTUDIO.

Para conocer el impacto contaminante de los metales de origen antropogénico en los sedimentos de fondo es necesario determinar previamente las concentraciones naturales (niveles de base) de estos elementos en la fracción analizada (la fracción extraíble con ácido nítrico) de dichos sedimentos. Se han seguido tres criterios para determinar las concentraciones naturales. Uno de estos es el criterio definido por Förstner (1978) que consiste en analizar depósitos recientes en áreas no polucionadas. En este caso se han analizado muestras situadas más al norte del área de estudio. Otro criterio ha consistido en analizar testigos continuos en los que se han detectado los niveles de base correspondientes a la época pre-industrial (Thomas, 1972; Aston y Chester, 1973; Vernet *et al.*, 1977; Ure y Berrow., 1982). El otro criterio ha sido calcular la media de los valores más bajos registrados en los sedimentos superficiales de la

zona de estudio (Vernet *et al.*, 1977; Frignani *et al.*, 1978; Rapin *et al.*, 1979). La Tabla 1 muestra las concentraciones naturales de metales pesados en los sedimentos superficiales de la zona de estudio, estimadas a partir de estos tres criterios.

5. DISTRIBUCIÓN SUPERFICIAL DE METALES PESADOS Y DETERMINACIÓN DEL IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN AN-TROPOGÉNICA EN LOS SEDIMENTOS DE LA ZONA DE ESTUDIO.

5.1. Plomo.

Las mayores concentraciones de plomo las presentan los materiales vertidos por el emisario submarino (1458 ppm), con una concentración casi tres veces superior a los máximos niveles detectados frente a la desembocadura del río Besós (560 ppm) y frente a la desembocadura de la riera del Bogatell (576 ppm) (Fig. 3). La contaminación procedente del río Besós y de la riera del Bogatell disminuye hacia el sur y hacia la zona externa de la plataforma, donde las concentraciones de plomo corresponden al nivel natural (25 ppm). Los sedimentos más afectados por estas fuentes contaminantes son los situados a menos de 50 metros de profundidad entre la desembocadura del río Besós y el espigón del puerto de Barcelona presentando concentraciones superiores a 100 ppm.

Hacia la zona externa de la plataforma, la disminución de la concentración de plomo se ve sólo interrumpida por la anomalía de los materiales vertidos a través del emisario submarino (Fig. 3). Los niveles detectados en estos materiales son del orden de 58 veces superiores al nivel natural de plomo en los sedimentos de la zona y son más elevados que los niveles detectados frente a la desembocadura del río Besós y de la riera del Bogatell, donde los niveles son del orden de unas 23 veces más elevados que el nivel natural.

5.2. Cromo.

Los máximos niveles de cromo (482 ppm) se han detectado a unos pocos cientos de metros en frente de la desembocadura del río Besós (Fig. 3). El efecto contaminante de este río, en cuanto al cromo se refiere, es muy notable, sobre todo en los sedimentos situados a menos de 50 m de profundidad, a lo largo de una franja que se extiende unos 10 km hacia el sur a partir de la desembocadura de este río. Los sedimentos comprendidos en esta franja tienen una concentración superior a 70 ppm. Concentraciones de esta índole son importantes, si tenemos en cuenta que el nivel natural de cromo en los sedimentos de la zona es de 10 ppm (Tabla 1). Los valores de la concentración de cromo disminuyen hacia el borde de la plataforma (Fig. 3).

En los materiales vertidos por el emisario submarino los máximos niveles detectados son del orden de 280 ppm. Así pues, los niveles cromo detectados en el

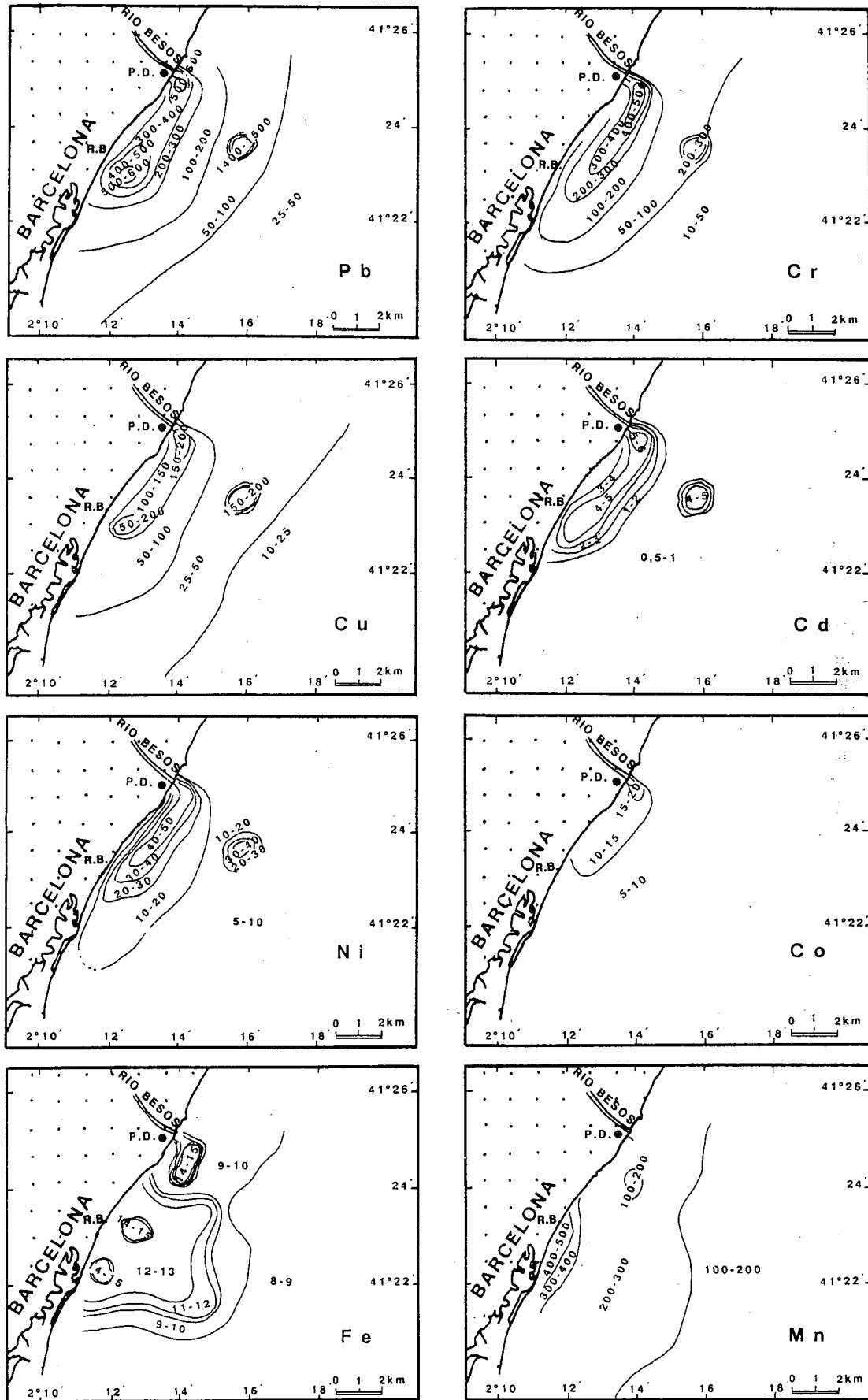


Fig. 3.-Mapas de distribución de los metales pesados estudiados. Todos los metales vienen expresados en ppm excepto el hierro que está en ‰.
 Fig. 3.-Maps showing the surface distribution of the studied heavy metals. Metal concentrations are expressed in ppm except Fe which is in ‰.

METAL	C. NATURAL (ppm)
Cobre.....	14
Cromo.....	10
Cobalto.....	6
Cadmio.....	0,4
Plomo.....	25
Níquel.....	9
Hierro.....	7 ‰
Manganeso.....	100-200

Tabla 1.-Concentraciones naturales de metales pesados en los sedimentos de la zona de estudio.

Table 1.-Natural background levels of heavy metals in the sediment of the study area.

vertido son menores que los detectados frente a la desembocadura del río Besós. No obstante, en ambos casos los niveles detectados son notablemente elevados en relación al nivel natural en los sedimentos de la zona (Tabla 1). Frente al río Besós, las concentraciones de este elemento son del orden de unas 48 veces superiores al nivel natural y en la zona donde se depositan los materiales vertidos por el emisario, los niveles de cromo son unas 29 veces superiores a éste.

5.3. Cobre

Las concentraciones de cobre descienden desde la zona de la desembocadura del río Besós, donde se detectó la máxima concentración (193 ppm), hacia el borde de la plataforma, donde las concentraciones de éste elemento son menores de 25 ppm. También son de destacar las altas concentraciones de cobre que presentan los sedimentos localizados a unos pocos cientos de metros de la desembocadura de la riera del Bogatell (160 ppm). Los análisis realizados indican que los sedimentos situados a menos de 50 m de profundidad en un intervalo de unos 10 km, entre la desembocadura del río Besós y el espigón del puerto de Barcelona, son los que reciben un mayor impacto contaminante de cobre procedente de este río y de los colectores emplazados en sus proximidades (Fig 3).

Las concentraciones de cobre en los sedimentos superficiales no antropogénicos cercanos a la desembocadura del emisario submarino son entre 25 y 40 ppm. (Fig. 3). Estos valores reflejan una débil influencia de la contaminación procedente del río Besós y son tan solo del orden de dos a tres veces superiores a la concentración natural de los sedimentos de esta zona (14 ppm). Sobre estos materiales se acumulan los vertidos antropogénicos que descarga el emisario submarino. Los niveles de cobre detectados en el depósito generado por dicho emisario son del orden de unas 170 ppm, es decir, unas seis veces superiores a los niveles correspondientes a los materiales sobre los que se emplaza el depósito antropogénico y unas doce veces superiores al nivel natural.

Los valores de cobre detectados en los materiales vertidos por el emisario son similares a los máximos

niveles detectados en las proximidades del río Besós y de la riera del Bogatell. Las concentraciones detectadas en los sedimentos superficiales de estos tres puntos son entre unas 12 y unas 14 veces superiores a las concentraciones naturales en los sedimentos de la zona de estudio (tabla 1).

5.4. Cadmio

Las máximas concentraciones de cadmio se detectaron en tres zonas. Una a unos pocos cientos de metros frente a la desembocadura del río Besós (5,3 ppm), la segunda a unos pocos cientos de metros frente a la desembocadura de la riera del Bogatell (4,8 ppm) y la tercera en la zona de acumulación de los materiales vertidos por el emisario (4,8 ppm) (Fig. 3). El impacto de la contaminación de cadmio procedente del río Besós afecta a los sedimentos situados a menos de 40 m de profundidad, en un intervalo que comprende entre la desembocadura del río Besós y 7 km al sur de ésta. La concentración en los sedimentos desciende hacia la plataforma externa, donde los niveles detectados corresponden al nivel natural (0,4 ppm) (Fig. 3).

La contaminación de cadmio producida por el vertido del emisario submarino es importante y tiene el mismo orden de magnitud que la contaminación causada por el río Besós y la riera del Bogatell a pocos cientos de metros de su desembocadura. En ambos casos, los niveles detectados son unas doce veces superiores al nivel de base.

5.5. Níquel

Los niveles de níquel más elevados se han detectado a unos pocos cientos de metros frente a la desembocadura del río Besós (50 ppm). Los efectos contaminantes de este río, en cuanto al níquel se refiere, son notables en los sedimentos depositados a menos de 35 m de profundidad entre su desembocadura y 6 km al sur. Mar adentro y hacia el sur de esta zona, la concentración de níquel decrece hasta el nivel natural (9 ppm) (Fig 3). Esta tendencia se ve interrumpida por la anomalía que originan los materiales vertidos a través del emisario, que presentan concentraciones cercanas a los 40 ppm.

Las concentraciones de níquel en los vertidos del emisario son unas cuatro veces superiores al nivel natural, mientras que las concentraciones máximas que presentan los materiales descargados por el río Besós frente a su desembocadura son unas cinco veces superiores a dicho nivel.

5.6. Cobalto

Los máximos niveles de cobalto (19,6 ppm) se detectaron frente a la desembocadura del río Besós, a menos de un kilómetro de ésta (Fig. 3). El nivel natural

de este elemento en los sedimentos de la zona de estudio es del orden de 5-6 ppm y sólo los sedimentos situados a menos de 30 m de profundidad, entre la desembocadura del río Besós y 4 km al sur de ésta, presentan concentraciones algo superiores al nivel natural (Fig. 3). Los materiales vertidos por el emisario tienen una concentración de cobalto muy similar al nivel natural. Así pues, no se ha detectado una contaminación importante de cobalto en los sedimentos de la zona de estudio.

5.7. Hierro

Las máximas concentraciones de hierro se han detectado frente a la desembocadura del río Besós (15,4%), frente a la desembocadura de la riera del Bogatell (14,8%) y frente a la playa de la Barceloneta (14%). La concentración de hierro es superior al 9% en los sedimentos depositados a menos de 65 m de profundidad y decrece hacia la parte externa de la plataforma, donde los valores detectados corresponden a los niveles naturales (7%). En los materiales vertidos por el emisario submarino la concentración de hierro en superficie es de un 7%, mientras que en los materiales circundantes a dicho depósito la concentración es superior al 9% (Fig. 3). Sin embargo, la concentración de hierro aumenta por debajo del primer centímetro del depósito antropogénico (Palanques *et al.*, 1990b).

5.8. Manganeso

Las máximas concentraciones de manganeso se han detectado en los sedimento situados a algunos cientos de metros frente a la desembocadura de la riera del Bogatell (418 ppm) y frente a la playa de la Barceloneta (477 ppm). La concentración disminuye gradualmente hacia el borde de la plataforma donde las concentraciones son menores de 200 ppm (Fig. 3). En el caso del manganeso no es posible identificar una anomalía que pueda atribuirse claramente a la descarga de materiales procedente del río Besós.

En cuanto a los materiales vertidos por el emisario submarino, la concentración detectada es de 130 ppm. Dicho valor es inferior a las concentraciones de este metal en los sedimentos no antropogénicos sobre los que el vertido se deposita. Así pues, el vertido procedente del emisario genera en superficie una anomalía negativa de manganeso y al igual que ocurre con el hierro, el contenido de manganeso aumenta por debajo del primer centímetro del depósito de materiales vertidos por el emisario (Palanques *et al.*, 1990b).

6. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

6.1. Variables introducidas en el tratamiento estadístico.

En la elección de las variables se ha tenido en cuenta no sólo el contenido de metales pesados en la fracción no silicatada del sedimento, sino también algunos parámetros sedimentológicos que tienen una repercusión importante en las interacciones metal-sedimento, como la media, los porcentajes de arena, limo y arcilla, el contenido de carbonato y la proporción de biógenos, terrígenos y restos de vegetales en la fracción arena.

Los metales no se distribuyen homogéneamente en las distintas fracciones de tamaño de grano. La fracción más fina, formada principalmente por minerales arcillosos, tiene mayor afinidad con los metales pesados y presenta contenidos más elevados (Förstner y Wittmann, 1981). En la fracción limo y arena fina la concentración de metales es menor ya que predominan los componentes como el cuarzo que presentan menor afinidad con los metales, (Salomons y Förstner, 1984). Además, pequeñas diferencias en la curva de distribución textural de los sedimentos significan diferencias notables de la superficie específica que éstos presentan, lo que repercute en un aumento o una disminución de la capacidad de enlace de las partículas con los iones metálicos, según el tamaño de grano disminuya o aumente respectivamente. La Tabla 2 muestra la lista de variables incluidas en el tratamiento estadístico.

6.2. Matriz de correlación

La matriz de correlación muestra los coeficientes de correlación existentes entre todos los pares de variables tratadas (Figura 4). Cuanto más próximo es el valor del coeficiente de correlación entre dos variables a uno en valor absoluto, más se aproxima a una relación lineal. Un valor cercano a cero implica que las dos variables no están significativamente asociadas (Davis, 1973). Según el criterio establecido por Carruesco (1978), dos variables están significativamente correlacionadas si presentan un coeficiente superior a 0,45 en valor absoluto. En este apartado se interpreta solamente el significado de la correlación existente entre los pares de variables independientes.

Los coeficientes de correlación más elevados, superiores a 0,8, los presenta un grupo de variables geoquímicas que además están intercorrelacionadas entre sí. Estas variables son cobre, cromo, níquel, cadmio y plomo. La muy buena correlación que se da entre ellas indica que los sedimentos superficiales de la zona de estudio se ven afectados principalmente por la contaminación de estos cinco metales en conjunto. Además, las interrelaciones que presentan estos cinco elementos entre sí, indican que existe un paralelismo en su comportamiento y también un área fuente común.

De los restantes metales analizados, el cobalto sólo presenta una correlación muy baja (0,49) con el níquel, lo que significa que la contaminación de cobalto tiene un origen y un comportamiento distinto al de los otros metales. El hierro y el manganeso presentan una correlación bastante alta (0,69), lo que deja patente el

VARIABLE	ABREVIATURA
HIERRO %	Fe
COBRE ppm	Cu
COBALTO ppm	Co
CROMO ppm	Cr
PLOMO ppm	Pb
NIQUEL ppm	Ni
CADMIO ppm	Cd
MANGANESO ppm	Mn
CARBONATO ppm	CO ₃
ARENA %	ARE
LIMO %	LIM
ARCILLA	ARC
MEDIA MOMENTOS	X
TERRIGENOS %	TER
BIOGENOS %	BIO
VEGETALES %	VEG
PROFUNDIDAD m	PRF

Tabla 2.-Lista de variables incluidas en el tratamiento estadístico y de las abreviaturas que las representan en la tabla 4 y en las figuras 4 y 5. También se indican las unidades en que fueron introducidas cada una de las variables.

Table 2.-List of the variables statistically analyzed and the abbreviations used to represent them in table 4 and in figures 4 and 5. The units of the variables are also shown. (terms that need to be translated: "arena": sand; "limo": silt; "arcilla": clay; "profundidad": depth).

Factor	Valor propio	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	7,85501	46,21	46,21
2	3,81319	22,43	68,64
3	2,55834	15,05	83,69
4	1,31898	7,76	91,44
5	0,44288	2,61	94,05
6	0,35461	2,09	96,14
7	0,21342	1,26	97,39
8	0,19757	1,16	98,55
9	0,12260	0,72	99,27
10	0,05747	0,34	99,61

Tabla 3.-Porcentaje de la varianza total de cada uno de los factores definidos en el análisis factorial.

Table 3.-Percentage of the total variance accounted for each of the factors defined in the factor analysis.

paralelismo de los procesos geoquímicos que afectan a estos dos metales en la columna sedimentaria.

En cuanto a la correlación entre la textura del sedimento y el contenido de metales pesados se observa que el cobre, cromo, níquel y cadmio presentan un coeficiente de correlación elevado con la arcilla (0,70) y con la media (0,60). Estas correlaciones indican la tendencia de estos metales a asociarse preferentemente con las partículas más finas. El plomo y el cobalto tienen un coeficiente de correlación algo más bajo con la arcilla (0,55) y con la media (0,50), indicando una tendencia hacia el sedimento fino menos definida que en el caso anterior. El hierro y el manganeso no están correlacio-

nados con la fracción arcilla. Por último, todos los metales, excepto el plomo y el manganeso presentan una correlación inversa con la arena, lo que pone de manifiesto la menor afinidad existente entre la mayoría de los metales pesados antropogénicos y el sedimento grueso.

En lo que se refiere a la naturaleza del sedimento, puede observarse como los componentes biógenos presentan un alto índice de correlación (0,78) con el carbonato, indicando que una fracción importante del carbonato es de origen biógeno. Al mismo tiempo, puede observarse que el carbonato está inversamente correlacionado con los terrígenos, presentando un alto índice de correlación negativo (-0,8). Esto indica que el contenido de carbonato aumenta al disminuir el contenido de terrígenos en la fracción arena, lo que se produce al disminuir la influencia de la descarga de materiales detríticos continentales, que están altamente contaminados especialmente cerca de la desembocadura del río Besós y del emisario. Por este motivo, el carbonato y los componentes biógenos de la fracción arena no están correlacionados con los metales contaminantes procedentes de este río y del emisario submarino.

Los restos vegetales están correlacionados con el níquel, cobre, cobalto, cromo, cadmio y plomo. Esta correlación se debe al hecho de que los restos vegetales se acumulan preferentemente en la zona de lodos del prodelta proximal, que es la zona que recibe el mayor impacto contaminante procedente del río Besós.

6.3. Análisis factorial

El análisis factorial permite expresar las relaciones entre variables en términos de un número de variables menor que el número original, haciendo una homogeneización de los valores por sustracción a cada variable de la media del conjunto de datos y la división por su desviación estándar. Así, se obtienen unas nuevas variables transformadas, o factores, cuya media es cero y varianza uno. Los factores así creados son nuevas variables que tienen la forma de combinaciones lineales de las variables originales y se caracterizan por su valor propio (Davis, 1973). Con estas nuevas variables se construyen factores o componentes principales en los que cada variable aporta su nuevo coeficiente de correlación, que oscila entre +1 y -1. El primer factor representa el mayor porcentaje de la varianza total. Este porcentaje disminuye sucesivamente en los factores siguientes. Las variables activas que definen un factor son aquellas que presentan una contribución mayor de 0,5 en valor absoluto (Olade *et al.*, 1979; Gardner *et al.*, 1980).

De los diez factores definidos por el análisis factorial realizado con los datos de este estudio, los dos primeros explican por sí solos el 68% de la varianza total (Tabla 3) y describen todas las interrelaciones existentes entre las variables estudiadas excepto la existente entre hierro (única variable con contribución al factor 3) y manganeso (única variable con contribución

	Fe	Cu	Co	Cr	Pb	Ni	Cd	Mn	C03	ARE	LIM	ARC	X	TER	BIO	VEG	PRF
Fe	1.00																
Cu	0.09	1.00															
Co	0.34	0.32	1.00														
Cr	0.09	0.97	0.27	1.00													
Pb	-0.13	0.88	0.38	0.81	1.00												
Ni	-0.01	0.94	0.49	0.88	0.96	1.00											
Cd	-0.01	0.97	0.43	0.93	0.92	0.97	1.00										
Mn	0.69	0.19	0.15	0.16	-0.07	0.07	0.10	1.00									
C03	-0.24	-0.08	0.61	-0.16	0.20	0.16	0.12	-0.21	1.00								
ARE	-0.47	-0.54	-0.45	-0.53	-0.42	-0.52	-0.45	-0.24	0.25	1.00							
LIM	0.48	0.38	0.37	0.36	0.27	0.36	0.28	0.22	-0.30	-0.96	1.00						
ARC	0.39	0.71	0.49	0.71	0.57	0.68	0.65	0.23	-0.16	-0.93	0.79	1.00					
X	0.46	0.63	0.45	0.62	0.48	0.59	0.53	0.29	-0.26	-0.98	0.91	0.97	1.00				
TER	0.19	0.39	-0.36	0.44	0.13	0.19	0.21	0.32	-0.80	-0.34	0.33	0.32	0.39	1.00			
BIO	-0.17	-0.44	0.32	-0.49	-0.20	-0.25	-0.27	-0.30	0.78	0.38	-0.35	-0.38	-0.44	-0.99	1.00		
VEG	-0.09	0.57	0.46	0.52	0.67	0.69	0.60	-0.13	0.19	-0.55	0.45	0.62	0.56	-0.11	0.01	1.00	
PRF	-0.12	-0.43	0.44	-0.53	-0.10	-0.19	-0.27	-0.29	0.68	0.04	0.02	-0.12	-0.12	-0.68	0.66	0.12	1.00

Fig. 4.-Matriz de correlación donde se muestran los coeficientes de correlación entre todos los pares de variables estudiadas. Para la identificación de las variables ver tabla 2.

Fig. 4.-Correlation matrix showing the coefficients of correlation between different pairs of variables. Identification of variables in Table 2.

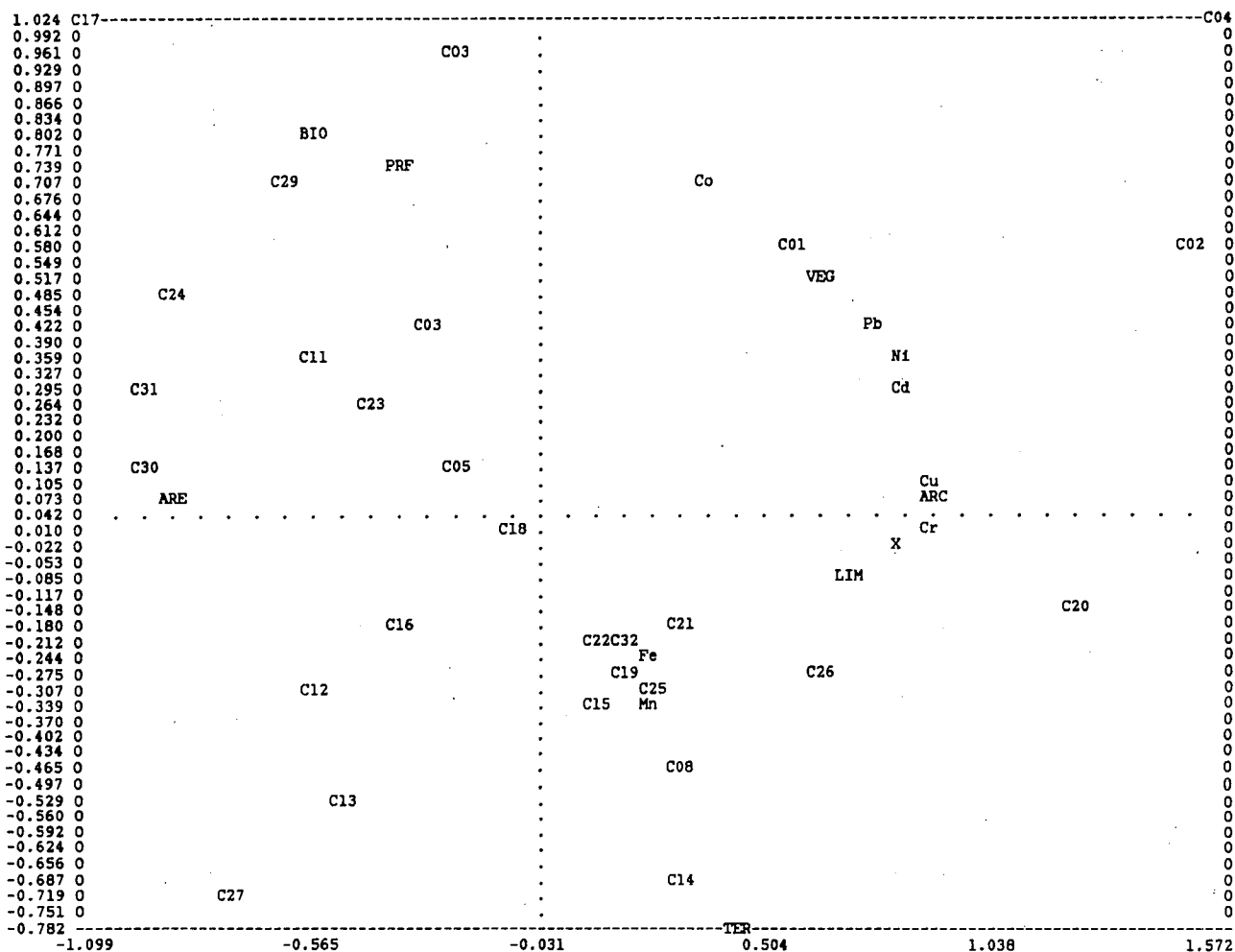


Fig. 5.-Diagrama binario en el que se representan las muestras y las variables estudiadas según su contribución al primer factor (abcisa) y al segundo factor (ordenada).

Fig. 5.-Binary diagram showing the distribution of samples and variables as a function of their contribution to the first factor (X-coordinate) and their contribution to the second factor (Y-coordinate).

al factor 4). Esto indica que este tipo de análisis es apropiado para el grupo de variables tratadas (Tabla 2). La proporción de la varianza explicada por cada uno de los ocho factores restantes no supera el 15 % en ninguno de ellos, por lo que no se consideran significativos. La Tabla 5 muestra la contribución de las variables analizadas a los dos primeros factores.

En el gráfico de la Figura 5 se representan las muestras y las variables en función de su contribución al primer factor (abscisa) y al segundo factor (ordenada). El primer factor (46% de la varianza total) está definido por un grupo de variables formado por el COBRE, CROMO, PLOMO, NIQUEL, CADMIO, LIMO, ARCILLA, MEDIA y VEGETALES que presentan una contribución positiva y por otro grupo de variables formado por ARENA y BIOGENOS, que tienen una contribución negativa. Este factor representa la contaminación antropogénica definida por los cinco metales que presentan una contribución positiva. Estos metales se acumulan preferentemente en los lodos depositados en la zona del prodelta del río Besós, que presentan los contenidos más elevados de limo y arcilla y también la media en phi más alta. En contraposición, este factor muestra que la contaminación antropogénica de estos metales no se concentra en sedimentos arenosos, ni se detecta en sedimentos localizados a más de 65 metros de profundidad, donde el porcentaje de biógenos en la fracción arena es superior al 25%.

En el mapa de distribución de las muestras en función de su contribución al primer factor (Fig. 6A) puede apreciarse que las muestras contaminadas, que son las situadas en la zona del prodelta del Besós y en la zona del vertido del emisario, son las que presentan una contribución positiva, mientras que las muestras menos contaminadas, que son las más profundas y las situadas en la zona suroeste del área estudiada, tienen una contribución negativa. Las muestras tomadas sobre el vertido del emisario, al igual que las tomadas frente a la desembocadura del Besós y de la riera del Bogatell, tienen la contribución positiva más elevada al primer factor, como consecuencia de que son las muestras que presentan mayores niveles de contaminación de los metales pesados que definen este factor, mientras que las muestras tomadas a más de 65 metros de profundidad son las que tienen la contribución negativa más elevada, ya que no están afectadas por la contaminación de metales pesados antropogénicos. Esta distribución está regulada, entre otros factores, por la circulación general hacia el SW y por los procesos de floculación de varios metales pesados y de parte de la materia orgánica y de las partículas finas del agua fluvial o residual, en la zona de transición del agua dulce y del agua salada (Beck *et al.*, 1974; Rashid, 1974; Monaco, 1977). Por este motivo, la distribución de varios metales pesados se correlaciona con la distribución del sedimento fino (ver distribución de media y arcilla en Figura 2) y presenta una cierta correlación, aunque con algunas discrepancias, con la distribución de materia orgánica en el sedimento elaborada por Serra *et al.*, (1980). Esta distribución también pone de manifiesto

VARIABLES	FACTOR 1	FACTOR 2
Fe	0,299	-0,278
Cu	0,912	0,071
Co	0,427	0,664
Cr	0,893	-0,014
Pb	0,774	0,381
Ni	0,867	0,333
Cd	0,845	0,275
Mn	0,270	-0,377
CO3	-0,198	0,914
ARE	-0,827	0,037
LIM	0,696	-0,102
ARC	0,910	0,052
X	0,882	-0,057
TER	0,459	-0,814
BIO	-0,517	0,766
VEG	0,649	0,479
PRF	-0,322	0,699

Tabla 4.- Contribución de las variables analizadas a los 2 primeros factores definidos en el análisis factorial (identificación de las variables en tabla 2).

Table 4.- Contribution of the variables to the two first factors defined in the factor analysis. (identification of the variables in table 2).

METAL	BESOS		BOGATELL		EMISARIO		
	c.n.	c.m.	f.	c.m.	f.	c.m.	f.
Cu	14	193	14	160	12	171	13
Cr	10	482	48	359	35	290	29
Co	6	19,6	4	11,7	2	6,2	1
Cd	0,4	5,3	13	4,8	12	4,8	12
Pb	25	560	22	576	23	1458	58
Ni	9	50	5,5	40	4,4	36	4
Fe*	7	15,4	2	14,8	2	7	1
Mn	150	284	1,4	418	2	154	0,8

Tabla 5.- Valores de las concentraciones naturales (c.n.) y de las concentraciones máximas (c.m.) registradas en las distintas zonas del área estudiada. Se presentan asimismo los factores (f) que estos máximos representan en relación a los niveles naturales. Todos los valores de concentración de los distintos metales se dan en ppm salvo los contenidos en hierro (*) que se expresan en %

Table 5.- Natural background levels (c.n.) and maximum concentrations (c.m.) detected in different zones of the study area. Ratios of maximum concentrations in relation to natural background levels (f) are also shown. All the values of heavy metal concentrations are given in ppm, except in the case of Fe which is given in percentage.

que el efecto causado por el emisario, es el transporte del mismo tipo de contaminación antropogénica existente cerca del litoral, a ambientes más profundos.

El segundo factor, está definido por las variables COBALTO, CARBONATO, BIOGENOS y PROFUNDIDAD, que presentan una contribución positiva y por TERRIGENOS, que tiene una contribución negativa. El segundo factor es un indicador de la naturaleza de los aportes sedimentarios. En los sedimentos del área estudiada, el porcentaje de biógenos en la fracción arena y el contenido de carbonato aumenta con la profundi-

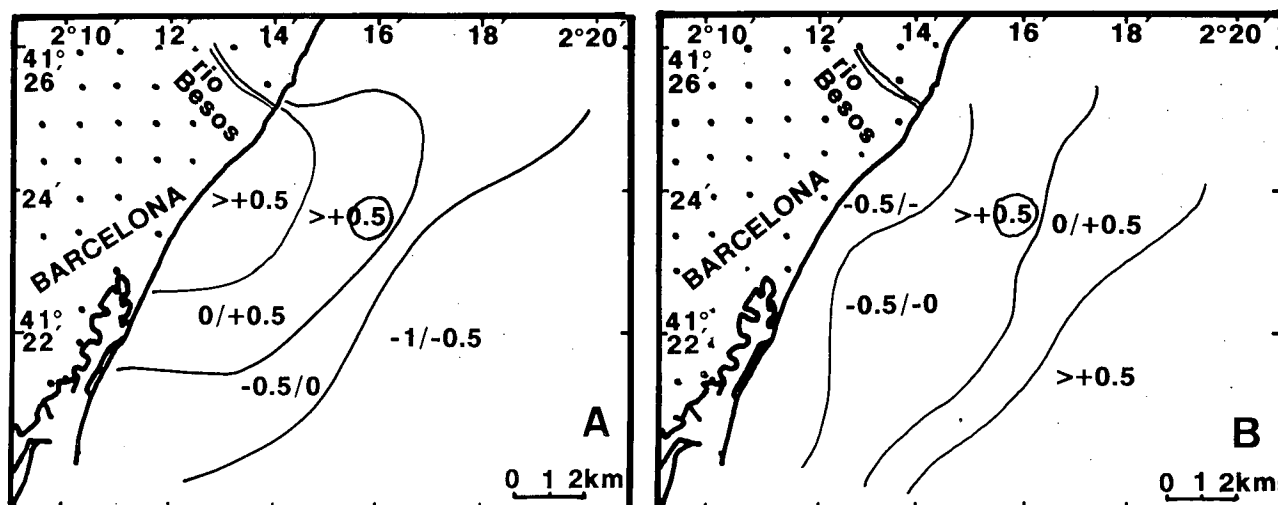


Fig. 6.-Mapas de distribución de las muestras analizadas según su contribución al primer factor (A) y al segundo factor (B).

Fig. 6.-Maps showing the distribution of the samples according to their contribution to the first factor (A) and the second factor (B).

dad, mientras que el contenido de terrígenos en la fracción arena disminuye con ésta. Esto es debido a que los sedimentos prodeltaicos depositados tras el último ascenso eustático cubren únicamente la parte interna de la plataforma mientras que en la parte externa, los sedimentos superficiales son materiales bioclásticos relictos de textura gruesa (Medialdea *et al.*, 1989; Checa *et al.*, 1988). El cobalto, es el único elemento que presenta niveles similares en los sedimentos proximales y en los sedimentos distales. El hecho de no presentar una tendencia decreciente mar afuera, como los restantes elementos analizados hace que este elemento esté relacionado con las variables que definen los materiales más profundos.

El mapa de distribución de las muestras según su contribución al segundo factor (Fig. 6B), pone de manifiesto que las muestras más distales son las que presentan una contribución positiva, mientras que las muestras más próximas al continente tienen una contribución negativa a este factor. Las muestras tomadas sobre el vertido del emisario tienen una contribución relativamente elevada al segundo factor, debido a que presentan un contenido de carbonato mayor al que corresponde a los sedimentos naturales depositados a la misma profundidad.

7. CONCLUSIONES

Las principales fuentes contaminantes en la plataforma continental de Barcelona son el río Besós, el colector de la riera del Bogatell y el emisario submarino de la planta depuradora Barcelona-Besós. En la zona más interna de la plataforma, los máximos niveles de contaminación se localizan en los lodos situados a menos de un kilómetro frente a la desembocadura del río Besós y también en los lodos situados a unos pocos cien-

tos de metros frente a la desembocadura de la riera del Bogatell. La polución de metales pesados procedente de estas dos fuentes contaminantes afecta principalmente a los sedimentos situados a menos de 50 metros de profundidad entre la desembocadura del Besós y unos 10 km al suroeste de ésta. En la zona media de la plataforma, los máximos niveles de metales pesados se localizan en el depósito acumulado frente a la boca del emisario submarino de la planta depuradora.

A modo de resumen, la Tabla 5 muestra las concentraciones naturales (c. n.) de metales pesados en los sedimentos de la zona de estudio, las concentraciones máximas (c. m.) registradas en los sedimentos acumulados frente a las tres principales fuentes contaminantes y los factores (f) que estas máximas concentraciones representan en relación a los niveles naturales.

Los máximos niveles de cobre y cadmio detectados frente a las desembocaduras del río Besós, de la riera del Bogatell y del emisario submarino son similares. En el caso del cromo, cobalto, níquel y hierro, los máximos niveles detectados frente a la desembocadura del río Besós y de la riera del Bogatell son superiores a los máximos niveles detectados en el depósito del emisario submarino. El plomo es el único elemento que presenta concentraciones mucho más elevadas en el depósito del emisario que frente a la desembocadura del río Besós y de la riera del Bogatell. En el caso del manganeso, las concentraciones más elevadas se registraron frente a la desembocadura de la riera del Bogatell.

Todos los resultados obtenidos indican que la contaminación de COBRE, CROMO, CADMIO, PLOMO y NIQUEL es muy elevada tanto en los sedimentos situados frente a las desembocaduras del río Besós y de la riera del Bogatell como en los sedimentos del depósito generado por el emisario, siendo especialmente importantes los niveles de CROMO detectados frente a la desembocadura del río Besós y los niveles de PLO-

MO detectados en los materiales vertidos por el emisario submarino. Las anomalías causadas por la contaminación de HIERRO, MANGANESO y COBALTO son notablemente más bajas y las máximas concentraciones de estos metales se localizan frente a la desembocadura del Besós y/o de la riera del Bogatell.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado dentro de un progra-

ma dirigido por el Dr. Parés y ha sido coordinado por el Dr. Andrés Maldonado. Se agradece al Dr. Ferrán Valldespinós, a Salvador Giró, a Andrés Checa y a la tripulación del B/O. García del Cid su colaboración en la campaña de recogida de muestras. Expresamos nuestro agradecimiento al Dr. Jordi Serra por la revisión de este manuscrito y también al segundo revisor anónimo. Asimismo se agradece a Elisenda Verges y a Pilar Rodríguez la ayuda prestada durante el tratamiento analítico de las muestras y a José María Anguita por la elaboración de las figuras.

BIBLIOGRAFÍA

- Aloisi, J.C., Millot, C., Monaco, A. y Pauc, H. (1979): Dynamique des suspensions et mécanismes sédimentogénétiques sur le plateau continental du Golfe du Lion, *C.R. Acad. Sc. Paris*, 289D: 879-882.
- Alonso, B. y Maldonado, A. (1986): Metales pesados en la plataforma continental del delta del Ebro: influencia antropogénica y procesos sedimentarios. In: *El Sistema Integrado del Ebro: Cuenca, Delta y Medio marino* (M. Mariño, Ed.). Gráficas Hermes, Madrid, 389-415.
- Aston, S.R. y Chester, R. (1973): The influence of suspended particles on the precipitation of iron in natural waters. *East Coastal Mar. Sci.*, 1: 225-231.
- Beck, K.C., Reuter, J.H. y Perdue, E.M. (1974): Organic and inorganic geochemistry of some coastal plain rivers of the southeastern United States. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 38: 341-364.
- Burns, D.A. (1974): Changes in the carbonate component of recent sediments with depth: a guide to paleoenvironmental interpretation. *Mar. Geol.*, 16: M13-M19.
- Carruesco, Ch. (1978): Comportement de quelques éléments métalliques dans les sédiments superficiels de la lagune de Moulaybou-Salham (Côte Atlantique marocaine). *Bull. Inst. Geol. Bassin d'Aquitaine*, 24: 37-48.
- Checa, A., Díaz, J.I., Giró, S., Palanques, A. y Maldonado, A. (1988): Impacto ambiental de los vertidos del emisario submarino de la planta depuradora de Barcelona. *II Congreso Geológico de España S.G.E.* Granada, 2: 465-467
- Cros, L.L. y García Rey, J. (1980): Contenido en mercurio de los sedimentos marinos cercanos a la desembocadura del río Besós y de un colector de aguas residuales de Barcelona. *Inv. Pesq.*, 44: 331-336
- Davis, J.C. (1973): *Statistics and Data Analysis in Geology*. John Wiley and Sons, New York, 550 p.
- Díaz, J.I., Palanques, A. y Maldonado, A. (1983): Caracterización geoquímica de los aportes terrígenos y urbanos en el área metropolitana de Barcelona. *X Cong. Nac. de Sed., Menorca*, 8.47-8.50.
- Drake, D.E. (1976): Suspended sediment transport and mud deposition on Continental shelves. In: *Marine Sediment Transport and Environmental Management* (D.J. Stanley y D.J.D. Swift, Eds.), Wiley, New York, 127-158.
- Förstner, U. (1978): Metallanreicherungen in rezenten See-Sedimentation-geochemischer background und zivilisatorische Eingüsse. *Mitt. Nationalkomm. B.R.*, Deutschland IHP 2: 66 p.
- Förstner, V. y Wittmann, G.T.W. (1981): *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York 486 p.
- Frignani, M., Frascari, F., Quarantotto, G. y Poletti, R. (1978): Traces of heavy metals in the Adriatic sea sediments of the Italian coast from Pesaro to the Po delta. *Giorn. Geol.*, 43: 21-45
- Gardner, J.V., Dean, N.E. y Vallier, T.L. (1980): Sedimentology and geochemistry of surface sediments, outer continental shelf southern Bering Sea. *Mar. Geol.*, 35: 299-329.
- Giró, S. y Maldonado, A. (1985): Análisis granulométrico por métodos automáticos: tubo de sedimentación y Sedigraph. *Act. Geol. Hisp.*, 20: 95-102.
- Giró, S., Díaz, J.I., Farrán, M., Maldonado, A., Escutia, C. y Serra, M. (1986): Aproximación estadística a la clasificación de sedimentos a partir de la distribución granulométrica. (L. Cabrera, Ed.) *XI Congreso Español de Sedimentología*. Barcelona. 94-95.
- Leeder, M.R. (1982): *Sedimentology: Process and product*, Georges Allen & Unwin publishers, London, 344 p.
- Maldonado, A. (1972): El Delta del Ebro. Estudio Sedimentológico y Estratigráfico. Tesis Univ. Barcelona, *Boletín de Estratigrafía*, 1, 478 p.
- Medialdea, J., Maldonado, A., Díaz, J.I., Escutia, C., Farrán, M., Giró, S., Serra, M., Medialdea, T. y Vázquez, A. (1989): *Mapa geológico y memoria explicativa de la Hoja n. 35 (Barcelona) del mapa de la Plataforma Continental Española y zonas adyacentes, 1:200.000*. I.G.M.E., Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria, Madrid, 117 p.
- Modamio, X. (1986): Heavy metal distribution on the coast of Catalonia. *Marine Pol. Bull.*, 17: 383-385.
- Monaco, A. (1977): Géochimie des milieux d'estuaire: comparaison entre les suspensions fluviales et les dépôts pré-deltaques de l'Aude (Languedoc). *Chem. Geol.*, 20: 45-55.
- Olade, M.A., Upkong, E.E. y Van de Kraats, A.H. (1979): Effects of environmental parameters on metal dispersion patterns in stream sediments from the lead-Zn-belt, Benue Through, Nigeria, using factor analysis. *Geol. Mijnb.* 58: 341-351.
- Palanques, A. (1987): *Dinámica Sedimentaria, Mineralogía Micro-contaminantes Inorgánicos de las Suspensiones y de los Sedimentos Superficies en el Margen Continental del Ebro*. Tesis Univ. Politécnica de Catalunya, 475 p.
- Palanques, A., Plana, F. y Maldonado, A. (1990a): Recent influence of man on the Ebro Margin Sedimentation System, Northwestern Mediterranean. In: *Marine Geology of the Ebro Continental Margin*. (H. Nelson y A. Maldonado, Eds.). *Mar. Geol.* (en prensa).
- Palanques, A., Díaz, J.I. y Maldonado, A. (1990b): Impact of

- the sewage sludge discharged in the Barcelona continental shelf. *Oceanológica Acta* (en prensa).
- Rapin, F., Fernex, F., Favarger, P.Y., Vernet, J.P. y Van Dievoet, E. (1979): Répartition du mercure dans les sédiments marins superficiels du plateau continental de la Côte d'azur (France) *Rev. Int. Ocean. Med.*, 53: 41-49
- Rashid, M.A. (1974): Adsorption of metals on sedimentary and peat humic acids. *Chem. Geol.*, 13: 115-123.
- Salomons, W. y Förstner, U. (1984): *Metals in the hydrocycle*. Springer-Verlag, Berlín. 349 p.
- Serra, J., Salat, J. y Cruzado, A. (1980): Essai d'utilisation des sédiments superficiels comme indicateurs de la distribution de la pollution au large de Barcelone. *V Journées Étud. Pollutions*, C.I.E.S.M., Cagliari, 949-952.
- Swift, D.J.P. (1970): Quaternary shelves and the return to grade. *Mar. Geol.*, 8: 33-69.
- Thomas, R.L. (1972): The distribution of mercury in the sediment of Lake Ontario. *Can. Jour. Earth Sci.*, 9: 636-651.
- Ure, A.M. y Berrow, M.L. (1982): The chemical constituents of soils. In: *Environmental Chemistry* (H.J.M. Bowen, Ed.), *R. Soc. Chem.*, 2, Burlington House, London. 94-102.
- Vernet, J.P., Rapin, F., Favarger, P.Y. y Fernex, F. (1977): Contamination des sédiments marins (Côte d'azur) par les métaux Lourdes (Hg et Cd). *Rev. Int. Ocean. Med.*, 47: 91-95.

Recibido el 8 de mayo de 1990
Aceptado el 18 de julio de 1990