

# Concentraciones de metales pesados y mecanismos de dispersión en tres sectores de la plataforma continental del Mediterráneo español

por

ANDRÉS MALDONADO \* y BELÉN ALONSO \*

\* Instituto «Jaime Almera», Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Alcarria, s/n. Núcleo Universitario de Pedralbes, Barcelona-28.

## SUMMARY

Analysis of bottom sediments from three sectors of the Spanish continental shelf show distinct depositional patterns of heavy metals and sedimentological parameters. The continental shelf off the Ebro River, a highly industrialized sector of the Mediterranean Sea, is characterized by a mid shelf mud blanketed of fine grained, heavy metal rich sediments. This area contains relatively high Hg levels in comparison to the other three investigated areas. The Valencia continental shelf is sediment-starved in the inner and mid shelf, while a mud blanket develops in the outer shelf. Heavy metal concentrations in this agricultural sector are overall similar to the Ebro shelf, but the pollutants may be derived from several local sources along the coastline. The Almeria shelf in the western Alboran Sea, a low industrialized sector of the Spanish coast, shows the lowest levels of heavy metal. However, Pb concentrations are locally 30 times higher than background levels, may be due to the mining activity in the adjacent Sierra Filabrides.

Principal component and cluster analysis of the sedimentological parameters and heavy metal concentrations in the three study areas demonstrate that heavy metal distributions correlate with sediment types and processes. However, the overall mean concentrations in heavy metal for each sector can be attributed to the type urban and industrial activities. We conclude that the distribution patterns of pollutants in the continental shelf can be related to both the sedimentary processes and the levels of anthropogenic activities.

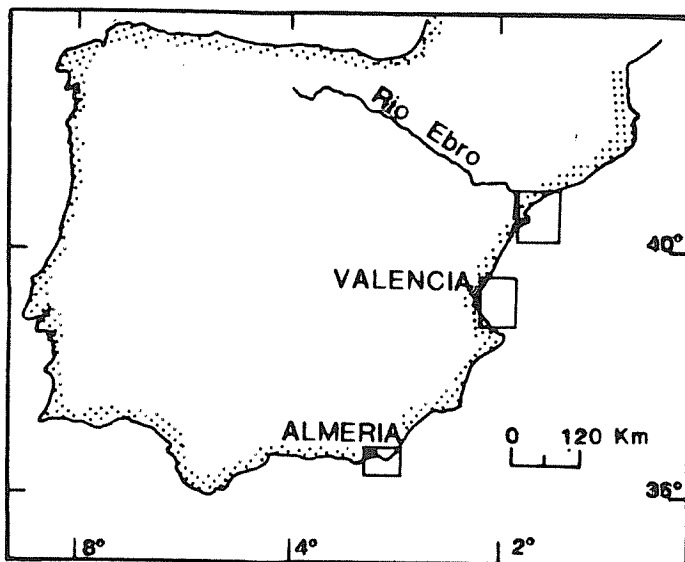


Fig. 1. Situación de las tres áreas estudiadas.

## INTRODUCCIÓN

Los metales pesados en el ambiente marino han sido motivo de gran interés durante las últimas décadas debido a la creciente preocupación de proteger el medio ambiente y asimismo por la reconocida toxicidad de estos metales para el organismo humano. Los metales pesados son introducidos al ecosistema marino por múltiples vías de aporte, tales como ríos, emisarios submarinos, agentes atmosféricos y otros, estando en el agua en forma disuelta o particulada. Estos metales se almacenan finalmente en los sedimentos del fondo marino y en los organismos bajo condiciones específicas (Hatcher y Segar, 1976). Así, el papel de los sedimentos de plataforma continental como agentes de acumulación y transporte de metales pesados han sido objeto de varios estudios recientes (Griggs y Johnson, 1978; Etcheber et al., 1977; Carmody et al., 1973, y otros).

Los resultados de estos trabajos ponen de relieve que en determinadas áreas del Mediterráneo las concentraciones de metales pesados son atribuibles a procesos naturales y no necesariamente interpretados como indicadores de contaminación (Paul y Meischner, 1976). En cambio en muchas otras áreas, como Atenas, Nápoles, Costa Azul, las distribuciones de metales pesados son un claro indicador de contaminación del medio marino (Papakostidis et al., 1975; Rapin et al., 1979).

En el presente trabajo se realiza un análisis comparativo de tres sectores de la plataforma continental del levante español caracterizados por diferentes tipos de actividades humanas y procesos deposicionales en el medio marino (Ballester et al., 1980; Maldonado et al., 1981, 1983; Zamarreño et al., 1982). Las plataformas continentales del delta del Ebro y Valencia constituyen los más importantes focos de industrialización y de actividades agrícolas en el Mediterráneo español. Por el contrario, el Golfo de Almería es un sector poco industrializado donde predominan las actividades agrícolas, aunque también se caracteriza por ser uno de los distritos mineros más importantes de España e incluso de Europa (Figura 1).

Desde el punto de vista sedimentológico la evolución de la plataforma continental de Tarragona-Castellón está esencialmente relacionada con el desarrollo del Delta del Ebro (Maldonado, 1972). En contraste, la plataforma continental de Valencia se caracteriza por la ausencia de una fuente importante de descarga de agua dulce. El Golfo de Almería tiene un notable aporte sedimentario, a partir del Río Andarax. Sin embargo, el régimen de este río es estacional y está controlado por las épocas de crecidas, permaneciendo seco gran parte del año.

En estos tres sectores las concentraciones de metales pesados y su distribución, así como los procesos sedimentológicos que las controlan son analizados.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Muestras de sedimentos superficiales procedentes de dragas de cuchara, testigos de caja y testigos continuos de pistón han sido analizadas para determinar el contenido total en materia orgánica, carbonatos, distribución del tamaño de grano, concentración en metales pesados y naturaleza de los componentes de la fracción arena. La toma de muestras se realizó en varias campañas oceanográficas con el B/O «Cornide de Saavedra», B/O «Tofiño», B/O «García del Cid» y N/R «Catherine Laurence» entre 1978 y 1980 (Figura 2).

La determinación de los parámetros sedimentológicos, así como de los contenidos en carbonatos y materia orgánica se han efectuado según los métodos descritos en detalle por Maldonado (1972) y Alonso (1981). Las concentraciones de metales pesados han sido determinadas por espectrofotometría de absorción atómica. Se ha aplicado el método de Frignani et al. (1978) para los análisis de Cr, Mn, Zn, Ni y Pb. Las concentraciones de Hg se han evaluado por el método del vapor frío de Hatch y Ott (1968) modificado por Baucells et al. (1981).

Los resultados de los análisis químicos y sedimentológicos con un total 14 variables sobre 292 muestras, han sido sometidos a análisis estadísticos uni y multivariados, cuya teoría y metodología se discuten en Lebart et al. (1977) y en Diday (1971). Los análisis de componentes principales

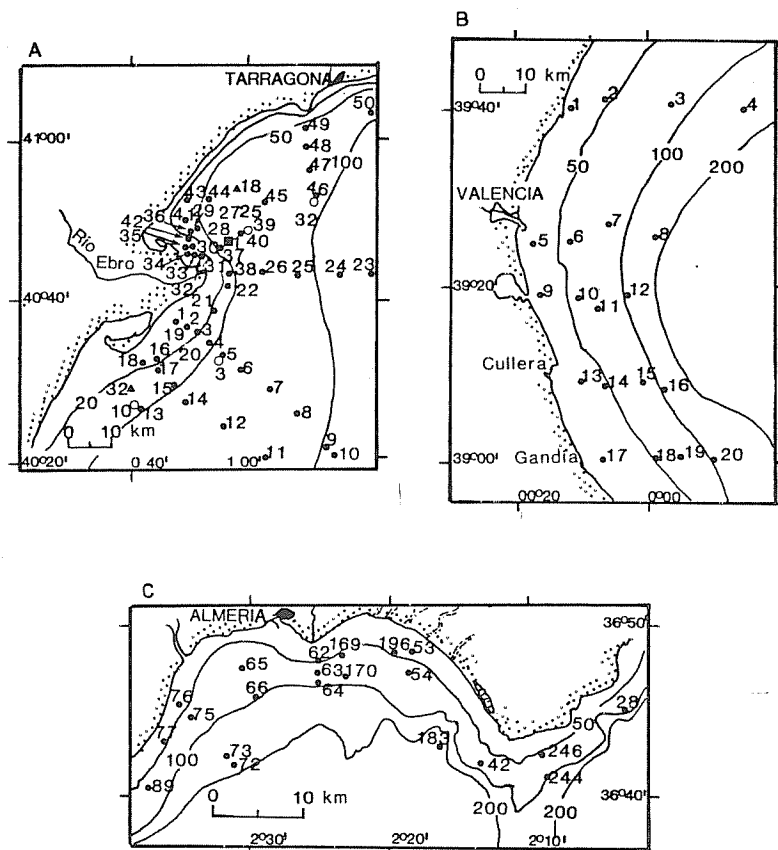


Fig. 2. Mapas de situación de las dragas de cuchara (●), testigos de caja (■) y testigos continuos de pistón (○, ▲).

muestran las relaciones entre las variables formando grupos definidos por una asociación de variables denominados factores. Los análisis cluster caracterizan diferentes grupos de muestras, las cuales posteriormente se someten a análisis estadísticos univariados que permiten así la identificación de los componentes sedimentológicos y geoquímicos que caracterizan cada grupo. Finalmente, se definen facies geoquímicas para cada área a partir de estos métodos estadísticos, complementados con las interpretaciones sedimentológicas que identifican grupos de muestras atribuibles a mecanismos deposicionales similares.

A	DESVIACION			
	MEDIA	STANDAR	MINIMO	MAXIMO
Hg	0,2767	0,1911	0,0400	0,8200
Pb	40,6122	15,5233	13,0000	65,0000
Cr	16,0816	5,1382	8,0000	31,0000
Mn	376,4400	63,5347	247,0000	573,0000
Zn	84,8367	30,0057	25,0000	151,0000
Ni	23,5102	9,5493	5,0000	42,0000
MO	4,6061	1,9480	0,7000	8,0000
CO3	33,2245	9,8545	22,6000	84,9000
ARE	20,2122	33,1646	0,0000	64,0000
LIM	44,8408	17,6391	3,0000	78,0000
Md	55,2878	131,4945	1,2000	881,8000
So	4,3658	3,8019	1,1000	27,1000
C	747,0939	1539,6162	25,3000	8105,8999

B Hg	0,1600	0,0812	0,0700	0,4300
Pb	31,4500	9,4100	15,0000	51,0000
Cr	18,0500	8,7148	5,0000	35,0000
Mn	341,9000	92,2821	140,0000	530,0000
Zn	67,0000	32,0811	12,0000	129,0000
Ni	22,1500	8,9458	5,0000	42,0000
MO	4,1900	1,6158	0,5000	6,2000
CO3	39,8050	4,8350	27,0000	47,5000
ARE	37,7600	30,5961	2,2000	99,8000
ARC	23,9350	13,0055	0,0000	37,6000
LIM	38,2800	18,4142	0,2000	63,4000
Md	47,4250	86,9491	4,1000	400,0000
So	5,2850	3,1523	1,1000	11,6000
C	1158,3250	1511,3762	92,3000	5535,2998

C Hg	0,1790	0,0635	0,0600	0,2900
Pb	110,8810	234,1352	31,5000	1150,0000
Cr	23,1429	4,9308	15,0000	31,0000
Mn	270,5238	51,9124	198,0000	398,0000
Zn	106,6191	13,3647	85,0000	139,0000
Ni	29,6667	13,0943	9,0000	61,0000
MO	2,4719	0,6965	1,4000	3,8800
CO3	20,2667	12,7683	6,2000	42,1000
ARE	57,3905	25,8484	9,9000	93,7000
ARC	4,0095	3,6542	0,0000	13,9000
LIM	35,6524	21,8428	4,3000	82,1000
Md	111,7572	106,3920	16,3000	400,0000
So	2,5476	1,1316	1,2000	5,6000
C	2218,1191	2596,6445	108,9000	8400,0000

Cuadro I. Valores de la media, desviación standard, mínimo y máximo de 14 variables (6 metales pesados, ppm; carbonato, %; arena, %; arcilla, %; limo, %; mediana, Md; clasificación y centilo,  $\mu$ m) calculados en los sedimentos superficiales de la plataforma continental del delta del Ebro (A), Golfo de Valencia (B) y Golfo de Almería (C).

## DEFINICIÓN DE FACIES

Los análisis estadísticos univariados de metales pesados en las tres áreas estudiadas reflejan los diferentes niveles de industrialización (Cuadro 1). Los mecanismos de transporte y depósito responsables de la acumulación de estos metales en los sedimentos se pueden establecer por el contrario a partir de los resultados de los análisis estadísticos multivariados (Cuadros 2 y 3).

### *Plataforma del Delta del Ebro*

En la plataforma continental del Delta del Ebro se caracterizan cinco tipos de facies geoquímicas (Figura 3A). Los depósitos prodeltaicos, facies 1, están constituidos por sedimentos limosos ricos en materia orgánica y con altos contenidos en plomo. Esta facies se distribuye alrededor de la boca de la actual desembocadura del río y también en las proximidades del área del puerto de Tarragona. La facies prodeltaica pasa gradualmente hacia la plataforma media a la facies 2, representada por sedimentos arcillosos ricos en materia orgánica y con altos contenidos en manganeso, zinc, cromo y níquel. Estas facies agrupan a todas aquellas muestras de sedimentos con las concentraciones de metales pesados más elevadas del área.

La facies 3 agrupa los depósitos de plataforma media externa constituidos por sedimentos fangosos con concentraciones de metales pasados similares a los niveles naturales del área. La facies 4, también con bajas concentraciones en metales pesados, corresponde a los depósitos litorales de grano grueso. Esta facies se localiza en los ambientes litorales actuales y en la plataforma continental externa con depósitos litorales relictos (Maldonado et al., 1981; Alonso, 1981). La facies 5 corresponde a depósitos gruesos de ambientes litorales relictos, parcialmente retrabajados en función de las nuevas condiciones ambientales (Alonso y Maldonado, 1983).

### *Golfo de Valencia*

En la plataforma continental de Valencia se caracterizan asimismo cinco tipos de facies geoquímicas (Figura 3B). En orden decreciente de la concentración en metales pesados estas facies se definen a continuación.

La facies 1, está constituida por sedimentos areno-limosos, ricos en carbonatos y finos con altos contenidos en mercurio. Esta facies se localiza frente al puerto de Valencia, extendiéndose en forma alargada hacia la plataforma continental media, y en un área muy restringida situada al sur de la Albufera de Valencia. La facies 1 es atribuida a un depósito de aportes de origen fluvial y urbano-industrial. La facies 2, es la más extendida superficialmente en toda el área estudiada. Está formada por sedimentos

VARIABLES	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3
<b>A</b>			
Hg	-0.314	-0.510	-0.268
Pb	-0.359	-0.733	-0.106
Cr	-0.580	0.222	-0.464
Mn	-0.820	-0.120	0.065
Zn	-0.699	0.278	-0.327
Ni	-0.630	0.475	-0.137
MO	-0.806	-0.262	-0.247
CO3	0.680	-0.137	-0.628
ARE	0.944	0.139	0.056
ARC	-0.868	0.132	-0.048
LIM	-0.505	-0.581	0.318
Md	0.755	-0.132	-0.513
So	-0.290	0.575	0.040
C	0.654	-0.092	0.060
%Variance	44.38	14.15	9.00
<u>%Acum. Var.</u>	<u>44.38</u>	<u>58.53</u>	<u>67.57</u>
<b>B</b>			
Hg	0.144	0.372	-0.295
Pb	-0.561	0.702	0.082
Cr	-0.393	0.149	-0.717
Mn	-0.746	0.416	-0.021
Zn	-0.602	0.434	-0.335
Ni	-0.671	-0.349	-0.266
MO	-0.759	0.497	-0.052
CO3	0.298	0.532	0.544
ARE	0.889	0.350	-0.191
ARC	-0.856	-0.267	0.396
LIM	-0.872	-0.393	0.037
Md	0.846	-0.022	0.038
So	-0.581	0.182	0.534
C	0.337	0.588	0.082
%Variance	42.67	17.09	11.28
<u>%Acum. Var.</u>	<u>42.67</u>	<u>59.76</u>	<u>71.04</u>
<b>C</b>			
Hg	0.772	0.012	0.287
Pb	0.236	0.208	-0.812
Cr	-0.005	0.451	0.462
Mn	0.687	-0.180	0.524
Zn	0.347	0.460	0.008
Ni	0.289	0.420	-0.519
MO	0.460	0.699	-0.082
CO3	-0.513	0.339	0.010
ARE	-0.887	-0.335	-0.051
ARC	0.770	0.153	0.148
LIM	0.777	0.323	-0.037
Md	-0.861	0.258	0.087
So	-0.541	0.724	0.283
C	-0.796	0.518	0.125
%Variance	38.96	16.93	11.68
<u>%Acum. Var.</u>	<u>38.96</u>	<u>55.89</u>	<u>67.57</u>

Cuadro II. Coeficientes de correlación de 14 parámetros analizados en la plataforma continental del delta del Ebro (A), Golfo de Valencia (B) y Golfo de Almería (C).

limo-arcillosos con altos contenidos en plomo, manganeso, cromo, zinc y níquel, representados los depósitos normales de plataforma continental. Sin embargo, el promedio de las concentraciones de metales pesados en la facies 2 de la plataforma continental de Valencia, es equivalente al de la facies de prodelta distal (facies 2) de la plataforma continental del Ebro y no es comparable con los depósitos de plataforma continental (facies 3) del Ebro. Estas facies es atribuida a los depósitos distales de los aportes de origen fluvial y urbano-industrial en esta área.

La facies 3, formada por sedimentos limo-arcillosos con bajos contenidos en metales pesados, representa los depósitos de plataforma continental interna y media con escasa influencia de los contaminantes (Maldonado et al., 1983). La facies 4, constituida por sedimentos areno-arcillosos con componentes bioclásticos y bajos contenidos en metales pesados, representa a los sedimentos retrabajados de la plataforma continental por el efecto de las corrientes de fondo. Esta facies no tiene ninguna equivalencia en la plataforma continental del Delta del Ebro. La facies 5 está representada por arenas terrígenas de grano grueso con bajos contenidos en metales pesados y se localiza exclusivamente en los ambientes litorales actuales.

### *Golfo de Almería*

Las concentraciones de metales pesados en el Golfo de Almería son bajas en comparación a las otras dos áreas estudiadas reflejándose de este modo el bajo nivel de industrialización en este sector (Cuadro I). Por otra parte, las actividades mineras no representan un importante aumento de la concentración promedio de metales en el ambiente marino del Golfo de Almería. No obstante, esta actividad queda reflejada en determinadas muestras, muy localizadas, con proporciones muy elevadas de la concentración en metales pesados. La distribución de las facies geoquímicas en este sector es también distinta al ejemplo del Delta del Ebro, a pesar de la existencia de una sola fuente de aporte sedimentario representada por el Río Andarax (Figura 3C).

La facies 1 del Golfo de Almería es la única con niveles de concentración en metales pesados algo elevados en comparación al resto de las facies de este sector. Esta facies, definida por sedimentos limo-arenosos ricos en materia orgánica y con altos contenidos en todos los metales pesados analizadós excepto en cromo. Se distribuye como un cinturón más allá de la boca del Delta Andarax, en la plataforma continental interna y media, entre las facies litorales y las facies que forman la plataforma continental externa. Esta facies se asimila a la facies de aporte fluvial y urbano-industrial distal (facies 2) del Golfo de Valencia. La facies 2, representada por sedimentos terrígenos arcillo-limosos pobres en carbonato y con bajos contenidos en metales pesados, se localiza en la plataforma continental media y externa. Esta facies 2 se interpreta como un prodelta distal correspondiente al depósito de las partículas en suspensión más finas



A	Hg	Pb	Cr	Mn	Zn	Ni	MO	CO3	ARE	ARC	LIM	Md	So	C
Hg	1,00													
Pb	0,33	1,00												
Cr	0,23	-0,08	1,00											
Mn	0,14	0,40	0,35	1,00										
Zn	0,16	0,06	0,58	0,54	1,00									
Ni	-0,03	-0,05	0,45	0,43	0,52	1,00								
MO	0,40	0,48	0,48	0,64	0,55	0,39	1,00							
CO3	-0,07	-0,04	-0,21	-0,50	-0,35	-0,36	-0,38	1,00						
ARE	-0,32	-0,48	-0,52	-0,80	-0,57	-0,55	-0,77	0,53	1,00					
ARC	0,12	0,31	0,48	0,74	0,60	0,55	0,66	-0,56	-0,87	1,00				
LIM	0,29	0,48	0,15	0,48	0,07	0,09	0,44	-0,37	-0,56	0,27	1,00			
Md	-0,22	-0,01	-0,33	-0,55	-0,47	-0,41	-0,45	0,91	0,62	-0,56	-0,43	1,00		
So	-0,14	-0,13	0,11	0,16	0,22	0,40	0,08	-0,18	-0,25	0,38	-0,13	-0,24	1,00	
C	-0,21	-0,18	-0,33	-0,41	-0,41	-0,48	-0,50	-0,42	0,59	-0,48	-0,20	0,45	-0,20	1,00

B	Hg	Pb	Cr	Mn	Zn	Ni	MO	CO3	ARE	ARC	LIM	Md	So	C
Hg	1,00													
Pb	0,36	1,00												
Cr	-0,03	0,18	1,00											
Mn	-0,12	0,63	0,40	1,00										
Zn	0,18	0,63	0,48	0,44	1,00									
Ni	-0,34	0,04	0,45	0,45	0,21	1,00								
MO	-0,13	0,67	0,40	0,90	0,66	0,38	1,00							
CO3	-0,11	0,17	-0,17	0,00	-0,12	-0,53	0,00	1,00						
ARE	0,27	-0,31	-0,18	-0,46	-0,35	-0,61	-0,46	0,29	1,00					
ARC	-0,29	0,35	0,03	0,49	0,28	0,56	0,46	-0,12	-0,96	1,00				
LIM	-0,25	0,26	0,27	0,42	0,38	0,62	0,43	-0,40	-0,98	0,89	1,00			
Md	-0,10	-0,47	-0,30	-0,58	-0,45	-0,51	-0,59	0,32	0,74	-0,70	-0,73	1,00		
So	-0,04	0,48	-0,14	0,43	0,30	0,23	0,43	0,07	-0,47	0,60	0,36	-0,49	1,00	
C	-0,04	0,13	-0,06	0,01	0,11	-0,16	0,08	0,44	0,49	-0,42	-0,52	0,21	-0,12	1,00

C	Hg	Pb	Cr	Mn	Zn	Ni	MO	CO3	ARE	ARC	LIM	Md	So	C
Hg	1,00													
Pb	0,04	1,00												
Cr	0,16	-0,13	1,00											
Mn	0,69	-0,29	0,07	1,00										
Zn	0,35	0,10	-0,01	0,26	1,00									
Ni	0,15	0,42	-0,01	0,02	0,38	1,00								
MO	0,19	0,30	0,32	0,07	0,21	0,34	1,00							
CO3	-0,30	-0,15	0,12	-0,54	-0,15	-0,08	0,02	1,00						
ARE	-0,70	-0,22	-0,12	-0,50	-0,39	-0,32	-0,62	0,25	1,00					
ARC	0,49	0,06	0,01	0,45	0,15	0,05	0,59	-0,31	-0,83	1,00				
LIM	0,55	0,29	0,03	0,47	0,45	0,25	0,53	-0,22	-0,81	0,55	1,00			
Md	-0,57	-0,17	0,08	-0,55	-0,07	-0,17	-0,36	0,40	0,64	-0,64	-0,53	1,00		
So	-0,31	-0,16	0,32	-0,29	0,18	-0,03	0,20	0,39	0,23	-0,22	-0,19	0,74	1,00	
C	-0,60	-0,19	0,18	-0,50	-0,02	-0,05	-0,01	0,49	0,54	-0,50	-0,46	0,83	0,90	1,00

Cuadro III. Análisis de componentes principales basados sobre la matriz de correlación de las tres áreas estudiadas: (A) Plataforma continental del Delta del Ebro (B) Golfo de Valencia, y (C) Golfo de Almería.

procedentes del aporte del río Andarax. Estas suspensiones escapan aguas afuera de acuerdo con el régimen de circulación general en el Golfo de Almería (Zamarreño et al., 1982, 1983). La facies 3 está constituida por sedimentos areno-limosos ricos en carbonato y componentes bioclásticos, con altos contenidos en cromo. Esta facies representa depósitos litorales palimpsest. Los altos contenidos en cromo pueden corresponder a la movilización de este elemento del agua marina por actividad biógena. La facies 4 corresponde a los depósitos litorales terrígenos de grano grueso con bajos contenidos en metales pesados.

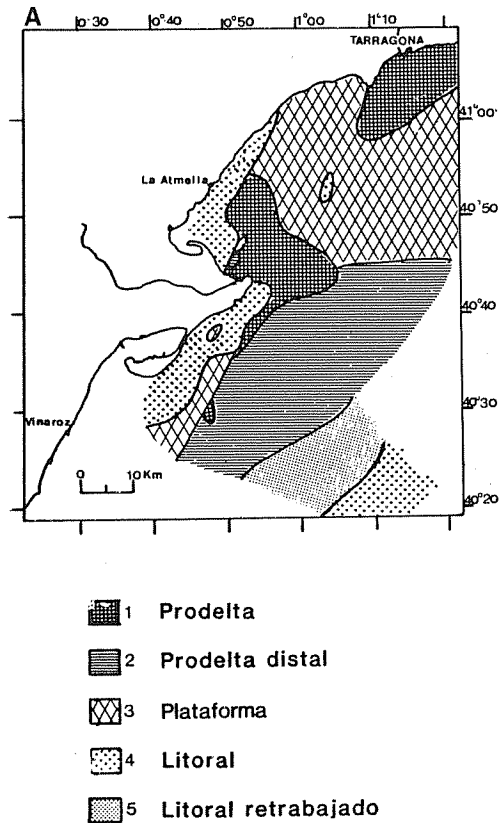


Fig. 3. Mapas de distribución de las facies geoquímicas en las tres áreas estudiadas. Explicación de las facies en el texto.

## MECANISMOS SEDIMENTARIOS

Los principales mecanismos responsables del transporte y depósito de los sedimentos que caracterizan las diferentes facies geoquímicas se resumen en los siguientes procesos (Fig. 4).

Las concentraciones de metales pesados más altas se localizan próximas a zonas de aportes continentales a lo largo de la costa. Hay dos orígenes diferentes para estos aportes que son los ríos y los emisarios procedentes de los núcleos urbanos e industriales. Las partículas más grandes en suspensión así como los arrastres sobre el fondo se depositan cerca de la interfase agua dulce-salada, debido a la pérdida de competencia de la corrien-

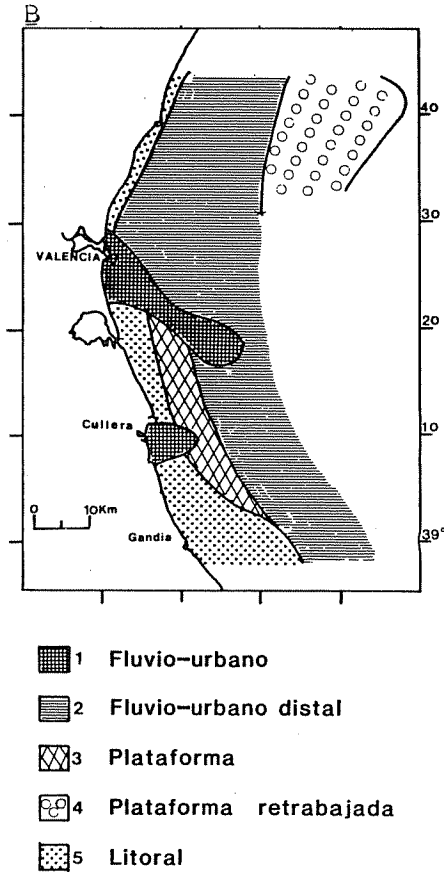


Fig. 3. (Continuación).

Mapas de distribución de las facies geoquímicas en las tres áreas estudiadas. Explicación de las facies en el texto.

te y a los procesos de floculación electroquímica en esta zona (Aloisi et al., 1977).

Las partículas más finas en suspensión son transportadas aguas afuera de la zona interfase y se depositan en la plataforma continental como resultado de diferentes procesos físico-químicos y biológicos.

En la plataforma continental del Delta del Ebro el mercurio y el plomo son aportados al medio marino junto a las partículas en suspensión más grandes, las cuales se depositan en la zona del prodelta proximal. En cam-

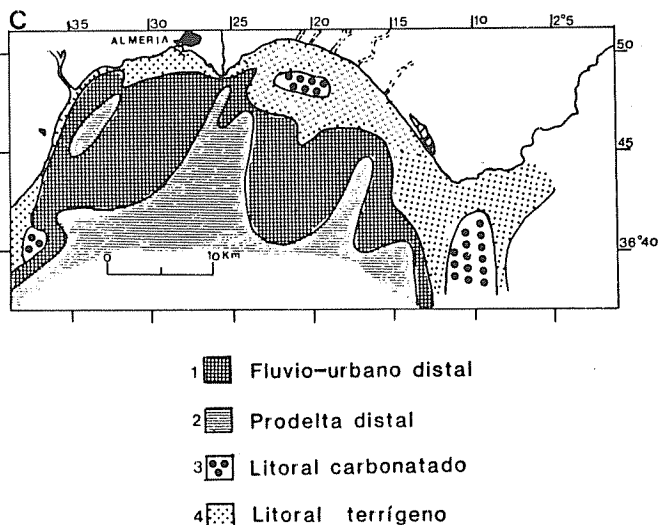


Fig. 3. (Continuación).

Mapas de distribución de las facies geoquímicas en las tres áreas estudiadas. Explicación de las facies en el texto.

bio, el manganeso, cromo, níquel y zinc son transportados a la plataforma continental media como óxidos de manganeso, (Carrol, 1958; Jenne, 1957; Frankel y Mead, 1973) o compuestos orgánicos adsorbidos por las partículas en suspensión más finas procedentes de la descarga del río. Estos materiales forman un prodelta distal. El desarrollo de los sedimentos ricos en metales pesados de las áreas de Valencia, Cullera y Tarragona puede ser atribuido a mecanismos similares. Sin embargo, en estos casos la fuente importante de contaminantes y sedimentos consiste básicamente en el sistema de emisarios procedentes de los núcleos urbanos e industriales.

En el Golfo de Almería el mecanismo de formación de estos depósitos es modificado por el régimen fluvial y condiciones oceanográficas reinantes. La descarga del río tiene lugar pocas veces al año durante las épocas de crecida, cuando en el prodelta del abanico deltaico se depositan una gran variedad de sedimentos no clasificados, que van desde gravas y arenas a arcillas (Zamarreño et al., 1983). Durante el resto del año las partículas de grano fino son retrabajadas por las corrientes litorales y transportadas a ambientes más distales de la plataforma continental. Estas descargas estacionales y el régimen de corrientes predominante en la bahía durante gran parte del año, controlan la distribución final de los sedimentos ricos en metales pesados.

Los ambientes litorales de grano grueso, debido a la textura del sedimento no permiten la adsorción de metales y tampoco el depósito ni conservación de la materia orgánica a la que pueden encontrarse estos metales ligados. Los metales pesados en estos ambientes pueden acumularse durante un cierto intervalo de tiempo después de descargas importantes de sedimento, pero estos metales se transferirán a otros ambientes marinos en función del régimen de corrientes marinas predominantes.

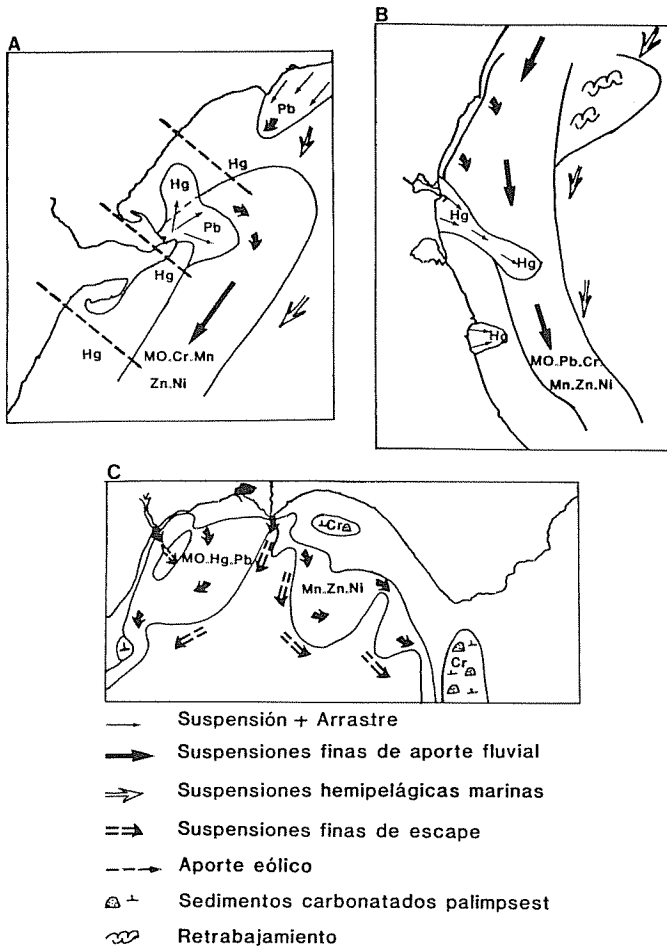


Fig. 4. Mapas de los principales mecanismos de transporte y acumulación de metales pesados en el medio marino.

Las suspensiones marinas normales en las tres áreas investigadas no están enriquecidas en metales pesados. La mayoría de los depósitos de plataforma continental sin influencia antropogénica se caracterizan por concentraciones de metales pesados muy similares a los niveles naturales del área. Los análisis de testigos continuos de pistón, no expuestos en este trabajo demuestran que estos niveles en los sedimentos marinos no contaminados son muy similares a las concentraciones en los depósitos prehistóricos (Alonso, 1981).

Finalmente, otro proceso que puede resultar importante en el control de la distribución de metales pesados en el ambiente marino es el transporte por el viento. Los mapas de la distribución de mercurio en la plataforma continental del Delta del Ebro y los análisis estadísticos multivariados ponen de relieve que el transporte por el viento puede ser un mecanismo adicional (Alonso, 1981). El papel de las partículas transportadas por el viento como un agente importante en el desarrollo de depósitos de grano fino en la plataforma continental ha sido demostrado en otros estudios con métodos independientes (cf., Maldonado y Stanley, 1981).

## CONCLUSIONES

La distribución de las facies geoquímicas en las tres áreas estudiadas está controlada por la descarga de agua dulce, las condiciones hidrodinámicas y las características del ambiente deposicional. Los métodos empleados en este estudio permiten identificar dos tipos diferentes de aporte al medio marino, en base a la concentración y distribución de metales pesados en los depósitos. Los aportes de origen urbano e industrial dan lugar a una transición brusca entre los depósitos ricos en metales pesados y los sedimentos marinos normales. En cambio, los aportes fluviales naturales desarrollan una acumulación de metales pesados que se extienden gradualmente sobre una extensa área de la plataforma continental.

El viento es otro mecanismo en el transporte de sedimentos y microcontaminantes al medio marino, el cual puede originar notables modificaciones en la distribución normal de los aportes en suspensión. El mercurio es uno de los metales analizados que puede ser transportado en gran medida por el viento.

Se concluye finalmente que los dos principales factores que controlan la distribución espacial y temporal de los metales pesados en el ambiente marino son los procesos sedimentarios y la naturaleza de la actividad antropogénica en el sector considerado.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer la colaboración de los compañeros del equipo de Geología Marina del Instituto Jaime Almera, y muy especialmente a Elisenda Vergés por su ayuda técnica, la colaboración prestada durante la elaboración de este artículo.

Agradecemos asimismo la colaboración de las tripulaciones de los buques oceanográficos «Cornide de Saavedra», «Tofiño», «García del Cid» y «Catherine Laurence» en el transcurso de las campañas destinadas a la obtención de las muestras estudiadas. Este estudio ha sido posible gracias a un Proyecto de Investigación Cooperativa (Ref. 393020) del Comité Conjunto Hispano-Norteamericano para la Cooperación Científica y Tecnológica, una subvención de la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica (Ref. 3678/79) y al Programa FOMAR del Instituto Geológico y Minero de España.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALOISI, J. C.; GOT, H.; MONACO, A., 1977. Processus sedimentogenetiques et pollution exemple du Golfe du Lion. *Rev. Int. Oceanogr. Med.*, 47: 73-78.
- ALONSO, B., 1981. Microcontaminantes inorgánicos y procesos sedimentarios en la plataforma continental de Tarragona-Castellón. *Tesis de Licenciatura. Univ. Barcelona* (sin publicar), 154 p.
- ALONSO, B., y Maldonado, A., 1983. 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, Seminario Multidisciplinar, Barcelona. febrero 1983* (In press)
- BALLESTER, A.; MILLER I DUNYACH, M., 1980. Some pollutants present in marine sediments. animals and plants in the coastal waters of Catalonia, Spain. In: Rovinj-Zagreb. IV International symposium «Chemistry of the Mediterranean: 11-34. Ints. *Iballyia Jugoslavica*, Ruder Boskovich Inst. Rovinj.
- BAUCELLS, M.; LACORT, E.; ROURA, M., 1981. Determinación de Hg en sedimentos marinos por espectrografía de absorción atómica. *An. Quim.*, 77 (1): 59-52.
- CARMODY, D. J.; PEARCE, J. B.; YASSO, W. E., 1973. Trace metals in sediments of New York Bight. *Mar. Poll. Bull.* 4: 132-133.
- CARROL, D., 1958. Role of clay minerals in the transportation of iron. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 14: 1-27.
- DIDAY, E., 1971. La méthode des Nuées Dynamiques. *Rev. Stat. App.* 19(2): 19-34.
- ETCHEBER, H.; JOUANNEAU, J. M.; LATOUCHE, C., 1977. Méthodologie d'études de la distribution de quelques oligoéléments métalliques associés aux sédiments d'un estuaire, cas de la Gironde. *Rev. Ins. Océanogr. Med.*, 48: 91-95.
- FRANKEL, L.; MEAD, D. U., 1973. Mucilaginous matrix of some estuarine sands in Connecticut. *J. Sed. Pet.*, 43: 1090-1095.
- FRIGNANI, M.; FRASCARI, F.; QUARANTOTO, G.; POLETTI, R., 1978. Trace heavy metals in Adriatic sea sediments off the Italian coast from Pesaro to the Po delta. *Giornale di Geologia*, 43(2): 21-45.
- GRIGGS, G. B.; JOHNSON, S., 1978. Bottom sediment contamination in the Bay of Naples, Italy. *Mar. Poll. Bull.*, 9: 208-214.

- HATCH, W. R.; OTT, W. L., 1968. Determination of sub-microgram quantities of Hg by Atomic Absorption Spectrophotometry. *Anal. Chem.*, 40: 2085.
- HATCHER, P. G.; SEGAR, D. A., 1976. Chemistry and continental margin sedimentation In: Stanley, D. J. Swift, D. J. P., *Marine sediment transport and environmental management*: 461-477. Wiley Interscience. John Wiley & Sons. Nueva York.
- JENNE, E. A., 1967. Controls on Mn, Fe, Co, Ni, Cu, and Zn concentrations in soils and water. *Geochim Cosmochim.*, Acta, 30: 279-298.
- LEBART, L.; MORINEAU, A.; TABARD, 1977. Techniques de la Description Statistique: 351. *Dunod*, Paris.
- MALDONADO, A., 1972. El Delta del Ebro: estudio sedimentológico y estratigráfico. *Bol. Estrat.* 1: 486. Dep. Estratigrafía Fac. de Geología Univ. Barcelona.
- MALDONADO, A.; STANLEY, D. J., 1981. Clay mineral distribution patterns as influenced by depositional processes in the Southeastern Levantine Sea. *Sedimentology.*, 28: 21-32.
- MALDONADO, A.; VERDAGUER, A.; ALOISI, J. C.; GOT, H.; MONACO, A.; LE CALVEZ, U.; THOMMERET, Y., and MIRABILE, L., 1981. Mecanismos sedimentaires et edification du plateau progressif sud-catalan (Méditerranée nord-occidentale). *Rapports et Proces-Verbaux des Reunions Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée*, 27 (8): 25-28.
- MALDONADO, A.; SWIFT, D. J. P.; YOUNG, R. A.; HAN, G.; NITTROUER, CH. A.; DEMASTER, D.; REY, J.; PALOMO, C.; ACOSTA, J.; BALLESTER, A., and CASTELLVI, J., 1983. Sedimentation on the Valencia Continental shelf: Preliminary Results. *Continental Shelf Research* (in press).
- PAPAKOSTIDIS, G.; GRIMANIS, A. P.; ZAFIROPOULOS, D.; GRIGGS, G. B., 1975. Heavy metals in sediments from the Athens sewage outfall. *Mar. Poll. Bull.*, 6: 136-138.
- PAUL, W.; MEISCHNER, D., 1976. Heavy metal analysis from sediments of the Adriatic Sea. *Senckenbergiana marit.*, 8: 91-102.
- RAPIN, F.; FERNEX, F.; FAVARGER, P. Y.; VERNET, J. P.; VAN DIEVOET, E., 1979. Répartition du mercure dans les sédiments marins superficiels du plateau continental de la Côte d'Azur (France). *Rev. Internat. Oceanogr. Médic.*, 53: 41-49.
- ZAMARREÑO, I.; MALDONADO, A.; CANALS, M.; DÍAZ, I.; FARRAN, M.; VÁZQUEZ, A., 1982. Temperature carbonate sedimentation on the continental shelf of Southeastern Spain (Western Mediterranean Sea). *XIth. International Congress on Sedimentology. McMaster Univ., Hamilton, Ont. Canada*. Abstracts: 95.
- ZAMARREÑO, I.; VÁZQUEZ, A., y MALDONADO, A., 1983. Sedimentación en la plataforma de Almería: un ejemplo de sedimentación silícico-carbonatada en clima templado. In: *Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental Española. Seminario Cádiz*, Ed. J. Castellví. Marzo 1983: 152-188.