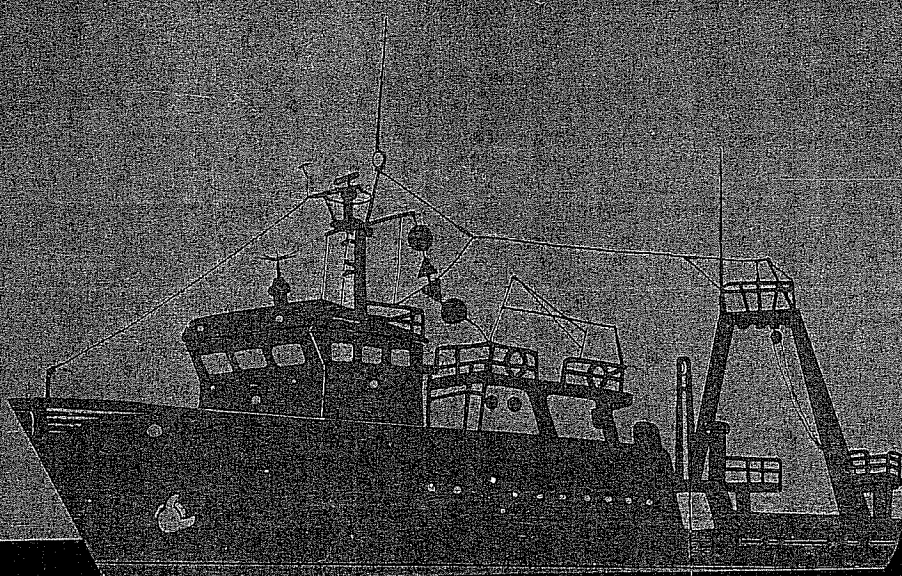


# *Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental E.O.P.C.*



*SEMINARIO INTERDISCIPLINAR  
Resultados del Proyecto 793020 del Comité Conjunto  
Hispano-Norteamericano  
Cádiz 15-18 Marzo 1983*

ESTUDIO OCEANOGRAFICO  
DE LA  
PLATAFORMA CONTINENTAL

ESTUDIO OCEANOGRÁFICO  
DE LA  
PLATAFORMA CONTINENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN COOPERATIVA  
HISPANO-NORTEAMERICANA

N.º 793020

SEMINARIO CIENTÍFICO

CÁDIZ 15-18 MARZO

1983

Dep. Legal: B. 28.895 - 1.983

Gráficas Buper, S. A.

c/. Méjico, 19 - Barcelona-4



# ÍNDICE

Event-dominated sediment transport on the valencian continental shelf, Spain, and its effect on sediment accumulation and Holocene stratigraphy. <i>R. A. Young, D. J. P. Swift, C. A. Nittrouer, D. DeMaster, B. Bergenback</i> . . . . .	1
Modelos sedimentarios en las plataformas continentales del Mediterráneo español: factores de control, facies y procesos que rigen su desarrollo. <i>A. Maldonado, I. Zamarreño</i> . . . . .	15
Aspectos geológicos sobre la estructura poco profunda de la plataforma continental del levante español. <i>J. Rey, V. Diaz del Río</i> . . . . .	53
Definición de facies y procesos sedimentarios en la plataforma continental de Valencia (Mediterráneo Occidental). <i>S. Giró, A. Maldonado</i> . . . . .	75
Sedimentación en la plataforma de Almería: un ejemplo de sedimentación mixta silícico-carbonatada en clima templado. <i>I. Zamarreño, A. Vázquez, A. Maldonado</i> . . . . .	97
Concentraciones de metales pesados y mecanismos de dispersión en tres sectores de la plataforma continental del Mediterráneo español. <i>A. Maldonado, B. Alonso</i> . . . . .	121
Circulation on the spanish mediterranean continental shelf near río Ebro. <i>G. Han, A. Ballester, K. Kohler</i> . . . . .	137
Corrientes permanentes en el borde de la plataforma continental frente al Delta del Ebro. <i>J. Font</i> . . . . .	149
Utilización de las series temporales de temperatura y salinidad para interpretar los movimientos de las masas de agua (zona de Amposta). <i>A. Juliá</i> . . . . .	163

Aplicación del análisis de componentes principales a dos series de datos relacionados con la producción primaria en Pto. Cuatros (R. Argentina) y en la costa española del Mediterráneo. <i>J. R. Zavatti, A. Ballester, R. H. Freije, R. O. Asteasuain</i> . . .	173
Evaporación en el mar balear. <i>J. L. López-Jurado</i> . . . . .	197
Aproximación al comportamiento estadístico del viento en el Delta del Ebro. Sucesividad temporal de situaciones estacionarias. <i>M. A. García, M. Manriquez</i> . . . . .	209
Resultados del subprograma de química correspondiente al estudio de la plataforma mediterránea española. I. Aspectos químicos en el afloramiento del Mar de Alborán. <i>A. Ballester, J. R. Zavatti</i> .	219
Productividad primaria de la plataforma continental mediterránea. <i>J. Castellví, M. Cano</i> . . . . .	233
Ciclo del azufre en la plataforma continental mediterránea. <i>P. Amengual, J. Castellví</i> . . . . .	243
Nitrificación autótrofa y heterótrofa en la plataforma continental del Mediterráneo español. <i>J. Castellví</i> . . . . .	257
Zooplankton de la plataforma continental ibérica desde la zona del Golfo de Valencia hasta el Estrecho de Gibraltar. <i>A. Carbonell, X. Jansá</i> . . . . .	281
Microcontaminantes orgánicos en sedimentos de la plataforma continental mediterránea española. <i>J. A. García, J. Rovira, J. Sánchez-Pardo</i> . . . . .	305
Aportes de hidrocarburos alóctonos y autóctonos a la plataforma continental mediterránea. <i>J. M. Bayona, J. Grimalt, J. Albaigés</i> .	333
Contaminación por metales pesados en los sedimentos marinos de la plataforma costera mediterránea. <i>X. Modamio</i> . . . . .	345

## Presentación

*La publicación que encabezamos con estas líneas no pretende ser el compendio exhaustivo de los trabajos, diversos y numerosos, que se han generado a lo largo del Programa «Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental» en el que han intervenido tres Instituciones españolas (Instituto Hidrográfico de la Marina, Instituto Español de Oceanografía y Consejo Superior de Investigaciones Científicas) y un importante grupo de científicos estadounidenses adscritos, al iniciarse el estudio, al Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratories (NOAA) de Miami.*

*Esta publicación es el resultado de agrupar las comunicaciones científicas que se han de presentar y discutir en el Seminario organizado en Cádiz como colofón de un estudio que, por sus características, puede definirse como cooperativo, interdisciplinario e interinstitucional.*

*El escenario en que se han llevado a cabo los trabajos es uno de los espacios marinos más conflictivos de la Geografía hispánica y, por ello, se ha aceptado el reto de estudiarlo en todos sus aspectos trascendentes como único camino para lograr su ordenación racional y una utilización adecuada del mismo. Aunque brevemente, es interesante mencionar aquí algunos de los hechos que obligan a considerar el estudio de la plataforma continental mediterránea española como tema prioritario desde el punto de vista científico y desde una perspectiva político-administrativa:*

- *Existe una tendencia de las sociedades modernas, continuamente incrementada, a desplazarse hacia el litoral. Este es el camino que siguen las industrias pesadas (del petróleo, de la energía, petroquímicas, etc.), los deportes náuticos, la pesca deportiva, las instalaciones turísticas, etc. Especial importancia y conflictividad tienen las actividades marinas tradicionales (pesca industrial) y la acuicultura.*

- *La casi totalidad de los vertidos residuales industriales y urbanos terminan su recorrido, directa o indirectamente, en las aguas litorales creando zonas contaminadas en las que es necesario establecer alternativas de interés superior. La paradoja de que las zonas más afectadas por los vertidos sean las más apetecidas y utilizadas en virtud de la distribución de las áreas de población y como consecuencia de las actividades de estas mismas poblaciones, contribuye a dar una perspectiva pesimista a los problemas de la contaminación marina.*

*Los aspectos más sobresalientes del Programa están relacionados con la mejora en el conocimiento de la calidad del agua marina, la distribución de los principales contaminantes en los sedimentos, la dinámica de la sedimentación y sus consecuencias sobre la morfología de las plataformas continentales y con la visión global de los movimientos de las masas de agua y su incidencia sobre la productividad biológica.*

*Toda esta temática no puede considerarse como suficiente y excluyente, pero constituye la base para la elaboración de modelos descriptivos, diagnósticos y pronósticos, capaces de relacionar las causas de la fenomenología oceánica general, en el litoral mediterráneo, con las observaciones que se trata de interpretar. De ahí que exista una importante contribución de la Meteorología y de la Dinámica marina en este conjunto de trabajos.*

*Los aspectos geológicos (incluyendo estudios soportados básicamente con técnicas y conceptos inéditos en nuestro espacio intelectual) complementados y asimilados por los geólogos marinos españoles, constituyen uno de los aspectos más positivos y prometedores del Programa. El estudio oceanográfico químico ha movilizad y reactivado nuestras tradicionales tendencias a la aplicación de técnicas automáticas y de estrategias secuenciales y sinópticas al conocimiento del mar. La vertiente biológica ha desplegado una gran carga de innovación, especialmente en el campo de la microbiología, que aporta capítulos extensos sobre los ciclos biológicos del nitrógeno y del azufre en aguas y sedimentos de la plataforma continental, llamando la atención sobre la trascendencia de estos procesos en la economía de los ecosistemas litorales.*

*La proyección hacia el futuro del Programa puede situarse, para el campo operativo, en el aparato instrumental y modelístico en que se ha basado la observación continua de algunos parámetros fundamentales de*

*la dinámica litoral. La constitución de un banco de datos primario, automatizado y abierto a todos los organismos y personas interesadas, es otra contribución del Programa al progreso de la Oceanografía en nuestro país.*

*Ciertos lazos de unión o de comunicación establecidos con los científicos norteamericanos permiten prever nuevas acciones y progresos en la cooperación científica entre Estados Unidos y España.*

*Nuestro deseo de realizar un esfuerzo proporcionado a la magnitud del Proyecto, auspiciado por el Comité Conjunto Hispano-Norteamericano, se ha cumplido plenamente. Si de ello se sigue una contribución significativa al conocimiento del mar y sus fenómenos, este esfuerzo habrá recibido la mejor recompensa.*

JOSEFINA CASTELLVÍ PIULACHS

Editor

Barcelona, marzo de 1983

# Even-dominated sediment transport on the valencian continental shelf, Spain, and its effect on sediment accumulation and holocene stratigraphy

by

ROBERT 'A. YOUNG,\* DONALD J. P. SWIFT,\*\*  
CHARLES A. NITTROUER,\*\*\* DAVID DEMASTER \*\*\*  
and BRUCE BERGENBACK \*\*\*

\* Exxon production Research Co. P. O. Box 2189 Houston Texas 77001.

\*\* Arco Oil and Gas Co. P. O. 2819 Dallas, Texas 75221.

\*\*\* North Carolina State University, Dept Marine Sci. P. O. Box 5923, Raleigh, North Carolina 27650.

## RESUMEN

Durante 1980 y 1981 el Programa de Cooperación Científica Hispano-Norteamericano prestó especial atención al estudio de la Plataforma Continental comprendida entre el Delta del Ebro y el Cabo San Antonio (figura 1). Entre los objetivos alcanzados destaca, por su importancia, la mejora en el conocimiento y comprensión de la dinámica sedimentaria y de sus mecanismos en el Golfo de Valencia.

## SEDIMENT DYNAMICS

### *Methods*

Two types of field experiments were undertaken during the program. The first experiments were aimed at understanding the climatology of sediment transport on a typical shelf sector. The second experiment was meant to determine the range of bottom friction coefficients associated with various types of sediments and flow conditions. Both experiments were aimed at developing a working model of transport on the modern Valencia shelf.

Three sites were chosen along an offshore transect from the Albufera de Valencia to deploy specialized instruments (CV Probes) capable of making long-term measurements of water velocity and suspended sediments (Fig. 1). Each CV Probe consisted of one electromagnetic current meter and an optical transmissometer. The current meter measured the north and east velocity components and pressure. The transmissometer measured turbidity of the water, which is directly related to suspended sediment concentration. Since it was not possible to perform a calibration of the transmissometer, values of suspended sediment concentration are reported as relative values of turbidity.

Each of these sensors was sampled once per second for five minutes every three hours and the average values recorded internally on magnetic tape. All sensors were mounted on tripods so that currents were measured at about one meter above bottom and turbidity at about 50 cm. The three CV Probes were deployed for an 89 day period during February to May, 1981, and were retrieved by release of a small buoy attached to the tripod which carried a rope to the surface. The release was activated by an acoustic signal from the ship.

Only two of the CV Probes provided data, because CV2 was not found during the retrieval cruise. There is also evidence from the data that CV3 was relocated from its original deployment position several days after it was initially emplaced. Dragging by fishing boats is suspected. The average pressure (Water depth) at CV1 changed during the deployment, increasing by an amount equivalent to 40 cm (see Fig. 2). The apparent increase in water depth was probably caused by the settling of the tripod into the sandy sediments due to scour or liquifaction caused by storm waves and currents (see results below). This change in instrument height is considered minor for the purposes of the present study, and the data from both CV1 and CV3 are assumed to be adequately representative of flow and turbidity conditions at their respective locations.

An experiment designed to provide estimates of bottom friction coefficients for use in shelf-wide transport models was also attempted. The experiment involved designing and construction of another type of probe capable of making measurements of flow and turbidity at four heights in the first two meters above the seafloor. This probe (CV Probe) was deployed for two days in 27 meters of water along the CV probe transect (Fig. 1). A combination of very slow and uneventful flow conditions and the flooding of an electrical component severely limited the quality of data recovered. Consequently, these data were not analyzed and no further discussion is given here.

Effects of biologic fouling of the transmissometer are thought to have been the cause of a general increase in the background turbidity over the deployment period. This trend was removed before calculating transport rates. This is not entirely satisfactory as the increase in turbidity may have been due to the real effect of increasing planktonic productivity. Since we

are only interested in the transport of sediment, the possible exclusion of background suspended planktonic particles should not have a significant impact on the conclusions. A sudden increase in apparent turbidity occurred following a major storm (see discussion in Results). This increase was probably caused by settling of the tripod during the storm, placing the transmissometer deeper into the more turbid water closest to the seafloor.

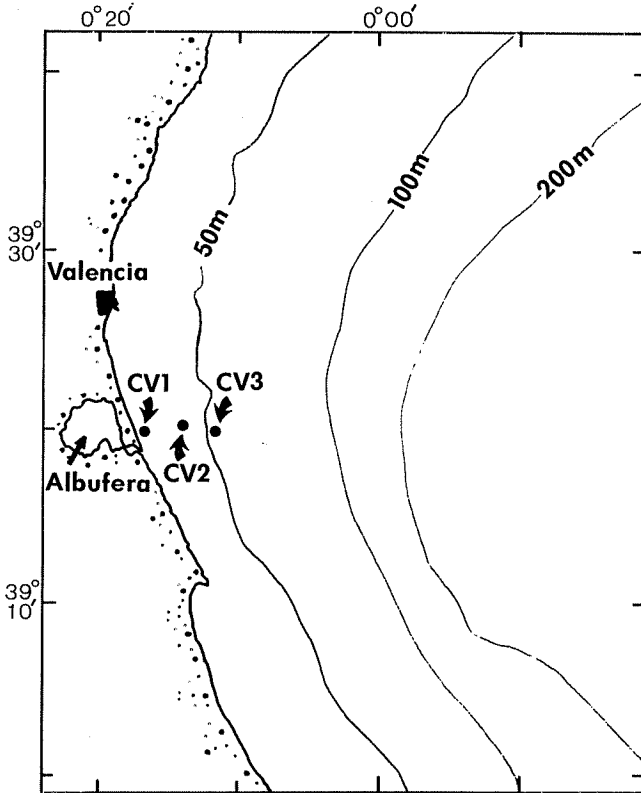


Fig. 1. Bathymetric map of the Gulf of Valencia. Locations of CV Probe sites are indicated.

Time-series for CV1 and CV3 showing flow speed and turbidity during the deployment period are given in Figures 2 and 3. Relative rates of sediment transport were calculated as the product of turbidity times speed. Because the transmissometer was not calibrated. The rate values are arbitrary, but are considered good representations of the relative magnitudes of transport.



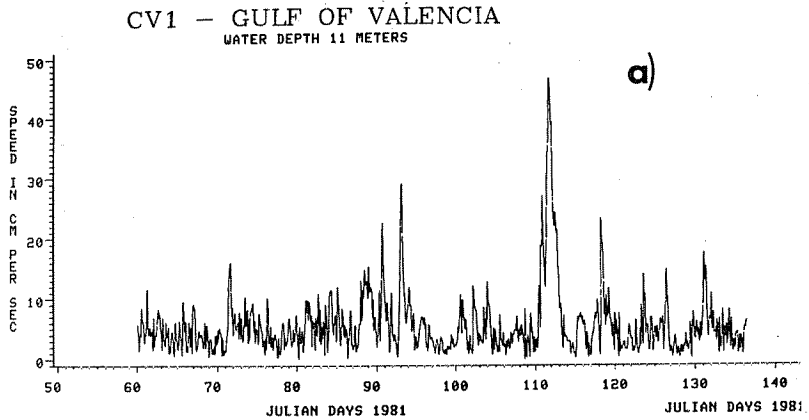


Fig. 2. Time serie of flow speed. CV1.

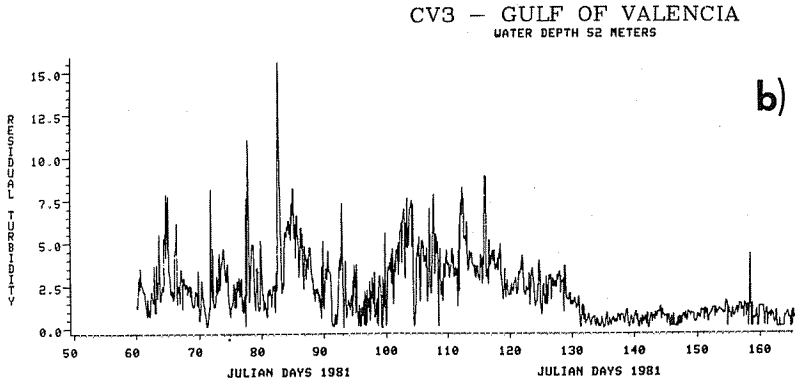


Fig. 2. Times series of turbidity. CV1.

The transport climate in the Gulf of Valencia was characterized by long periods of relative calm interspersed with brief periods of strong transport. One major transport event occurred during the 89-day deployment, from Julian Day (JD) 111.5 to 114.5. The event affected both inner (CV1) and mid-shelf (CV3) transport (Figs. 2 and 3). About 40 percent of the total transport recorded during the deployment occurred during this one event.

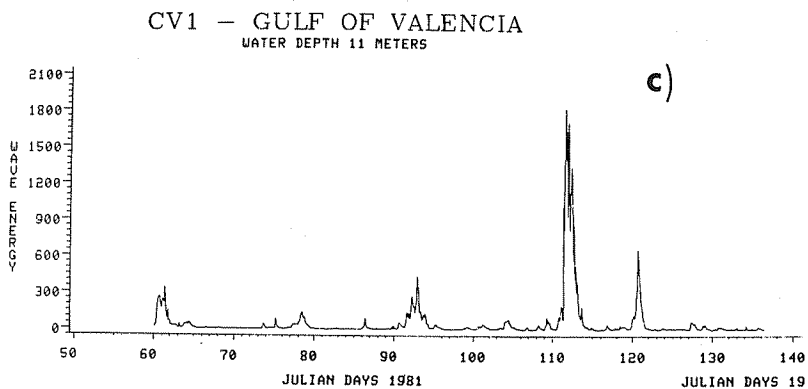


Fig. 2. Time series of wave energy, CV1.

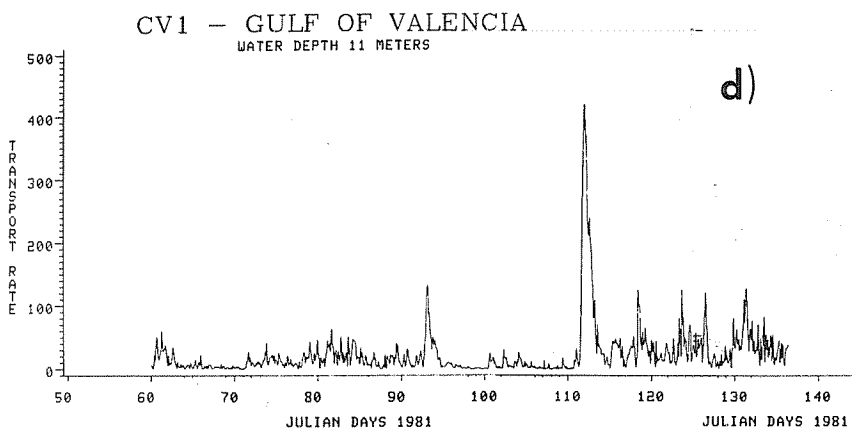


Fig. 2. Time series of suspended sediment transport rate for CV1.

Progressive vector diagrams (PVD) of the vector transport rates (the product of velocity times turbidity) for CV1 and CV3 are shown in Figure 4a and 4b. Both time series begin on the same day (JD 60), but CV3 ends on JD 170, about 34 days later than CV1. The long-term drift of suspended sediment appears to be upshelf to the north, but at slow rates. There is a slight onshore component of transport in both the inner and mid-shelf PVD's of water transport (Fig. 5) show a similar pattern, but

CV1 - GULF OF VALENCIA  
WATER DEPTH 11 METERS

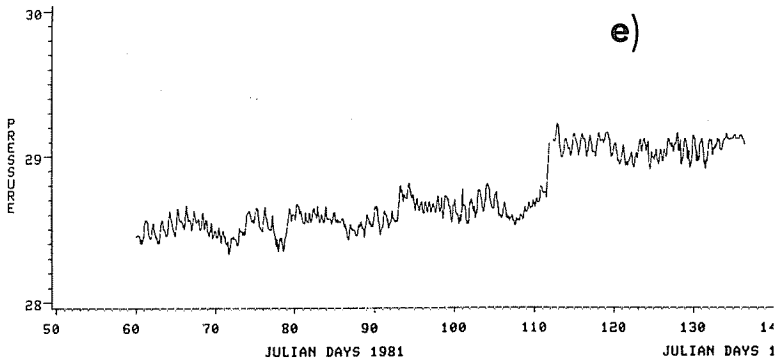


Fig. 2. Time series of pressure, CV1.

the onshore component appears much stronger. Downshelf transport during the storm event of JD 111.5 - 114.5 tended to nullify much of the preceding upshelf transport. The net transport for both the CV1 and CV3 sites is downshelf, even with the occurrence of the strong event of JD 111-114.

A possible explanation for the cause of the storm is a response to strong wind-forcing of the entire shelf. Wind data for this period from the Rio Ebro area, made available by G. Han (personal communication, 1983), indicates that a period of high winds occurred during JD 111-114. The wind direction swung from the southwest toward the north and increased in speed during this period in a manner consistent with the observed change in water flow direction and acceleration in speed. Wind data from Valencia are required to verify this interpretation.

Periods of high turbidity also occurred independently of high wave energy or flow speed (e.g. JD 83-88, CV3; Fig. 3). Advective transport from upshelf is indicated by these events although the amount of sediment transported to the Albufera area during those events was probably small compared with times of vigorous flow. It is also evident from the data that periods of high wave energy are well correlated with high flow speed. This is probably a consequence of the prevailing wind direction and strength and is discussed below.

## EVENT-DOMINATED SEDIMENT TRANSPORT

### CV3 - GULF OF VALENCIA WATER DEPTH 52 METERS

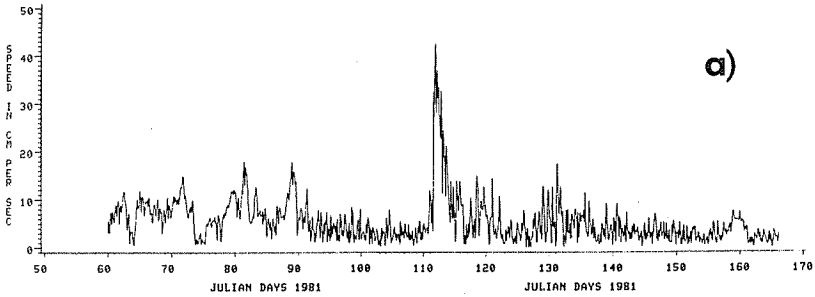


Fig. 2. Time series of flow speed CV3.

### CV1 - GULF OF VALENCIA WATER DEPTH 11 METERS

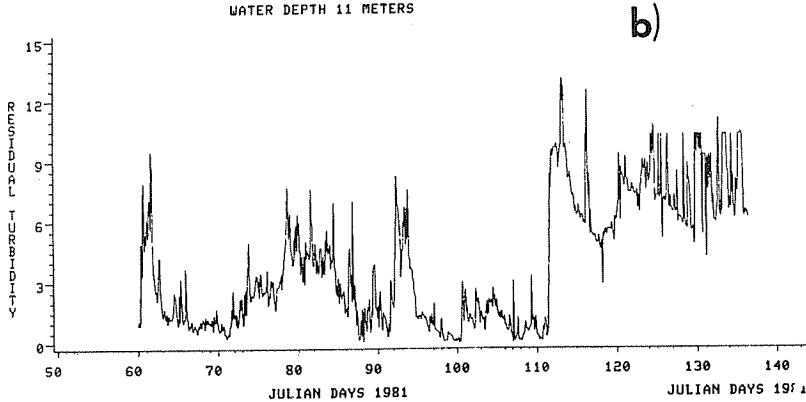


Fig. 3. Time series of turbidity, CV3.

## SEDIMENTATION

Cores of near-surface sediments were obtained in the study area and used in several different studies by U.S. and Spanish workers. Preliminary results of some of these studies (Maldonado et al, in press) indicate that a sandy mud and mud facies is presently accumulating on the mid and

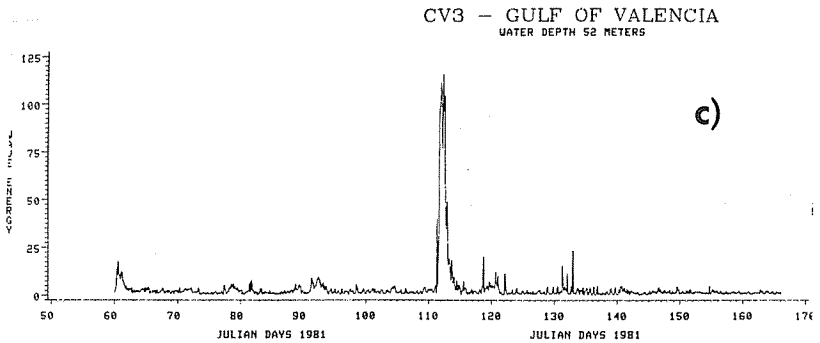


Fig. 3. Time series of wave energy. CV3.

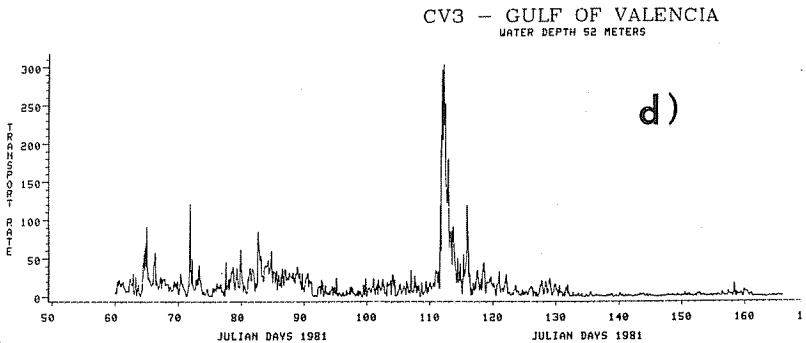


Fig. 3. Time series of suspended sediment transport. CV3.

outer shelf. This facies grades shoreward into a mixed clastic-carbonate sand. The sandy inner shelf sediments are deformed in places into fields of megaripples indicating a response to storm flows. A field of dunes (heights up to 10 meters, spacing about 200-1,000 meters) is present in water depths of 60 to 80 meters offshore of the Albufera de Valencia (Rey et al. 1982; Maldonado et al. in press). The dunes are blanketed by a thin layer of modern muds but appear to be composed mainly of sand. The origin of these features is not certain, but could be related to overstepping of barrier beaches during the last rise of sea level, or to generation at the retreating shoreface by three-dimensional flow processes, or generation in place.

## CV1 - GULF OF VALENCIA

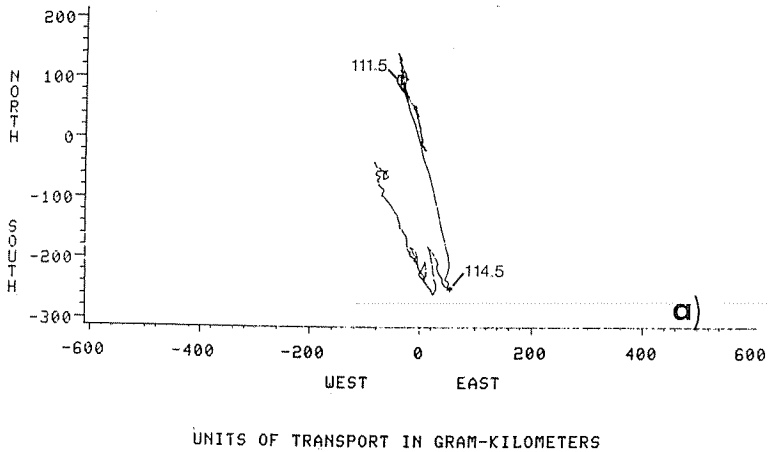
WATER DEPTH 11 METERS  
JULIAN DAYS 60-136

Fig. 4a. Progressive vector diagram showing the rate and direction of suspended sediment transport at CV1. The plot begins at an arbitrary (x, y) coordinate position of (0,0) and is displaced a distance and direction proportional to the average transport rate and direction for each three-hour measurement period

## CV3 - GULF OF VALENCIA

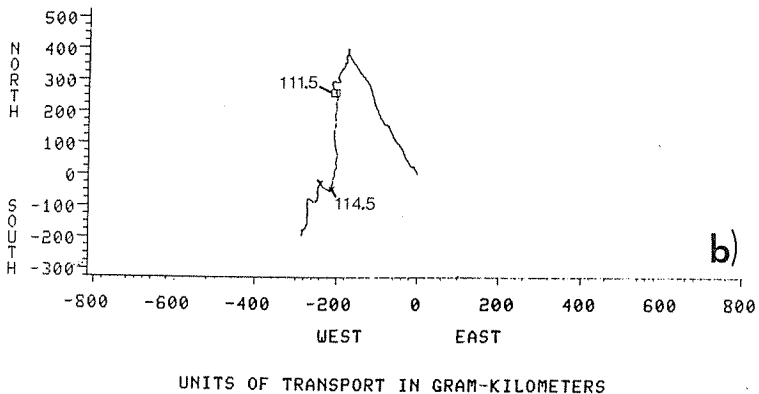
WATER DEPTH 52 METERS  
JULIAN DAYS 60-170

Fig. 4b. The same as 4a but for CV3.

## CV3 - GULF OF VALENCIA

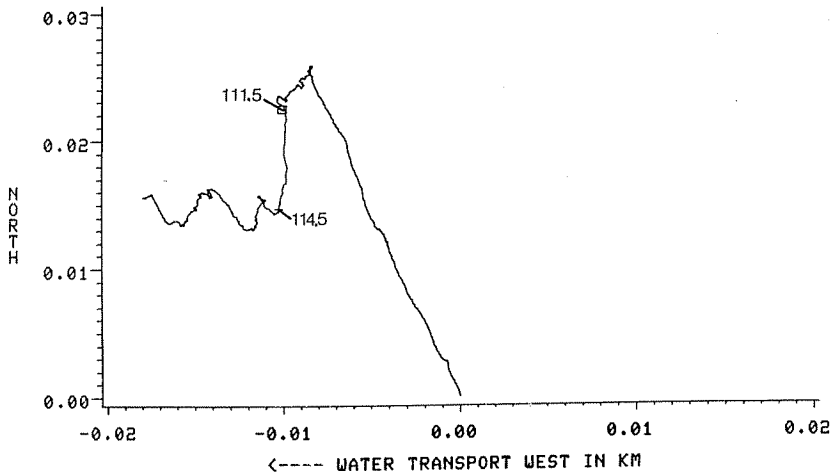


Fig. 5. Progressive vector diagram of water transport for CV3 (JD 60-170). Note the strong onshore component of transport compared with the PVD for sediment transport.

### Methods

In this study radioisotope profiles in cores were used to determine if recognizable changes in short-term sedimentation rates could be correlated with major transport events observed by the CV probes. In addition, the radioisotopes were used in developing a time history or geochronology of recent shelf stratigraphy.

Sediments sampled from box cores were analyzed for the shortlived isotopes lead-210 (Pb-210) and Cesium-137 (Cs-137) to determine sedimentation rates. Depth profiles of Pb-210 can be used to estimate absolute ages of subsurface sediment layers deposited during the past 100-200 years. Cs-137 profiles are related to the effects of biogenic reworking. Taken together vertical profiles of these isotopes in sediment cores yield estimates of sediment accumulation rates (Nittrouer and Sternberg, 1979).

### Results

The distribution of accumulation rates on the Valencia shelf is shown on Figure 6 and indicate a decrease toward the south from Rio Ebro with a local minimum near the Columbretes Islands. Results of theoretical cir-

culuation models for this portion of the Valencian shelf (Han and Kohler, 1982) indicate an intensification of flow speed around the Columbretes when winds are strong and have a large along-shelf component. While this is not verified by observation, results of the model studies could provide an explanation for sediment bypassing while in suspension and traveling south from a presumed source at the Rio Ebro or the Ebro Delta.

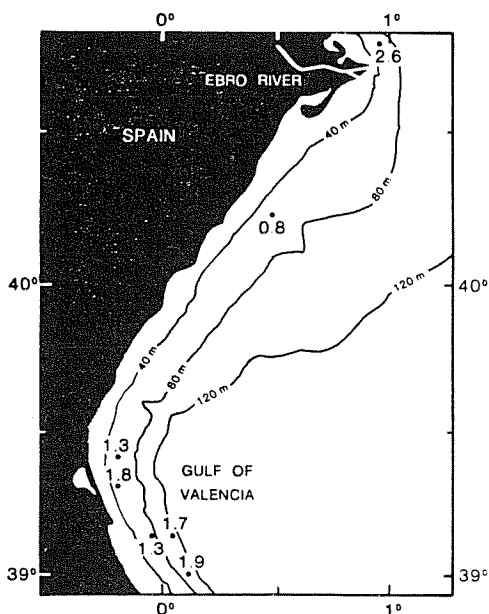


Fig. 6. Accumulation rates of surface muds on the Valencian shelf determined by Pb-210 radiochronology. Rates are apparent and may be much lower where biogenic activity is high (see text).

Burrows and other physical structures seen in cores indicate that biogenic mixing is vigorous, especially in the area between the Ebro Delta and the Columbretes. This may help to explain the presence of excess Pb-210 in subsurface sediments, and would also indicate that the real accumulation rates are lower than the apparent rates measured in the cores. Based on measurements of excess Pb-210 made at North Carolina State Sedimentation Laboratory, accumulation rates may be smaller by half to two-thirds than the apparent rates derived directly from the cores.

Isotopic abundances and ratios between parent and daughter isotopes also indicate that surface sediments are being exchanged regularly with



fresh sediments, presumably from suspension. The resuspension events indicated on the CV probe records tend to support the idea of exchange between suspended and muddy sediments on the mid-shelf at CV3.

## DISCUSSION

The Valencian shelf is a good example of a relatively low energy depositional environment with a source of fine sediments. Under these conditions, accumulations of mud can be expected to occur on the outer and mid-shelf, but not necessarily on the inner shelf (McCave, 1972). These muddy deposits are periodically resuspended and transported downshelf, but accumulation of modern muds is probably negligible because present-day mud supply is limited. Muds fail to accumulate on the inner shelf because of lack of sources (lagoons or estuaries) and because waves and currents are relatively strong (compare speed and wave energy in Figs. 2 and 3).

The Mestral winds from the northwest quadrant are the strongest winds on the Valencian shelf. The orientation of the Valencian shelf is nearly at a right angle to the direction of strongest winds. According to wave theory and observations in the area, the height and period of waves generated by offshore winds increases offshore. Only when the wind has a significant component parallel to the coast are strong waves and currents generated. (Winds with large along shelf components are not as strong during the spring, summer and fall when they are most frequent). Therefore, the periods of strongest and most frequent storms may not coincide with the periods of strongest sediment transport on the Valencian shelf.

Progressive vector diagrams of both storm and calm periods show that downshelf transport of sediments occurs in large discrete steps (e.g. Figures 2-4). These occasional downshelf transport events tend to reduce the upshelf transport, but not completely reserve or nullify it.

It is significant that the apparent northwestward drift of suspended sediments and water during periods of calm was barely offset by the single storm event. Since circulation models and observations for the Valencian shelf suggest a net southerly drift of shelf water (Han and Kohler, 1982), it may be that the northerly drift observed during the 89-day deployment was anomalous. If we accept that the northerly drift represents the residual circulation, it also implies a southerly source of sediments mixing with the bursts of sediment transported south during storms. In any case, occasional bursts of sediment transport from the south are an observed fact which must be incorporated into any working model of sedimentation in the Gulf of Valencia.

Differences between water and suspended load displacement has a larger cross-shelf component, as noted above. This component is probably the result of cross-shelf tidal oscillations. Since tidal velocities are weak,

they make little contribution to sediment transport. The direction of transport is therefore dominated by alongshelf storm flows.

The hypothesis that fine suspended sediments are exchanged regularly with bottom sediments also has implications for environmental problems because pollutants are typically absorbed to fine particles. Equilibria between absorbed pollutants, porewater, and overlying seawater will be periodically disrupted by resuspension and transport, and pollutants may be reintroduced to the ecosystem by desorption during these processes. Particles can be considered to be completely removed from the environment only when buried below biologic reworking depth or by transport off the shelf to deep water.

### BIBLIOGRAPHY

- HAN, G., KOHLER, K. E., 1982. Observed and modelled circulation on the spanish continental shelf near Rio Ebro. Part I. *Report, Science Application Inc. Project 1-424-12-500*, Ocean Physics DIV. P. O. Box 49338, Miami, Florida, 37p. plus appendices A-F.
- MCCAVE, I. N., 1972. Transport and escape of fine-grained sediment in, Swift D. J. P., Duane, D. B. and Pilkey, O. H. eds. *Shelf Sediment Transport - Process and Pattern*, Dowden Hutchinson and Ross, Stroudsburg, Penn, p. 225-248.
- MALDONADO, A.; SWIFT, D. J. P.; YOUNG, R. A.; NITTROUER, C. A.; DEMASTER, D.; REY, J.; PALOMO, C.; ACOSTA, J.; BALLESTER, A.; CASTELLVÍ, J. 1983. Sedimentation on the Valencia Continental shelf: Preliminary results. *Continental Shelf Research* in press.
- NITTROUER, C. A.; STERNBERG, R. W., 1981. The formation of sedimentary Strata in an allochthonous shelf environment: *The Washington Continental Shelf. Mar. Geol.* V, 42 p.201-232.
- REY, J.; DÍAZ DEL RÍO, V., 1983. Sand ridges in the West Mediterranean shelf (Valencia, Spain). *Morphology and Seismic Character*. (Submitted.)

# Modelos sedimentarios en las plataformas continentales del Mediterráneo español: factores de control, facies y procesos que rigen su desarrollo

por

ANDRÉS MALDONADO \* e ISABEL ZAMARREÑO \*

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

## SUMMARY

Comparative analysis of three sectors of the Spanish continental shelf in the Western Mediterranean show a large variety of sedimentary facies generated by a characteristic suite of sedimentary processes. We propose three different sedimentary models for the development of these facies that can be explained in terms of the interplay between several controlling factors. The Ebro Delta continental shelf is a siliciclastic example characterized by thick sedimentary wedges that result from the seaward migration of the prodelta. The building of the continental shelf is controlled by the rate of sediment supply and the shifting of the depocenters paralleling sealevel oscillations. The progressive type of continental margins localized off major deltas in the Western Mediterranean are attributed to this development.

Facies analysis of the Valencia continental shelf show a thick wedge of mud extending offshore from the mid shelf. Pleistocene deposits crop out in the inner shelf due to the relative high wave climate in this sector and the reduced sediment supply. The main processes controlling facies distribution are the wave energy expenditure on the sea floor and the concentration of suspended sediment. The Almería continental shelf has a mosaic distribution pattern of terrigenous, mixed bioclastic-terrigenous and calcareous facies. The factors controlling carbonate accumulation seems to be the lack of terrigenous influx, but other factors may also influence the development of these sediments, such as the substrate variations.

The sedimentary models defined in the Spanish continental shelf may be of application to the analysis of other continental shelves and for the interpretation of the geological record.

## INTRODUCCIÓN

Los modelos conceptuales de sedimentación en plataformas continentales, han sufrido una larga evolución desde los estudios pioneros de principio de siglo hasta la actualidad. Originalmente la plataforma continental se consideraba formada por una transición de sedimentos gruesos en las zonas litorales, hacia sedimentos finos aguas afuera como una función del descenso de la energía del medio (Johnson, 1919). Esta idea fue posteriormente modificada gracias a los estudios de Shepard (1932, 1973) y Emery (1968), que pusieron de relieve cómo gran parte de las plataformas presentan una gradación inversa de tamaño de grano; es decir, los sedimentos más gruesos se localizaban frecuentemente en las partes más externas de la plataforma continental.

En consecuencia, se pasó de un concepto dinámico a un concepto estático, según el cual la plataforma continental era considerada en gran parte formada a partir de sedimentos relictos correspondientes a épocas geológicas pasadas. Estudios posteriores llevaron a definir los conceptos de sedimentos modernos, en equilibrio con las condiciones del medio, sedimentos relictos, que se encuentran en desequilibrio con estas condiciones y sedimentos de tipo palimpsest, constituidos por sedimentos relictos que progresivamente se adaptan a las nuevas condiciones ambientales (Curry, 1965, 1969; Swift, 1970; Swift et al., 1971).

Estudios más recientes durante las dos últimas décadas han demostrado por el contrario, la importancia de los procesos dinámicos actuales en el control y desarrollo de los sedimentos en las plataformas continentales (Stride, 1963; Reineck, 1963; McCave, 1972, y otros). Estos estudios pusieron de manifiesto la gran variedad de estructuras superficiales en el fondo de las plataformas indicativas de una gran variedad de procesos de transporte y deposición de sedimentos, desarrollados en función de la energía del medio (Johnson y Stride, 1969; Kenyon, 1970; McCave, 1971). Análisis y medidas sobre el fondo, de corrientes y concentración de sedimentos han demostrado que existe una transferencia activa de sedimentos, no solamente en la zona litoral sino también sobre gran extensión de la plataforma continental (Swift, 1976 b; Swift et al., 1978).

Además de los factores dinámicos ligados a la energía del medio, existen una serie de factores adicionales que controlan la distribución de facies en las plataformas. Entre éstos se deben citar los factores oceanográficos tanto físicos como químicos, los factores climáticos, los biológicos, la morfología del fondo, ésta última íntimamente ligada al contexto estructural, y asimismo las oscilaciones de estos factores a lo largo del tiempo (Johnson, 1978). Dichos factores interaccionan entre sí para dar lugar a las diferentes características de los depósitos en las plataformas, quedando reflejados en los varios atributos del modelo deposicional considerado.

Estudios previos en las plataformas continentales del Mar Mediterráneo han puesto de manifiesto la relativa importancia de estos factores controlando la sedimentación en las plataformas siliciclasticas, carbonatadas y mixtas (Caulet, 1972; Summerhayes et al., 1978 y otros). Estas plataformas muestran unas diferencias básicas ligadas a los tipos de procesos que rigen la distribución de sedimentos. No obstante se han encontrado asimismo una serie de semejanzas entre las facies de las plataformas desarrolladas bajo condiciones de control netamente diferentes. Estas semejanzas están ligadas a las características deposicionales de cada provincia sedimentaria que condiciona una cierta uniformidad en los tipos de procesos que dan lugar a su desarrollo (Got et al., 1982).

En este trabajo se realiza una descripción de tres ejemplos de sedimentación en la plataforma continental española del Mediterráneo (Fig. 1). Este estudio se orienta como un ensayo de síntesis sobre los factores que controlan la evolución de las plataformas continentales, los tipos de procesos que dan lugar a la formación de facies y los modelos sedimentarios

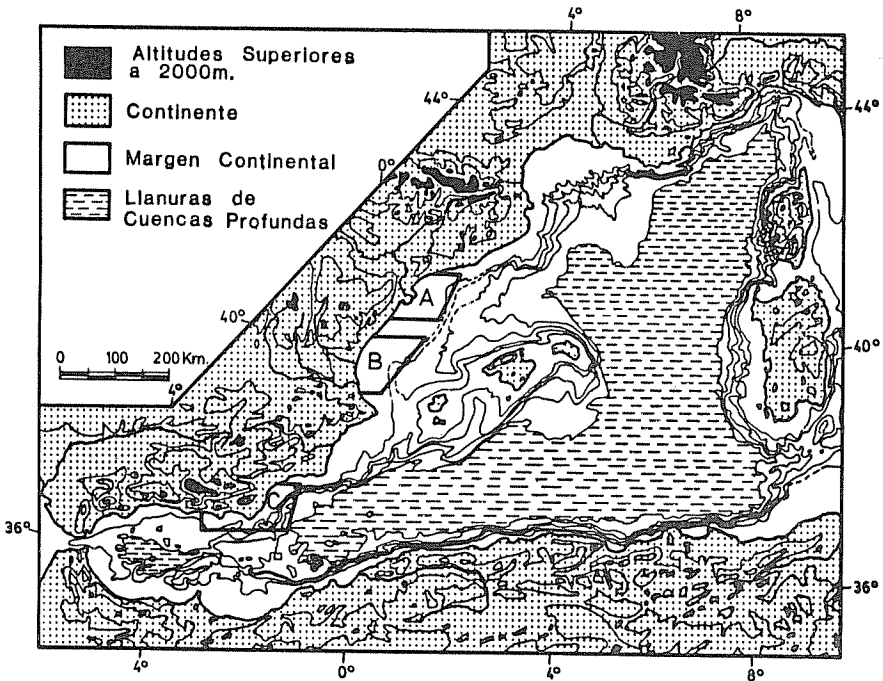


Fig. 1. Mapa batimétrico y topográfico del Mediterráneo Occidental mostrando la localización de las principales cuencas y altitudes topográficas.

resultantes. El estudio de las plataformas continentales consideradas ha sido llevado a cabo en los últimos años dentro de un programa general desarrollado por nuestro grupo. La plataforma continental del delta del Ebro, constituye un ejemplo clásico de plataforma silicoclástica desarrollada bajo influencia deltaica (Maldonado, 1975; Maldonado et al., 1980; Alonso, 1981; Alonso y Maldonado, 1983). La investigación de la plataforma continental del Golfo de Valencia fue fundamentalmente llevada a cabo como parte de un estudio multidisciplinar dentro del proyecto del Comité Conjunto Hispano-Americano de Plataformas Continentales (Maldonado et al., 1983 a). El estudio de la plataforma continental de Almería, que constituye un ejemplo de plataforma mixta con sedimentación carbonatada y sedimentación silíceo-clástica controlada por abanicos aluviales deltaicos, fué llevado a cabo dentro del programa FOMAR del I.G.M.E. de estudio de plataformas continentales (Baena et al., 1982; Zamarreño et al., 1982).

### FACTORES GEOLÓGICOS QUE CONTROLAN LA SEDIMENTACIÓN SOBRE LA PLATAFORMA CONTINENTAL

Desde el punto de vista de la dinámica en las plataformas continentales, procesos y facies, se pueden distinguir básicamente dos sectores en la plataforma continental:

- 1) El litoral.
- 2) La plataforma continental (Fig. 2).

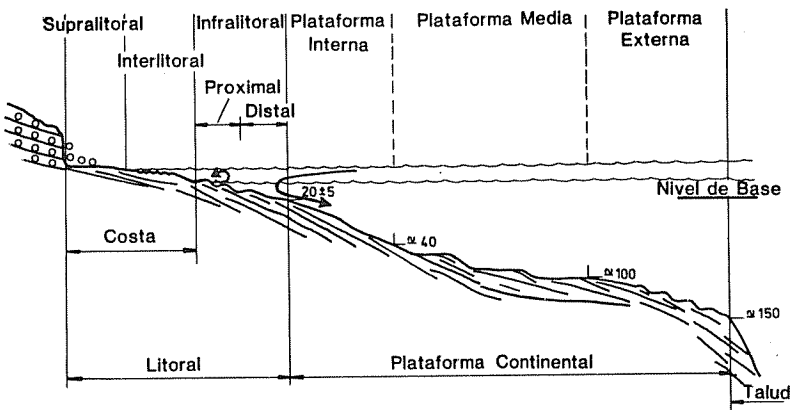


Fig. 2. Perfil esquemático representativo de las principales provincias deposicionales de la plataforma continental.

El sector litoral abarca desde el límite superior hacia tierra de acción del oleaje hasta el nivel inferior de acción de este oleaje en condiciones normales o nivel de base. Este es el sector con más energía debido a los diferentes tipos de corrientes climáticas que actúan por encima del nivel de base del oleaje. La plataforma continental propiamente dicha, se extiende a continuación del litoral hasta la ruptura de pendiente a  $150 \pm 20$  metros. Ambas zonas están diferenciadas por un conjunto de procesos y factores de control característicos.

La zona litoral representa un equilibrio dinámico que generalmente se considera constituido por gradientes en pendiente y en tamaño de grano hacia aguas afuera. Estos gradientes corresponden a la pérdida de energía de las olas con la profundidad a partir del punto de ruptura del oleaje. Es decir, la profundidad puede ser considerada como una función de la distancia a la línea de costa y también del tamaño de grano (Wright y Coleman, 1974; Swift, 1976 a).

El desarrollo de la plataforma continental por el contrario está controlado por otro tipo de procesos de mayor duración a escala geológica. Entre éstos destacan los siguientes:

- 1) El contexto estructural y la morfología del margen continental a él ligado.
- 2) El clima y sus fluctuaciones.
- 3) Las oscilaciones relativas del nivel del mar.
- 4) La oceanografía física y química de la zona.
- 5) Los factores biológicos.

Cada uno de estos factores influye predominantemente sobre una o varias de las características deposicionales del modelo de plataforma continental considerado.

### *El contexto morfo-estructural*

Los tres ejemplos de plataformas continentales estudiadas en el Mediterráneo español se encuentran desarrolladas sobre márgenes continentales de tipo pasivo. En el Mediterráneo occidental, básicamente se han diferenciado, tres tipos de márgenes: progresivos o progradantes, intermedios y márgenes abruptos (Stanley, 1977; Mauffret, 1979; Serra et al., 1979). El margen de tipo progradante corresponde a la plataforma continental del Ebro y a gran parte de la plataforma continental de Valencia. Por el contrario la plataforma continental de Almería, se encuentra localmente sobre un margen de tipo progresivo y en otros sectores sobre márgenes de tipo intermedio o abrupto.

Los márgenes progresivos son debidos a una fuerte acumulación de sedimentos y se encuentran frente a los mayores deltas tales como los del Ebro y del Ródano. Los márgenes del tipo abrupto, son característicos de zonas de aporte sedimentario reducido y en donde la estructura del basamento acústico no ha sido recubierta (Fig. 3). El factor tectónico y fun-

damentalmente la subsidencia termal en relación con los aportes sedimentarios, ha dado lugar a las características del recubrimiento y morfología. Otra diferencia entre los tres sectores estudiados se centra en que la plataforma continental del Ebro y Valencia se encuentran en una posición externa o ligeramente oblicua con respecto al orógeno, mientras que la plataforma de Almería se localiza dentro de una orogenia de tipo divergente (Auzende et al., 1975; Biju-Duval et al., 1978; Mauffret, 1979).

### El clima

El clima influye en la sedimentación de la plataforma continental de dos modos diferentes: por una parte condicionado el tipo de procesos que

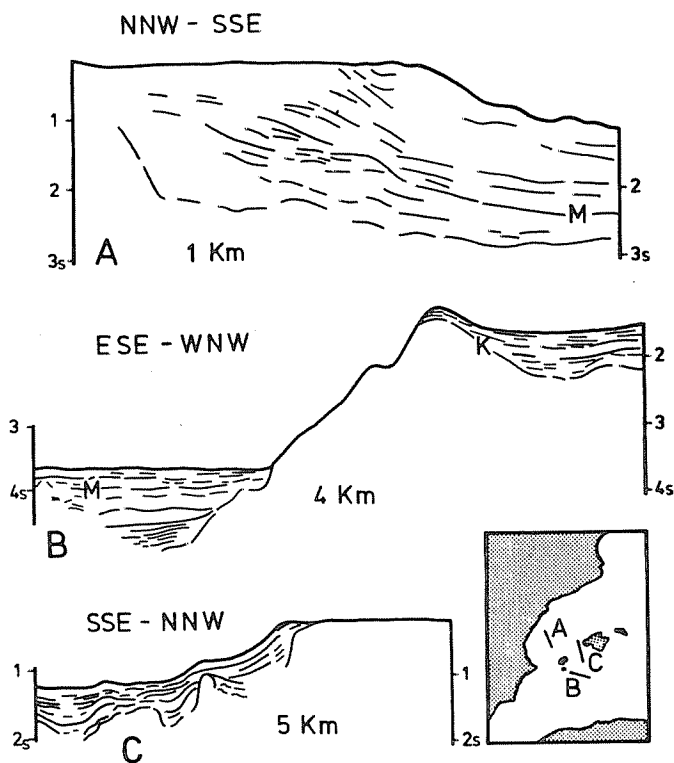


Fig. 3. Perfiles litoestratigráficos del margen continental del Mediterráneo occidental español, ilustrando los tres tipos de márgenes caracterizados en este sector. A, Margen de tipo progresivo; B, Margen de tipo abrupto; C, Margen de tipo intermedio. M. reflector correspondiente al techo del Mioceno superior. Modificado de Serra et al. (1979).



actúan en el medio marino y por otra parte influenciando de una manera concreta el aporte de sedimentos y sus características.

Aunque la gradación climática entre los tres sectores estudiados de la plataforma continental española no es muy significativa, si existen variaciones climáticas que influyen sobre la sedimentación. Las diferencias climáticas afectan al continente condicionando un régimen fluvial y aporte sedimentario netamente distinto, tal como los casos extremos de los ríos Ebro y Andarax. Asimismo, en el medio marino se observa una ligera gradación de la temperatura media del agua entre las plataformas del Ebro y de Almería la cual, como será discutido en los capítulos sucesivos, tiene un control sobre los tipos de sedimentación carbonatada o silíceo-clástica.

### *El factor eustático*

Las variaciones eustáticas en el desarrollo de las plataformas continentales estudiadas han actuado de manera paralela dado que han estado condicionadas por fluctuaciones generalizadas a nivel de la cuenca. Desde el momento de su creación en el Terciario, la fluctuación más importante fué la debida a la desecación de la cuenca Mediterránea durante el momento de la crisis de salinidad del Mesiniense. A partir de este momento, las diversas fluctuaciones del Cuaternario condicionadas por los cambios climático-eustáticos han modificado notablemente la sedimentación en diversas épocas en los tres sectores estudiados (Maldonado, 1983).

### *Las corrientes climáticas*

Hay una gran variedad de procesos físicos regidos por las características climáticas que influyen la energía del medio controlando la sedimentación sobre la plataforma continental. Básicamente hay cuatro tipos de corrientes que determinan el nivel energético y el transporte de sedimentos en el medio marino. Estas son las corrientes debidas al régimen de circulación oceánica a escala global, las corrientes residuales producidas por mareas, las corrientes meteorológicas y las corrientes de densidad. El significado de estas corrientes es muy distinto en los varios sectores de la plataforma continental (Swift et al., 1971).

En las plataformas estudiadas del Mar Mediterráneo el régimen general de circulación tiene una mayor importancia en el desarrollo de las plataformas en el Mar de Alborán. El sistema general de intercambio de masas de agua superficial de procedencia Atlántica y profunda de procedencia Mediterránea en el Mar de Alborán da lugar a la formación de determinados tipos de depósito ligados a la distribución de estas masas de agua (Milliman et al., 1972; Stanley et al., 1975 a).

Sin embargo, son las corrientes meteorológicas controladas por el clima, tales como el oleaje debido al régimen general de vientos y las tormentas,

las que tienen una mayor influencia en el desarrollo de las plataformas continentales del Mediterráneo. De los distintos tipos de corrientes meteorológicas, las más importantes indudablemente en el sector levantino y catalán son las producidas por los temporales marinos, en especial los levantes con componentes del Noreste. Éstos son producidos por vientos originados en los Alpes septentrionales de Italia y alcanzan las costas desde el E-NE siendo frecuentemente fuertes y persistentes. Producen temporales con una frecuencia de 8-10 veces al año, generalmente durante la primavera y el otoño y crean frentes de olas que alcanzan la costa de manera oblicua jugando un papel importante en el transporte litoral de sedimentos y morfología de las playas (Maldonado, 1972, 1975).

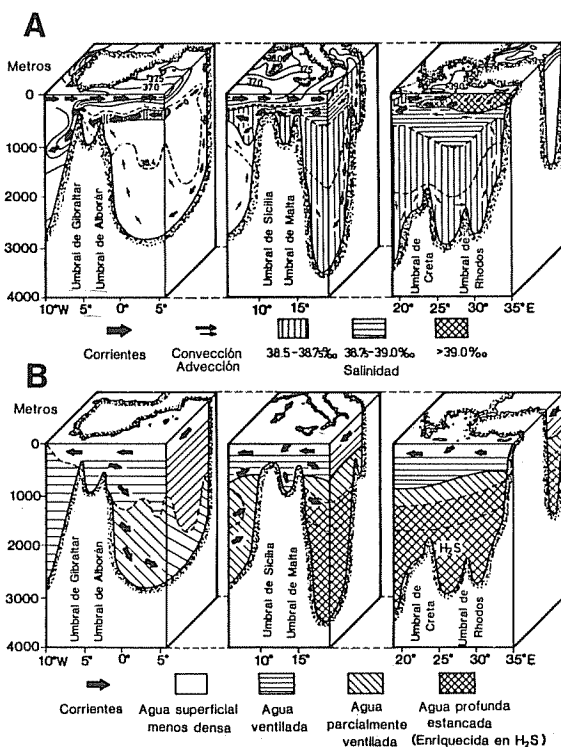


Fig. 4. Bloques diagramas mostrando los esquemas de circulación predominante en el Mar Mediterráneo. A, Modelo de circulación actual. El agua de procedencia atlántica se distribuye en superficie y el agua de procedencia mediterránea en profundidad; B, Modelo interpretativo proponiendo una inversión del sistema de corrientes condicionado por las fluctuaciones climático-eustáticas del Cuaternario superior, que dieron lugar a una alteración del balance hídrico. Modificado de Maldonado (1978).

Aunque el efecto debido a los vientos sobre el desarrollo de procesos y sedimentos en la plataforma continental es menos conocido, los estudios recientes por medio de modelos diagnósticos en el Golfo de Valencia han puesto de relieve que pueden tener alguna influencia sobre el desarrollo de los depósitos (Maldonado et al., 1983 a). En particular corrientes relativamente débiles inducidas por el régimen general de circulación debido al viento pueden afectar la distribución de los sedimentos finos y su acumulación en determinados sectores de la plataforma continental.

Por otra parte, el régimen de circulación actual en los océanos no ha sido permanente. Para el Mediterráneo ha sido propuesto un modelo de circulación en el cual aguas menos densas y menos salinas procedentes del Mediterráneo fluirían en superficie hacia el Atlántico (Stanley et al., 1975 a; Maldonado, 1978; Fig. 4). La influencia de este fenómeno en la sedimentación profunda es bien conocida y aunque su relativa importancia en la sedimentación de plataforma no ha sido demostrada es indudable que ha tenido que controlar la formación de los diferentes depósitos silico-clásticos y carbonatados característicos de las plataformas (Milliman et al., 1972; Maldonado y Stanley, 1976).

#### *Los factores biológicos*

Los factores biológicos influyen en la distribución de sedimentos en las plataformas continentales de dos modos: por una parte modificando la naturaleza del sedimento por procesos de retrabajamiento y de otra contribuyendo con sus esqueletos a una proporción de la composición de los depósitos. Así, en determinadas plataformas continentales los componentes biógenos pueden llegar a formar más del 90 % del sedimento total.

La diferencia de la naturaleza del fondo sobre este factor en los ejemplos estudiados está claramente representada por la distribución de los depósitos de la plataforma continental de Almería. En este sector hay una distribución del sedimento en tipo mosaico donde la abundancia de las comunidades bentónicas está en gran parte asociada a la naturaleza litológica del fondo. En la plataforma del Ebro, dominada por procesos de aporte de sedimentos finos en suspensión a partir del río, los factores dominantes por el contrario, son la concentración de sedimentos en suspensión y la energía sobre el fondo.

## MODELOS SEDIMENTARIOS EN LAS PLATAFORMAS DEL MEDITERRÁNEO ESPAÑOL

Los márgenes continentales de tipo pasivo del Mediterráneo Occidental inician su desarrollo en el Terciario como resultado de los fenómenos de creación de estas cuencas. Los tres estilos de márgenes caracterizados

en este sector, progresivos, intermedio y abrupto se definen en base a la estructura del basamento acústico y de la geometría de las unidades que forman el recubrimiento sedimentario (Stanley 1977; Mauffret, 1979; Serra et al., 1979). Los márgenes progresivos se localizan preferentemente en zonas de fuertes aportes sedimentarios, tales como aguas afuera de los deltas del Ebro y Ródano (Fig. 5). En sectores de aporte sedimentario reducido y donde el basamento acústico está afectado por fallas de gran desplazamiento, el margen continental corresponde al tipo abrupto.

La plataforma continental del delta del Ebro es un ejemplo clásico desarrollado sobre margen de tipo progresivo. Esta plataforma es una de las más extensas del Mediterráneo occidental con una anchura promedio de 60 a 70 Km (Fig. 1). Presenta una morfología subhorizontal que se extiende hasta la ruptura de pendiente que marca el inicio del talud a una batimetría de  $160 \pm 20$  m. Los únicos resaltes morfológicos que se

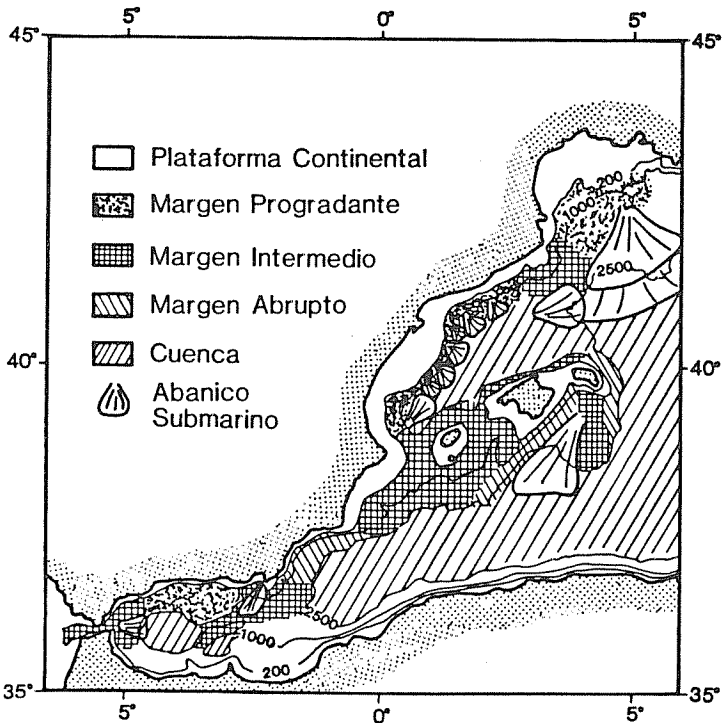


Fig. 5. Mapa esquemático mostrando la distribución de los principales tipos de márgenes y provincias deposicionales en el Mediterráneo Occidental. Modificado de Maldonado (1983).

encuentran corresponden a antiguas líneas de costa y a depósitos de barras de arena desarrollados bajo diferentes condiciones hidrodinámicas y batimétricas. La plataforma de Almería por el contrario pertenece a un margen de tipo abrupto en la zona occidental y de tipo intermedio en el sector meridional. Esta plataforma presenta una extensión media de 5 kilómetros y con una cobertera sedimentaria muy reducida. Su morfología asimismo es accidentada, con numerosos relieves de pequeña escala correspondiente a formaciones bioconstruidas o resaltes morfológicos de terrazas marinas relictas y barras de arena. La plataforma continental de Valencia es un caso intermedio entre estas dos, aunque sus características se asemejan más a la plataforma del delta del Ebro que a la plataforma de Almería (Figuras 1 y 5).

### *La plataforma continental del delta del Ebro*

#### Unidades litosísmicas.

Análisis de perfiles sísmicos de alta resolución (3,5 kHz y Surfboom) han demostrado la presencia de una potente secuencia de unidades que forman el relleno sedimentario de la plataforma continental aguas afuera del delta del Ebro (Fig. 6). Las diferentes unidades litosísmicas se diferencian por la geometría y el carácter sísmico de los reflectores y están individualizadas en su techo y muro por superficies de discordancia (Maldonado et al., 1980, 1981). El desarrollo de unidades litosísmicas separadas por superficies de discordancia ha sido interpretado en otras plataformas en términos de cambios relativos del nivel del mar. Un descenso del nivel de base se supone que resulta en erosión, mientras que el depósito tendría lugar durante fases asociadas con ascensos eustáticos (Vail et al., 1977). En base a este modelo conceptual ha sido interpretada la estratigrafía de numerosas plataformas continentales y propuestas escalas que muestran las variaciones eustáticas del nivel del mar desde el Jurásico hasta la actualidad. La estratigrafía de la plataforma del Delta del Ebro puede ser explicada en términos similares, aunque hay varios problemas que hacen difícil la aplicación directa de dicho modelo (Maldonado et al., 1983 b).

De techo a muro se distinguen las siguientes unidades litosísmicas en esta plataforma continental (Figuras 6 y 7):

- 1) La unidad superior, en forma de cuña y que presenta sus máximos espesores alrededor de la desembocadura del Delta del Ebro; esta unidad se adelgaza fuertemente aguas afuera y llega a desaparecer en la plataforma externa. Los reflectores internos de esta unidad son discontinuos y paralelos al fondo marino, estando además caracterizados por la presencia de zonas de fuerte adsorción de la energía acústica debido a acumulaciones de metano en los sedimentos (Chas-

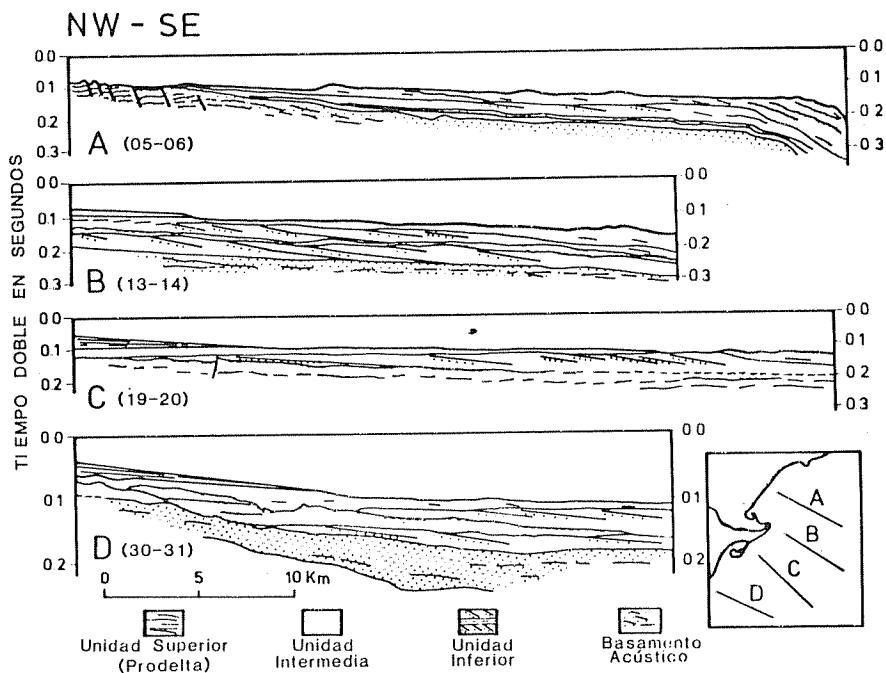


Fig. 6. Perfiles de la plataforma continental del Delta del Ebro mostrando la distribución de las principales unidades litoestratigráficas. Modificado de Maldonado et al., 1983 b.

sefière et al., 1970; Aloisi et al., 1975; Ballester et al., 1981). Esta unidad corresponde básicamente a los depósitos del prodelta formados a partir del aporte de sedimentos por el río Ebro (Maldonado 1975).

- 2) La segunda unidad presenta sus máximos espesores hacia el borde de la plataforma continental donde llega a tener más de 40 milisegundos. Esta unidad presenta un carácter sísmico muy variable en los diferentes sectores de la plataforma. En las partes internas está constituida por reflectores discontinuos subhorizontales, pero fuertemente reflectantes y generalmente aislados en zonas más transparentes. Por el contrario, en las partes externas de la plataforma aparecen una secuencia de reflectores relativamente continuos y ondulados, que seguramente representan fenómenos de deslizamiento en masa. Esta unidad corresponde a varios tipos de depósitos de plataforma continental formados por diversos procesos sedimentológicos.

3) Debajo de las dos primeras unidades que forman el recubrimiento superficial de la plataforma continental, existe una unidad constituida por tres paquetes sedimentarios diferenciables por la naturaleza de los reflectores internos. Los paquetes litosísmicos superior e inferior están formados por reflectores buzantes aguas afuera con fuerte inclinación mientras que el paquete medio está constituido bien por reflectores paralelos o reflectores discontinuos erosivos. Esta unidad, por analogía con la unidad superior es atribuida a la superposición de cuñas prodeltaicas progradantes sobre la plataforma continental, que dan lugar a la formación de un potente prisma sedimentario.

Mecanismos de edificación de la plataforma continental

Los mecanismos propuestos para el desarrollo de esta plataforma continental implican que la edificación por potentes cuñas deltaicas superpuestas básicamente ocurre durante fases de descenso del nivel del mar (Maldonado et al., 1983 b). Por el contrario las fases transgresivas darían

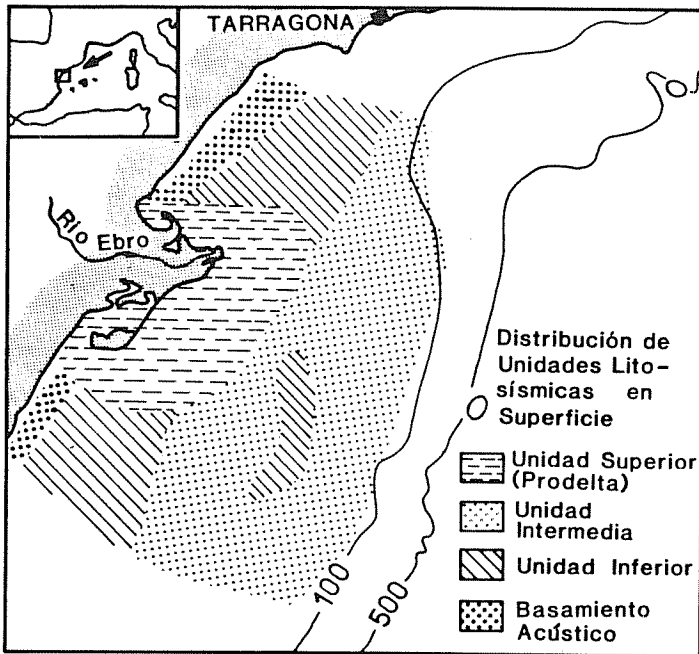


Fig. 7. Mapa esquemático de la distribución de unidades litosísmicas en la plataforma continental del Delta del Ebro. Modificado de Maldonado et al., 1981.

lugar a erosión de los depósitos previos de la cuña prodeltaica localizados por encima del nivel de equilibrio del oleaje (Figura 8). Un análogo actual se encuentra en el Delta reciente cuando un lóbulo deltaico es abandonado en favor de otro nuevo (Maldonado 1972). Después del abandono de un lóbulo todos los sedimentos situados por encima del nivel de base del oleaje son erosionados, formándose una plataforma de abrasión prodeltaica, vestigio de la localización del antiguo prodelta.

La progradación aguas afuera de la cuña deltaica es el resultado del depósito de los sedimentos detríticos aportados por el río debido a procesos físico-químicos a partir de la interfase agua dulce-agua salada. El prodelta es el producto final de un delicado balance entre las oscilaciones del nivel del mar y el aporte de sedimentos por el río en función de las

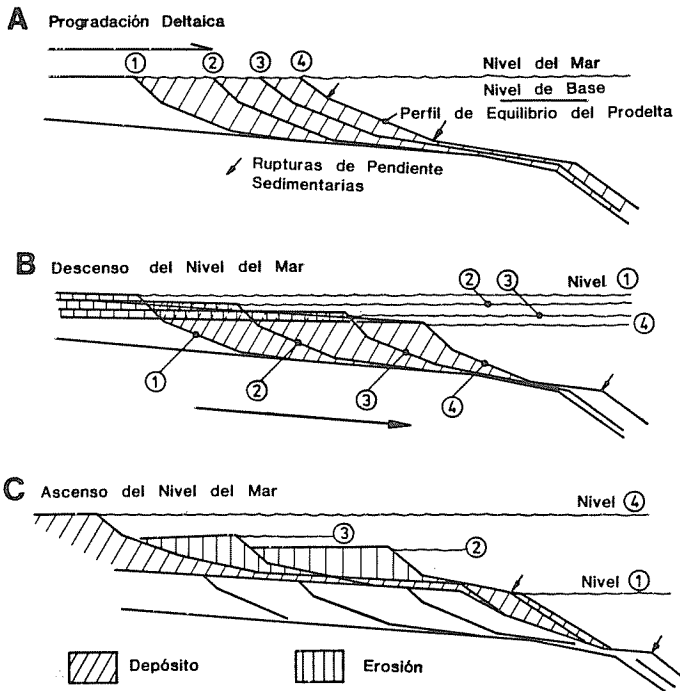


Fig. 8. Diagramas evolutivos con los procesos de edificación y desarrollo de plataformas continentales siliciclasticas en áreas deltaicas. Los diferentes esquemas representan la relación entre los índices de cambios del nivel del mar y el aporte de sedimentos a partir del río dando lugar a la formación de potentes cuñas prodeltaicas (A). La plataforma continental se edifica básicamente durante estadios de descenso del nivel del mar (B), mientras que durante fases de ascenso eustático se forman extensas superficies de erosión (C). De Maldonado et al., 1983 b.



condiciones oceanográficas reinantes en cada momento. El material terrígeno es suministrado esencialmente al prodelta por una capa nefeloide profunda que se inicia en la boca del río en el contacto entre agua dulce y agua salada (Aloisi et al., 1979). La sedimentación diferencial a partir de la capa nefeloide da lugar a un descenso progresivo de tamaño de grano y contenido en limos a partir de la boca del río, y al desarrollo de una cuña sedimentaria que se adelgaza aguas afuera. Este proceso está asimismo ilustrado por los gráficos de distribución de los tipos de facies sedimentológicas y geoquímicas los cuales demuestran, además, la importancia de la floculación electroquímica en el desarrollo de los depósitos finos del prodelta (Alonso, 1981). El prodelta proximal está caracterizado por la sedimentación rápida de las suspensiones más gruesas, mientras que las suspensiones finas enriquecidas en metales pesados y materia orgánica son transportadas aguas afuera por la capa nefeloide hacia la plataforma continental media.

Como consecuencia de estos procesos la distribución de facies sobre la superficie de esta plataforma continental está directamente controlada por el aporte de sedimentos terrígenos a partir de la boca del río en función de las condiciones hidrodinámicas y el régimen general de circulación (Figura 9). Los depósitos más groseros se localizan en el frente deltaico y a lo largo del litoral. En el frente deltaico los depósitos groseros están constituidos por arenas medias bien clasificadas mientras que en las zonas litorales no deltaicas los depósitos están predominantemente constituidos por gravas procedentes de la erosión de los antiguos abanicos aluviales que forman acantilados y asimismo de los aportes procedentes de las ramblas aluviales. A partir del frente deltaico hay una progresiva disminución de tamaño de grano. En el prodelta proximal predominan los limos mientras que en el prodelta distal predominan las arcillas limosas. La parte más externa de la plataforma continental está de nuevo recubierta por depósitos groseros correspondientes a antiguos ambientes litorales formados durante el último descenso eustático del nivel del mar. Los depósitos litorales relictos pueden representar bien flechas litorales o barras de arena formadas por las corrientes de refluo en la zona sumergida.

La contribución biógena a los depósitos de esta plataforma es generalmente baja, excepto localmente en los ambientes litorales y en áreas de poco aporte terrígeno, que pueden llegar a constituir más del 50 %. Esta plataforma continental es en consecuencia, un ejemplo clásico de sedimentación silicoclástica controlada en su desarrollo fundamentalmente por el equilibrio dinámico entre los aportes terrígenos del río ligados a las condiciones hidrodinámicas reinantes en cada momento. La parte interna de la plataforma y medios litorales se encuentran actualmente en un equilibrio dinámico entre los procesos y las facies. Por el contrario en las partes externas de la plataforma hay depósitos relictos o depósitos palimpsests, formados bajo condiciones hidrodinámicas diferentes de las actuales y que están siendo modificadas por la nueva situación.

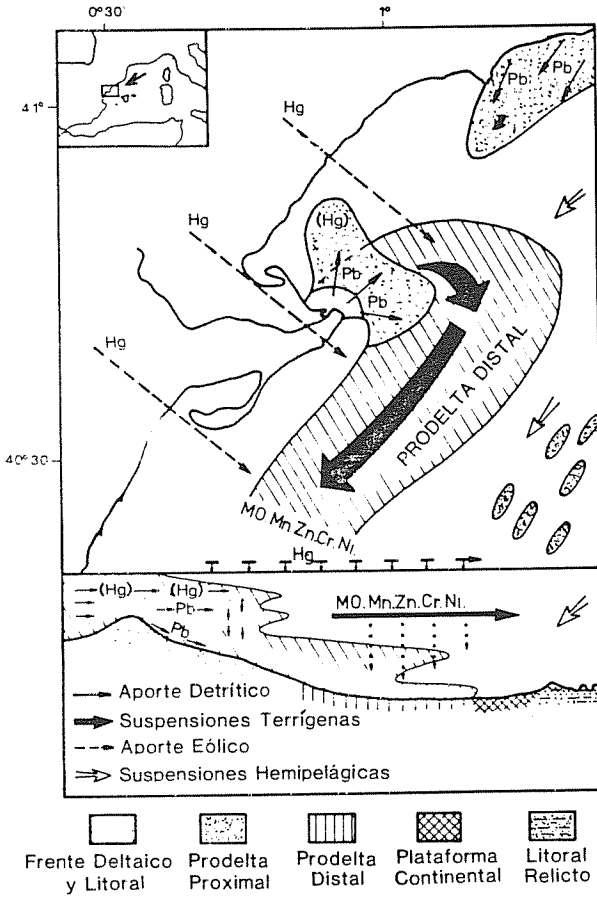


Fig. 9. Esquema ilustrativo de los principales tipos de procesos actuantes en la plataforma continental del Delta del Ebro. El esquema muestra el desarrollo de una capa nefeloide profunda y la sedimentación preferencial de los aportes terrígenos del río en los diferentes sectores del Delta y plataforma continental. Modificado de Alonso y Maldonado (1983).

### La plataforma continental del Golfo de Valencia

La plataforma continental del Golfo de Valencia se localiza asimismo sobre un margen continental estable de tipo progresivo, aunque en el sector sur hay una transición hacia margen de tipo intermedio con una cobertera sedimentaria mucho más reducida (Mauffret, 1979). En contraste

con la plataforma continental del Delta del Ebro, en este sector el suministro sedimentario de origen continental es mucho más restringido y se realiza sólo esporádicamente durante las grandes tormentas cuando una notable cantidad de sedimentos son aportados al medio marino.

### Distribución de unidades

Esta plataforma está caracterizada por la existencia de una cuña sedimentaria transparente que se desarrolla a partir de la plataforma media para alcanzar su máximo espesor en la plataforma continental externa (Rey y Díaz 1982; Maldonado et al., 1983 a). Por el contrario, los medios litorales y la plataforma interna están caracterizados por afloramientos en extensas zonas de series del Pleistoceno medio o inferior que solamente se encuentran recubiertos localmente por sedimentos recientes. En la zona infralitoral proximal existe un prisma sedimentario detrítico cuyo espesor y distribución está íntimamente ligado a la presencia de aportes puntuales a la línea de costa, generalmente por las ramblas de régimen esporádico.

La distribución superficial de sedimentos recientes refleja una progresiva disminución de tamaño de grano aguas afuera encontrándose depósitos de gravas o arenas en los ambientes litorales y depósitos de lodos finos arcillosos en la plataforma media y externa (Figura 10). Esta distribución no es uniforme y en el sector central de la plataforma continental aparece un área recubierta por arenas limpias atribuidas a depósitos litorales relictos. Estratigráficamente los análisis de testigos de pistón ponen de relieve una secuencia general de disminución de tamaño de grano, con depósitos de tipo litoral en la base que pasan gradualmente hacia arriba a depósitos de plataforma continental (Figura 11). La excepción a esta regla se localiza en el sector central de la plataforma continental cubierto por las barras y dunas de arena donde no existe este tipo de secuencia a excepción de una delgada lámina superficial de sedimentos finos.

### Procesos de edificación de la plataforma

Los depósitos basales de estas secuencias son atribuidos al producto de la erosión de los ambientes litorales durante las fases de ascenso eustático del nivel del mar que implica un desplazamiento hacia tierra de los ambientes litorales (cf. Swift, 1976 a). La arena generada por este proceso es barrida aguas afuera para acumularse como un depósito residual sobre las gravas y depósitos groseros correspondientes a ambientes litorales más someros (Figura 12). Esto conlleva un descenso gradual estratigráfico del tamaño de grano que pasa hacia arriba de gravas y arenas gruesas a arenas finas a medida que se efectúa el desplazamiento de la zona litoral

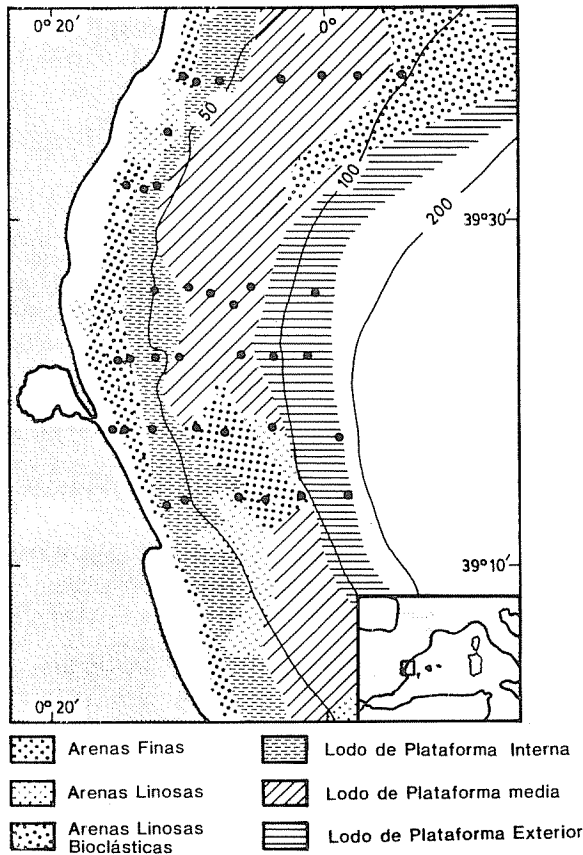


Fig. 10. Esquema de distribución de los tipos de sedimentos superficiales en la plataforma continental de Valencia, basado en muestras de dragas de cuchara y techo de los testigos de pistón según Maldonado et al., 1983 a.

hacia la tierra. El aumento progresivo de la profundidad, consecuente al ascenso del nivel del mar, lleva a la instalación progresiva en el lugar de los ambientes deposicionales más distales. Este proceso general desarrolla una secuencia de disminución de tamaño de grano hacia arriba que es el resultado directo de la transgresión. Si la transgresión se realiza relativamente rápida o las condiciones dinámicas y morfológicas del fondo impiden el desarrollo progresivo de los litotopos superficiales adyacentes se producen discontinuidades estratigráficas de diferente escala en la secuencia sedimentaria (Figura 13).

La extensión y posición de los depósitos de lodo en este tipo de plataforma continental, así como en otras muchas plataformas del mundo, están determinados por los valores relativos de pérdida de energía de los fluidos sobre el fondo y de las concentraciones de sedimentos en suspensión cerca del fondo (McCave, 1972). En este esquema, los depósitos de lodo pueden estar localizados en zonas de profundidad relativamente restringidas o pueden por el contrario cubrir prácticamente la plataforma continental incluso hasta el límite interno de marea alta cuando el aporte relativo de lodos es muy importante en relación a la energía de las corrientes climáticas. La plataforma continental de Valencia se encuadra cerca del extremo de la lámina continua de lodo, aunque el régimen general de las corrientes climáticas es suficientemente energético para mantener una zona infralitoral de arenas relativamente limpias.

La sedimentación en este tipo de plataformas continentales se puede subdividir por lo tanto en dos provincias deposicionales principales (Figura 14). La zona litoral y la plataforma continental interna están afectadas por flujos de retorno canalizados producidos por tormentas, los cuales

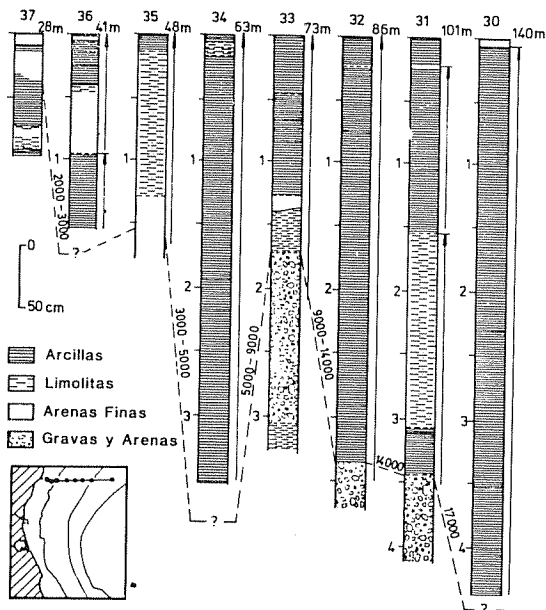


Fig. 11. Perfil: litológicos esquemáticos de testigos continuos de pistón recogidos en la plataforma continental de Valencia según una radial perpendicular al litoral aguas afuera del puerto de Sagunto. La correlación del nivel basal transgresivo en los testigos se ha realizado por interpretación de facies y comparación con las curvas eustáticas del Mediterráneo Noroccidental.

determinan la erosión del litoral y transferencia activa de sedimentos, al mismo tiempo que dan lugar al desarrollo de una capa basal de arena y grava. La sedimentación de lodo prevalece sobre el resto de la plataforma continental. Los sedimentos en suspensión son transportados hacia el sur a lo largo de la plataforma continental, probablemente a partir de fuentes

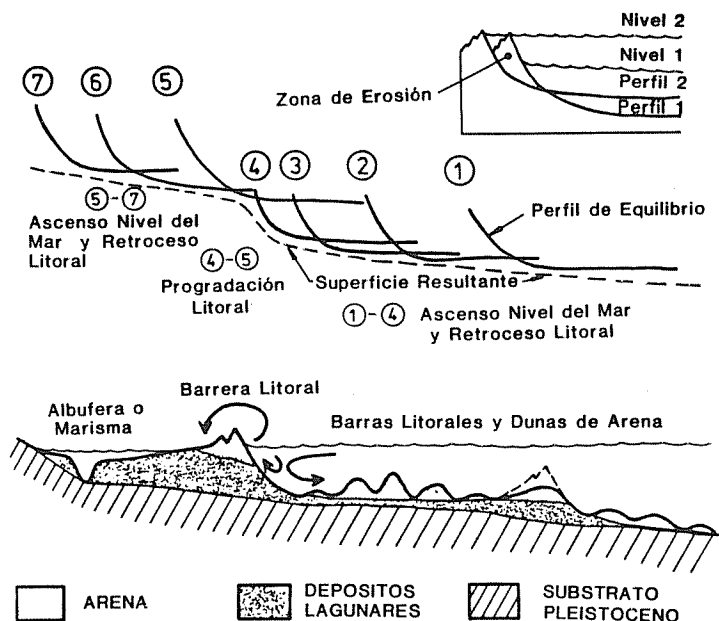


Fig. 12. Modelos esquemáticos ilustrativos de la distribución de procesos y sedimentos en la zona litoral. Asimismo se representa el modelo genético para el desarrollo de la unidad transgresiva basal de las secuencias en plataformas continentales. Según este modelo, durante las fases de ascenso eustático, la parte del litoral que se encuentra por encima del perfil de equilibrio determinado por las condiciones dinámicas de la zona es eliminada a medida que la transgresión progresa. Modificado de Swift 1976 a.

distales como el Delta del Ebro y se mueven hacia la zona externa de la plataforma por fenómenos de difusión y advección. En la plataforma continental externa la contribución de sedimentos biógenos llega a ser mucho más importante y puede constituir más del 50 % de las facies sedimentarias desarrolladas en este sector.

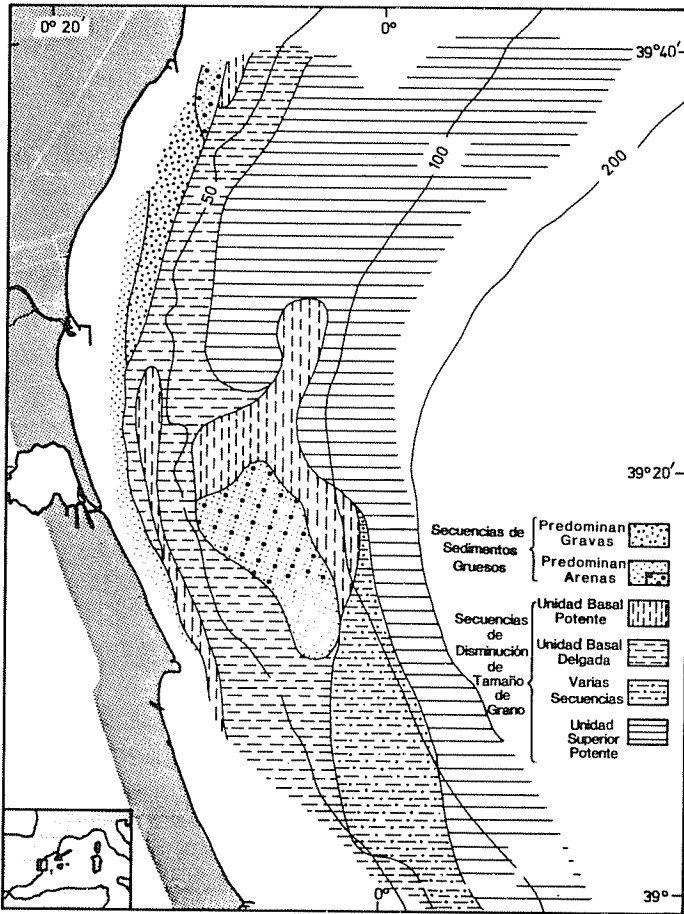


Fig. 13. Mapa de distribución en superficie de los tipos de sedimentos y secuencias sedimentarias del Holoceno en la plataforma continental de Valencia.

### *La plataforma continental de Almería*

El margen continental estable de Almería, a diferencia de los anteriores, se localiza internamente respecto a una orogenia de tipo divergente. Esta orogenia dio lugar al desarrollo del Mar de Alborán como una cuenca interna a un arco (Dillon et al., 1980; Maldonado 1983). Su edad es más reciente, puesto que se formó a partir del Mioceno medio, mientras que los márgenes continentales del Mediterráneo Noroccidental se inicia-

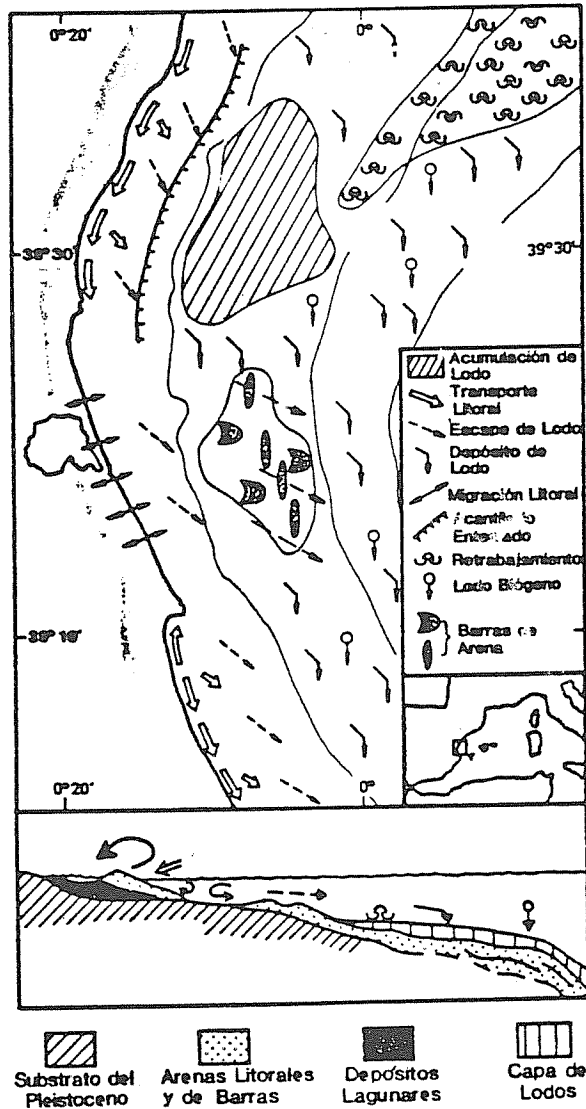


Fig. 14. Esquema ilustrativo de los principales tipos de procesos que han controlado la sedimentación durante el Holoceno en la plataforma continental de Valencia. Se representan de manera esquemática los diferentes orígenes de los sedimentos finos que forman la capa de lodos localizada en la plataforma externa. Modificado de Maldonado et al., 1983 a.



ron en el Oligoceno superior. Hay asimismo dos estilos de márgenes en la plataforma de Almería (Figura 5). El sector oriental está representado por un margen de tipo abrupto, mientras que el sector meridional pertenece a un margen de tipo intermedio o a un margen de tipo progresivo.

La extensión de esta plataforma continental es muy reducida en comparación con las del Golfo de Valencia y del Delta del Ebro, alcanzando una anchura promedio de unos 5 km, excepto en algunos sectores tal como el Cabo de Gata donde llega a superar los 15 km (Figura 1).

Distribución de unidades y facies

Los recubrimientos sedimentarios son poco potentes en la generalidad de toda la plataforma continental con la excepción del Golfo de Almería donde se desarrolla hacia la parte extrema una cuña de lodos semejante a la encontrada en el Golfo de Valencia, pero más reducida (Baena et al., 1982). Además, la cobertera sedimentaria está fundamentalmente constituida por sedimentos groseros de tipo relicto o palimpsest.

Básicamente se pueden distinguir dos grupos de asociaciones de facies (Figura 15). El primer grupo corresponde a una asociación silíceo-clástica

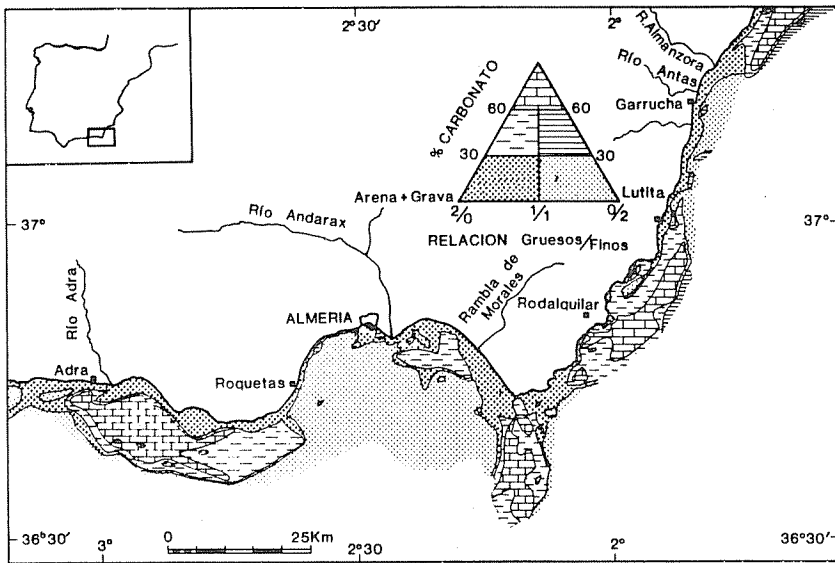


Fig. 15. Esquema de distribución de los sedimentos superficiales en la plataforma continental de Almería en base a una clasificación triangular relacionando el contenido total de carbonatos y la textura de los sedimentos. Modificado de Baena et al., 1982.

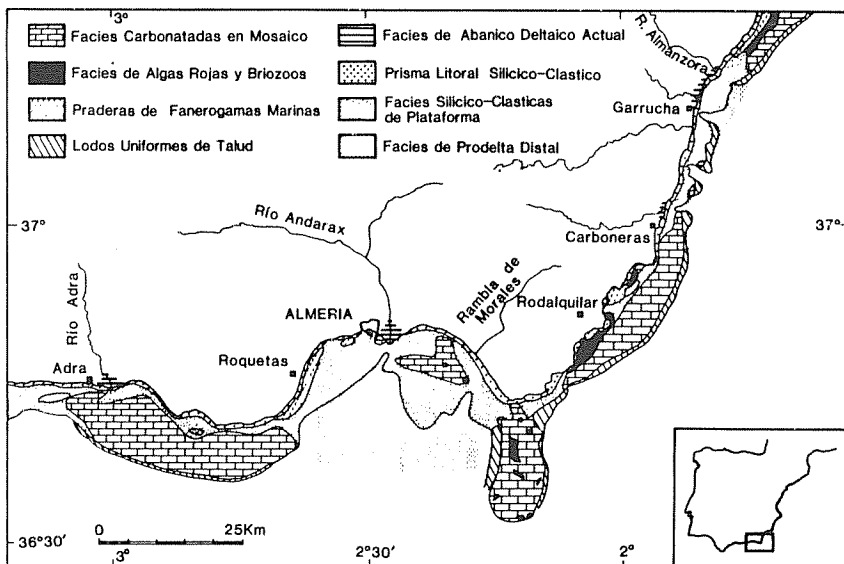


Fig. 16. Esquema de distribución de facies carbonatadas y terrígenas en la plataforma continental de Almería. Según Zamarreño et al., 1983.

y se localiza frente a zonas de aportes continentales, que tienen un régimen marcadamente estacionario. El más importante de estos sectores está constituido por el Golfo de Almería alimentado a partir del Río Andarax. Otros sectores se localizan frente a los torrentes y ramblas de corto cauce, que esporádicamente aportan una gran cantidad de sedimentos durante las tormentas. El resto del área está constituida por sedimentos bioclásticos o biógenos, que forman áreas de sedimentación calcárea (Figura 16). Hay una gran variedad de facies carbonatadas formadas por diversas asociaciones de moluscos, algas calcáreas, briozoos, foraminíferos y equinodermos. Dos grupos básicos se pueden distinguir constituidos por las facies de moluscos y las facies calcáreas donde los moluscos no predominan. En este segundo grupo los diferentes subtipos vienen definidos por el predominio de algas calcáreas, briozoos o foraminíferos.

Gran parte de las plataformas carbonatadas están formadas por sedimentos relictos pero alternando con sedimentos de tipo palimpsest y sedimentos recientes, todos ellos mezclados íntimamente formando un mosaico de distribución de facies. Esta distribución puede seguir unas determinadas tendencias en función de los factores que controlan su desarrollo. Generalmente se encuentra una banda de sedimentos actuales o subrecientes en la zona litoral y plataforma interna que progresivamente hacia aguas

afuera pasan a sedimentos relictos. No obstante en algunos sectores de la plataforma continental media y externa pueden aparecer asimismo sedimentos de tipo reciente cuando las condiciones oceanográficas y ambientales permiten su desarrollo (Zamarreño et al., 1982, 1983).

### Procesos sedimentarios y factores de control

El Golfo de Almería ilustra las asociaciones de facies y tipos de procesos que controlan la sedimentación sílico-clástica en esta plataforma. En el sector proximal se encuentra básicamente dos tipos de asociaciones de facies, una asociación litoral constituida por una cuña de gravas y arenas recientes y una asociación relictas aguas afuera de la cuña reciente, formada por afloramiento de terrazas y abanicos aluviales del Pleistoceno (Figura 16). Aguas afuera de esta zona a partir de la desembocadura del Río Andarax hay una disminución progresiva del tamaño de grano y un aumento de espesor en los depósitos de lodo. Asimismo, las terrazas y abanicos aluviales del Pleistoceno aguas afuera pasan a depósitos detríticos groseros indicativos también de ambientes litorales; estos depósitos forman el nivel basal de la secuencia de disminución de tamaños de grano, al que se superpone la capa de lodos que se extiende en la plataforma continental media y externa.

Los procesos deposicionales deben ser interpretados como una función de equilibrio entre los aportes del Río Andarax y las condiciones hidrodinámicas de la zona. Básicamente los aportes del Andarax ocurren en épocas de crecida, cuando una gran cantidad de sedimentos son llevados al medio marino. Se postula que estos sedimentos forman flujos de mayor densidad que el agua marina y que se distribuyen en una capa nefeloide sobre el fondo. Los flujos de turbidez atraviesan la plataforma continental y depositan diferencialmente los sedimentos más groseros a medida que se adentran en el medio marino (Figura 17). Durante las épocas de estiaje la dinámica litoral barre los sedimentos finos del prodelta proximal dejando un depósito residual de sedimentos fluviales constituidos por gravas y arenas gruesas. La sedimentación de esta zona, en contraste con el prodelta del Ebro forma una gradación de facies muy groseras en el área del prodelta proximal que pasan hacia aguas afuera a los depósitos finos de un prodelta distal. Es decir, ocurre un escape de los sedimentos finos del delta propiamente dicho dado que el régimen estacional del Río Andarax no permite una preservación de depósitos finos en la zona litoral del frente deltaico. Los sedimentos finos escapan hacia la plataforma continental media y posteriormente son transportados hacia aguas profundas a través del cañón submarino de Almería. En la actualidad en este sector no se desarrollan facies carbonatadas.

Los procesos que actúan en las plataformas carbonatadas son netamente diferentes al modelo descrito para el Golfo de Almería (Figura 17).

Básicamente las plataformas carbonatadas están constituidas por sedimentos biógenos y bioclásticos con una proporción variable de sedimentos terrígenos. El desarrollo de estas facies y los procesos responsables de su formación están controlados por una serie de parámetros ambientales como la energía del medio, el aporte de nutrientes y la cantidad de sedimentos en suspensión. Ejemplos análogos estudiados en la plataforma continental de Argelia han demostrado que entre los diferentes factores

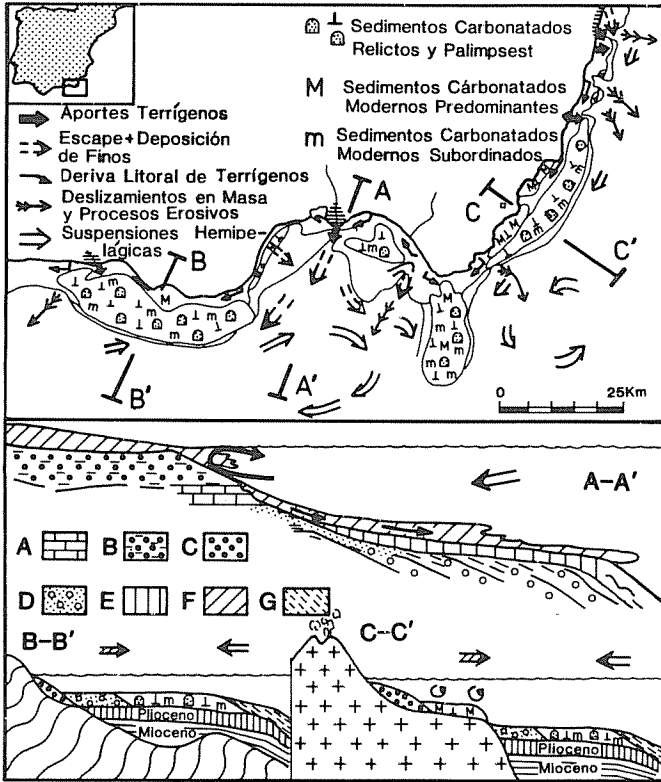


Fig. 17. Esquema mostrando la distribución de los principales tipos de facies y procesos sedimentarios responsables de su desarrollo durante el Holoceno en la plataforma continental de Almería. Los perfiles ilustran los tipos de procesos predominantes en las plataformas silicico-clásticas, aguas afuera de los abanicos deltaicos, y para las plataformas carbonatadas, en áreas de poco aporte terrígeno. A, afloramientos de abanicos aluviales del pleistoceno; B, abanicos deltaicos; C, cuña silicico-clástica litoral; de gravas y arenas litorales y de plataforma; E, prodelta distal; F, capa nefeloide terrígena; G, lodos del borde de plataforma.

que controlan las plataformas carbonatadas, el aporte de lodos puede ser uno de los factores más importantes (Caulet, 1972). La profundidad, la salinidad y los factores biológicos pueden ser también muy importantes, pero no se ha encontrado una relación obvia entre el desarrollo de los diferentes tipos de facies carbonatadas y estos parámetros de control. Otro factor no ampliamente estudiado pero que merece atención es el efecto morfológico ligado con el contexto estructural. Así la presencia de resaltes morfológicos parece condicionar el desarrollo de determinados tipos de facies carbonatadas (Zamarreño et al., 1983).

En resumen la distribución de facies en la plataforma de Almería está primordialmente controlado por la presencia o ausencia de aportes terrígenos que definen dos grupos principales de asociaciones, terrígena y carbonatada. Para cada una de estas asociaciones hay unos procesos específicos que controlan el desarrollo de las diferentes facies. En comparación con los otros ejemplos estudiados esta plataforma destaca por la gran abundancia de sedimentos carbonatados, lo cual puede ser parcialmente atribuido al clima. Sedimentos carbonatados semejantes a los del Golfo de Almería se desarrollaron en las plataformas del Ebro y Valencia durante épocas del Pleistoceno, tal como queda demostrado por los testigos de piston. Estos sedimentos carbonatados se formaron tal vez bajo condiciones climáticas diferentes de las actuales, más semejantes a las del Golfo de Almería.

## ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MODELOS SEDIMENTARIOS EN LAS PLATAFORMAS CONTINENTALES DEL MEDITERRÁNEO ESPAÑOL

Las diferencias observadas entre los modelos de sedimentación en los tres sectores estudiados pueden ser descritas en función de los factores de control sedimentario. La tesis de este estudio es que cada ejemplo en particular resulta de la interacción entre cuatro factores principales: contexto estructural y la morfología del margen continental asociada, el aporte sedimentario, el clima y las corrientes climáticas o energía del medio y las fluctuaciones de estos factores, especialmente debidas a las oscilaciones climático-eustáticas del Cuaternario (Fig. 18). Estos factores quedan reflejados en los diferentes atributos de cada modelo deposicional. Así mientras que la geometría del depósito puede estar básicamente ligada a la subsidencia del margen y al aporte sedimentario, las facies sedimentológicas están relacionadas con la energía del medio y los parámetros ambientales ligados a la profundidad. En este artículo se realiza una evaluación de la importancia relativa de los diferentes factores en el desarrollo de cada ejemplo deposicional. En el estado actual de conocimientos, esta evaluación sólo puede ser llevada a cabo cualitativamente. La variedad y complejidad de los procesos geológicos que influyen en el desarrollo de los diferentes mo-

delos en plataformas continentales hacen difícil su cuantificación. No obstante se propone una jerarquización de diferentes factores orientada a su aplicabilidad para la interpretación de modelos similares en ambientes actuales o de la columna estratigráfica. Estos estudios, encuentran así aplicación no solamente a la identificación de modelos sedimentarios similares en series antiguas, sino a la interpretación de las condiciones ambientales bajo las que fueron formadas.

### *Control morfo-estructural y aporte sedimentario*

El control morfo-estructural en el desarrollo de la plataforma continental en los ejemplos estudiados es un claro ejemplo de la relación causa-efecto con un proceso de autoalimentación. En este sentido la morfología del margen viene determinada por la evolución tectónica que ha dado lugar a su estructuración, pero dicha morfología asimismo influencia el estado de madurez del margen modificando la distribución de los aportes sedimentarios de origen continental. Así en la plataforma continental del Golfo de Valencia y Delta del Ebro las principales estructuras tectónicas son paralelas o ligeramente oblicuas al margen, lo cual ha favorecido una notable subsidencia de toda el área y el desarrollo de secuencias sedimentarias que han progresado mar adentro formando potentes cuñas superpuestas y paralelas al margen. Por el contrario en el margen de Almería se encuentra un sistema ortogonal de fracturas que cortan al margen (Dillon et al., 1980; Baena et al., 1982). Este sistema de fracturas ha dado lugar a una serie de fosas y altos estructurales afectados por subsidencia diferencial. Las principales unidades sedimentarias se localizan en consecuencia en las fosas subsidentes, mientras que en los altos estructurales, tal como el Cabo de Gata, la cobertera sedimentaria es muy poco potente; la distribución de los diferentes estilos de márgenes en este sector ya sean progresivos, intermedios o abruptos está íntimamente ligada a este factor. En otras palabras, la subsidencia favorece el depósito y la preservación en el registro geológico de las unidades sedimentarias en las diferentes provincias del margen continental y concretamente en la plataforma, lo cual es asimismo una función del aporte sedimentario.

El aporte de sedimentos además influye en la naturaleza y distribución espacial de los depósitos en la plataforma continental. En el aporte sedimentario deben ser incluidos la cantidad, tamaño de grano y el régimen en que son llevados al medio marino. El análisis comparativo de los depósitos prodeltaicos de los ríos Ebro y Andarax pone de manifiesto las notables diferencias que existen en función de estos factores. Mientras que en el Río Ebro hay un prodelta de lodos que se extiende a partir de la boca del río por el contrario en el Andarax existe un fenómeno de escape de los sedimentos finos que van a depositarse como una capa de lodos distales en las partes media y externa de la plataforma continental. Esta diferente distribución está básicamente ligada al régimen fluvial. El carácter

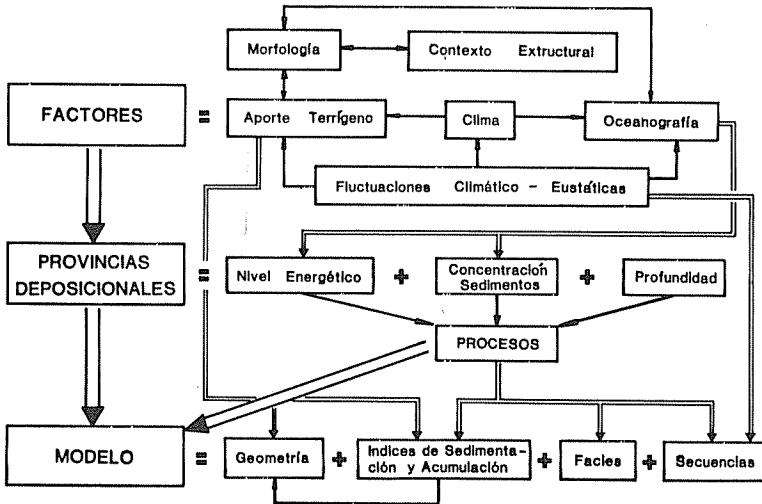


Fig. 18. Diagrama ilustrativo de los principales tipos de factores, provincias deposicionales y modelos sedimentarios en las plataformas continentales del Mediterráneo español. Este diagrama muestra las relaciones existentes entre los factores de control y los resultados de estos factores, representados por los diferentes modelos sedimentarios. La importancia relativa de los varios factores queda reflejada en los atributos del depósito. Ver discusión en el texto.

esporádico del Río Andarax impide la fosilización de una cuña prodeltaica de depósitos finos aportados durante las crecidas del río.

En este aspecto es asimismo importante considerar la distribución de los sedimentos finos en la plataforma continental de Valencia. La cuña sedimentaria de lodos en la zona externa de esta plataforma es la más potente de las tres áreas investigadas. Su distribución hace necesario invocar la existencia de una fuente importante de sedimentos que difícilmente es atribuible en su totalidad a los aportes del litoral. Se ha postulado su formación a partir de las suspensiones terrígenas más finas procedentes del Río Ebro, que tendrán en consecuencia un origen lejano de varios centenares de kilómetros. Además, el análisis de testigos continuos de pistón y la distribución superficial de sedimentos demuestran la inexistencia de una capa de sedimentos finos en el sector de las Islas Columbretes. Es decir, que los sedimentos finos procedentes de las descargas del Ebro tendrían que escapar de dicha zona intermedia de la plataforma para ir a depositarse en el sector de Valencia. Los modelos diagnósticos de dinámica en la plataforma continental ponen de relieve la posible existencia de una zona de intensificación de corrientes en el área de las Islas Columbretes, que favorecería dicho escape de las suspensiones finas (Maldonado

et al., 1983 a). La importancia de este hecho para la reconstrucción de medios sedimentarios en series antiguas es notable, dado que la existencia de una cuña sedimentaria de lodo no necesariamente implica una fuente de sedimentos finos en áreas próximas.

### *Clima, procesos sedimentarios y distribución de facies*

El conjunto de procesos sedimentarios actuantes sobre la plataforma continental determina la distribución final de los tipos de facies. Estos procesos sedimentarios están regidos por dos factores: de una parte la provincia deposicional y por otra el régimen oceanográfico influenciado por el tipo de clima. La importancia de la provincia deposicional sobre los procesos es evidente, mientras que es menos conocida la del clima. No obstante, hemos visto que el clima ha influenciado el desarrollo de determinados tipos de facies, como pueden ser los sedimentos carbonatados localizados en sedimentos recientes sólo en la plataforma continental de Almería, mientras que no existen en las plataformas de Valencia ni del Ebro, incluso en zonas de poco aporte sedimentario. No obstante en estos sectores se han encontrado sedimentos relictos carbonatados análogos a los de Almería probablemente desarrollados bajo clima diferente del actual, cuando los cinturones climáticos se desplazaron latitudinalmente.

Asimismo el régimen general de corrientes, en gran parte ligado al clima es básico en la distribución de los tipos de depósitos. La circulación predominante hacia el suroeste en la plataforma continental del Ebro y de Valencia da lugar a la acumulación preferencial de los sedimentos finos de aporte fluvial con esta orientación. Por el contrario en el Golfo de Almería, los gráficos de distribución de sedimentos es preferentemente perpendicular al margen en respuesta al régimen de circulación en esta zona (Stanley et al., 1975 a).

Además, en los tres ejemplos analizados la potencia y distribución de los depósitos litorales viene condicionada por la orientación y morfología del litoral en relación al oleaje. Estos factores no solamente determinan la distribución de depósitos como pueden ser las dunas de arena y las barras litorales sumergidas, sino que además condicionan la concentración de sedimentos en suspensión. El desarrollo de las facies carbonatadas, tal como se observa en Almería, está íntimamente ligado a la concentración de sedimentos en suspensión del aporte terrígeno.

### *Evolución estratigráfica de la plataforma continental*

Los principales factores que han controlado la evolución estratigráfica han sido los procesos sedimentarios y la migración del litoral como consecuencia de las oscilaciones climático-eustáticas del Cuaternario. Estos dos factores han dado lugar al desarrollo de diferentes tipos de secuencias



sedimentarias que caracterizan las plataformas continentales. Las secuencias de disminución vertical de tamaños de grano son el resultado directo de la migración hacia el continente del litoral debido al último ascenso eustático postglacial del Holoceno. Este fenómeno, como ya ha sido descrito, da lugar a la formación de un nivel basal de arenas procedentes de la erosión de los sedimentos que se encuentran por encima del perfil de equilibrio litoral a medida que la transgresión progresa. Posteriormente se depositan las facies de plataforma continental de interna a externa, progresivamente más finas e indicativas de condiciones de sedimentación más profunda. Ejemplos de este tipo de secuencias se encuentran en los tres sectores estudiados. La datación de los depósitos basales de estas secuencias, formadas bajo condiciones de profundidad determinadas, permite establecer la curva eustática del último ascenso postglacial (Aloisi et al., 1979; Maldonado et al., 1981).

En los sectores donde un aporte terrígeno restringido no ha permitido el desarrollo de las secuencias granodecrescentes, se encuentran por el contrario, secuencias de sedimentos gruesos. Estas son características tanto de las zonas litorales como de áreas de sedimentación carbonatada o sedimentación silícico-clástica con aporte terrígeno restringido. En estas secuencias no se observa una gradación vertical neta con disminución de tamaño de grano, por el contrario existen niveles alternantes de sedimentos gruesos correspondientes a diferentes litotopos de la plataforma continental.

La interpretación de las secuencias de sedimentos gruesos es más compleja que la correspondiente a secuencias de disminución de tamaño de grano y puede haber estado influenciada por numerosos factores ligados tanto a las oscilaciones del nivel del mar como a cambios en las condiciones oceanográficas y procesos sedimentarios. Independientemente de su interpretación, el análisis detallado de las secuencias de sedimentos gruesos pone claramente de manifiesto una alternancia de tipos de depósitos que reflejan una evolución en los parámetros ambientales que rigen la sedimentación en la plataforma continental. Esta evolución debe haber estado fundamentalmente ligada a los cambios climático-eustáticos del Cuaternario, aunque otros factores pueden asimismo haber influenciado su formación.

En los tres sectores estudiados de la plataforma continental española, se observa una evolución estratigráfica que se puede considerar básicamente similar. Las diferencias dentro de cada ejemplo estudiado desde el punto de vista estratigráfico, son mayores que las diferencias que pueden ser establecidas de un sector a otro. Ello es debido a que el factor fundamental que ha condicionado la evolución estratigráfica de las plataformas tiene influencia a nivel de la cuenca y ha quedado por lo tanto registrado en los depósitos de los tres ejemplos estudiados. Este factor básicamente ha sido condicionado por las oscilaciones climático-eustáticas del Cuaternario que se pueden considerar análogos en los sectores estudiados. Las diferencias observables entre los diferentes sectores analizados pueden ser atribuidas a la relativa importancia de los procesos sedimentarios que controlan el

depósito en plataformas continentales. No obstante, éstos se pueden considerar subordinados al factor primordial que es el desplazamiento de los litotopos en la plataforma continental que ha sufrido una evolución paralela a escala de la cuenca. En resumen, la semejanza entre el factor básico que condiciona el atributo estratigráfico del depósito es el que ha dado lugar a las semejanzas de los ejemplos estudiados.

### *Geometría de los depósitos e índices de sedimentación*

Uno de los modelos conceptuales más frecuentemente utilizados en las últimas décadas para explicar el desarrollo de las plataformas continentales se refiere a la estratigrafía de los depósitos. Este modelo fue denominado de transgresión-regresión, o modelo de la zona costera puesto que básicamente utiliza los procesos dinámicos que ocurren en esta zona para explicar los resultados estratigráficos observados en las plataformas continentales. Aunque este modelo fue originalmente propuesto por Grabau (1913) no fue desarrollado sino mucho más recientemente (Curry, 1964; 1969; Swift et al., 1972). En este modelo el carácter de los depósitos de la plataforma continental está básicamente condicionado por el sentido relativo de cambio del nivel del mar en relación con el aporte de sedimentos al medio marino.

Se han realizado varios intentos de expresar el sentido de desplazamiento de la costa como función de estas variables y en consecuencia el desarrollo de las diferentes unidades deposicionales. No obstante los procesos que controlan esta evolución son demasiado complejos para que puedan ser adecuadamente cuantificados y no hay manera de evaluar satisfactoriamente los resultados finales.

La relación entre estos factores, pueden ser adecuadamente ilustrados por los ejemplos de los prodeltas del Ebro y del Andarax. Los perfiles sísmicos de alta resolución en estas plataformas continentales ponen de relieve la influencia de los cambios relativos del nivel del mar en el desarrollo de la estratigrafía observada en la plataforma. Durante fases de descenso eustático del mar se forman potentes cuñas sedimentarias progradantes mar adentro superpuestas y que dan lugar a la formación de unidades sedimentarias con estratificaciones cruzadas de gran ángulo. Por el contrario, durante fases de ascenso eustático se forman superficies de erosión debido a la eliminación de todos los materiales prodeltaicos formados por encima del perfil de equilibrio a medida que la transgresión progresa. Durante fases estables del nivel del mar, el prodelta progresa aguas afuera formando asimismo importantes cuñas sedimentarias. No obstante estas cuñas sedimentarias sólo son preservadas en el registro geológico en sectores donde la subsidencia permite que no sean erosionadas por ciclos sedimentarios sucesivos.

Los índices de sedimentación en los diferentes sectores de la plataforma continental varían paralelamente con esta evolución. Si los índices de se-

dimentación más altos corresponden a las zonas del prodelta proximal en áreas tales como el Delta del Ebro y el prodelta distal en la plataforma de Almería, el desplazamiento de los diferentes litotopos en la plataforma continental da lugar a un desplazamiento de estos índices de sedimentación e incluso a erosión de las unidades previamente depositadas.

Debido a esta evolución es necesario distinguir entre índices de sedimentación, que corresponden al espesor de un determinado depósito en función del tiempo requerido, e índices de acumulación efectiva, lo cual equivale al resultado final de los diferentes tipos de procesos de depósito y erosión. En los varios sectores de plataforma continental los valores correspondientes a estos índices pueden ser diferentes e incluso opuestos. Así en la zona litoral, los índices de sedimentación suelen ser elevados debido al aporte de sedimentos continentales, pero los índices de acumulación pueden ser bajos dado que los sedimentos son erosionados durante ciclos sucesivos. Las secuencias de sedimentos gruesos características de las plataformas carbonatadas, son otro ejemplo de este fenómeno, puesto que las formaciones bioconstruidas tienen característicamente unos índices de sedimentación elevados, pero los índices de acumulación de los depósitos suelen ser bajos, debido a un fenómeno de retrabajamiento y pérdida de actividad durante ciclos deposicionales sucesivos. El fenómeno opuesto ocurre en las partes externas de la plataforma continental. En esta provincia deposicional los índices de sedimentación suelen ser bajos dado que generalmente se acumulan solamente los sedimentos de las suspensiones más finas. Por el contrario, los índices de acumulación suelen ser altos puesto que estas zonas no son sometidas a fenómenos de erosión durante ciclos sucesivos.

En consecuencia, la geometría de los depósitos que es entre otros factores una función de los índices de sedimentación y acumulación reflejará no solamente los tipos de procesos que han condicionado su desarrollo, sino además otros parámetros de control del modelo tales como la naturaleza y régimen de los aportes sedimentarios al medio marino. Tal como se ha visto, estos factores pueden haber sufrido una notable evolución en el tiempo en las diferentes provincias deposicionales en la plataforma continental. Durante el Cuaternario, las oscilaciones experimentadas por los parámetros de control sedimentológico han sido fundamentalmente condicionadas por los cambios climático-eustáticos del Cuaternario.

## CONCLUSIONES

Los ejemplos estudiados de sedimentación en las plataformas continentales del Mediterráneo español han puesto de relieve una gran variedad de modelos sedimentarios caracterizados por la geometría del depósito y la asociación de facies. El desarrollo de cada uno de estos modelos está controlado por la interacción de una serie de factores que determinan cada

una de las características del modelo (Fig. 18). Las propiedades geométricas del depósito se encuentran íntimamente relacionadas al contexto estructural del área y a los aportes sedimentarios. Las variaciones del nivel del mar, asimismo condicionan el desplazamiento de los diferentes litotopos en la plataforma continental y el desarrollo de secuencias sedimentarias. Los tipos de facies característicos de cada modelo por el contrario van ligados a los procesos predominantes sobre cada una de las provincias deposicionales de la plataforma. Así en el litoral, los factores básicos son el nivel energético y las corrientes producidas por el régimen climático. Estas corrientes son de dos tipos, corrientes debidas al oleaje, producidas bajo condiciones normales de viento y corrientes desarrolladas bajo régimen de tormentas. Las corrientes de marea en los sectores estudiados del Mediterráneo tienen poca importancia en el desarrollo de los diferentes modelos.

En la plataforma continental propiamente dicha por el contrario hay otra serie de factores ligados a la profundidad que condicionan el tipo de depósito. Entre éstos se debe destacar la concentración de partículas en suspensión y la pérdida de energía sobre el fondo de los diferentes tipos de flujos. Como resultado de la interacción entre estos factores se puede formar una potente cuña de lodos en los diversos sectores de la plataforma continental.

El volumen y naturaleza de los sedimentos, así como el régimen en que éstos son aportados al medio marino por los ríos rigen la formación de potentes cuñas sedimentarias en las zonas prodeltaicas. El modelo propuesto para el desarrollo de las plataformas silíceo-clásticas, está representado por la superposición de cuñas prodeltaicas formadas durante fases de descenso del nivel del mar. Por el contrario, los ascensos relativos del nivel del mar dan básicamente lugar a la formación de superficies erosivas, sobre las cuales se acumulan depósitos residuales procedentes de la erosión litoral.

Como conclusión final se debe señalar la gran variedad de factores que controlan el desarrollo de los procesos y tipos de facies de la plataforma continental. Aunque en este momento no es posible cuantificar estos factores los modelos conceptuales propuestos en este trabajo pueden tener utilidad tanto para el estudio de otros ejemplos en las plataformas continentales del Mediterráneo, como para la interpretación de series estratigráficas antiguas del registro geológico.

## AGRADECIMIENTOS

Las ideas expuestas en este trabajo constituyen un resumen de los estudios llevados a cabo en las plataformas continentales del Mediterráneo español por los autores durante los últimos años en cooperación con otros colegas españoles y extranjeros. Este artículo es un resumen crítico de numerosos trabajos en equipo. Queremos agradecer a todos nuestros colegas

su cooperación tanto en las fases de obtención de datos, como en la elaboración final de resultados. Asimismo queremos agradecer a las tripulaciones de los buques oceanográficos *Cornide de Saavedra*, *García del Cid* y *Catherine Laurence* su colaboración para la obtención de las muestras y datos en diversas campañas oceanográficas, sin los cuales no hubiera sido posible la elaboración de estos estudios. Gran parte de los resultados aquí presentados han sido subvencionados por un programa del Comité Conjunto Hispano Norteamericano para la Cooperación Científica y Tecnológica (Ref. 793020), por la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica (Ref.: 3678/79), y por el programa FOMAR del Instituto Geológico y Minero de España. Finalmente agradecemos a María Teresa Solans su ayuda técnica en la elaboración de este artículo.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALOISI, J. C.; MONACHO, A.; THOMMERET, J. and THOMMERET, Y., 1975. Evolution paléogéographique du plateau languedocien dans le cadre du Golfe de Lion. Analyse comparée des données sismiques, sédimentologiques et radiométriques concernant le Quaternaire récent. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, XVII, 13-22.
- ALOISI, J. C.; MILLOT, C.; MONACHO, A. and PAU, C., 1979. Dynamique des suspensions sédimentogénétiques sur le plateau continental du Golfe de Lion. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 289: 879-882.
- ALONSO, B., 1981. *Microcontaminantes Inorgánicos y Procesos Sedimentarios en la Plataforma Continental de Tarragona-Castellón*. Univ. de Barcelona. Tesis de Licenciatura, 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. *Ed. Seminario Multidisciplinar*, Barcelona. (In press.)
- AUZENDE, J. M.; REHAULT, J. P.; PASTOURET, L.; SZEP, B. and OLIVER, J. L., 1975. Les bassins sédimentaires de la mer d'Alboran. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 17: 98-107.
- BAENA, J.; GARCÍA RODRÍGUEZ, J.; MALDONADO, A.; ZAMARREÑO, I. et al., 1982. Mapa geológico de la plataforma continental española y zonas adyacentes Almería-Garrucha-Chella-Los Genoveses. A escala 1:200.000. *Instituto Geológico y Minero de España*. Madrid. Ministerio de Industria. 105 p.
- BALLESTER, A.; CASTELLVI, J. and MALDONADO, A., 1981. Presence de gaz methane dans les sediments prodeltaiques recents de l'Ebre. *XXVII C.I.E.S.M. Inter. Congress and Plenary Assembly*, Comité de Géologie et Géophysique Marine. Cagliari., 131-133.
- BIJU-DUVAL, B.; LETOUZEY, J. and MONTADERT, L., 1978. Structure and evolution of the Mediterranean basins. In: K. Hsü, L. Montadert et al., 1978. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, 42 (1), U.S. Govt. Printing Office, Washington, D. C. 951-984.
- CAULET, J. P., 1972. Recent Biogenic Calcareous Sedimentation on the Algerian Continental Shelf. *The Mediterranean Sea. A Natural Sedimentation Laboratory*. Edited by D. J. Stanley. P. 261-292. *Dowden, Hutchinson and Ross*, Stroudsburg Pennsylvania.
- CHASSEFIÈRE, B.; PIERROT, S. and REBUFFATI, A., 1970. Etude morphologique et structurale du plateau continental languedocien en sondage sismique continue. *Rev. Inst. Fr. Petrole*. XXIV, 6: 731-740.

- CURRAY, J. R., 1964. Transgressions and regressions. Papers in Marine Geology: *Shepard Commemorative Volumen*. Edited by R. L. Mills. Mac Millan, New York, 175-203.
- CURRAY, J. R., 1965. Late Quaternary history, continental shelves of the United States. *The Quaternary of the United States*. Eds. H. E. Wright and D. G. Frey, pp. 723-735. Princeton Univ. Press. New Jersey.
- CURRAY, J. R., 1969. History of continental shelves. *The New Concepts of Continental Margin Sedimentation*. Ed. D. J. Stanley, pp. JC-6-1. JC-6-7. *American Geological Institute*, Washington, D. C.
- DILLON, W. P.; ROBB, J. M.; GREENE, H. G. and LUCENA, J. C., 1980. Evolution of the Continental Margin of Southern Spain and the Alboran Sea. *Marine Geology*, 36: 205-226.
- EMERY, K. O., 1968. Relict sediments on continental shelves of the world. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.* 52: 445-464.
- GOT, H.; ALOISI, J. C. and MONACO, A., 1982. *Sedimentary processes on deltas and shelves on the Mediterranean Sea*. Laboratoire de Sédimentologie et Géochimie Marines, Perpignan. (In press.)
- GRABAU, A. W., 1913. *Principles of Stratigraphy*. 1960 facsimile edition of 1924 Revision. 1185 pp. New York, Dover.
- JOHNSON, D. W., 1919. *Shore Processes and Shoreline Development*. Ed. J. Wiley. 584 p. New York.
- JOHNSON, H. D., 1978. Shallow Siliciclastic Seas. *Sedimentary Environments and Facies*. Ed. H.G. Reading. pp. 207-258. Department of Geology and Mineralogy. University of Oxford. Oxford.
- JOHNSON, M. A. and STRIDE, A. H., 1969. Geological significance of North Sea sand transport rates. *Nature*, 224: 1016-1017.
- KENYON, M. H., 1970. Sand ribbons of European tidal seas. *Marine Geology*, 9: 25-39.
- MALDONADO, A., 1972. El Delta del Ebro. Estudio sedimentológico y estratigráfico. *Bol. Estratigrafía*, 1: 1-486.
- MALDONADO, A., 1975. Sedimentation, stratigraphy and development of the Ebro Delta, Spain. *Delta Models for Exploration*, Ed. M. L. Broussard. pp. 311-338. Houston Geological Society, Houston, Texas.
- MALDONADO, A., 1978. El estancamiento de las aguas del Mar Mediterráneo. *Investigación y Ciencia*, 23: 32-44.
- MALDONADO, A., 1983. Evolution of the Mediterranean Basins and a More Detailed Reconstruction of the Cenozoic Paleooceanography. *A Natural History of the Mediterranean, from the Strait of Gibraltar to the Sicilian Channel*. Ed. R. Margalef, 77 p. Key Environmental Series Pergamon Press.
- MALDONADO, A. and STANLEY, D. J., 1976. Late Quaternary Sedimentation and Stratigraphy in the Strait of Sicily. *Smithsonian Contributions to the Earth Sciences*, 16, 73 p.
- MALDONADO, A.; SERRA, J.; MARTRUS, F.; VERDAGUER, A.; ALOISI, J. C.; GOT, H. y MIRABILE, L., 1980. La plataforma continental de l'Ebre dans le cadre de l'évolution récente du delta. (Abs.). *26th Int. Geol. Congress Paris, Abstracts*, 508.
- MALDONADO, A.; VERDAGUER, A.; ALOISI, J. C.; GOT, H.; MONACO, A.; CALVEZ, Y.; THOMMERET, J.; THOMMERET, Y. and MIRABILE, L., 1981. Mecanismos sedimentarios et l'edificación du plateau progressif sud-catalan (Méditerranée Nord Occidentale). *XXVII C.I.E.S.M. Int. Congress. Comité de Geologie et Géophysique Marines*. Cagliari, 25-28.
- MALDONADO, A.; SWIFT, D. J. P.; YOUNG, R. A.; HAN, G.; NITTROUER, C.; DEMASTER, D.; REY, J.; PALOMO, C.; ACOSTA, J.; BALLESTER, A. y CASTELLVÍ, J., 1983 a. Sedimentation of the Valencia Continental shelf: preliminary results. *Continental Shelf Research*. (In press.)
- MALDONADO, A.; GOT, H. and MONACO, A., 1983 b. The Ebro Delta continental shelf (Northwestern Mediterranean): a genetic model. *Marine Geology*. En Preparación.

- MAUFFRET, A., 1979. Etude géodynamique de la marge des îles Baléares. *Mem. Soc. Geol. France*, 132: 1-94.
- MCCAVE, I. N., 1971. Wave-effectiveness of the sea-bed and its relationship to bed-forms deposition of mud. *J. Sedim. Petrol.* 41: 89-96.
- MCCAVE, I. N., 1972. Transport and escape of fine-grained sediment from shelf areas. *Shelf Sediment transport and patterns*. Eds. D. J. P. Swift, P. B. Duane and O. H. Pilkey, 656 p. Dowden Hutchinson and Ross, Stroudsburg, Pa.
- MILLIMAN, J. D.; WEILER, Y. and STANLEY, D. J., 1972. Morphology and carbonate sedimentation on shallow banks in the Alboran Sea. *The Mediterranean Sea: A Natural Sedimentation Laboratory*. Ed. D. J. Stanley, pp. 241-259. Dowden, Hutchinson and Ross Inc. Stroudsburg, Pennsylvania.
- REINECK, H. E., 1963. Sedimentgefüge in Bereich der südlichen Nordsee. *Abh. Senckenbergische Naturforsch. Ges.* 505, 138 p.
- REY, J. y DÍAZ DEL RÍO, V., 1982. Sand Ridges in the west Mediterranean shelf (Valencia, Spain). Morphology and seismic character. *XXVIIIth C.I.E.S.M. Int. Congress. Comité de Géologie et Géophysiques Marines Cagliari*.
- SERRA-RAVENTÓS, J.; MALDONADO, A. y RIBA, O., 1979. Caracterización del margen continental de Cataluña y Baleares. *Acta Geol. Hispanica*, 14: 494-564.
- SHEPARD, F. P., 1932. Sediments on continental shelves. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 43: 1017-1034.
- SHEPARD, F. P., 1973. *Submarine Geology*, Harper and Row, New York, 517 p.
- STANLEY, D. J., 1977. Post Miocene depositional patterns and structural displacement in the Mediterranean. *The Ocean Basins and Margins*. Eds. A. E. M. Nairn, W. H. Kanes and F. G. Strehli, pp. 77-150. Plenum Publishing Corporation, New York.
- STANLEY, D. J.; KELLING, G.; VERA, J. A. and SIENG, H., 1975 a. Sands in the Alboran Sea: A Model of input in a Deep Marine Basin. *Smithsonian Contributions to the Earth Sciences*, 15, 51 p.
- STANLEY, D. J.; MALDONADO, A. and STUCKENRATH, R., 1975 b. Strait of Sicily depositional rates and patterns, and possible reversal of currents in the late Quaternary. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaecol.* 18: 279-291.
- STRIDE, A. H., 1963. Current swept floors near the southern half of Great Britain. *Quart. J. Geol. Soc. London*, 119: 175-199.
- STRIDE, A. H., 1974. Indications of long term tidal control of net sand loss or gain by European coast. *Estuarine & Coastal Mar. Sci.* 2: 27-36.
- SUMMERHAYES, C. P.; SESTINI, G.; MISDORP, R. and MARKX, N., 1978. Nile delta: nature and evolution of continental shelf sediments. *Marine Geology*, 27: 43-65.
- SWIFT, D. J. P., 1970. Quaternary shelves and the return to grade. *Marine Geology*, 9: 5-30.
- SWIFT, D. J. P., 1976 a. Coastal sedimentation. *Marine Sediment Transport and Environmental Management*. Eds. D. J. Stanley and D. J. P. Swift 602 p. John Wiley and Sons, New York.
- SWIFT, D. J. P., 1976 b. Continental shelf Sedimentation. *Marine Sediment Transport and Environmental Management*. Eds. D. J. Stanley and D. J. P. Swift, pp. 311-350. John Wiley and Sons Inc. New York.
- SWIFT, D. J. P.; STANLEY, D. J. and CURRAY, J. R., 1971. Relict sediments on continental shelves: a reconsideration. *J. Geol.*, 79: 322-346.
- SWIFT, D. J. P.; KOFOED, J. W.; SAULSBURY, F. P. and SEARS, P., 1972. Holocene evolution of the shelf surface, central and southern Atlantic coast of North America. *Shelf Sediment Transport: Process and Pattern*. Eds. D. J. P. Swift, D. B. Duane and O. H. Pilkey, pp. 499-574, Dowden, Hutchinson & Ross, Stroudsburg, Pennsylvania.
- SWIFT, D. J. P.; PARKER, G.; LANFREDI, N. W.; PERILLO, G. and FIGGE, K., 1978. Shoreface-convected Sand Ridges on American and European Shelves: A Comparison. *Estuarine and Coastal Marine Research*, 7: 257-273.
- VAIL, P. R.; MITCHUM, R. M. Jr. and THOMPSON, S. III 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. Part. 4: Global cycles of relative changes of sea level.

- Application to Hydrocarbon Exploration*. Ed. C. E. Payton, *Am. Assoc. Petr. Geol. Mem.* 26: 83-97.
- WRIGHT, L. D. and COLEMAN, J. M., 1973. Variations in morphology of major river deltas as functions of ocean wave and river discharge regimes. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.*, 57: 370-398.
- WRIGHT, L. D. and COLEMAN, J. M., 1974. River delta morphology: Wave climate and the role of the subaqueous profile. *Science*, 176: 282-284.
- ZAMARREÑO, I.; MALDONADO, A.; CANALS, M.; DÍAZ, I.; FARRAN, M. y VÁZQUEZ, A., 1982. Temperate carbonate sedimentation on the continental shelf of Southern Spain (Western Mediterranean Sea). *XIth Int. Congress on Sedimentology*, p. 95. McMaster University, Hamilton, Ont. Canadá.
- ZAMARREÑO, I.; VÁZQUEZ, A. y MALDONADO, A., 1983. Sedimentación en la Plataforma de Almería: un ejemplo de sedimentación mixta silícico-carbonatada en clima templado. *Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental Española, Seminario, Cádiz*, marzo 1983. 152-188.



# Aspectos geológicos, sobre la estructura poco profunda de la plataforma continental del levante español

por

JORGE REY SALGADO \* y VÍCTOR DÍAZ DEL RÍO ESPAÑOL \*

\* Instituto Español de Oceanografía. Laboratorio Costero de Málaga., Paseo de la Farola, 27. Málaga-16.

## SUMMARY

In the Spanish-North American Cooperative Investigation Program, beginning in 1979, a series of geophysical cruises have taken place on the Continental Shelf of the Spanish «Levante», in the area between Gandía and Cabo Cope, in the western Mediterranean Sea, covering an area of 12.558 km<sup>2</sup>, with 4.173 km of seismic profiles, using the following systems: echosounder, sparker, uniboom, mud-penetrator (3,5 KHz), side-scan-sonar and bottom-samples.

In this report, we present the results of preliminary studies, discovering the shallow structure of the shelf. It has been possible to find, as well, a very net seismic series well defined possible diapiric tectonic activity.

The seismic-reflection profiles, seems to indicate, that it has been three major events controlling the structure of the shelf: (1) existence of Neogene-Quaternaries basins, (2) deposition of Ebro sediments in the Gulf of Valencia, (3) tectonic activity associated to Betic and Iberic Ridges.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad se viene prestando un especial interés al estudio de las plataformas continentales, con el objeto de evaluar su potencial riqueza en recursos naturales. Por otra parte, suscita gran inquietud en el mundo científico, por conocer su estructura geológica y los procesos que sobre ella tienen lugar.

En esta idea, se ha realizado un estudio geofísico de la Plataforma Continental Española, entre la localidad de Sagunto (Golfo de Valencia) y Cabo Cope (Mazarrón) que forma parte del Proyecto de Investigación multidisciplinaria de Cooperación Hispano-Norteamericano, sobre el Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental Española.

Del resultado de las investigaciones, que se encuentran en fase de elaboración, se pueden adelantar algunas conclusiones que, aún no siendo definitivas, sí pueden desvelar las características dominantes del área investigada, que vienen a complementar la escasa información que se posee hasta la actualidad, sobre su estructura.

Se han totalizado 4.173 km de perfiles sísmicos (Sparker, Uniboom, 3,5 KHz, Sonar Lateral), realizados a lo largo de las campañas marinas integradas en el citado programa, desde su comienzo en el año 1979 (GAN-SA-80; GATIÑO-81; LITOPATO-82) que han servido de base para realizar el estudio, suplementadas por anteriores campañas realizadas en determinados sectores de la zona y que han permitido densificar la información que se poseía.

La casi totalidad de la plataforma prospectada, puede incluirse en la categoría genérica de un margen tipo pasivo o atlántico, según la clasificación de Heezen (1974), con marcadas diferencias de Norte a Sur, reconociéndose tres sectores que definirían un paso gradual de un margen tipo progradante a otro abrupto, atendiendo al estilo y tipo de la plataforma. Este fenómeno puede contemplarse desde el concepto de las categorías definidas por Mauffret y Stanley (Mauffret et al., 1973; Stanley et al., 1976; Stanley, 1977).

El sector más meridional comprendido entre Cabo de Palos y Cabo Cope, encuadrado en el borde interno del Arco de Gibraltar en su fachada Norte, forma parte de un margen abrupto definido por el Escarpe de Mazarrón (Auzende y Olivet, 1974), cuyo límite septentrional se sitúa en las inmediaciones del Cabo de Palos sobre los afloramientos de zócalo bético allí existentes (Díaz del Río, 1980).

Un análisis preliminar de los datos obtenidos, permite realizar las siguientes consideraciones: (1) la influencia de los conjuntos bético e ibérico y delimitar su repercusión sobre los materiales que conforman la plataforma; (2) configuración y dominio de las cuencas Neogeno-Cuaternarias; (3) relaciones entre las distintas series sismo-estratigráficas; (4) evaluar el efecto que la neotectónica ha inferido en los materiales más recientes.

El trabajo descrito en los puntos sucesivos, constituye la investigación preliminar en su conjunto.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El presente trabajo se ha realizado a partir de la interpretación de los registros de sísmica-reflexión continua, obtenidos a bordo de los buques oceanográficos: Cornide de Saavedra, Jafuda Cresques y Tofiño. Los sistemas empleados han sido los siguientes:

1. Sparker: a partir de este sistema, se ha constituido la base del trabajo, registrándose la señal simultáneamente a 500 y 1.000 milisegundos, con potencias de emisión que oscilaron entre los 1.000 y 4.500 julios.
2. Uniboom Sub-tow y Penetrador de Sedimentos 3,5 KHz: empleados para complementar la información obtenida con los registros de Sparker, acerca de las capas más superficiales. Su utilización ha sido determinante para el estudio de los «sand-ridges» localizados en la plataforma continental del Golfo de Valencia (Rey y Díaz del Río, 1982).
3. Sonar de Barrido Lateral: los registros obtenidos, se han utilizado en áreas restringidas, para resolver problemas relativos a estructuras recientes, aflorantes o existentes sobre los materiales cuaternarios actuales (Rey y Díaz del Río, 1981; Rey y Díaz del Río, 1981; Anónimo, 1982).
4. Ecosonda: se han utilizado los equipos instalados en cada uno de los buques de investigación, con cuyos registros, se elaboraron mapas batimétricos necesarios para la interpretación de la morfología actual de los fondos marinos de la plataforma investigada (Díaz del Río, 1980; Acosta y Herranz, 1981).
5. Muestras: se ha recogido una gran variedad de muestras de sedimento superficial, con dragas, así como muestras de afloramientos rocosos, mediante inmersiones con equipos autónomos.
6. Posicionamiento: en todas las campañas realizadas se empleó un sistema de situación de gran precisión (Raydist y Siledys), recurriendo al posicionamiento por radar y satélite, únicamente en los perfiles de mayor longitud.

## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### 1. *Plataforma del Golfo de Valencia*

La información recogida a lo largo del programa en el Golfo de Valencia (Figura 1), permite discutir algunas de las ideas expuestas por otros autores.

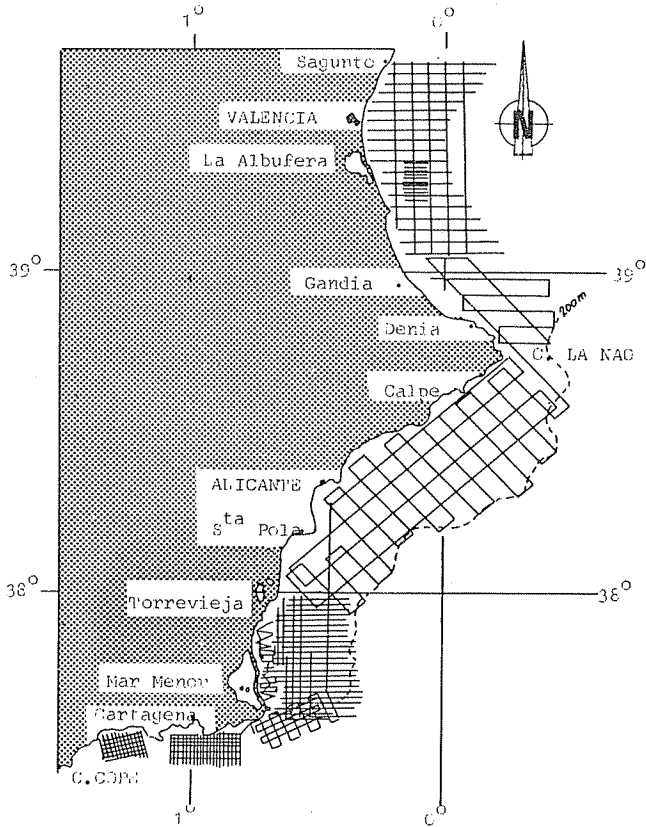


Fig. 1. Mapa general de la zona e itinerarios de los perfiles sísmicos, realizados sobre la plataforma continental.

Abundando en la idea de Mauffret (Mauffret, 1976), el escaso control estructural de la plataforma entre Sagunto y Gandía, se ve incrementado a medida que se avanza hacia el sur, llegando a un máximo frente al Cabo de la Nao, donde las series más modernas se ven claramente reducidas en espesor a la vez que aumentan los afloramientos del zócalo acústico, con una neta expresión estructural.

Asociada a la creciente complejidad estructural en sentido Norte-Sur, se han localizado numerosas fracturas de gran entidad de dirección aproximada N-S, que afectan a toda la serie y son las causantes directas, de los desplazamientos de los materiales que conforman la plataforma (Acosta y

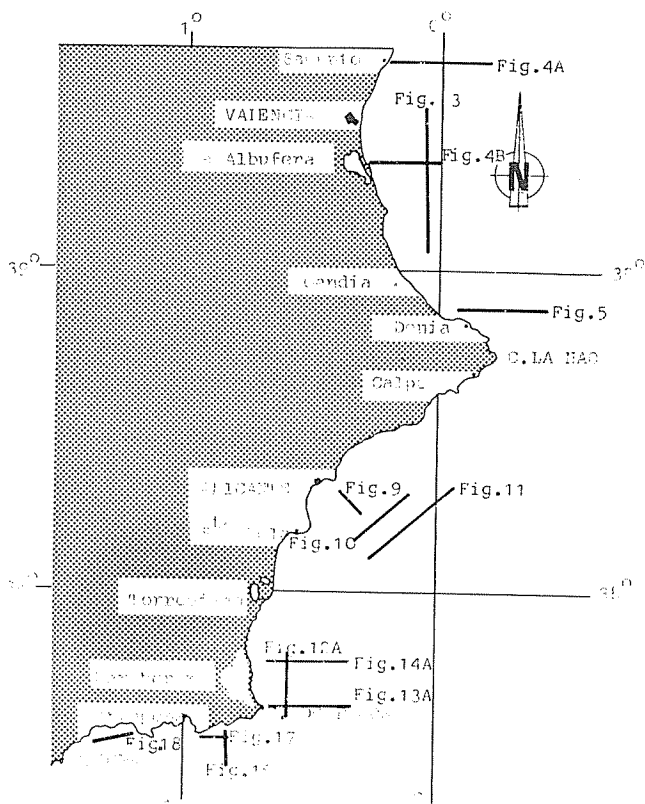


Fig. 2. Localización de los perfiles de sismica-reflexión, descritos en el presente trabajo.

Herranz, 1981). Por otra parte, los efectos de la neotectónica, también se hacen sentir en los materiales Pliocuaternarios a los cuales afecta, produciendo accidentes de poca expresión y con direcciones diversas, que en todo caso guardan una relación directa con las direcciones estructurales de los conjuntos Bético e Ibérico.

Geológicamente, la zona de estudio, corresponde a la prolongación de la Cuenca Neogeno-Cuaternaria de Valencia, sobre la Plataforma Continental, siendo lugar de confluencia de los conjuntos mencionados, que imprimen carácter en la estructura general de la cuenca, cuyo recubrimiento sedimentario está representado principalmente por una gran potencia de materiales Pliocuaternarios que estructuralmente se adaptan al sustrato en forma de suaves pliegues anticlinales y sinclinales que siguen la dirección Ibérica (Figura 3).

En una dirección N45W que pasa por la localidad de Valencia, existe un umbral definido por uno de estos pliegues, como respuesta a posibles empujes verticales ascendentes, en consecuencia, se produce un adelgazamiento de las capas superiores y un engrosamiento en las áreas sinclinales más subsidentes.

Interpretando la variación estructural en sentido Norte-Sur, de tres «perfiles tipo» realizados en dirección E-W, se hace evidente, la existencia de claras diferencias entre ellos, así como el aumento de la complejidad estructural en aquella dirección:

- a) Sector Norte: en base al «perfil tipo» realizado frente a Sagunto (Figura 4.A), se determina la disposición de los reflectores identificados, delatando la escasa complejidad sismo-estratigráfica y las leves deformaciones de algunos reflectores, que pierden su continuidad esporádicamente, por causa de las fracturas que les afectan. Las formaciones más modernas, adquieren potencias muy significativas en la zona interna de la plataforma, motivada por su mayor proximidad a la desembocadura del Río Ebro (Maldonado et al., 1982). En la zona interna de la plataforma y más próxima a la costa, los reflectores definen un frente escarpado que puede corresponder a un abanico fluvial de carácter deltaico.
- b) Sector Central: un «perfil tipo» realizado frente a la Albufera de Valencia (Figura 4.B), revela una superficie topográfica con irregularidades morfológicas. En la zona central, corresponden a estructuras tipo «sand-ridges» (Anónimo, 1981), que han sido objeto de análisis más detallados (Rey y Díaz del Río, 1982; Maldonado et al., 1982), mientras que en la plataforma externa, corresponden a estructuras similares a los «wage-ground» estudiados por Almagor en el margen continental de Israel (Almagor y Wiseman, 1977). La complejidad tectónica en este sector, está acentuada por la existencia de fracturas que originan movimientos de bloques escalonados con desplazamientos en los niveles superiores y deslizamientos gravitacionales provocando de esta manera, ondulaciones internas en dichos niveles, que tienen un claro reflejo en los regis-

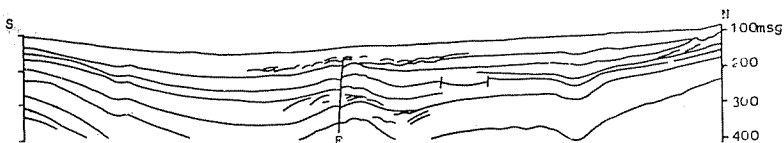


Fig. 3. Perfil sísmico realizado en dirección N-S, sobre la Plataforma Continental del Golfo de Valencia, frente a la Albufera. Nótese las suaves estructuras anticlinales y sinclinales, así como el recubrimiento sedimentario que aumenta de potencia en las áreas depresivas.

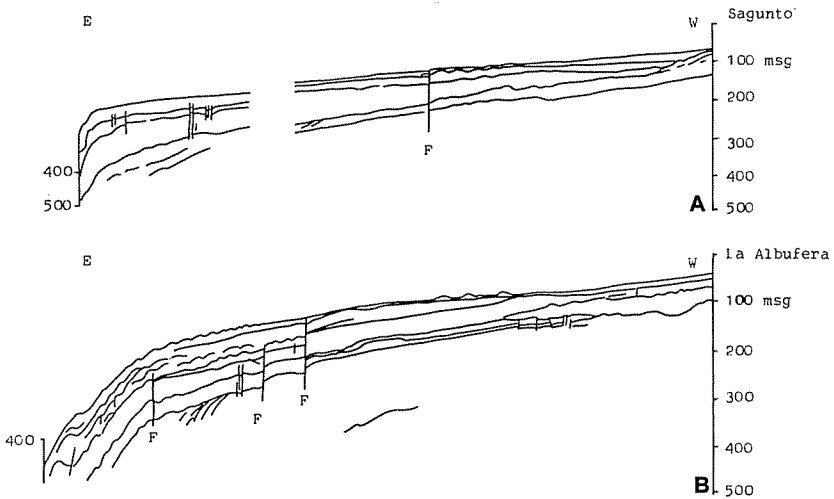


Fig. 4. Perfiles sísmicos a través de la plataforma continental de Valencia, revelando la estructura progradante de los recubrimientos sedimentarios. A, Perfil «tipo» realizado frente a Sagunto. B, perfil «tipo» frente a la Albufera.

tros de Sparker. El rejuego de estas fracturas, origina una variación de las potencias en los paquetes sedimentarios. Los depósitos más modernos, están ahora representados por sedimentos típicos de lagoon (Anónimo, 1981), cuya área de influencia alcanza la plataforma media, con un dominio más extenso que el encontrado para los abanicos fluviales en el sector Norte.

- c) Sector Sur: es aquí, donde la complejidad tectono-estratigráfica es más notoria y donde el zócalo acústico juega un papel preponderante como controlador de la estructura. En el «perfil tipo» estudiado, y situado frente a la localidad de Denia (Figura 5), se aprecia un importante adelgazamiento de los paquetes Neógeno-Cuaternarios, influenciado en gran parte, por la existencia de un zócalo acústico subaflorante, correspondiente a las unidades béticas, y que llega a aflorar frente al Cabo de la Nao. En este sector se localiza el muro de la serie Neógena que constituye la base de la cuenca Neógeno-Cuaternaria de Valencia (Figura 6), adquiriendo una rápida inmersión al Norte de Gandía, imposibilitando su localización y cartografía. Esta superficie netamente erosiva, se apoya en algunos momentos, sobre los altos estructurales del basamento acústico, y su continuidad es muy neta hacia la plataforma interna. Morfológicamente, esta plataforma, está caracterizada por una

serie de estructuras superficiales diferentes a las encontradas más al Norte, que son originadas por depósitos relictos de antiguas playas y cordones litorales (Rey y Díaz del Río, 1981).

## 2. La Plataforma entre el Cabo de la Nao y el Cabo de Palos

La morfología superficial de esta zona, tiene como carácter general, la suavidad de relieves y la uniformidad en toda su extensión. La Plataforma se encuadra, dentro de un margen de tipo «intermedio» (Mauffret et al., 1973; Stanley et al., 1976; Stanley, 1977), a excepción de aquellos lugares donde la evolución estructural, potencia el desarrollo general de la misma, como es el caso de la prolongación de la Cuenca Neógeno-Cuaternaria del Mar Menor sobre la Plataforma, provocando un mayor ensanchamiento en ella (Figura 7) (Díaz del Río, 1980).

La morfología submarina, a lo largo de toda ella, es un claro reflejo de la estructura del margen litoral adyacente, mientras que en el sector Norte, la mayoría de las estructuras profundas tienen escasa o ninguna expresión topográfica. En la zona interna de la plataforma y en la orla litoral, hay que hacer notar la irregularidad de las isobatas comprendidas entre los cero y treinta metros; originada por los aportes fluviales que se acumulan en este área, así como la presencia de afloramientos correspondientes a formaciones cuaternarias, relictas, debidas a las fluctuaciones que se ha visto sometida esta zona, en el transcurso de los múltiples episodios marinos, como consecuencia de las glaciaciones cuaternarias, tal y como se ha detectado en la zona del Mar Menor (Rey y Díaz del Río, 1981).

La anchura de la plataforma, varía de Norte a Sur, alcanzando un máximo, a la altura de Alicante (aproximadamente con un valor de 45 kiló-

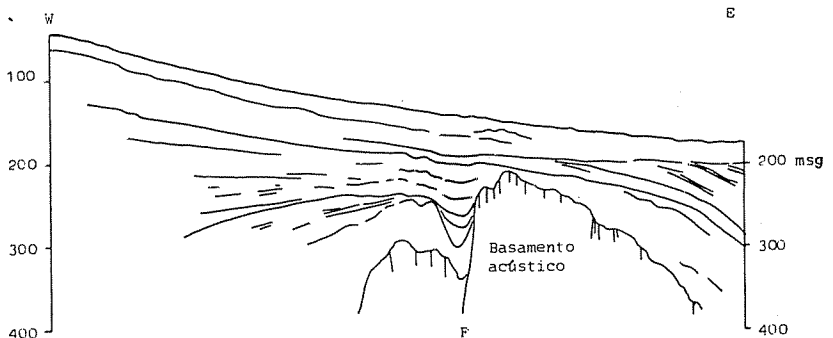


Fig. 5. Perfil «tipo», realizado frente a la localidad de Denia, donde se detecta la emersión del zócalo acústico.



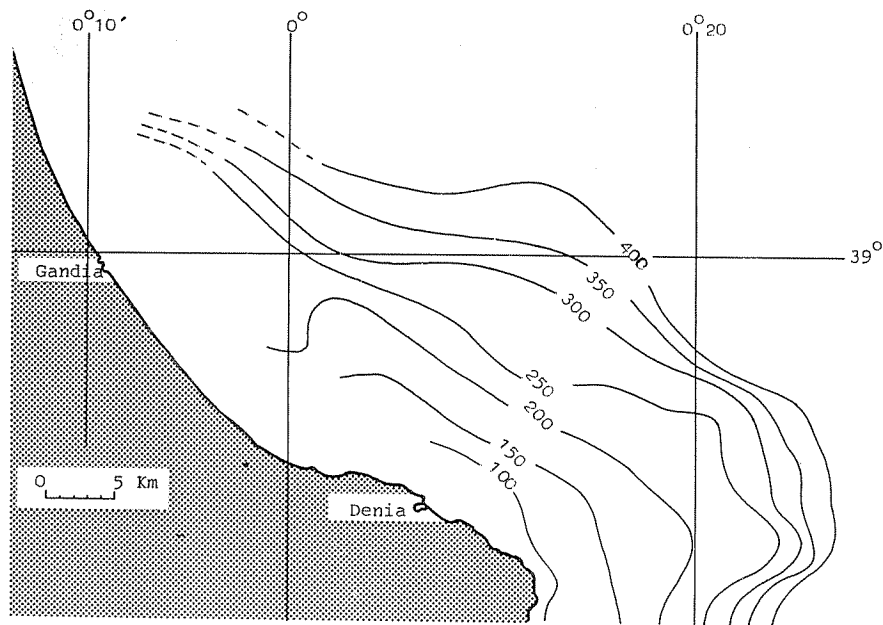


Fig. 6. Isocronas en tiempos dobles, tomadas desde la superficie del mar, hasta el reflector que define el muro Terciario.

metros) (Anónimo, 1982). La pendiente es suave, diferenciándose dos subsectores, en función de sus características fisiográficas:

- 1) Subsector Norte, definido entre Jávea y Alicante, donde la pendiente desciende sensiblemente hasta alcanzar su valor medio de 0,15%; la ruptura se hace a los 100 metros.
- 2) Subsector Sur, desde la localidad de Alicante hasta Cabo de Palos, donde la pendiente vuelve a incrementarse alcanzando su valor medio de 0,33% sin que la profundidad a la que se realiza la ruptura se altere notablemente (110 metros) (Díaz del Río, 1980).

Respecto a algunos hechos morfológicos, hay que resaltar únicamente, la presencia de pequeñas elevaciones y cauces en algunos lugares determinados, como es el caso de las inmediaciones de Santa Pola. La mayor parte de los relieves positivos, están relacionados con formaciones relictas de antiguas líneas de costa o afloramientos de carácter estructural.

A partir de los registros sísmicos de reflexión de alta resolución obtenidos con el Penetrador de Sedimentos (3,5 KHz), se ha podido esbozar

la distribución espacial de los sedimentos no consolidados, así como la localización de los afloramientos rocosos o de materiales compactados.

Se puede hablar de una predominancia general de materiales finos en toda la plataforma, que en algunos lugares alcanzan potencias muy elevadas aunque el recubrimiento sedimentario presenta una distribución y espesor muy variable.

Los afloramientos de zócalo acústico, tienen una distribución característica; por una parte, se sitúan cercanos a la costa como prolongación de las estructuras allí existentes, y por otra parte se localizan en el mismo

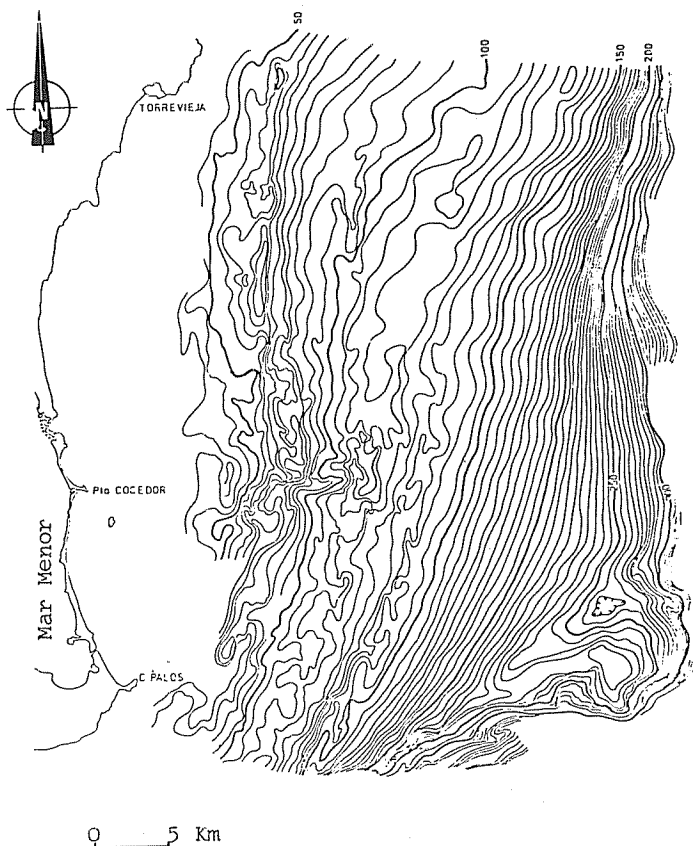


Fig. 7. Batimetría de la Plataforma y parte del Talud adyacente al Mar Menor. El mapa fue realizado a partir de los datos obtenidos en la campaña Pato 78. Profundidades en metros.

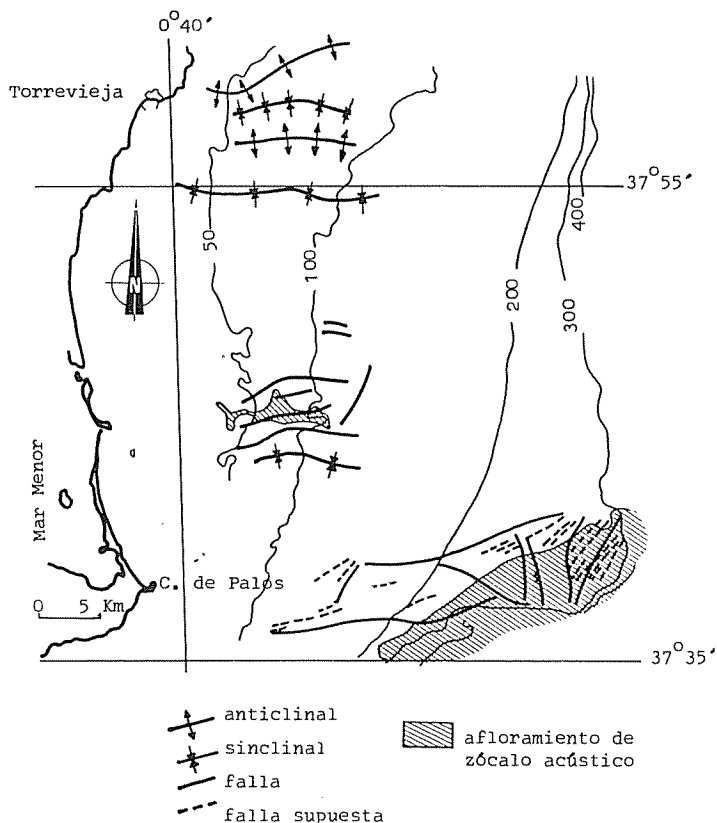


Fig. 8. Esquema estructural de la plataforma adyacente a la Cuenca Neógeno-Cuaternaria del Mar Menor. Está representado el contacto discordante del zócalo acústico con los materiales recientes. Profundidades en metros.

borde de la plataforma y comienzo del talud, fenómeno que es perceptible en el área sur investigada (Figura 8).

Al sur del Cabo de la Nao, donde la geología general es claramente diferenciable de lo estudiado hasta este punto, puede decirse que existe un progresivo aumento de la potencia de los materiales finos no consolidados que tapizan la plataforma, disponiéndose sobre un eje de máximas potencias (entre los 25 y 36 metros), situado entre las isobatas de los 60 y 80 metros, hasta llegar a la altura de Alicante, donde la predominancia de afloramientos y superficies de materiales compactados, asociados a antiguas líneas de costas se hace más notorio (Figura 9).

En el borde externo de la plataforma, se delimitan dos rupturas de pendiente, la primera de ellas marca el comienzo del talud, y la segunda más abrupta y cercana a la línea de costa, corresponde al límite de una orla de sedimentos que discurre paralelamente al borde de la misma y que a la vez deja al descubierto en su entalladura, un afloramiento de material sedimentario consolidado que es un posible reflejo de una antigua terraza marina.

En el área próxima al borde de la plataforma comprendida entre las localidades de Charco y Alicante, se desarrolla un fondo accidentado que

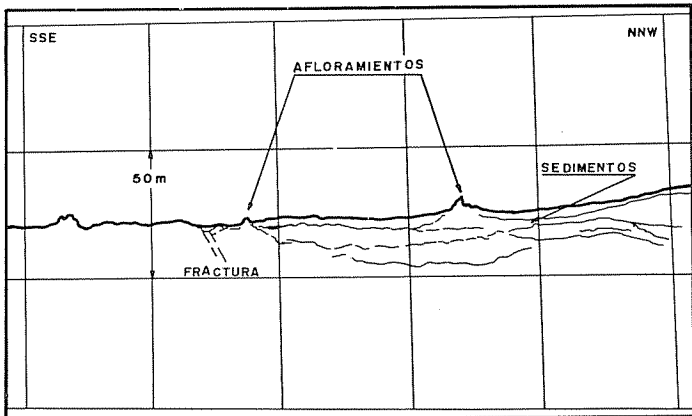
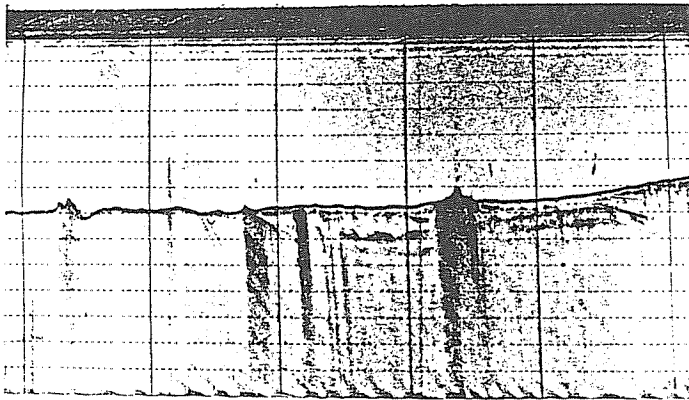


Fig. 9. Perfil de 3,5 KHz tomado en la plataforma frente a Alicante que delata los afloramientos de estructuras relictas en la cobertura sedimentaria.

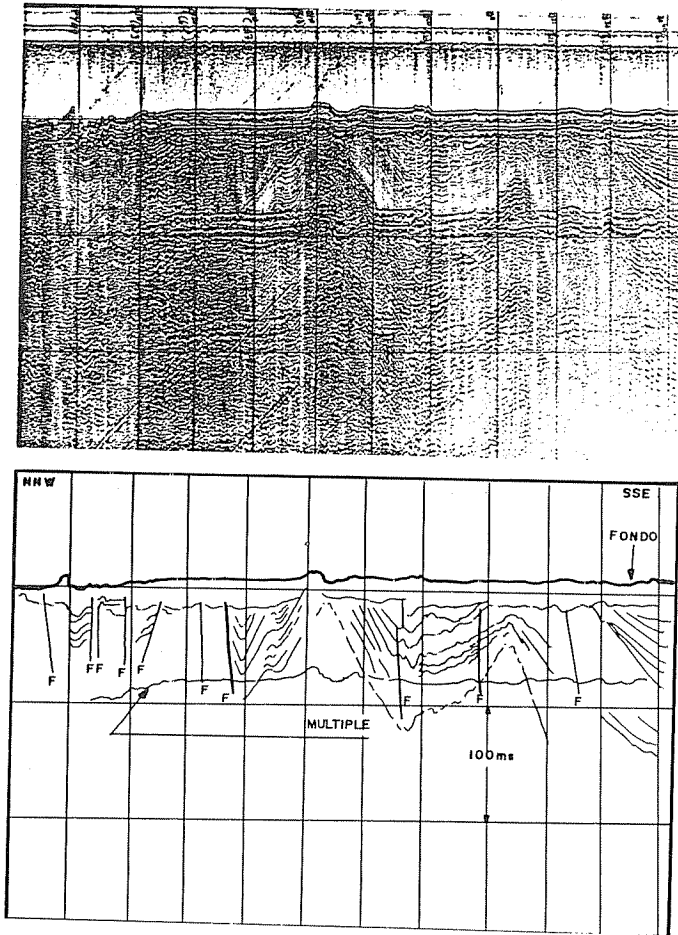


Fig. 10. Perfil sísmico de Sparker (4.500 julios) frente a Alicante, donde se refleja la complejidad tectónica y las deformaciones en los reflectores de la serie transparente.

se caracteriza por la presencia de ondulaciones y rugosidades de variada entidad.

En toda el área estudiada, los fenómenos geológicos que aquí han tenido lugar, han dejado su impronta en toda ella, puesto que se hace evidente la notable incidencia que la tectónica profunda ejerce sobre la geología superficial, especialmente notorio en la mitad sur, existiendo frente al Cabo de Palos, un afloramiento de zócalo acústico, posiblemente bético, que altera notablemente toda la cuenca.

El perfil sísmico de la Figura 10, que discurre paralelo a la costa en dirección NNE-SSW, da una idea de la complejidad tectónica que domina en el área y que es más acusada en su mitad septentrional, a partir de una línea perpendicular al perfil y que pasa por la localidad de Charco (Alicante). Es precisamente a partir de esta línea donde la emersión de zócalo acústico juega un papel preponderante definiendo las directrices de la tectónica antigua. Este afloramiento está localizado frente a Santa Pola en un área relativamente extensa, afectado por una intensa fracturación que

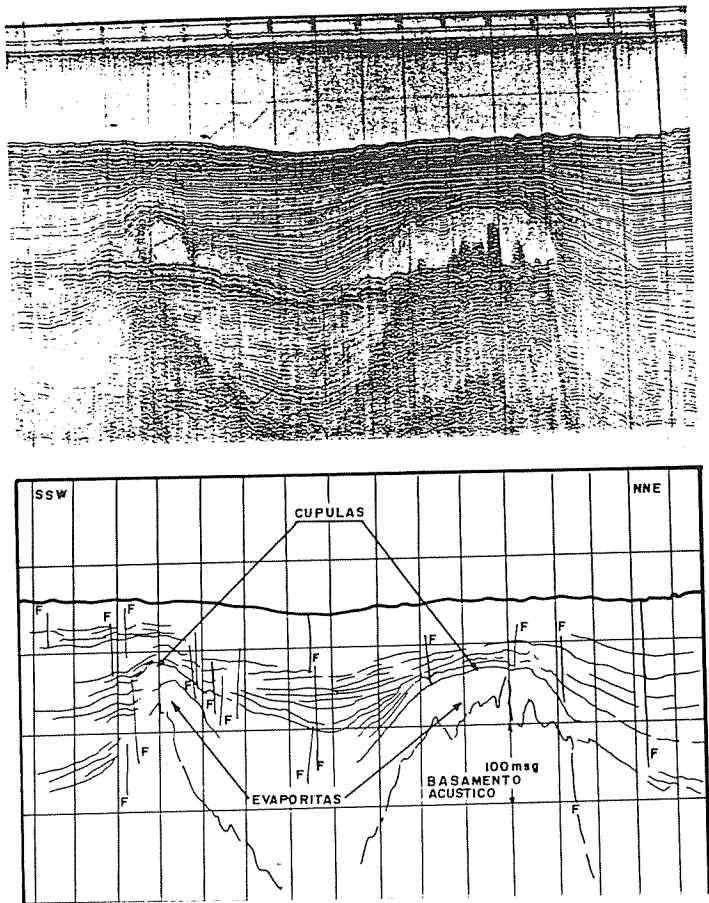


Fig. 11. Perfil de Sparker (5.000 julios) frente a Cabo Roche. Se observa la existencia de dos estructuras en cúpula asociadas a materiales evaporíticos del conjunto transparente. Se aprecian ondulaciones que afectan tanto a los reflectores internos como a la superficie de fondo.

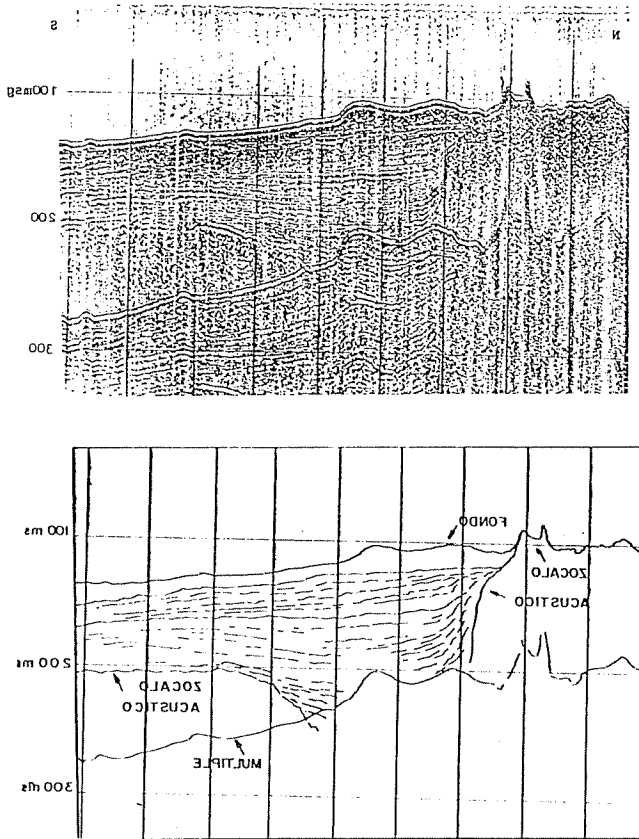


Fig. 12. Perfil sísmico de la Plataforma del Mar Menor que muestra el afloramiento del zócalo acústico allí existente. A, registro Sparker; B, esquema interpretativo del registro anterior.

alcanza a los niveles más modernos. Su estructura interna está levemente definida por la aparición de algunos reflectores netos y discontinuos que delatan la naturaleza no cristalina del conjunto, que se ve sometido a una rápida inmersión hacia el Norte.

La serie sísmica está compuesta por reflectores muy netos, continuos y litificados que aumentan su complejidad a medida que se aproximan a los afloramientos del zócalo. Se citan de igual manera términos correspondientes a una posible formación evaporítica, que se deforma en el típico «domo» afectando a los materiales suprayacentes. Muy posiblemente, exista una íntima relación entre estos materiales evaporíticos y los de edad Triásica tan abundantes en el litoral adyacente, responsables de la tectó-

nica diapírica del Keuper que es origen de los empujes y reajustes modernos (Figura 11).

Existen intrusiones en los reflectores sísmicos discordantes con la serie característica y que en algunos casos tienen reflejo morfológico en la superficie del fondo, que podrían estar relacionados con materiales volcánicos.

Geológicamente, se identifica un área con unas características muy particulares, que corresponde a la cuenta Neógeno-Cuaternaria de Murcia y

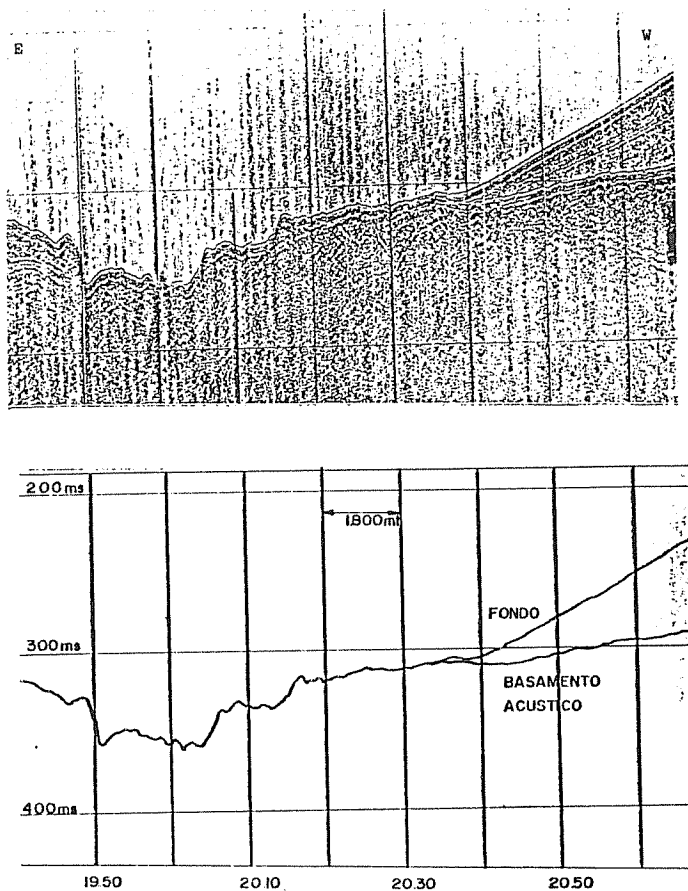


Fig. 13. Perfil sísmico de la Plataforma del Mar Menor. A, registro de Sparker; B, esquema interpretativo del registro anterior.



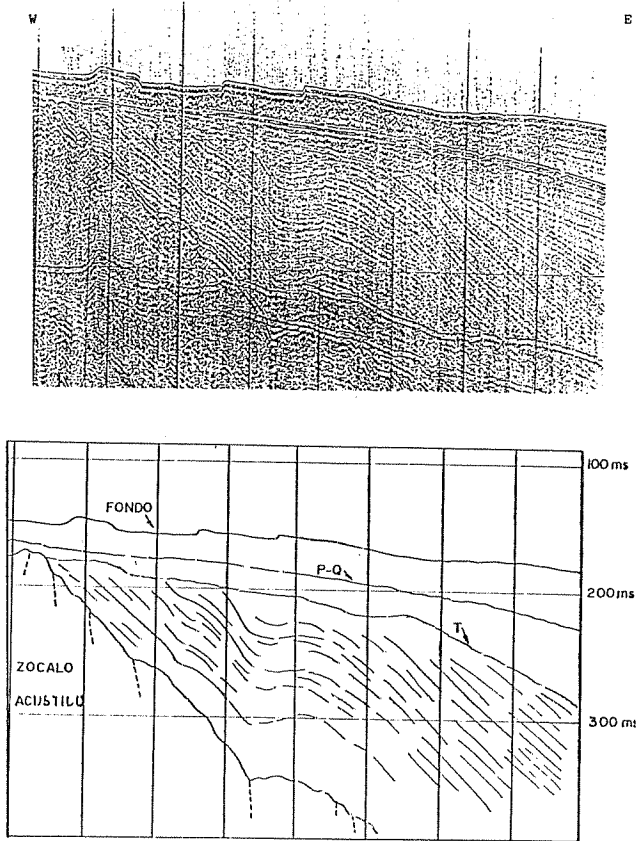


Fig. 14 Perfil sísmico frente al Mar Menor. Nótese la discordancia angular de los materiales suprayacentes. A, registro de Sparker; B, esquema interpretativo del registro anterior.

que se extiende hasta Alicante, subdividiéndose en dos sub-cuencas a causa del anticlinal de Torrevieja:

- 1) Cuenca del Mar Menor.
- 2) Cuenca de Elche.

La Plataforma Continental frente al Mar Menor se ve afectada por este hecho confiriéndole unas particularidades especiales, al poseer una estructura progradante típica y estar comprendida entre dos plataformas correspondientes a un margen de tipo abrupto e intermedio (Díaz del Río, 1980). La estructura del basamento responde a una tectónica de «grabens» especialmente visible en la mitad sur, cuya dirección de fracturación es

E-W, asociándose una segunda familia de fallas de dirección NNW-SSE que afectan al zócalo. La estructura de este basamento no es excesivamente compleja, encajándose sobre él dos subcuencas separadas la una de la otra por un nuevo afloramiento localizado frente a Punta del Cocedor (Figuras 12A y 12B). El tránsito entre los tipos de plataforma progradante a abrupta, se realiza frente al Cabo de Palos y está dominado por una fractura de zócalo de dirección E-W, que origina un gran escarpe con ausencia de cobertera sedimentaria (Figuras 13A y 13B).

En el área de Torrevieja, se han localizado una sucesión de anticlinales y sinclinales de poca entidad y que corresponden a materiales post-zócalo, que son evidentes prolongaciones de los existentes en el continente a los cuales se les han asignado una edad Miocena (Figura 8).

Con posterioridad a la formación e instalación del zócalo y una vez definidas las líneas estructurales de las dos subcuencas citadas se deposita una potente serie Neógena discordante con el zócalo y suavemente replegada (Figuras 14A y 14B), cuyo techo está definido por una discordancia angular y erosiva que sirve de base para los materiales netamente progradantes a los que afecta la tectónica reciente, extensible a toda el área.

En el paquete de reflectores más modernos así definidos se pueden determinar dos conjuntos:

- 1) El basal con reflectores muy continuos y netos, que sísmicamente se comportan como semitransparentes y que en algunos puntos descansan directamente sobre el zócalo;

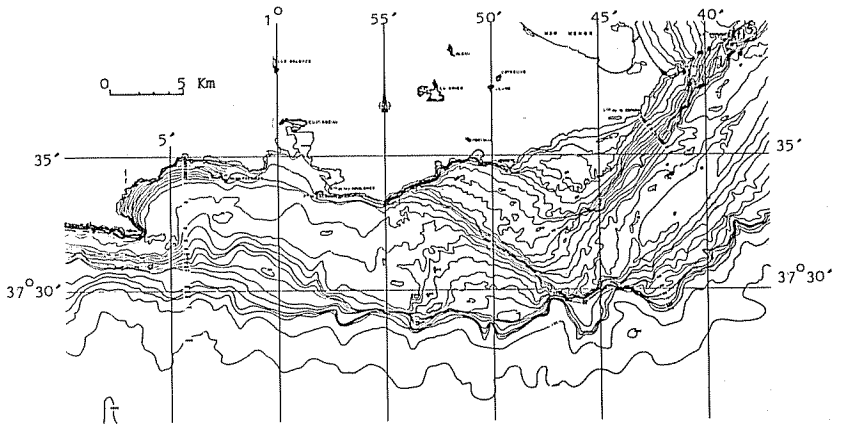


Fig. 15. Batimetría de la Plataforma y talud del sector entre Cabo Tiñoso y Cabo Palos. Campaña Ibinor-77 y Gatiño-81, complementada con las cartas de navegación del Instituto Hidrográfico de la Marina.

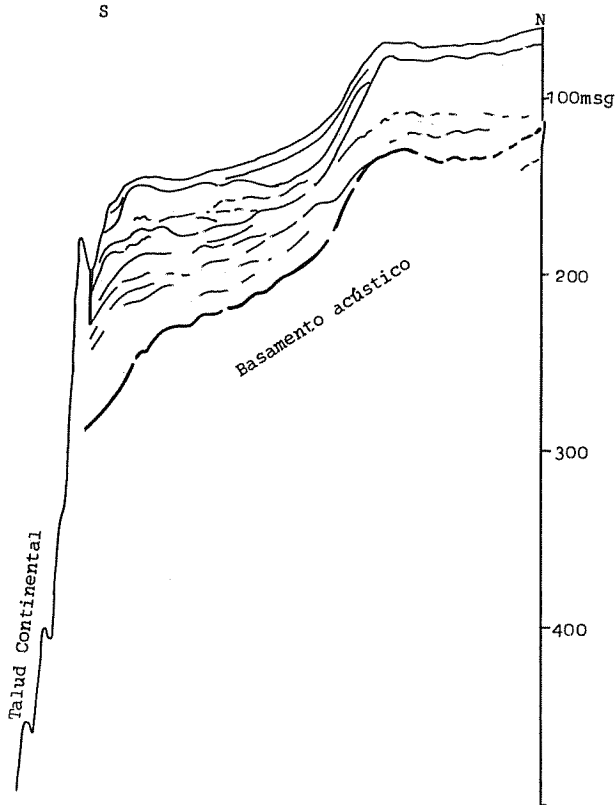


Fig. 16. Perfil Sparker de la plataforma frente a la Ensenada de Portman (Murcia).

- 2) el superior afectado por fracturas de poca importancia que en algunas ocasiones alcanzan a relieves positivos y negativos que corresponden a formaciones de depósitos relictos de cordones litorales y playas antiguas (Rey y Díaz del Río, 1981).
3. *Plataforma Continental entre el Cabo de Palos y Cabo Cope (Mazarrón)*

En este sector, la anchura es muy variable de la misma manera que su morfología. Los valores encontrados para esta amplitud están comprendidos entre los 13 km, en su zona más ancha y 2,5 km en su parte más estrecha (frente al Cabo Tiñoso), la cual se adapta al tipo de plataforma característica de un margen abrupto.

La ruptura de pendiente, está bien caracterizada en toda el área, a excepción del dominio occidental del Cabo del Agua (Figura 15), donde se origina un doble aterrazamiento con sendas rupturas de pendiente que tienen continuidad hasta el Golfo de Mazarrón. El carácter morfológico general, revela una carencia de uniformidad en cuanto a la topografía submarina motivada por la estructura geológica del fondo, donde los relieves positivos distribuidos a lo largo de toda su extensión, están relacionados con afloramientos de zócalo acústico o intrusiones de carácter volcánico; tal es el caso de la lineación que se sitúa en la prolongación del Cabo de Palos.

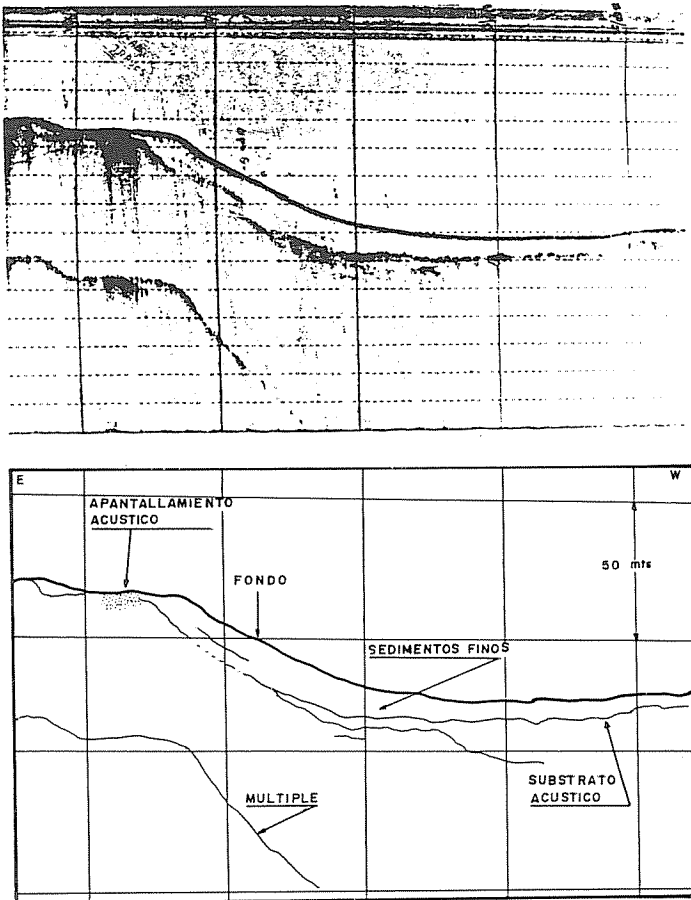


Fig. 17. Perfil 3,5 KHz realizado en la plataforma frente a la Ensenada de Portman, que muestra el recubrimiento sedimentario de los materiales recientes y su variación de potencias.

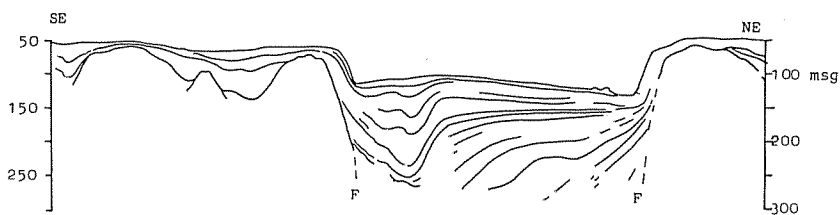


Fig. 18. Perfil del Sparker (4.500 julios) realizado a través de la depresión tectónica del Golfo de Mazarrón. Se puede apreciar el control estructural de la cuenca, así como la gran potencia de los sedimentos que rellenan la depresión.

En la zona externa de la plataforma, se encajan las cabeceras de cañones submarinos, que muy probablemente tengan continuidad sobre el talud, que a su vez está marcado por una fuerte inflexión y una pendiente muy acusada con un valor próximo al 27 %, con ausencia total de recubrimiento sedimentario.

El contacto de la plataforma con el perfil litoral, está representado por un acantilado.

La característica general de la plataforma, desde el punto de vista estructural, es la poca potencia de la cobertera sedimentaria originada por la proximidad del zócalo acústico a la superficie del fondo (Figura 16).

El control tectónico está regido por grandes fracturas muy continuas y con resaltes muy netos, atribuidos a accidentes tectónicos del basamento.

Existe una carencia generalizada de reflectores internos posteriores al que define el zócalo, lo cual indica la poca evolución de la plataforma.

Los materiales más recientes aparecen en pequeñas cuencas sedimentarias con una enorme variabilidad en sus potencias, cuyo muro puede ser el mismo zócalo acústico o bien superficies litificadas correspondientes a materiales posteriores (Figura 17).

El extremo occidental, resulta ser un punto singular, al estructurarse sobre la plataforma, una gran depresión tectónica limitada por dos grandes fracturas, y que es la prolongación de la fosa tectónica citada en continente como depresión de Mazarrón (Espinosa et al., 1974). La potencia de los sedimentos en su interior es muy elevada colmatándose la cuenca y situándose su eje en dirección N45W (Figura 18).

## BIBLIOGRAFÍA

- ACOSTA, J.; HERRANZ, P. Morfología y tectónica de la Plataforma Continental entre Gandía y Sagunto (Golfo de Valencia). *Boletín del Instituto Español de Oceanografía* (en prensa).

- ALMAGOR, G. and WISEMAN, G., 1977. Analysis of submarine slumping in the Continental Slope off the Southern Coast of Israel. *Marine Geotechnology, Volumen 2, Marine Slope Stability*, 1977 pp. 349-388.
- ANÓNIMO. Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental, proyecto de investigación cooperativa hispano-norteamericano, n.º 793.020, Vol. I-V. Instituto Investigaciones Pesqueras, P.º Nacional, s/n. Barcelona-3 (1980-1982).
- AUZANDE, J. M. and OLIVET, J. L., 1974. Structure of the western Mediterranean Basin, en: *The Geology of Continental Margins*, Burk, C. A. y Drake, C. L., eds., New York: Springer-Verlag, pp. 723-731.
- DÍAZ DEL RÍO, V., 1980. Resultados preliminares de la Campaña de Geología Marina «PATO-78». *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, Tomo VI, n.º 299, pp. 105-114.
- DÍAZ DEL RÍO, V. Estructura geológica del margen continental murciano-alicantino, entre las localidades de Torrevieja y Cabo de Palos, *Boletín del Instituto Español de Oceanografía* (en prensa).
- DÍAZ DEL RÍO, V. Historia geológica reciente (Neógeno-Cuaternaria) del Margen Continental murciano-alicantino, entre las localidades de Torrevieja y Cabo de Palos, *Boletín del Instituto Español de Oceanografía* (en prensa).
- DÍAZ DEL RÍO, V. y REY, J. Consideraciones sobre la dinámica sedimentaria actual, en la Plataforma Continental del Levante español entre Torrevieja y Cabo de Palos, *Boletín del Instituto Español de Oceanografía* (en prensa).
- HEEZEN, B. C., 1974. Atlantic-type continental margins. *The Geology of Continental Margins*, Burk, C. A., Drake, C. L., eds., New York; Springer-Verlag, pp. 13-24.
- MALDONADO, A.; SWIFT, D. J. P.; YOUNG, R. A.; HAN, G.; NITTROUER, C. A.; DE MASTER, D. J.; REY, J.; PALOMO, C.; ACOSTA, J.; BALLESTER, A. and CASTELLVÍ, J. Sedimentation on the Valencia Continental Shelf: preliminary results, *Continental Shelf Research* (en prensa).
- MAUFFRET, A. and FAIL, J. P. et al., 1973. Northwestern Mediterranean sedimentary basin from seismic reflection profile, *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, V. 57, pp. 2245-2262.
- REY, J. y DÍAZ DEL RÍO, V. Microfisiografía de tres pasillos estudiados con sonar de barrido lateral, en la Plataforma Continental del Golfo de Valencia, *Boletín del Instituto Español de Oceanografía* (en prensa).
- REY, J.; ACOSTA, J.; DÍAZ DEL RÍO, V.; HERRANZ, P.; SAN GIL, C.; SANZ, J. L. and YOUNG, R., 1982. Resultados preliminares de la Campaña de Geología Marina «GATINO-81» realizada en la Plataforma Continental de las provincias de Valencia, Alicante y Murcia, ITG-82/3, *Departamento de Geología Marina, Instituto Español de Oceanografía*, 35 p.
- REY, J. y DÍAZ DEL RÍO, V., 1982. Resultados preliminares de los trabajos realizados con sonar lateral en el litoral murciano entre Cabo de Palos y Cabo Roig (Campaña «LITOPATO-82»), ITG-82/2. *Instituto Español de Oceanografía, Centro Costero de Málaga*, 22 p.
- REY, J. and DÍAZ DEL RÍO, V. Sand Ridges in the West Mediterranean shelf (Valencia, Spain). Morphology and seismic character. XXVIII *Congrès-Assemblée Plénière de la C.I.E.S.M., Comité de Géologie et Géophysique Marine, Cannes* (en prensa).
- STANLEY, B. J.; GOT, H.; et al., 1976. Catalanian, eastern Betic and Balearic margins: structural types and geologically recent foundering of the western Mediterranean Sea, *Smithson. Contrib. Earth. Sci.*, V. 20, pp. 1-67.
- STANLEY, D. J., 1977. Post. Miocene depositional patterns and structural displacement in the Mediterranean. *The Ocean basins and margins*, V. 4, Nairn, A.E.M., Kanes, W. H., Stehli, F. G., eds. Amsterdam: Plenum Publ. Corp., pp. 77-150.

# Definición de facies y procesos sedimentarios en la plataforma continental de Valencia (Mediterráneo occidental)

por

SALVADOR GIRÓ \* y ANDRÉS MALDONADO \*

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

## SUMMARY

Sedimentary processes controlling the recent evolution of the continental shelf in the Gulf of Valencia (Western Mediterranean) were indentified by the analysis of bottom sediment samples and piston cores to 10 meters long. Six sedimentary facies were defined by principal component and cluster analysis of grain-size distribution parameters and the components of the sand fraction. This shelf is characterized by the development of a mud blanket that extents offshore from the inner shelf. We propose several origins, including proximal, distal and hemipelagic sources for the development of the fine-grained deposits. Proximal sources, from seasonally controlled rivers in this sector may be one of the most important contribution during major floods.

Two sectors are differentiated in the continental shelf by the sedimentary sequences in piston cores. The central sector shows upward fining sequences with a basal, coarse grained unit of litoral deposits, and an upper fine-grained unit of continental shelf deposits. The upper unit records the Holocene transgression, with nearshore deposits in the base and distal continental shelf deposits in the top. The northern sector is characterized by thick upper units and reduced basal units. Different types of carbonate facies, including calcareous algae, wererecovered in the stratigraphic sequences from this sector. These deposits may represent the Late Quaternary climatic and eustatic oscillations.

## INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años se ha concentrado un notable esfuerzo en el estudio geológico de la plataforma continental de Valencia que ha permitido identificar una serie de caracteres tanto geológicos como sedimentológicos de gran interés. Estos estudios han permitido plantear en unos casos y confirmar en otros, una serie de problemas con importancia incluso a nivel mundial referentes al conocimiento de modelos sedimentarios en plataformas (Maldonado, 1982; Nittrouer et al., 1982; Young and Gust, 1982; Rey y Díaz del Río, 1982, Maldonado et al., 1983). Este estudio se centra por una parte en analizar los factores que inciden en la sedimentación actual de los elementos terrígenos en la plataforma continental y por otra en proponer unas bases iniciales para caracterizar su evolución durante la transgresión del Holoceno.

Estos estudios previos han permitido establecer que los problemas principales que se observan en la plataforma de Valencia son tres: *a*) la variación de los tipos de sedimentos en superficie, y con ello la determinación del origen de la gran cantidad de sedimento lutítico tanto en superficie como en profundidad; *b*) la acumulación de arenas, posiblemente relictas anteriores a la transgresión del Holoceno, frente a la Albufera de Valencia que asimismo forman una base en toda la plataforma, y *c*) la aparición de depósitos carbonatados en la parte norte del estudio en las secuencias estratigráficas.

Para llevar a cabo este estudio se han definido las facies que aparecen en superficie y los procesos de su formación. A partir de estas facies, se han interpretado las muestras en profundidad, con el fin de establecer un modelo de sedimentación válido para toda la plataforma.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Durante los años 1980 y 1981 se realizaron tres campañas oceanográficas con los buques N/R «Catherine Laurence», B/O «Cornide de Saavedra» y B/O «García del Cid», con los cuales se realizó una toma de muestras mediante testigos de pistón tipo Kulleberg, testigos de caja, testigos de roca y dragas de cuchara. Estos buques están equipados con radar y sistemas de posicionamiento por Loran C y satélite.

Las muestras obtenidas fueron descritas, fotografiadas y posteriormente sufrieron un análisis sedimentológico, compuesto de determinaciones granulométricas, análisis de componentes de la fracción arena y análisis geoquímico del contenido en carbonato cálcico. El análisis granulométrico de las muestras de superficie consta de un tamizaje de la fracción arena



	CL 1	CL 2	CL 3	CL 4	CL 5	CL 6	CL 7	CL 8	CL 9
Gravas %	0.3	0.0	2.2	0.0	1.1	2.1	14.5	68.0	0.0
	1.7	0.0	3.5	0.1	3.1	2.9			
Arenas %	12.9	94.7	38.1	5.0	89.1	41.8	80.5	23.5	34.9
	7.9	18.9	11.4	4.6	8.8	29.4			
Limos %	45.0	1.3	28.5	31.0	5.7	15.6	0.0	6.0	23.6
	10.8	1.2	9.1	23.2	2.7	14.2			
Arcilla %	39.7	0.3	26.3	31.3	3.9	11.9	0.0	2.5	41.5
	8.9	0.7	7.3	23.2	4.0	10.0			
Centilo	1831.8	916.3	5205.3	366.0	1030.2	6732.9	15100.0	90000.0	260.5
	4248.9	1059.0	7204.1	616.5	1873.3	12205.3			
Desviación en Phi	3.3	0.6	3.9	3.9	0.9	2.0	1.6	2.2	3.9
	0.7	0.2	1.2	4.3	1.0	1.7			
Asimetría en Phi	0.2	0.1	0.2	0.6	0.6	0.4	-0.5	0.1	0.1
	0.1	0.2	0.2	0.9	0.4	0.4			
Media Phi	6.9	1.8	4.7	5.1	2.8	2.4	1.0	-2.0	6.4
	1.3	0.6	1.3	3.5	0.8	1.7			
Tamaño medio grano Phi	7.5	1.8	5.5	7.3	3.0	3.6	0.3	-0.2	6.9
	1.4	0.6	1.4	6.0	0.2	2.5			

Valor superior : Media de la Variable

Valor inferior : Desviación Estandar

Cuadro I. Medias y desviaciones standard de las variables en las clases del análisis cluster de parámetros sedimentológicos.

(> 63  $\mu\text{m}$ ) y un análisis de la fracción fina mediante el hidrómetro (BRITISH STANDARD, 1967)). Los datos obtenidos han sido procesados mediante análisis de computador (Maldonado et al., 1973), para la obtención de los parámetros granulométricos (cf., Folk, 1966, 1968). En el caso de las muestras de profundidad, el análisis de la fracción fina se realizó mediante Sedigraph. Este instrumento mide la caída de las partículas por una fuente de rayos X y calcula los porcentajes de limo y arcilla automáticamente mediante la ley de Stokes. El sistema se basa en el mismo principio del hidrómetro, pero con la ventaja de que la información que proporciona es continua. El análisis de componentes fue determinado a partir de lupa binocular, mediante el contejo de 350 granos por muestra (cf., Kulm et al., 1975). El análisis geoquímico de medición del porcentaje de carbonato se ha realizado mediante el calcímetro de Bernard (Maldonado, 1972).

El análisis estadístico de las muestras sirve para la definición de facies. Con tal motivo se realizaron dos análisis cluster, uno de parámetros granulométricos y otro de componentes de la fracción arena. Mediante estos análisis se han obtenido una serie de clases que asocian las muestras por características similares. A partir de las clases y viendo sus relaciones geológicas, hemos obtenido las facies que definen la zona del estudio (Cuadro I y II).

El análisis cluster no jerarquizado de Diday (1971) empleado en este estudio se utiliza para agrupar muestras de características semejantes (Alon-

%	CL 1	CL 2	CL 3	CL 4	CL 5	CL 6	CL 7	CL 8	CL 9	CL 10
Cuarzo	28.8 13.8	15.4 11.2	51.2 17.6	39.7 18.6	23.0 11.3	53.0 43.3	13.6 6.9	10.2 14.5	40.3 1.0	47.2 8.6
Mica	1.0 1.0	1.1 1.7	0.3 0.4	0.6 0.4	1.0 1.1	0.5 0.5	1.2 1.5	0.7 1.0	1.6 0.6	0.4 0.6
Min.Lig.	32.1 15.8	19.7 12.0	29.0 10.3	30.8 15.5	28.2 12.7	29.8 2.9	17.4 5.6	21.4 30.3	30.3 8.8	38.7 3.6
Min.Pes.	4.4 2.5	2.8 2.3	4.4 2.9	5.4 4.4	6.9 11.2	10.4 3.2	3.7 2.4	0.1 1.6	3.0 4.2	3.5 2.3
Glauconita	0.3 0.7	0.2 0.4	0.1 0.2	0.1 0.4	0.9 1.7	0.1 0.3	0.3 0.4	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0
Frac.Roca	3.0 3.0	2.2 2.2	5.8 3.2	4.1 3.2	2.6 1.9	4.9 1.7	1.6 1.4	0.0 0.0	10.6 5.3	4.5 2.5
For.Benton.	5.4 5.0	13.0 10.0	0.0 0.0	0.8 1.1	9.8 4.9	0.4 0.5	11.7 5.4	6.5 9.2	0.6 0.8	0.9 1.5
For.Plant	1.3 1.9	4.4 4.9	0.0 0.0	0.1 0.4	2.2 2.9	0.0 0.0	14.3 11.1	1.6 2.3	0.0 0.0	0.0 0.0
Moluscos	4.8 3.8	6.7 5.1	0.2 0.4	1.8 1.7	7.0 4.0	0.5 1.2	19.7 8.1	0.7 1.0	7.8 11.1	3.5 5.7
Equinoderm.	0.8 0.8	1.9 1.4	0.0 0.0	0.3 0.6	1.4 1.0	0.1 0.2	3.9 1.7	0.2 0.3	0.0 0.0	0.2 0.9
Esp.Esponja	0.2 0.4	0.3 0.5	0.0 0.0	0.0 0.0	0.5 0.6	0.0 0.0	0.5 0.8	0.4 0.6	0.0 0.0	0.0 0.0
Ostracodos	0.9 0.8	2.0 1.6	0.0 0.0	0.1 0.2	1.7 1.2	0.0 0.0	0.3 0.6	0.7 1.0	0.0 0.0	0.0 0.0
Briozoos	0.2 0.9	0.2 0.5	0.0 0.0	0.3 0.6	0.1 0.3	0.0 0.0	1.5 3.4	0.0 0.0	1.2 1.7	1.0 1.8
Otros	1.8 2.6	6.2 6.6	0.1 0.3	0.4 0.7	3.6 3.1	0.2 0.5	10.0 6.5	6.3 8.9	4.5 6.3	0.0 0.0
Arena	24.4 20.6	12.4 12.9	88.4 28.1	58.8 38.6	17.5 15.7	95.1 3.6	20.4 14.7	0.7 0.1	46.9 41.6	80.4 32.5
Carbonato	32.3 14.8	26.6 15.1	27.5 9.7	32.1 16.9	33.5 11.2	32.1 3.1	37.6 7.3	14.9 21.1	44.2 17.8	36.1 7.2

Cuadro II. Medias y desviaciones estandard de las variables en las clases del análisis cluster de componentes de la fracción arena.

so, 1981) el análisis cluster no jerarquizado muestra además la clasificación de los sedimentos en un diagrama binario definido por los primeros factores del análisis factorial. Éste presenta a los individuos agrupados por clases.

## CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES

### *Análisis de parámetros granulométricos*

El análisis de parámetros granulométricos está definido por las variables % grava, % arena, % limo, % arcilla, centilo, desviación de phi, asimetría en phi, media en phi y tamaño medio de grano en phi.

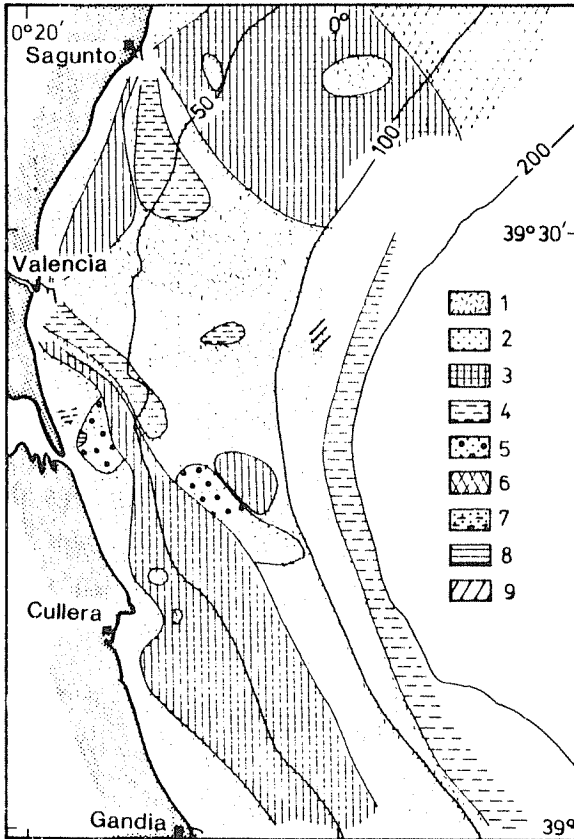


Fig. 1. Mapa de clases del análisis cluster de los parámetros sedimentológicos. Descripción en el texto.

Las muestras con características semejantes, mediante este análisis, han sido agrupadas en nueve clases, que se presentan en el Cuadro I, repartidas a lo largo de la plataforma (Figura 1).

#### Clase 1.

La clase 1 está compuesta por sedimentos eminentemente lutíticos, con un contenido en limo y arcilla del 90 %; estos sedimentos están muy pobremente seleccionados. La media en phi es de 6,6, lo que demuestra el carácter limoso de la facies.

## Clase 2.

La clase 2 está compuesta por sedimentos con un contenido medio de arena del 94 %. Son sedimentos bien clasificados con una desviación en  $\phi$  cercana a 0,62. Estos materiales corresponden a arenas litorales de aporte fluvial y posteriormente distribuidos a lo largo de las costas por las corrientes y la acción del oleaje. Esta clase está representada en la costa de la albufera de Valencia y en la franja de arenas de la plataforma media también frente a la Albufera.

## Clase 3.

Esta clase se compone de arenas limo-arcillosas. Se distribuye entre las clases 1 y 2 y en la plataforma media tras la franja de arenas. Esta clase es más arenosa que la clase 1, quizá debido a que la competencia de las corrientes es mayor.

## Clase 4.

Esta clase es la más lutítica, con contenidos medios de limo y arcilla de 80 %. Está distribuida en la parte externa de la plataforma y frente a la desembocadura de los ríos. Esta clase en la plataforma externa es más arcillosa y en las cercanías de las desembocaduras es más limosa.

## Clase 5.

Esta clase es muy semejante a la clase 2. Se caracteriza por su contenido en arena y por estar moderadamente seleccionada.

## Clase 6.

Esta clase se compone de sedimentos arenosos, con bajos contenidos de limo y arcilla. Se distribuye en la zona noreste de la plataforma y la hemos atribuido a arenas retrabajadas.

## Clase 7.

Esta clase está compuesta por arenas y gravas, es muy parecida a la clase 2 y 5 y sólo se diferencia en el mayor contenido de gravas.

## Clase 8.

Compuesta por gravas con arenas. Se trata de unas gravas redondeadas relictas, con una pátina, que da evidencia de haber estado emergida.

## Clase 9.

Sólo hay una muestra, situada en la parte externa de la plataforma. Se caracteriza por ser un sedimento areno-arcilloso y que tiene cierta semejanza con las muestras de la clase 1.

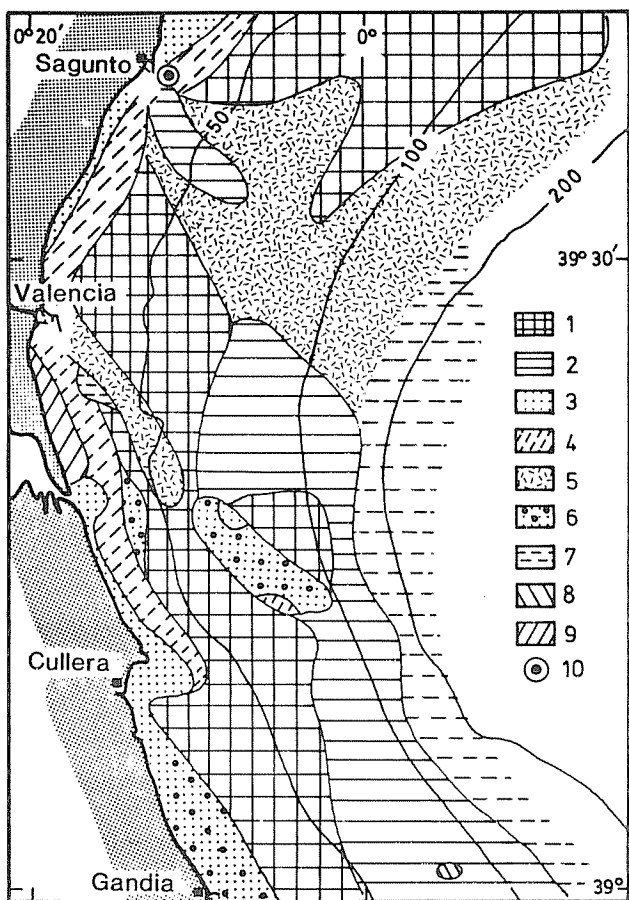


Fig. 2. Mapa de clases del análisis cluster de componentes de la fracción arena. Descripción en el texto.

### *Componentes de la fracción arena*

El análisis cluster de componentes de la fracción arena está definido por las variables % cuarzo, % mica, % minerales ligeros, % minerales pesados, % glauconita, % fragmentos de roca, % foraminíferos bentónicos, % foraminíferos planctónicos, % moluscos, % espículas de esponjas, % ostrácodos, % briozoos, % otros, % arena, % carbonato.

Las muestras han sido agrupadas en las diez clases que se presentan en el Cuadro II y que se extienden a lo largo de la plataforma (Figura 2).

### Clase 1.

Esta clase está compuesta por un contenido de arena promedio con respecto al total de muestras analizadas, contenido en componentes terrígenos del 60 %, repartidos entre cuarzo y minerales ligeros, y por un contenido de componentes biógenos del 20 % de media. En éste, los foraminíferos bentónicos y los moluscos ocupan los mayores porcentajes. Se trata de sedimentos representativos de un ambiente cercano al litoral que se podría considerar como la plataforma interna.

### Clase 2.

Esta clase está caracterizada por unos contenidos medios de arena del 12 % y por tener mayores porcentajes de componentes biógenos que la clase 1. Los componentes biógenos predominantes son los foraminíferos bentónicos (13 %) seguidos de los moluscos.

### Clase 3.

Esta clase es predominantemente arenosa (90 %) y con un contenido en componentes terrígenos del 95 %, predominando el cuarzo y los minerales ligeros. Los componentes biógenos en esta clase son muy poco abundantes. Se podría atribuir esta clase a sedimentos litorales.

### Clase 4.

Esta clase es muy parecida a la anterior, diferenciándose por unos menores porcentajes de arena. Los componentes detríticos siguen siendo mayoritarios aunque el contenido de componentes biógenos aumenta respecto a la clase anterior.

### Clase 5.

Esta clase es semejante a la clase 2, con aproximadamente el mismo porcentaje en arena, pero con contenido en componentes biógenos menor. Esta clase es intermedia entre la clase 1 y la clase 2, diferenciándose de ambas por tener mayores porcentajes de carbonatos y de minerales pesados.

### Clase 6.

Esta clase está caracterizada por su alto contenido en arena (95 % de media), donde los componentes terrígenos cuarzo y minerales ligeros representan el 80 % del total de componentes. Esta clase es parecida a la clase 3.

### Clase 7.

Esta clase está caracterizada por sedimentos con altos contenidos en componentes biógenos. Abundan predominantemente los foraminíferos planctónicos y los moluscos. Estos sedimentos tienen unos porcentajes de arena del 10 % aproximadamente.

### Clase 8.

Esta clase se puede asimilar a la clase 2. No obstante, los moluscos en esta clase tienen un porcentaje mayor que la clase 2.

### Clase 9.

Esta clase está definida por un alto contenido en carbonato cálcico (44,2 % de media), por un contenido promedio de arenas y un alto contenido en componentes terrígenos. Los componentes biógenos están representados preferentemente por los moluscos (7,8 %).

### Clase 10.

Esta clase se caracteriza por los altos contenidos en arenas. Los componentes terrígenos son predominantes y los principales componentes biógenos son los moluscos y los briozoos.

## DEFINICIÓN DE FACIES EN LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES

A partir de los resultados obtenidos mediante los métodos estadísticos y del estudio detallado de las características sedimentológicas y morfológicas del fondo se han determinado las facies que definen las plataformas del Golfo de Valencia (Figura 3).

### *Facies A*

Facies litoral, que comprende las clases 2 y 5 del análisis cluster de parámetros y las clases 3, 4 y 6 del análisis de componentes. Esta facies está definida por sedimentos con un 90 % de arena, se trata de arenas bien seleccionadas con un índice de desviación en phi del 0,6. Se caracterizan principalmente por su alto contenido en componentes detríticos, que disminuyen en relación directa con la profundidad y con la distancia al continente. Por el contrario los componentes biógenos son poco abundantes y sólo están representados en porcentajes muy bajos por moluscos y briozoos, estos últimos en las zonas más externas de esta facies.

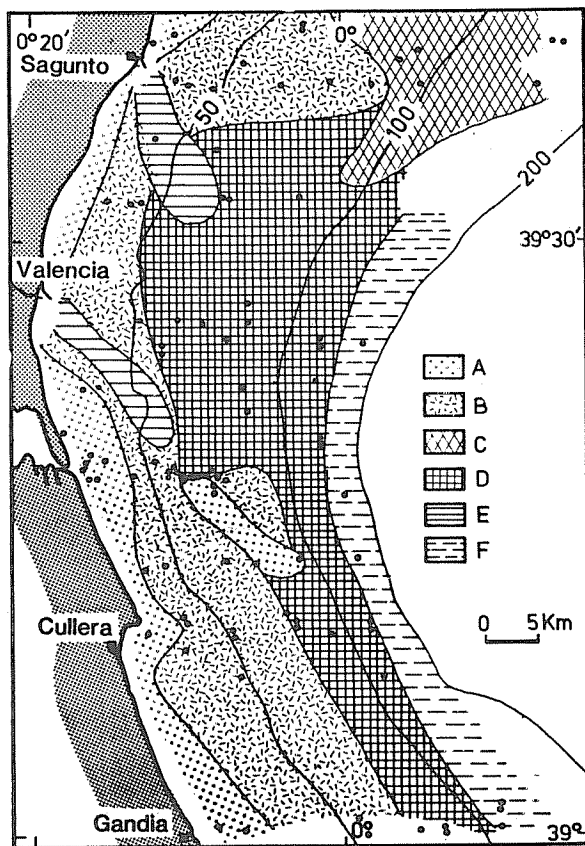


Fig. 3 Mapa de facies de superficie. Descripción en el texto

Esta facies ocupa un amplio cinturón costero a lo largo de toda la plataforma excepto en la zona de la desembocadura del río Turia donde es muy estrecha y pasa a sedimentos limo-arcillosos. También está presente frente a la Albufera de Valencia, a unos 10 km mar adentro y a una profundidad de 60 a 70 metros, en una franja de 50 a 75 km<sup>2</sup> de extensión con dirección NNW-SSE.

Este tipo de acumulaciones de barras de arenas (sand ridges) observadas en Valencia han sido descritas por otros autores en diferentes lugares como arenas litorales depositadas antes de la transgresión Holoceno (Swift, 1968, 1976 a; Figueiredo et al., 1982; Stublefield et al., 1983; Maldonado et al., 1983).



### *Facies B*

Esta facies agrupa a la clase 3 del análisis de parámetros y a parte de la clase 1 del análisis de componentes. Está definida por sedimentos areno-limo-arcillosos, con contenido en cuarzo y minerales ligeros superior al 60 %, y con una abundancia relativa de componentes biógenos donde predominan los foraminíferos bentónicos y los moluscos. La facies B se desarrolla a lo largo de toda la zona de estudio, aguas adentro de la facies litoral en la plataforma interna, alcanzando su mayor extensión en la zona norte, donde llega a ocupar la mayor parte de la plataforma media.

### *Facies C*

La facies C está compuesta por la clase 6 del análisis cluster de parámetros y por parte de las clases 5 y 1 del análisis de componentes. Los sedimentos que caracterizan esta facies son arenas y arenas limosas con un contenido de componentes terrígenos de un 50 %, compuestos principalmente de cuarzo y minerales ligeros. La constitución de la fracción arena es parecida a la de las facies B y D, pero como hemos visto, los sedimentos finos son menos abundantes y el porcentaje de carbonato es del 40 %. Esta facies está situada al noreste de la zona estudiada y se trata de arenas retrabajadas (Maldonado et al., 1983).

### *Facies D*

Está constituida por la clase 1 del análisis cluster de parámetros y por la clase 2 y 7 del de componentes. Esta facies se caracteriza por sedimentos limo-arcillosos, con abundantes componentes biógenos, representados principalmente por foraminíferos bentónicos, moluscos y foraminíferos planctónicos que suponen del 30 al 50 % del total de los componentes de la fracción arena.

Esta facies es la que ocupa mayor superficie dentro de la plataforma estudiada y se reparte principalmente por la plataforma media, excepto frente a la desembocadura del río Turia que ocupa gran parte de la plataforma continental.

### *Facies E*

Esta facies se reconoce perfectamente en ambos análisis cluster como una facies situada dentro de otras facies diferentes y cercana a la desembocadura de los ríos. Se caracteriza por sedimentos limo-arcillosos y por tener más componentes biógenos que las facies que la rodean. Los componentes biógenos predominantes son los moluscos y los foraminíferos bentónicos.

### *Facies F*

La facies F está compuesta por arcillas limosas calcáreas de plataforma externa. Esta facies está representada en los análisis cluster por las clases 7, en el de componentes, y 4 en el de parámetros. Está caracterizada por sus altos contenidos en sedimentos finos y por su contenido promedio en carbonato, que es de un 40 % aproximadamente.

Los componentes de la fracción arena son principalmente biógenos y están representados en su mayor parte por foraminíferos planctónicos y bentónicos. Esta facies representa la plataforma continental externa y se desarrolla a partir de los 135 metros hasta el borde del talud.

## SECUENCIAS ESTRATIGRÁFICAS EN TESTIGOS DE PISTÓN

Para el análisis de la evolución geológica de la plataforma continental del Golfo de Valencia durante el Pleistoceno superior y el Holoceno, se han estudiado 21 testigos continuos de pistón repartidos en tres perfiles perpendiculares a la costa, que definen dos áreas con características notablemente distintas (Figura 4).

Los análisis de las muestras de superficie han servido como base para caracterizar los sedimentos que se presentan en profundidad, debido a que con estas muestras no han sido realizados los análisis cluster para definir facies.

### *Zona central*

En la zona centro de la plataforma se identifica la primera área a partir de dos perfiles donde se han recogido 13 testigos de pistón. Se definen claramente dos tipos de sedimentos bien diferenciados: Sedimentos gruesos y sedimentos limo-arcillosos (Figuras 5 y 6).

### *Sedimentos gruesos*

Los sedimentos gruesos tienen diversos orígenes. Un grupo está constituido por sedimentos depositados después de la transgresión Holocena. Son sedimentos litorales pertenecientes a la facies A de superficie, compuestos por arena, grava y cantos blandos. Otro grupo pertenece a sedimentos pre-Holocenos. Éstos están compuestos por arenas que pasan gradualmente a gravas hacia la base. Las arenas afloran en superficie en la plataforma media frente a la albufera de Valencia, habiendo sido descritas en el apartado de facies de superficie. Los cantos y gravas de la base han sido atribuidos por diferentes autores en otras plataformas a nivel de base erosivo, anterior a la transgresión Holocena (Swift, 1976 a; Figuei-

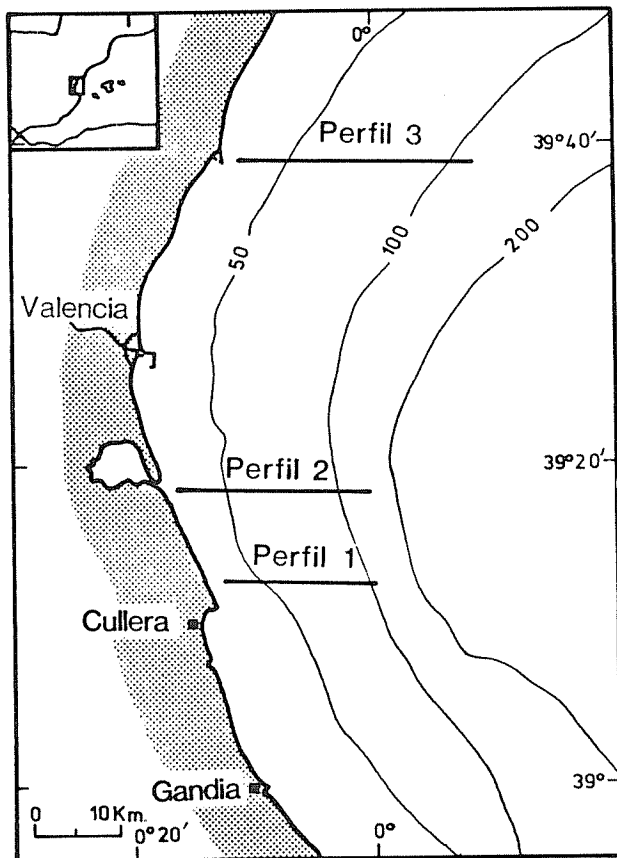


Fig. 4. Mapa de situación de los perfiles de los testigos de pistón estudiados

redo et al., 1983; Stubblefield et al., 1983). Estas arenas y gravas han sido encontradas en la base de casi todos los testigos de plataforma media e interna.

Entre estos niveles arenosos se acostumbra a encontrar delgados niveles arcillosos que han sido descritos en otros lugares como lutitas pertenecientes a ambiente lagunal (Swift et al., 1973) o como depósitos marinos normales (Stubblefield et al., 1983). En este estudio estos sedimentos finos interestratificados han sido descritos como depósitos de plataforma por su analogía con distintas facies de superficie.

Hay otros sedimentos de grano grueso que se encuentran en pequeñas láminas en los testigos donde predominan los sedimentos lutíticos. Estas láminas han sido atribuidas a depósitos de tormentas.

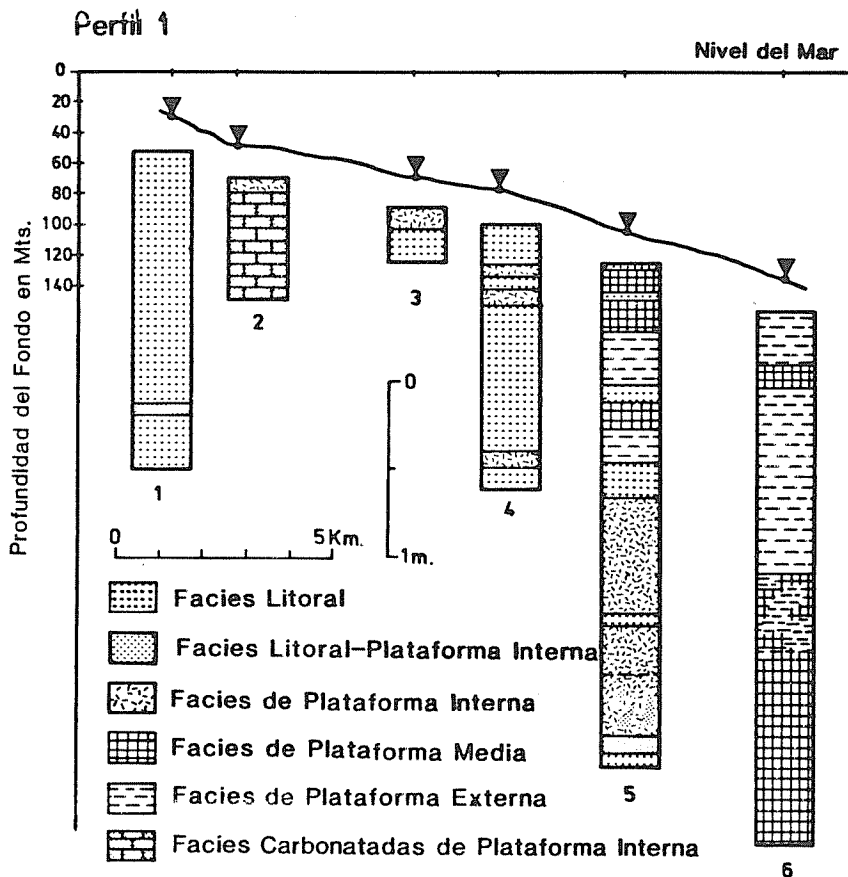


Fig. 5. Descripción de las facies en los testigos de la zona centro. (Perfil 1.)

En la zona central aparecen además unas arenas bioclásticas carbonatadas (testigo CL-80-2) compuestas predominantemente por bivalvos, gasterópodos, briozoos y foraminíferos bentónicos. Estos depósitos corresponden a una sedimentación carbonatada en este lugar debida a un ambiente de cierta energía sobre el fondo, pero sin aporte terrígeno notable.

#### *Sedimentos de grano fino*

Los sedimentos lutíticos en la zona central están localizados en dos sectores: (1) entre el litoral y las barras de arenas de plataforma media, y (2) aguas afuera de dichas barras. Los primeros acostumbran a tener

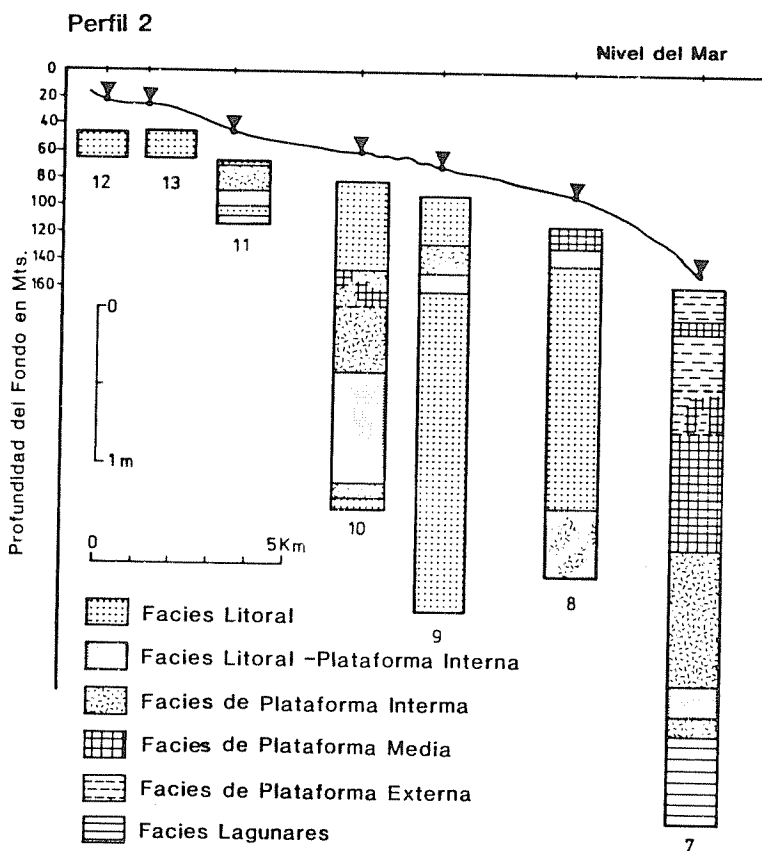


Fig. 6. Descripción de las facies en los testigos de la zona centro. (Perfil 2.)

poco espesor vertical sobre la unidad de base arenosa descrita previamente. Los sedimentos depositados aguas afuera de las barras de arena tienen mayor espesor vertical aumentando hacia las partes distales de la plataforma.

A estos sedimentos se les ha identificado por comparación con las facies de superficie y están caracterizados por registrar una secuencia transgresiva. Van desde sedimentos de plataforma interna en unos casos y lagunares en otros en la base, hasta sedimentos de plataforma externa en superficie. En todos los ejemplares analizados hay una secuencia transgresiva principal a la que se subordinan pequeños intervalos regresivos.

### Zona norte

La zona norte de la plataforma continental de Valencia está caracterizada por una mayor abundancia de sedimentos finos y por la gran extensión lateral de sedimentos carbonatados de plataforma interna (Figura 7).

En la zona litoral, a pocos kms de la costa destaca la presencia de un acantilado sumergido (Maldonado et al., 1983). En el sector, hacia el continente del acantilado se ha recogido un testigo de pistón en el que se observa una secuencia de facies litorales y facies lagunares. Este fenómeno se debe a que el acantilado ha actuado de barrera durante los descensos del nivel del mar del Holoceno, provocando el desarrollo de pequeñas albuferas o lagunas durante los períodos regresivos, las cuales pasan a condiciones marinas normales durante los períodos transgresivos.

La sedimentación en esta zona es eminentemente lutítica en todos los testigos analizados. En las zonas más costeras, aparecen niveles de facies litorales en profundidad, que se pueden correlacionar con los niveles arenosos de la zona central.

Sin embargo, la característica más destacable de esta zona está en la abundancia de sedimentos carbonatados (testigos CL-80-31, 32, 33). Estos sedimentos están principalmente formados por algas calcáreas, bivalvos y gasterópodos de plataforma interna. Las algas calcáreas necesitan un sustrato duro para desarrollarse, el cual se ha reconocido en los registros del penetrador de lodos (Fig. 8). El desarrollo de los depósitos carbonatados está además condicionado por un aporte terrígeno restringido (Zamarreño et al., 1983). En consecuencia la abundancia de facies carbonatadas puede demostrar que durante el Holoceno hubo un período con sedimen-

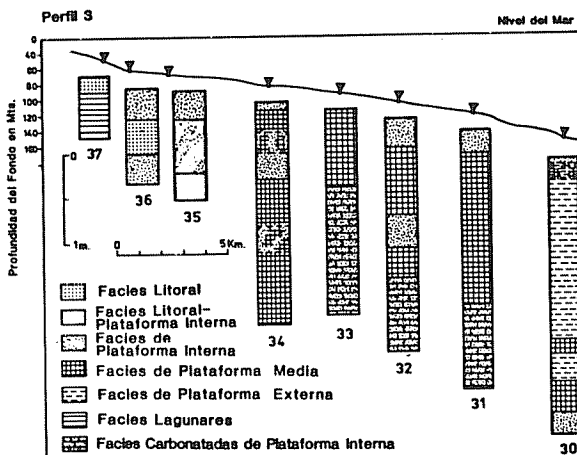


Fig. 7. Descripción de las facies en los testigos de la zona norte. (Perfil 3.)

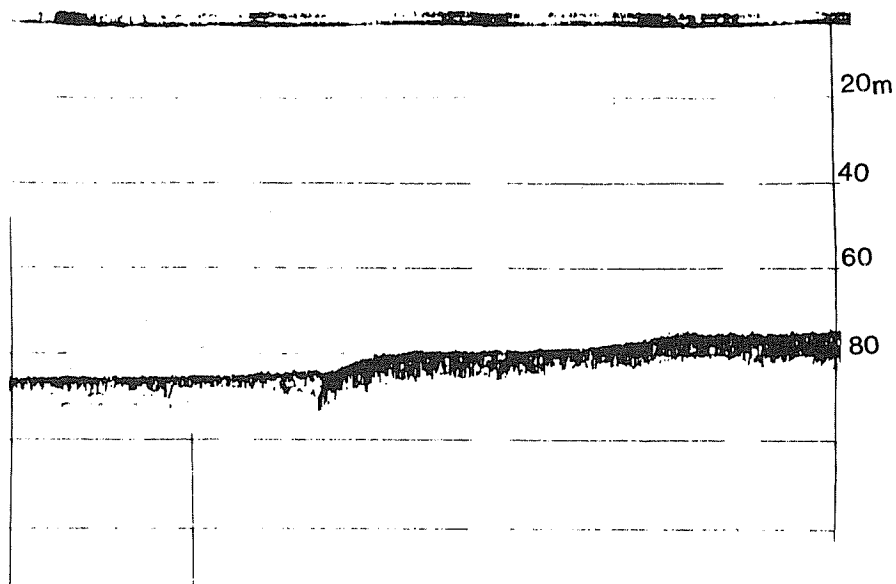


Fig. 8. Perfil del penetrador de lodos mostrando el sustrato donde se depositan sedimentos carbonatados.

tación detrítica restringida. Otro factor que ha podido influenciar el depósito de algas calcáreas puede ser un cambio climático que haya condicionado fluctuaciones en temperatura y descarga fluvial terrígena (cf. Hayes, 1967).

Los sedimentos lutíticos cubren toda la plataforma continental, teniendo mayor espesor en la plataforma externa como en la zona central. Los depósitos registran una clara secuencia de carácter transgresivo que pasa de sedimentos de plataforma interna en la base hasta sedimentos de plataforma externa en superficie. Asimismo se intercalan pequeños intervalos de carácter regresivo. La ausencia del nivel basal arenoso en los testigos de pistón es atribuida al gran espesor de los sedimentos lutíticos que han impedido su muestreo.

## PROCESOS SEDIMENTARIOS RECIENTES

En la plataforma continental de Valencia hay una serie de procesos que determinan la formación de las diferentes facies.

Los sedimentos de la facies litoral (facies A), formados principalmente por arenas terrígenas, proceden de la descarga de los ríos Turia y Pa-

lancia. Estos aportes terrígenos son posteriormente redistribuidos a lo largo de la costa por las corrientes de deriva litoral (Figura 9). Como una función del descenso energético, el transporte de sedimentos y el tamaño de grano decrece en dirección aguas afuera (Kulm et al., 1975). De esta forma se produce un cambio de facies a sedimentos progresivamente más lutíticos hacia la plataforma.

Los sedimentos terrígenos de grano fino son transportados hacia zonas cada vez más externas de la plataforma por una capa nefeloide. En la plataforma externa se añaden a los aportes terrígenos los de origen hemipelágico aportados por el régimen general de circulación y que depositan sedimentos de tamaño fino. Finalmente hay además los aportes biógenos, tales como los caparazones de foraminíferos planctónicos y bentónicos que aumentan su importancia aguas afuera (Figuras 9 y 10). En la zona de descarga fluvial los sedimentos finos más gruesos sufren en la interfase agua dulce-salada un proceso de floculación electroquímica, que forman los depósitos lutíticos ricos en materia orgánica del prodelta (Sholkovitz, 1978; Kranck, 1973; Alonso, 1981).

Tal como se ha descrito, la plataforma continental de Valencia está dominada por el depósito de sedimentos finos que ocupan las mayores extensiones superficiales. Los aportes que han dado lugar al desarrollo de los depósitos finos pueden tener tres orígenes diferentes: (1) fluvial proximal; (2) fluvial distal y (3) retrabajamiento local. El aporte fluvial proximal de finos viene dado por las avenidas de los ríos de esta zona que con su régimen estacional pueden realizar notables descargas de sedimentos en tiempos relativamente cortos, tales como durante las inundaciones de otoño de 1982. Estos sedimentos son abandonados en gran parte al llegar al mar, debido a la pérdida de competencia de la corriente fluvial, los sedimentos lutíticos son redistribuidos por las corrientes, tanto en superficie como por las capas de turbidez a diferente profundidad y por las capas nefeloides determinadas por diferencias de densidad y las termoclinas estacionales (Kulm et al., 1975). El régimen predominante de corrientes en esta zona determina que los sedimentos finos se distribuyan preferencialmente en dirección Norte-Sur (Figuras 9 y 10).

Los sedimentos finos procedentes del río Ebro, serían transportados en suspensión por las corrientes predominantes de la zona para depositarse en el Golfo de Valencia (Maldonado et al., 1938; Nitrouer, 1982). No obstante, este origen debe ser aún demostrado. El retrabajamiento de los sedimentos de la facies C, quizá debido a la batimetría de esta zona puede ser un mecanismo adicional. Éste da lugar a un lavado diferencial de los sedimentos finos con su posterior acumulación en la zona media de la plataforma, al decrecer la intensidad de corrientes (Maldonado et al., 1983).

Los tres procesos por separado pueden explicar el aumento de sedimentos lutíticos en la parte central de la plataforma continental de Valencia. No obstante, el primero de ellos parece ser el más plausible aunque



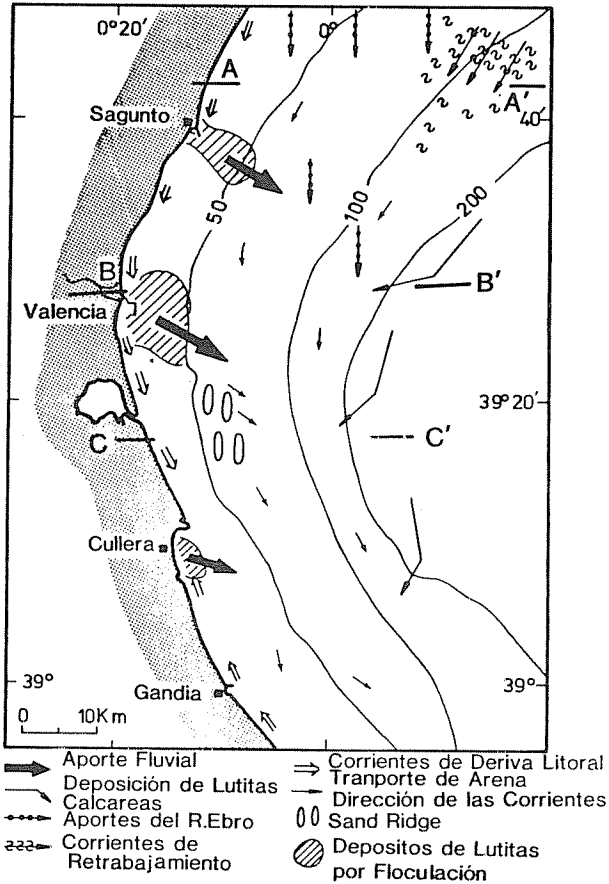


Fig. 9. Procesos sedimentarios recientes.

los otros dos deben ser considerados como procesos secundarios que ayudan al transporte y acumulación de finos en esta área.

## CONCLUSIONES

La plataforma continental del Golfo de Valencia está caracterizada por la existencia de seis tipos de facies. Estas facies se han definido con la ayuda de dos análisis cluster, uno de componentes de la fracción arena y otro de parámetros sedimentológicos y porcentajes granulométricos. Me-

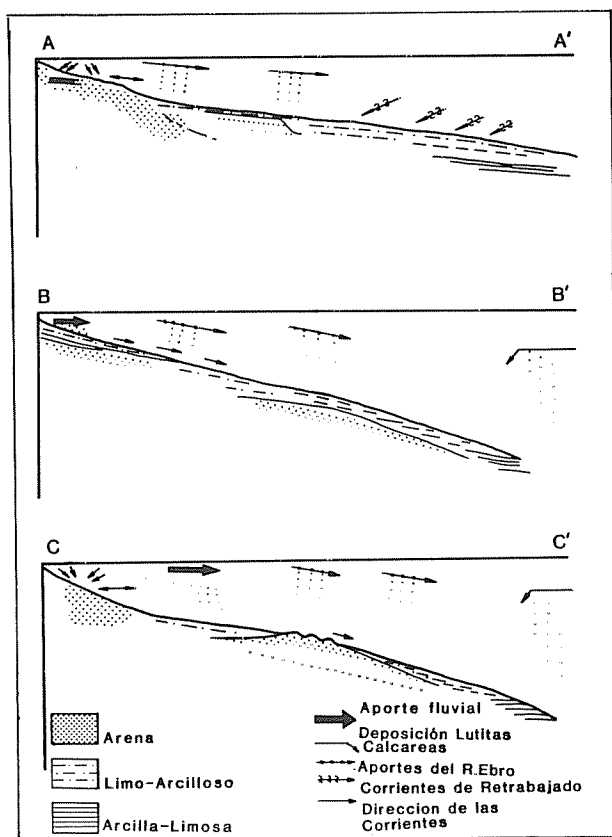


Fig. 10 Cortes transversales con los procesos sedimentarios recientes.

diante estos análisis se han obtenido una serie de clases que agrupan a las distintas muestras por características semejantes.

La plataforma está dominada por sedimentación eminentemente lutítica, que puede estar originada por tres tipos de aportes: (1) el aporte estacional de los ríos Turia y Palancia y su posterior dispersión por las corrientes dominantes de la zona con dirección N-S; (2) el aporte de sedimentos finos en suspensión, que llegan desde la desembocadura del río Ebro y (3) el aumento de las corrientes en la zona Noreste, que provoca la fuga de sedimentos finos y el retrabajamiento de los sedimentos gruesos.

El análisis de los testigos continuos de pistón ha demostrado la existencia de dos zonas bien diferenciadas, la zona central frente a la Albufera de Valencia, muestra una base de sedimentos arenosos, que llegan a aparecer en superficie en la plataforma media. Sobre estos sedimentos areno-

tos, se depositan otros sedimentos de carácter marcadamente lutíticos donde se aprecia claramente una serie transgresiva interrumpida por estadios regresivos. Las lutitas son más potentes en la plataforma externa donde no se llega a encontrar la base arenosa. En el litoral y en la plataforma media de esta zona hay importantes formaciones de barras de arena, estas acumulaciones están constituidas por sedimentos litorales depositados a principios de la transgresión Holocena que posteriormente no han sido recubiertos por los sedimentos actuales. La zona Norte, es sensiblemente diferente a la central. En ésta la base de arena sólo aparece en testigos cercanos al litoral. Esta zona está caracterizada por sedimentos biógenos carbonatados, en la plataforma media, constituidos por algas carbonatadas. Los sedimentos lutíticos presentan las mismas secuencias que en la zona central.

En resumen, la evolución de la plataforma continental del Golfo de Valencia, se puede explicar a partir de estas secuencias sedimentarias. A finales del Pleistoceno se formó un nivel basal transgresivo de arenas y gravas litorales más potente en la plataforma media actual. Posteriormente, durante la transgresión del Holoceno, se han ido depositando sedimentos predominantemente lutíticos que muestran una serie claramente transgresiva, interrumpida por pequeños niveles regresivos.

### AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a todas aquellas personas que han hecho posible la realización de este artículo, especialmente a nuestros colegas de la Unidad de Geología Marina del Instituto «Jaime Almera». Asimismo a las tripulaciones de los buques oceanográficos «Cornide de Saavedra», «Catherine Laurance» y «García del Cid» por su colaboración en las diferentes campañas a partir de las cuales se ha obtenido el material de estudio. Especialmente queremos agradecer su cooperación a María Dolores Pi que fue responsable de las fases iniciales de este trabajo.

Este estudio ha podido ser realizado gracias a una ayuda económica prestada por el Proyecto de Investigación Cooperativa del Comité Conjunto Hispano-Norteamericano para la Cooperación Científica y Tecnológica (Ref. 793020).

### BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, B., 1981. Microcontaminantes inorgánicos y procesos sedimentarios en la plataforma continental de Tarragona-Castellón. *Tesis de Licenciatura*. Universidad de Barcelona (sin publicar, 154 p.).
- BRITISH STANDARDS 1377: 1967, 1968. Methods of Testing Soils for Civil Engineering Purposes. *British Standard Institution* London, 234 p.

- DIDAY, E., 1971. La methode des Nuées Dynamiques. *Rev. Stat. App.* 19 (2): 19-34.
- FIGUEIREDO, A. G.; SANDERS, J. E. and SWIFT, D. J. P., 1982. Storm graded layers in shelves: examples from southern Brazil and the Atlantic coast of the central United States. *Sedimentary Geology*, 31: 3-4, 171-190.
- FOLK, R. L., 1966. A review of Grain-size parameters. *Sedimentology*, 6: 73-93.
- FOLK, R. L., 1968. Petrology of Sedimentary Rocks. *Hempills Book, Co Texas*, 170 p.
- HAYES, M. O., 1967. Relationship between coastal climate and bottom sediment type on the inner continental shelf. *Marine Geology*, 5: 111-132.
- KRANCK, K., 1973. Flocculation of suspended sediments in the sea. *Nature*, 246: 348-350.
- KULM, L. D., ROUSH, R. C., HARLETT, J. L., NEUDECK, R. H., CHAMBERS, D. M. and RUNGE, E. J., 1975. Oregon continental shelf sedimentation interrelationships of facies distribution and sedimentary processes. *Journal of Geology*, 83: 145-175.
- MALDONADO, A., 1972. El Delta del Ebro. Estudio Sedimentológico y Estratigráfico. *Bol. Estratigrafía*, 1. Universidad de Barcelona, 1-486.
- MALDONADO, A., 1982. Sedimentary patterns and Late Quaternary depositional processes in the Valencia continental shelf (Western Mediterranean Sea). *XIth International Congress on Sedimentology McMaster University, Hamilton, Ont. Canada Abstracts*, p. 95.
- MALDONADO, A., RIBA, O., SOLER, R., 1973. Programa de computador para el cálculo granulométrico por medio de análisis con el hidrómetro. *Bol. Geol. Minero*. 84: 438-446.
- MALDONADO, A., SWIFT, D. J. P., YOUNG, R. A., HAN, G., NITTROUER, C., DEMASTER, D.; REY, J.; PALOMO, C.; ACOSTA, J.; BALLESTER, A., y CASTELLVÍ, J., 1983. Sedimentation on the Valencia Continental shelf: preliminary results. *Continental Shelf Research*. (In press.)
- NITTROUER, C. A., DEMASTER, D. J., BERGENGACK, B. E., and KUEHL, S. A., 1982. Sediment Accumulation on the Continental shelf south of the Ebro River. *XIth International Congress on Sedimentology, Mc. Master University, Hamilton, Ont. Canada. Abstracts*, p. 95.
- REY, J., DÍAZ DEL RÍO, V., 1982. Sand ridges in the western Mediterranean shelf (Valencia, Spain). Morphology and seismic character XXVIII C.I.E.S.M., *Congress Assem. Plen. Cannes*. (In press.)
- SHOLKOVITZ, E. R., 1978. The flocculation of dissolved Fe, Mn, Al, Ci, Ni, Co, Cd during estuarine mixing. *Earth. Planet. Sci. Leter*, 41: 77-86.
- STUBBLEFIELD, W. L., MC. GRAIL, D. W., and KERSEY, D. G., 1983. Recognition of transgressive and post. transgressive sand ridges on the New Jersey continental shelf. Edited by C. T. Seimers and R. W. Tillma. *Ancient Clastic Shelf Sediments: SEMP. Special Publication* (In press).
- SWIFT, D. J. P., 1968. Quaternary shelves and the return to grade. *Marine Geology*, 8: 5-30.
- SWIFT, D. J. P., DUANE, D. B., and MCKINNEY, T. F., 1973. Ridge and swale topography of the Middel Atlantic Bight. North America: secular reponse to the Holocene hydraulic regime. *Marine Geology* 15: 227-247.
- SWIFT, D. J. P., 1976 a. Coastal sedimentation. *Marine Sediment Transport and Environmental Management*, 14. Edited by D. J. Stanley and D. J. P. Swift J. Wiley and Sons Inc. New York. pp. 255-310.
- SWIFT, D. J. P., 1976 b. Continental shelf Sedimentation. *Marine Sediment Transport and Environmental Management*, 15. Edited by D. J. Stanley and D. J. P. Swift, J. Wiley and Sons Inc. New York. pp. 311-350.
- YOUNG, R. A., and GUST, C., 1982. Sediment Transport and boundary layer observations, Gulf of Valencia, Spain. *XIth International Congress on Sedimentology. McMaster University, Hamilton, Ont. Canada. Abstracts*, p. 95.
- ZAMARREÑO, I., MALDONADO, A., CANALS, M., DÍAZ, J. I., FARRAN, M., y VÁZQUEZ, A. Temperate carbonate sedimentation on the continental shelf of Southern Spain (Western Mediterranean Sea). *XIth International Congress on Sedimentology. McMaster University, Hamilton, Ont. Canada. Abstracts*, p. 95.

# Sedimentación en la plataforma de Almería: Un ejemplo de sedimentación mixta silícico-carbonatada en clima templado

por

ISABEL ZAMARREÑO,\* ANTONIO VÁZQUEZ \*  
y ANDRÉS MALDONADO \*

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

## SUMMARY

The Almeria continental shelf is characterized by mixed carbonate and siliciclastic deposition. Siliciclastic deposits concentrates in areas off local sediment input from the continent. Seasonally controlled rivers and ephemeral streams contribute large amounts of sediments during widely spaced floods. The resulting deposits built fan-deltas characterized by coarse-grained, terrigenous sediments. Fine-grained materials scape the proximal prodelta areas and are transported offshore to built a mid-outer shelf mud blanket. A clastic wedge is also located in the nearshore environments off areas of enhanced sediment input while rocky cliffs characterize the sectors with reduced sediment supply.

Extensive carbonate platforms, with a large variety of sediment facies are located between the terrigenous sectors. The most significant features of the carbonate deposits are the skeletal nature, the extreme coarseness of the biogenic components and the complex mosaic pattern of biofacies distribution. Active skeletal growth is at present mostly restricted to the near-shore environments in areas of rugged topography and rocky substrates and to the shelf edge. The former includes a gravel, calcareous red algae-bryozoan facies whereas a mixed fine-grained, siliciclastic-foraminiferal facies occurs in the shelf edge. Extensive areas of the inner and middle shelf are predominantly mantled with relict and palimpsest deposits displaying a variety of biofacies, largely related to the sediment texture. Gravels and coarse sands consist mainly of molluscs, coralline algae, bryozoans and echinoderms whereas molluscs, bryozoans and benthic foraminifera are predominant in medium sand deposits.

The calcareous deposits of the Almeria shelf are compared with other similar non-tropical, high-latitude carbonate sediments. This analysis shows that the major factor controlling carbonate sedimentation in temperate latitudes seems to be the lack

of terrigenous input. Although other physico-chemical and biological factors may play an important role and particularly in the bifacies distribution. This example of the Almeria shelf may contribute to define an arid-temperate model of mixed, shallow marine carbonate and siliciclastic sedimentation.

## INTRODUCCIÓN

Los ejemplos clásicos de sedimentación carbonatada han sido conocidos a partir del modelo tropical o de «clima cálido» como también se le ha denominado. Este modelo fue elaborado a partir de los estudios llevados a cabo en plataformas localizadas en la zona climática tropical; especialmente en las regiones del Caribe-Florida, costa meridional del Golfo Pérsico, costas de Queensland y Australia occidental. Por lo tanto el modelo resulta poco apropiado para la interpretación de ambientes deposicionales en muchas de las series calcáreas antiguas y ha perpetuado además el concepto clásico de que la sedimentación carbonatada actual tiene lugar en plataformas localizadas en latitudes bajas, entre los 30° N y los 30° S (Rodgers, 1957, Taft, 1967; Wilson, 1975).

En este sentido ya desde 1967, Chave cuestionaba el modelo tropical en la interpretación de rocas carbonatadas, señalando la presencia de cinco áreas al norte de los 40° N y una al sur de los 40° S en las que se acumulaban sedimentos carbonatados, por lo que existía un potencial de sedimentación carbonatada en latitudes altas, es decir, en plataformas con temperaturas de aguas más frías que las del trópico. En la actualidad se conocen numerosos ejemplos de plataformas con sedimentación carbonatada localizadas en áreas «no tropicales», que confirman las predicciones de Chave (1967). Cabe mencionar entre otros los trabajos de Boillot (1965), Lees et al. (1968), Cabioch (1969), Hoskin y Nelson (1969), Wass et al. (1970), Boillot et al. (1971), Caulet (1972 a y b), Keegan (1974), Milliman (1974), Milliman et al. (1972), Farrow et al. (1978, 1979), Thornton et al. (1978), Burollet et al. (1979), Bosence (1979, 1980), Bouysse et al. (1979), Davies (1979), Scoffin et al. (1980), Leonard et al. (1981), Nelson et al. (1982), a los que hay que añadir el ejemplo de la plataforma de Almería que se describe en este trabajo. Una característica común en todos estos ejemplos es la ausencia de importantes aportes terrígenos al medio si bien otros factores como por ejemplo, temperatura, salinidad, profundidad, naturaleza del sustrato, etc., juegan un papel importante respecto a la distribución de biofacies.

La plataforma de Almería constituye un ejemplo de plataforma de tipo mixto, con amplias áreas de sedimentación carbonatada y otras con sedimentos silíceo-clásticos (Zamarreño et al., 1982). Por este motivo y dado el carácter de sistema cerrado del Mediterráneo, desde el punto de vista de sus parámetros físico-químicos y biológicos, hacen que esta plataforma sea un lugar idóneo para el establecimiento de un modelo de sedimentación en plataformas de tipo mixto. Hay que tener en cuenta no

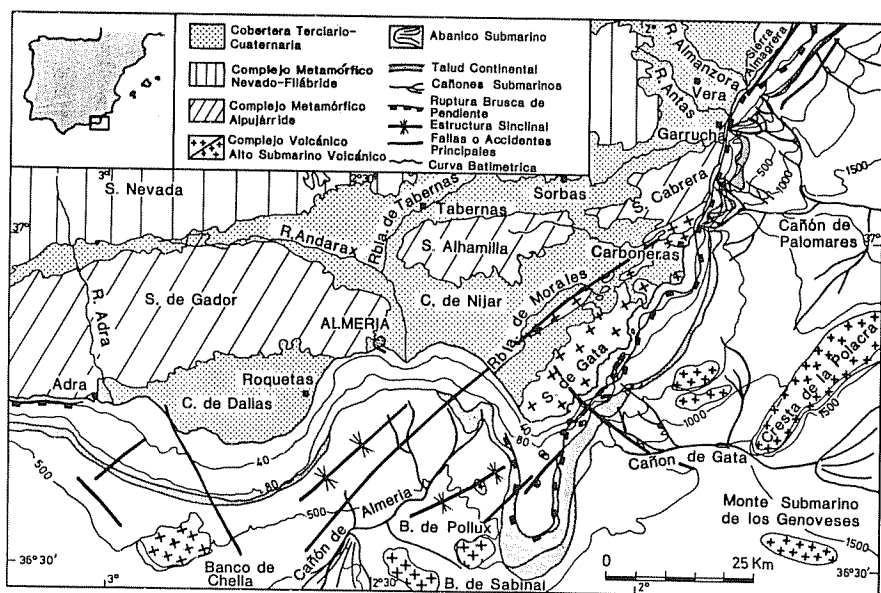


Fig. 1. Esquema morfoestructural del área estudiada. Basado en Baena et al (1982).

obstante, la dificultad que encierra el establecer un modelo deposicional en estos tipos de plataforma, debido especialmente a la complejidad de factores que controlan la sedimentación carbonatada.

Finalmente, el interés en el estudio de los procesos sedimentarios que dan lugar a la acumulación de los sedimentos carbonatados en la plataforma de Almería radica además en el hecho de poder contribuir al establecimiento de un modelo interpretativo de sedimentación carbonatada distinto del modelo clásico o tropical.

## ENCUADRE GEOLÓGICO

La plataforma continental española en el sector estudiado comprendida entre los paralelos 37 " 20' y 36 " 30' N y los meridianos 3 " 11' y 1 " 31' W, es de extensión reducida, alcanzando en promedio una anchura de unos 5 km, excepto frente al Cabo de Gata donde alcanza unos 18 km. En la zona terrestre corresponde en su mayor parte a la provincia de Almería y únicamente en una pequeña porción en el extremo occidental, a la provincia de Granada, por lo que la denominamos plataforma de Almería.

La plataforma continental de Almería se sitúa en su parte oriental (Mar Sur-balear) sobre un margen continental de tipo abrupto y en la

zona meridional (Mar de Alborán), de tipo intermedio o progresivo (Maldonado, 1983). Está prevista de una cobertera sedimentaria muy reducida, excepto en el Golfo de Almería, donde se desarrolla hacia la parte externa de la plataforma, una importante cuña de lodos como consecuencia de los abundantes aportes suministrados por el Río Andarax (Baena et al., 1982).

La plataforma en su sector oriental, comprendido el Cabo de Gata, presenta una morfología bastante irregular, con numerosos relieves deposicionales de pequeñas dimensiones, así como pequeños rellanos y escalones que corresponden probablemente a terrazas marinas relictas (Baena et al., 1982). Todos estos relieves juegan un papel muy importante en la distribución de las biofacies (Fig. 1).

El borde de la plataforma, en este mismo sector, es lobulado, debido a la existencia de una serie de cañones cuya distribución refleja a menudo un control estructural, tales como los de Palomares y Gata por citar los más importantes. El cañón más importante se sitúa en el Golfo de Almería, en el sector meridional (cañón de Almería). De todos modos el talud en el Golfo de Almería es más suave, debido al carácter progresivo del margen continental en este sector, como consecuencia de los aportes del Río Andarax.

La plataforma de Almería posee un sustrato duro en muchos puntos, especialmente entre Rodalquilar y el Cabo de Gata, formado por rocas volcánicas, que constituyen la prolongación en el mar de los afloramientos de la Sierra de Gata. La existencia de este sustrato duro juega un papel muy importante en la distribución de biofacies. Mar adentro, ya en el dominio de aguas más profundas, tanto del Mar Sur-balear como del de Alborán, existen importantes relieves, dando lugar a bajos fondos, que están igualmente constituidos por rocas volcánicas (Bancos de Chella, de Pollux, de Sabinal, etc.).

Desde el punto de vista climático destacan como características importantes, la extrema aridez de la zona (con índices de pluviosidad inferiores a los 200 mm anuales), y el régimen esporádico y torrencial de las precipitaciones. Esta última característica determina que importantes masas de agua cargadas de materiales terrígenos sean un factor importante no sólo en el desarrollo de procesos erosivos (cañones) sino también como fuente de aportes y dispersión de sedimentos a grandes profundidades.

## METODOLOGÍA

El estudio sedimentológico de la plataforma continental de Almería ha sido elaborado a partir del análisis de las muestras obtenidas en dos campañas de Geología Marina realizadas con los B/O Cornide de Saavedra perteneciente a la Subsecretaría de Pesca, B/O García del Cid, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, en mayo de 1980 y marzo



de 1981, respectivamente. Ambos buques están equipados con radar y sistemas de posicionamiento por Loran C y satélite. Este estudio ha sido llevado a cabo dentro del Programa FOMAR del Instituto Geológico y Minero de España.

En conjunto se realizaron un total de 724 estaciones de muestreo distribuidas a lo largo de 212 perfiles, en su mayoría perpendiculares a la costa. Se extrajeron en total: 350 muestras con draga de cuchara y 3 con draga de arrastre, 50 testigos de pistón, 207 testigos de roca, 22 testigos de caja y 28 de gravedad así como 34 fotografías submarinas (Baena et al., 1982).

En el conjunto de muestras, se ha realizado el estudio sedimentológico habitual preconizado por la «British Standard Institution» (1967).

Las determinaciones y cálculo de porcentajes de componentes terrígenos y biógenos, en las fracciones arena-grava, se han realizado con lupa binocular siguiendo en el caso de los constituyentes biógenos los criterios de identificación propuestos principalmente por Bathurst (1971) y Milliman (1974).

## CARACTERÍSTICAS Y DISTRIBUCIÓN DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES

Los datos suministrados por el estudio sedimentológico han permitido definir las características texturales y de composición de los sedimentos superficiales en la plataforma continental y su distribución areal. Además de la textura se ha tenido en cuenta para ello el contenido total de la muestra en carbonatos, ya que estos últimos son un componente mayoritario en determinadas áreas de la plataforma en la zona estudiada.

De acuerdo con el contenido total en carbonatos se pueden distinguir tres tipos principales de sedimentos: a) sedimentos carbonatados, con más del 60 % en carbonatos, b) sedimentos calcáreos mixtos, cuyo contenido varía entre el 60 % y el 30 % y c) sedimentos terrígenos, con menos del 30 % en carbonatos. Los sedimentos carbonatados están constituidos esencialmente por componentes biógenos (moluscos, briozoos, algas calcáreas, foraminíferos, etc.). Los mixtos por biógenos y componentes silíceo-clásticos. Los terrígenos por un gran predominio de silíceo-clásticos sobre los biógenos.

En la Fig. 2 se muestra la relación existente en los sedimentos de la plataforma continental entre composición y textura. Se ha construido un diagrama triangular en el que la base representa la relación  $\frac{\text{arena} + \text{grava}}{\text{lutita}}$ , y el vértice superior el porcentaje total de carbonatos en la muestra. En este diagrama cada muestra queda representada por un punto que viene determinado por el porcentaje real de carbonato en la muestra. Los por-

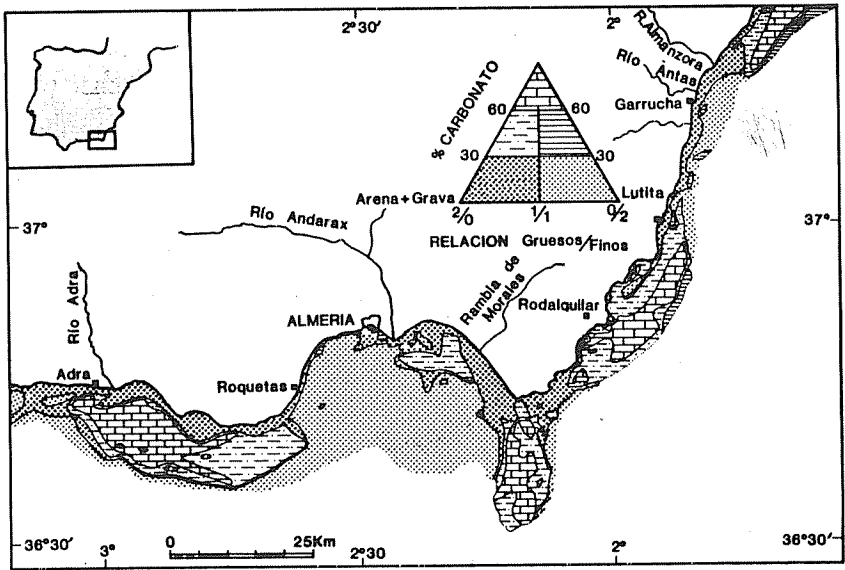


Fig. 2. Esquema de distribución de los sedimentos superficiales de la plataforma continental de Almería, basado en la clasificación triangular que relaciona el contenido total de carbonatos y la textura de los sedimentos. Según Baena et al. (1982).

centajes de arena + grava y lutita han sido relacionados por deducción proporcional del porcentaje de carbonato según la fórmula.

$$\% \text{ Calculado} \left( \frac{\text{arena + grava}}{\text{lutitas}} \right) = \frac{(100 - \% \text{ carbonato}) \times \% \text{ Real} \left( \frac{\text{arena + grava o}}{\text{lutita}} \right)}{100}$$

En el mapa de distribución textura-carbonatos de la Fig. 2 se observa que los sedimentos carbonatados (porcentaje en carbonatos superior al 60 %) se localizan en cuatro áreas de la plataforma. En el extremo occidental, frente a Adra, frente al Cabo de Gata y dos áreas en el sector sur-baleár de la zona, una frente a Rodalquilar y otra en el extremo más septentrional de la zona. Las demás áreas están constituidas por sedimentos mixtos calcáreos y sedimentos terrígenos. Los primeros bordeando las áreas carbonatadas y los segundos distribuidos por el resto de la plataforma.

Desde el punto de vista textural hay que destacar que en los sedimentos de la plataforma continental de Almería, existe un predominio de sedimentos groseros, arenas y gravas (Figs. 3 y 4). Estos sedimentos disminuyen de tamaño de grano hacia el borde del talud donde predominan los limos y arcillas. Sin embargo, desde el punto de vista del predominio de las diferentes clases de tamaños se pueden diferenciar las siguientes

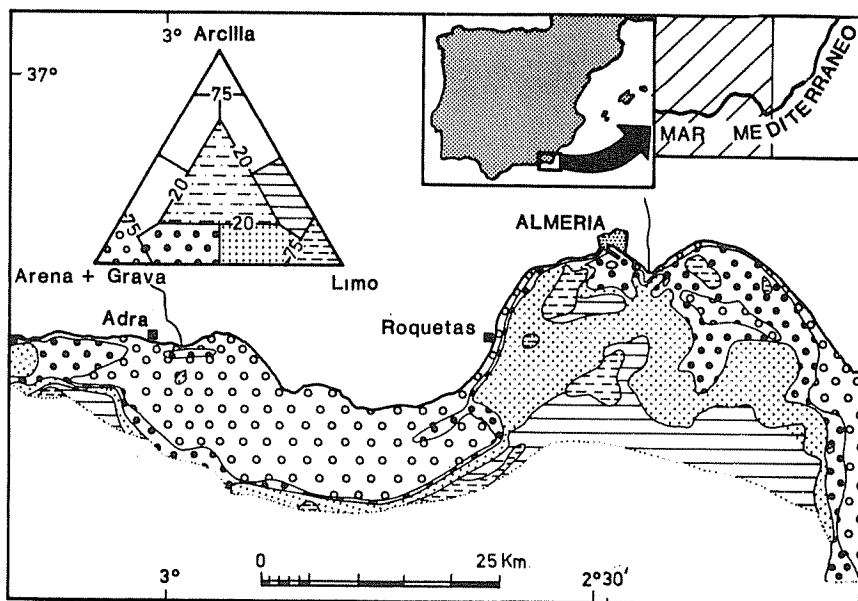


Fig. 3. Esquema de distribución textural de los sedimentos superficiales en las plataformas de Adra y Golfo de Almería en base a la clasificación triangular de Shepard (1954). Según Baena et al. (1982).

áreas: a) tres áreas de gravas-arenas bordeadas por arenas limosas, b) un área de sedimentos de grano medio y fino y c) un área constituida por una distribución en mosaico de los diversos tamaños.

Las tres áreas de gravas-arenas se localizan en los siguientes sectores: a) frente a los Llanos de Almería a partir de Adra (Fig. 3); b) frente al Cabo de Gata (Fig. 4), y c) en el sector Rodalquilar-Carboneras, si bien presenta en su porción central una zona de arenas limosas y limos arenosos. A estas tres áreas hay que añadir una franja muy delgada de gravas-arenas que bordea de un modo más o menos continuo la costa, y que constituye el prisma litoral. Como es natural el prisma litoral forma una unidad textural con las tres áreas antes mencionadas y únicamente se diferencia de ellas como veremos más adelante por su composición.

El Golfo de Almería constituye un área donde dominan las arenas y sedimentos de grano fino (Fig. 3). A grandes rasgos se distribuyen desde la costa hacia el borde del talud, en tres grandes bandas más o menos irregulares y paralelas constituidas por un predominio de arenas limosas, limos arenosos y limos arcillosos respectivamente, a excepción de dos zonas recubiertas de limos y otra, al Este de la desembocadura del Río Andarax, con gravas.

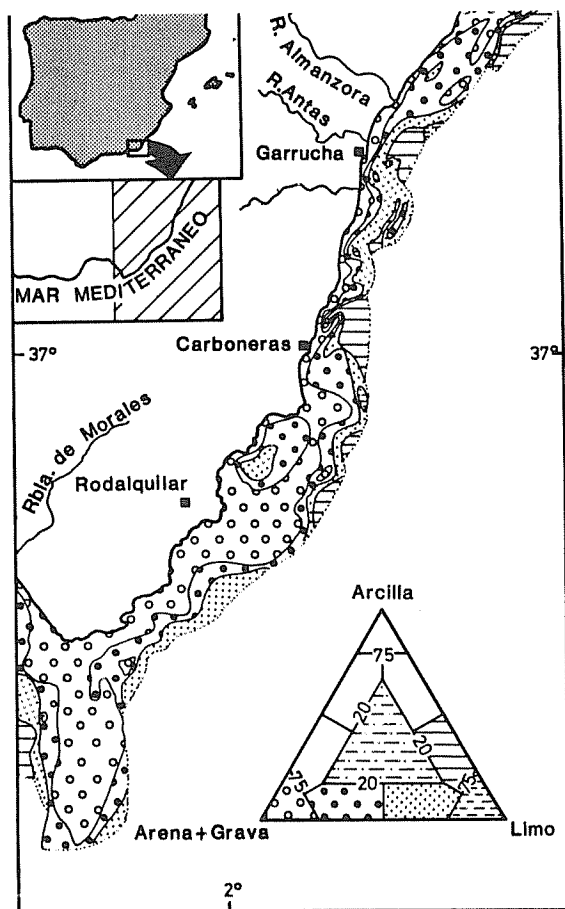


Fig. 4. Esquema de distribución textural de los sedimentos superficiales de la plataforma continental de Almería en el sector sur-baleár, basado en la clasificación triangular de Shepard (1954). Según Baena et al. (1982).

Finalmente, la plataforma al Norte de Carboneras está recubierta por sedimentos que presentan una compleja distribución textural, a modo de un mosaico de gravas, arenas, arenas limosas, limos arenosos, limos arcillosos y limos. Una distribución similar se presenta en el sector de la plataforma situado al Oeste de Adra.

Hay que señalar que existe una estrecha correlación entre la distribución de los sedimentos calcáreos biógenos y la textura. En las áreas con predominio de gravas y arenas groseras (frente a los Llanos de Almería y Cabo de Gata y entre Rodalquilar y Carboneras) los constituyentes bióge-

nos dominantes son algas calcáreas coralinas, moluscos y briozoos (Figuras 2, 3 y 4). Las algas coralinas se presentan tanto en forma de nódulos algales (rodolitos o pralinas de los autores franceses) como de fragmentos ramificados, siendo estas últimas morfologías las que más abundan en las fracciones arenosas (maerl). Las gravas y arenas de maerl predominan en la plataforma frente al Cabo de Gata y entre Rodalquilar y Carboneras.

En los sedimentos arenosos de grano medio suelen dominar los moluscos, briozoos y equinodermos y en menor proporción se presentan también algas calcáreas coralinas y foraminíferos bentónicos. Estas arenas biógenas dominan en el sector frente a los Llanos de Almería y en la zona al Norte de Garrucha. También se presentan aunque en menor proporción frente al Cabo de Gata y entre Rodalquilar y Carboneras (Figuras 2, 3 y 4).

Los sedimentos de grano fino están constituidos por foraminíferos, ostrácodos, moluscos y en menor proporción fragmentos de equinodermos.

## FACIES SEDIMENTOLÓGICAS Y DEFINICIÓN DE AMBIENTES

La identificación de facies sedimentológicas se basa en las características descritas de los sedimentos, que se complementan con otros criterios de significado paleoambiental. Es en especial importante distinguir en los componentes, entre las diversas asociaciones de biógenos, al objeto de caracterizar las tanatocenosis representadas. Resulta significativo diferenciar si existe más de una asociación paleoecológica en la muestra, así como los diversos ciclos sedimentarios a los que han podido estar sometidas estas asociaciones.

La clasificación de facies se orienta, de este modo, a definir dos aspectos básicos. Por una parte, el ambiente deposicional de los sedimentos en la plataforma y por otra, los ciclos y estadios de equilibrio del depósito en relación al medio deposicional en el que se encuentra actualmente.

Con el objeto de identificar los distintos tipos de facies presentes en la plataforma, se han tenido en cuenta los ambientes y subambientes que en ella se pueden diferenciar.

### *Provincias deposicionales*

Desde el punto de vista dinámico se pueden distinguir dos sectores principales, el litoral y la plataforma propiamente dicha, que representan dos ambientes muy distintos. Cada uno de ellos, a su vez, de acuerdo con sus características se puede dividir en varios sub-ambientes deposicionales (Figura 5).

#### El litoral

El litoral es la amplia zona de transición entre el continente y el medio marino. Comprende desde la zona terrestre más interna, donde los tem-

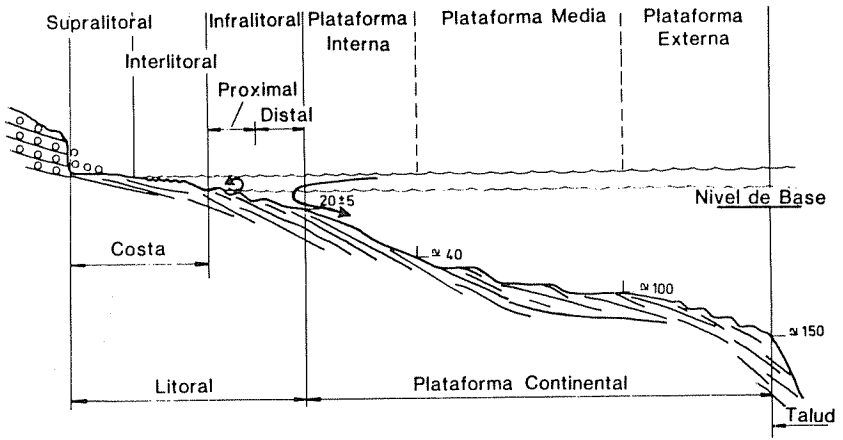


Fig. 5. Perfil esquemático representativo de las principales provincias deposicionales de la plataforma continental.

porales importantes pueden ejercer alguna influencia, hasta la zona inferior donde influye la acción del oleaje y temporales. Se puede dividir en los siguientes sub-ambientes: a) *supralitoral*, zona por encima de la línea superior del oleaje y marea, pero que aún queda dentro de la influencia marina por ser afectada por los temporales más importantes; b) *interlitoral*, zona comprendida entre los límites superior e inferior del oleaje y marea. Esta zona puede estar caracterizada por la existencia de varias bermas sedimentarias y por concentraciones de minerales o bioclastos y, c) *infralitoral*, zona que se continúa mar adentro, a partir de la interlitoral, que alcanza hasta el límite más inferior de la acción del oleaje, situado en las costas mediterráneas a unos 20-25 metros. Se puede diferenciar en ella una zona proximal, que constituye el área más activa de transporte de sedimentos, caracterizada por la existencia de barras sumergidas, y una zona distal en la que los procesos dinámicos son más atenuados.

### La plataforma continental

La plataforma continental, comprende el dominio que se extiende desde el litoral hasta el borde de la plataforma, caracterizado por la inflexión de pendiente que da paso al talud continental. Se distinguen en ella tres provincias principales: a) *plataforma interna*, se sitúa a continuación de la zona infralitoral distal y se extiende hasta la batimetría de 30-40 metros. Es una zona de gran variedad morfológica y sedimentológica, donde la influencia continental y la intensa dinámica litoral disminuyen rápidamente; b) *plataforma media*, es el sector subhorizontal de la plataforma

con pendiente más suave. La morfología de detalle, sin embargo, puede ser bastante complicada y estar caracterizada por la presencia de terrazas, dunas y montículos de arena. En esta zona aparecen gran cantidad de características heredadas de condiciones dinámicas diferentes de las actuales, y c) *plataforma externa*, que constituye la parte más distal de la plataforma continental. Suele estar caracterizada, desde el punto de vista sedimentológico, por una cobertera sedimentaria de lodos que en gran parte uniformizan el relieve; pueden, no obstante, aparecer ondulaciones superficiales, que son el reflejo de morfologías fosilizadas o de fenómenos de deslizamiento gravitativo que afectan a la parte superior del talud continental.

### *Tipos de sedimentos*

En relación al segundo aspecto referido anteriormente, los sedimentos de la plataforma continental pueden tener tres estadios diferentes respecto al medio deposicional en el que se encuentran en un momento determinado:

1. *Sedimentos modernos*, los que se encuentran en equilibrio dinámico con el medio deposicional y se están desarrollando en ese momento en función de los diversos factores ambientales.
2. *Sedimentos relictos*, depósitos formados bajo condiciones ambientales diferentes a las que existen en el ambiente actual del que han sido muestreados. Estos sedimentos conservan en gran parte sus características deposicionales primitivas (Emery, 1968).
3. *Sedimentos palimpsest*, se trata de depósitos relictos parcialmente modificados bajo las nuevas condiciones ambientales que sucesivamente han ido ocupando el medio deposicional. Por tanto, no sólo conservan parte de las características deposicionales primitivas sino que además han adquirido otras nuevas del ambiente posterior (Swift et al., 1971).

## TIPOS DE FACIES EN LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE ALMERÍA

El análisis de los sedimentos superficiales de la plataforma de Almería pone de relieve que existen notables diferencias en los tipos de facies tanto en los diferentes medios deposicionales como en los varios sectores considerados. En general, se observa una neta correlación entre los diversos parámetros sedimentológicos analizados y los tipos de facies desde el punto de vista paleoambiental. Así en las plataformas carbonatadas, predominan las facies de tipo palimpsest y relicto, mientras que en las terrígenas (Golfo de Almería y sector de Garrucha), hay una mayor abundancia de las facies con sedimentos modernos.

A grandes rasgos, esta plataforma continental, se caracteriza por un predominio general de las facies de tipo relicto y palimpsest, excepto en los ambientes litorales más proximales y en la plataforma más externa. Es decir, que los diferentes tipos de facies paleoambientales no guardan relación con el medio deposicional en el que actualmente se encuentran.

#### *Distribución de facies en los ambientes litorales actuales*

Los ambientes litorales actuales se caracterizan por el predominio de facies modernas en las zonas supralitoral, interlitoral e infralitoral distal. Los diferentes tipos de sedimentos en estas zonas están en relación directa con el tipo de costa, la presencia de descargas fluviales y su naturaleza, y en menor proporción, con las características de la plataforma continental interna en la zona considerada. Por lo general predominan los sedimentos terrígenos de textura muy gruesa, constituidos por gravas, en muchos casos suministradas por un aporte muy local a partir de los acantilados costeros. Las playas arenosas son más frecuentes en las inmediaciones de los delta-abanicos originados por los ríos y ramblas en esta zona. Las gravas más groseras desaparecen mar adentro, a partir de la zona infralitoral proximal, dando paso primero a arenas y luego a limos con constituyentes biógenos en las áreas con aportes terrígenos, y a gravas y arenas gruesas biógenas en el resto de la plataforma.

#### *Distribución de facies en las plataformas terrígenas*

En las plataformas terrígenas predominan las facies con sedimentos silíceo-clásicos modernos (Figuras 6 y 7), existiendo una estrecha correlación entre el medio deposicional actual y los tipos de sedimentos. En el Golfo de Almería y sector de Garrucha existe, en general, una progresión uniforme mar adentro de las facies litorales a las de plataforma externa y finalmente a las de talud continental. Esta progradación se manifiesta en los sedimentos por una disminución progresiva del tamaño medio de grano y por un aumento de la relación biógeno/terrígeno en la fracción arena. Se observa además un aumento progresivo de los microfósiles, especialmente foraminíferos llegando a ser relativamente abundantes los foraminíferos planctónicos en las facies de plataforma externa.

Las áreas de influencia deltaica en estas plataformas terrígenas, presentan unas características muy peculiares que no pueden ser comparadas con otros ejemplos de deltas bien estudiados, de mayor tamaño (Maldonado, 1972). Así las facies de prodelta, propiamente dichas se encuentran muy circunscritas a las partes más internas de la plataforma, debido al aporte terrígeno muy grosero de estos ríos y ramblas.

Por el contrario, los sedimentos más finos transportados en suspensión, escapan de la zona de prodelta y van a depositarse en la plataforma media



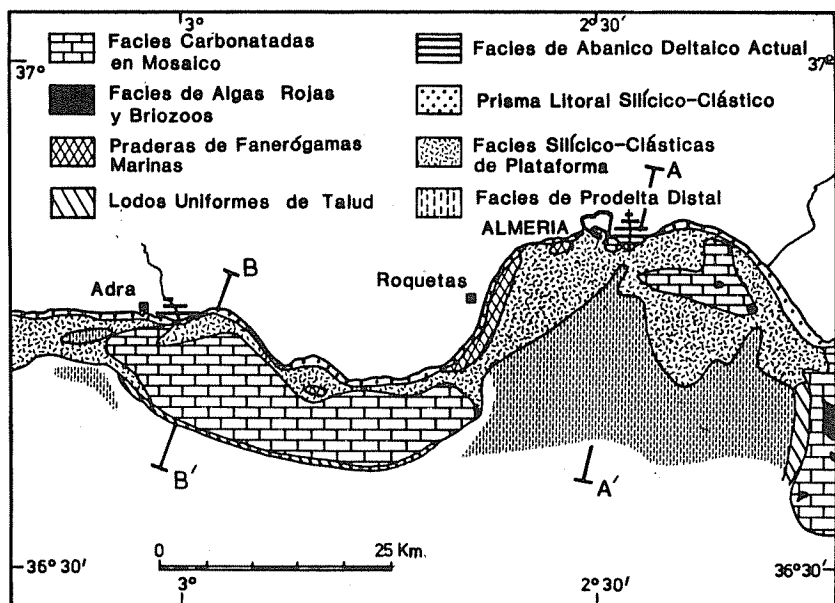


Fig. 6. Esquema de distribución de las facies carbonatadas y silíceo-clásticas en las plataformas de Adra y Golfo de Almería.

y externa, para ser después transportados a través de los cañones submarinos hacia las zonas profundas del margen continental (Figuras 6 y 7).

#### *Distribución de facies en las plataformas carbonatadas*

Al contrario que en las plataformas terrígenas, en las plataformas carbonatadas predominan los componentes biógenos de tipo relicto y palimpsest.

A grandes rasgos se diferencian tres grupos principales de facies, que en orden de mayor a menor importancia son: a) facies carbonatadas en mosaico; b) facies de algas rojas y briozoos; y c) facies propias de las Praderas de Fanerógamas marinas.

#### Facies carbonatadas en mosaico

Estas facies son las más abundantes y se presentan en las cuatro áreas de la plataforma continental con sedimentación carbonatada; sector de Adra, Cabo de Gata, Rodalquilar y sector al Norte de Garrucha (Fig. 6 y 7).

Se trata de gravas y arenas gruesas y medias constituidas por moluscos, briozoos, algas calcáreas rojas coralinas, equinodermos y foraminíferos especialmente bentónicos. Estos constituyentes varían en sus proporciones según los diversos sectores de la plataforma dando lugar a una gran variedad de biofacies cuya distribución en detalle revela un intrincado mosaico.

En general, existe como ya se ha indicado una estrecha correlación entre la naturaleza de los componentes biógenos y la textura. En las biofacies de gravas y arenas groseras predominan los moluscos, algas calcáreas y briozoos. En los sedimentos arenosos de grano medio suelen dominar los moluscos, briozoos y equinodermos mientras que las algas calcáreas coralinas y los foraminíferos bentónicos suelen presentarse en menor proporción. Es interesante destacar la presencia de glauconita que puede ser muy abundante en algunos sectores. En su mayoría procede de la epigenización de caparzones de foraminíferos y en menor medida de equinidos.

Las facies carbonatadas en mosaico se encuentran en la actualidad en la zona interna y media de la plataforma y se caracterizan por el predominio de componentes biógenos de tipo relicto y palimpsest. El estudio al binocular revela que la mayoría de biofacies pueden ser atribuidas al ambiente infralitoral, ya sea proximal o distal y en menor proporción al ambiente interlitoral. Existen, no obstante, algunos sectores en los que abundan los componentes recientes o subrecientes. En consecuencia la mayoría de biofacies se han originado en un ambiente deposicional distinto del actual y menos profundo, habiendo sufrido algunos de sus componentes profundas removilizaciones. Su presencia actual en la zona interna y media de la plataforma es el resultado de la última transgresión del Holoceno.

En el sector de Adra, los sedimentos con porcentajes más altos en carbonatos (entre el 60 y el 80 %) se presentan en la zona media de la plataforma, entre los 45 y los 80 m de profundidad. Se trata en su mayoría de sedimentos arenosos de grano medio, por lo tanto las biofacies que predominan están constituidas por moluscos, briozoos, equinodermos y foraminíferos y en menor proporción algas calcáreas coralinas. Lateralmente, en especial hacia el Golfo de Almería disminuye el porcentaje en carbonatos, no sobrepasando nunca el 60 %. Esto es debido al efecto de dilución provocado por los aportes terrígenos del Río Andarax. Existe también una disminución del porcentaje en carbonatos aguas afuera de la plataforma hasta enlazar con las facies de lodos uniformes de la plataforma externa.

En las plataformas carbonatadas de la región oriental desde el Cabo de Gata hacia el Norte también predominan las facies carbonatadas en mosaico y existe la misma correlación entre textura y naturaleza de los componentes biógenos. Es importante destacar la gran abundancia de gravas y arenas gruesas constituidas por algas calcáreas coralinas (maerl) en las plataformas del Cabo de Gata y Rodalquilar. Por el contrario en la plataforma al Norte de Garrucha, debido a sus características texturales

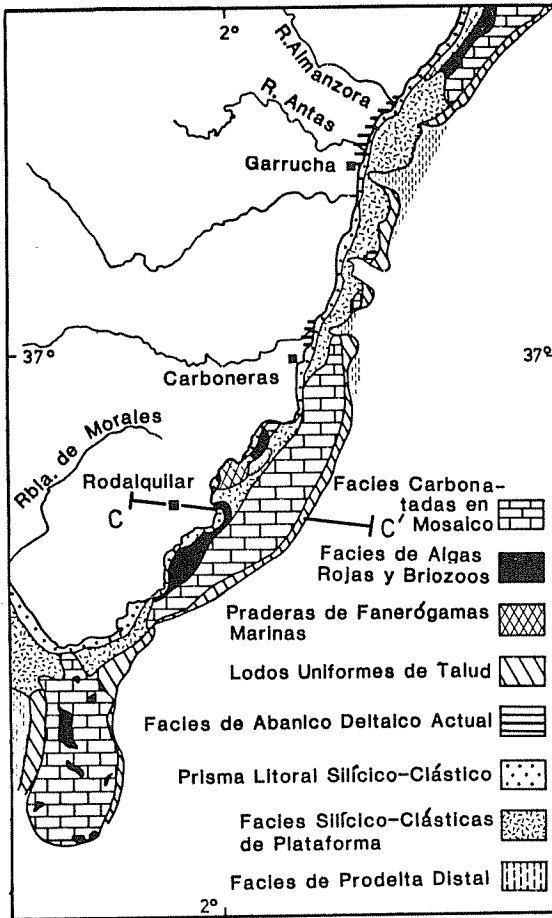


Fig. 7. Esquema de distribución de las facies carbonatadas y silfíco-clásticas de la plataforma continental de Almería, en el sector sur-baleár.

(arenas de grano medio), predominan los moluscos, briozoos y equinodermos mientras que las algas coralinas son constituyentes subordinados. Es decir, que los sedimentos carbonatados en esta última área se asemejan más a los de la plataforma de Adra.

Con independencia de las diferencias de composición, las tres plataformas presentan los mismos cambios laterales con disminución de los porcentajes en carbonatos, en especial aguas afuera de la plataforma.

## Facies de algas rojas y briozoos

Las características más importantes de estas facies son la abundancia de algas calcáreas coralinas y briozoos y el elevado porcentaje en carbonatos, entre el 70 y el 90 %. Tanto las algas como los briozoos se desarrollan con profusión actualmente. Las algas se presentan en forma de nódulos con aspecto incrustante (rodolitos), algo diferentes de los rodolitos de las facies en mosaico de Rodalquilar y Cabo de Gata que tienen un aspecto más ramificado. Constituyen unas facies muy características en las plataformas del sector oriental distribuyéndose, excepto en el Cabo de Gata, en estrechas bandas discontinuas desde el área infralitoral distal hasta la zona interna de la plataforma, no sobrepasando las batimetrías de 45-50 metros. En el Cabo de Gata forman manchones de contorno irregular en la parte media y externa de la plataforma. En ambas zonas su distribución coincide con las áreas que presentan un importante resalte morfológico y en las que asimismo afloran en muchos puntos rocas volcánicas del basamento (Figuras 1 y 7). En consecuencia, un sustrato firme y una topografía más acentuada que la del resto de la plataforma proporcionan el habitat adecuado para el establecimiento y proliferación actual de los briozoos y algas calcáreas de morfología incrustante. Facies análogas relacionadas también con sustratos duros, se presentan en otras plataformas, tanto del Mediterráneo como de otras áreas del globo (Milliman et al., 1972; Summerhayes et al., 1978; Scoffin et al., 1980; Nelson et al., 1982, entre otros). Existen, no obstante otros ejemplos de sedimentos de gravas y arenas groseras con abundantes algas calcáreas coralinas (rodolitos) que revelan condiciones ambientales y asociaciones de biógenos distintas (Bosence, 1980).

En general estas facies pasan, hacia la plataforma media, a las facies carbonatadas en mosaico, excepto entre Rodalquilar y Carboneras donde una banda de sedimentos silíceo-clásticos se intercala entre ambas facies. Como consecuencia de la elevada energía que se origina por efecto de la morfología de la plataforma, es probable que buena parte de los componentes biógenos de las facies de algas rojas y briozoos contribuyan a la formación de los sedimentos de las facies en mosaico.

## Facies carbonatadas asociadas a las praderas de Fanerógamas marinas

Un rasgo a destacar en estas facies es el dominio de los foraminíferos, entre los constituyentes biógenos. En líneas generales, estas facies son más abundantes en la zona infralitoral proximal y en todo caso raramente sobrepasan la batimetría de los 30-35 metros.

En las plataformas al Norte del Cabo de Gata, estas biofacies están formadas por foraminíferos, briozoos y algas calcáreas coralinas y se presentan en íntima conexión con las facies de algas rojas y briozoos (Fig. 7).

Por el contrario en la porción occidental del Golfo de Almería donde alcanzan gran desarrollo, así como frente a Adra, las biofacies están constituidas por foraminíferos, molucos y en menor proporción briozoos (Figura 6).

### *Distribución de facies en la plataforma externa y talud continental superior*

La plataforma externa y el talud continental superior están caracterizados por facies modernas constituidas por lodos terrígenos o calcáreos con una fracción de arena relativamente baja y cuyos constituyentes más abundantes suelen ser los foraminíferos planctónicos y bentónicos (Figuras 6 y 7). Estas facies son el resultado del depósito de los sedimentos finos en suspensión transportados mar adentro por procesos de advección y difusión (McCave, 1972).

No se descarta sin embargo que al desarrollo de estas facies pueda contribuir una fracción importante de componentes marinos biógenos finos y sedimentos en suspensión de origen más lejano, transportados al área por el régimen general de circulación de las masas de agua en esta zona (Baena et al., 1982).

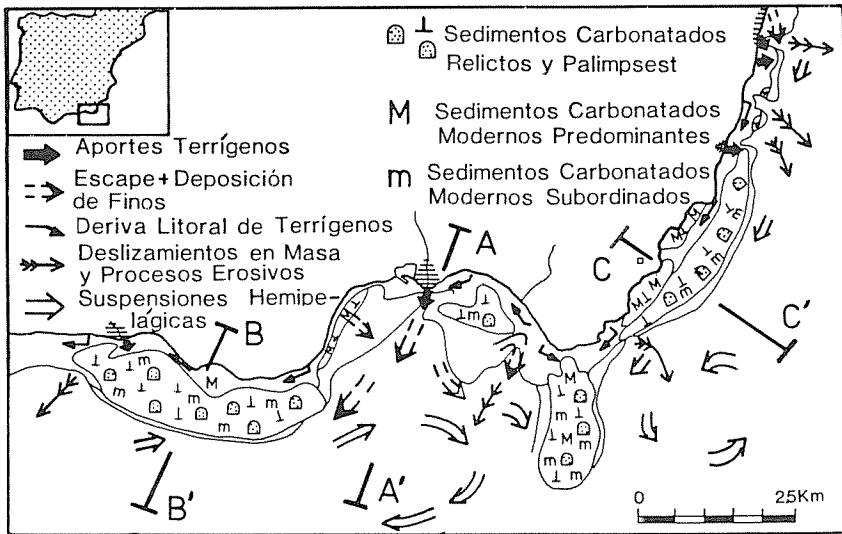


Fig. 8. Esquema mostrando la distribución de los principales tipos de facies y procesos sedimentarios responsables de su desarrollo durante el Holoceno, en la plataforma continental de Almería.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La plataforma de Almería constituye un ejemplo de sedimentación de tipo mixto, terrígeno-carbonatada, en clima templado-árido. Está provista de una débil cobertera de sedimentos predominantemente groseros (gravas y arenas gruesas), excepto en el Golfo de Almería donde se desarrolla una potente acumulación de sedimentos más finos (Baena et al., 1982).

Desde el punto de vista de la composición se pueden diferenciar dos grupos principales de facies, las silícico-clásticas y las carbonatadas, constituidas a su vez por una gran variedad de asociaciones de facies distribuidas en forma de mosaico (Figuras 2, 6 y 7). En esta compleja distribución de facies no sólo intervienen los factores dinámicos directamente ligados a la energía del medio, sino también otros factores adicionales que en ocasiones juegan un papel primordial (cf. Maldonado y Zamarreño, este volumen).

En las plataformas con sedimentación silícico-clástica predominan las facies con sedimentos modernos. Este tipo de sedimentación es especialmente importante en el Golfo de Almería si bien también se desarrolla en otros sectores de la plataforma, asociados a los ríos y ramblas que vierten sus materiales al medio marino y que luego son distribuidos a lo largo de la plataforma por la deriva litoral (Figuras 6, 7 y 8).

A grandes rasgos existe una progresión uniforme aguas afuera de la plataforma, desde las facies litorales (gravas y arenas) a las de plataforma externa que son de grano más fino. La naturaleza y volumen de los aportes unido a las condiciones hidrodinámicas locales determinan que gran parte de estos aportes, especialmente los de grano fino, escapen de la plataforma, acumulándose en la parte externa y talud continental y ocasionalmente incluso en las zonas más profundas del margen continental (Maldonado y Zamarreño, 1983). En el resto de las áreas estos lodos, de textura muy uniforme contienen porcentajes apreciables de foraminíferos planctónicos y bentónicos (Figuras 8 y 9).

Los modelos deposicionales en plataformas silícico-clásticas se basan fundamentalmente en estudios detallados llevados a cabo sobre plataformas localizadas en climas húmedos. En cambio, son mucho más limitados tales estudios sobre plataformas en clima árido. El ejemplo de Almería pone de manifiesto la importancia en la sedimentación terrígena de factores tales como la naturaleza y el modo de aporte de los materiales por el sistema de drenaje (Maldonado y Zamarreño, 1983). Por lo tanto, este ejemplo de clima templado árido puede contribuir a ampliar el espectro de modelos deposicionales en plataformas terrígenas.

En las áreas de la plataforma de Almería con sedimentación carbonatada, predominan las facies con sedimentos relictos y palimpsest aunque también existen mezclados con ellos componentes modernos. Los constituyentes biógenos más abundantes son los moluscos, briozoos, algas cal-

cáreas coralinas, equinodermos y foraminíferos. Estos constituyentes varían en sus proporciones según los diversos sectores de la plataforma dando lugar a una gran variedad de biofacies y a una compleja distribución. En general los sedimentos relictos y palimpsest predominan en la zona interna y media de la plataforma, excepto en el Cabo de Gata donde hay una gran abundancia de componentes recientes en algunas áreas (Figura 8). En la zona litoral de la plataforma del sector oriental se presenta una banda con facies de algas rojas y briozoos recientes coincidiendo con un sector en el que existe un sustrato firme y una topografía acentuada (Figuras 8 y 9).

Se conocen en la actualidad numerosos ejemplos de plataformas carbonatadas con tipos y distribución de biofacies análogos a los descritos en la

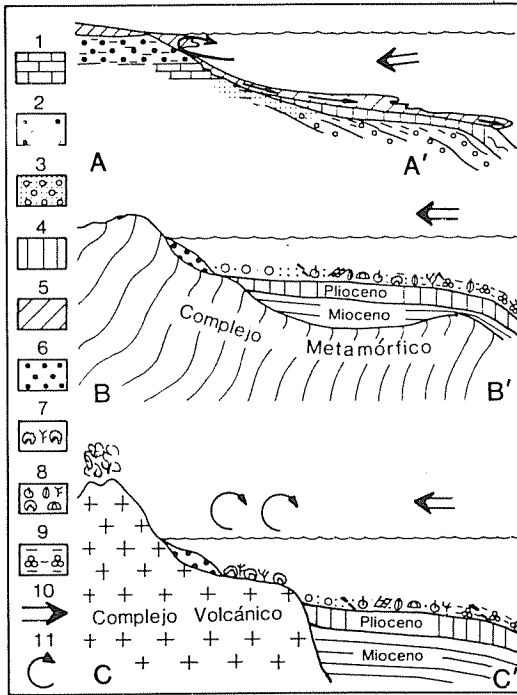


Fig. 9. Perfiles esquemáticos mostrando la distribución de facies y procesos sedimentarios predominantes en las plataformas silíceo-clásticas aguas afuera de los abanicos deltaicos (A-A') y en las plataformas carbonatadas (B-B' y C-C'). Para la localización de los perfiles véase la Fig. 8. 1, afloramientos de abanicos aluviales del Pleistoceno; 2, abanicos deltaicos; 3, gravas y arenas silíceo-clásticas litorales y de plataforma; 4, prodelta distal; 5, capa nefeloide terrígena; 6, cuña silíceo-clástica litoral; 7, facies carbonatadas de algas calcáreas coralinas y briozoos; 8, gravas y arenas carbonatadas de plataforma con moluscos, briozoos, algas coralinas, equinodermos y foraminíferos bentónicos; 9, lodos uniformes de borde de plataforma con foraminíferos planctónicos.

plataforma de Almería. Estas plataformas, situadas en latitudes templadas si bien pueden presentar diferencias debidas a las condiciones climáticas locales, revelan sin embargo, una serie de características comunes. Asimismo y en cuanto a los tipos y distribución de biofacies se refiere difieren del modelo tropical que hasta hace poco era el único existente para la interpretación de facies en las series carbonatadas antiguas. Por tanto, se requieren modelos deposicionales locales que contribuyan a establecer el modelo carbonatado de «clima templado», con sus variantes climáticas locales. A este respecto el ejemplo de Almería puede contribuir a ello.

Las características comunes que presenta la plataforma de Almería con los demás ejemplos de plataformas de clima templado son las siguientes: 1) ausencia de aportes terrígenos importantes; 2) gran abundancia de algas calcáreas coralinas, briozoos, moluscos y foraminíferos entre los constituyentes biógenos; 3) ausencia de constituyentes calcáreos no biógenos (oolitos, «grapestones», pellets, etc.); 4) abundancia de glauconita, y 5) control de los factores oceanográficos locales en los tipos y distribución de biofacies.

Aparte de las diferencias locales, es posible afirmar que existen numerosos factores y procesos que controlan la sedimentación carbonatada en el modelo no tropical o de clima templado; aunque no todos ellos tengan el mismo orden de importancia. Por lo tanto, se puede establecer una jerarquía entre ellos que se ha esquematizado en la figura 10.

El factor determinante es en primer lugar la ausencia de terrígenos, que viene determinado por el clima y las características tectónicas en las que

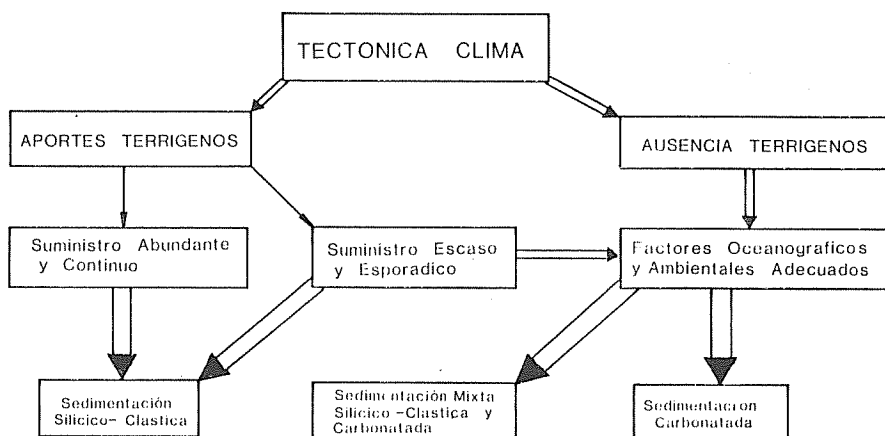


Fig. 10. Diagrama ilustrativo de los principales factores que controlan la sedimentación de tipo mixto, terrígena y carbonatada en las plataformas continentales de clima templado. Este diagrama muestra asimismo la importancia relativa de los diversos factores. Véase discusión en el texto.



se encuadra la plataforma. Por tanto, para que exista sedimentación carbonatada en la plataforma es condición imprescindible que no lleguen al área deposicional aportes terrígenos. Sin embargo, el caso inverso no acontece necesariamente, es decir, que puede haber áreas de la plataforma sin aportes terrígenos apreciables y sin embargo no tiene lugar en ellos acumulación de carbonatos.

Debemos tener en cuenta que en los sedimentos carbonatados de «clima templado» los componentes son esencialmente biógenos y por tanto antes de acumularse para dar lugar al sedimento están integrados dentro de un ecosistema que a su vez depende y se ve afectado por numerosos factores (temperatura, salinidad, balance de CO<sub>2</sub>, profundidad, penetración de la luz, nutrientes, naturaleza y morfología del sustrato, régimen de corrientes locales, etc.). Son estos factores en definitiva los que controlan no sólo la distribución de biofacies sino también el que estas biofacies se originen, en ausencia claro está de importantes aportes terrígenos.

### AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer la cooperación de los diversos colegas que han intervenido en las fases de obtención de muestras y datos, en especial a M. Canals, J. I. Díaz y M. Ferran, que han permitido la elaboración de los resultados alcanzados en este trabajo. Asimismo queremos agradecer al capitán, oficiales y tripulación de los buques oceanográficos «Cornide de Saavedra» y «García del Cid», su colaboración en la obtención de datos, durante las dos campañas oceanográficas en las que se recolectó el material estudiado, sin la cual no hubiera sido posible la realización de este estudio. Finalmente, agradecemos la ayuda técnica de Eduardo Clavero en la realización de las figuras. Este estudio ha sido llevado a cabo dentro del Proyecto FOMAR del Instituto Geológico y Minero de España.

### BIBLIOGRAFÍA

- BAENA, J., GARCÍA-RODRÍGUEZ, J., MALDONADO, A., et al., 1982. Mapa geológico de la plataforma continental española y zonas adyacentes. Almería-Garrucha Chella-Los Genoveses. Escala: 1:200.000. *Instituto Geológico y Minero de España. Madrid*. Ministerio de Industria, 105 p.
- BATHURST, R. G. C., 1971. Carbonate sediments and their diagenesis. *Elsevier, Amsterdam*, 620 p.
- BOILLLOT, G., 1965. Organogenic gradients in the study of neritic deposits of biological origin: the example of the western English Channel. *Marine Geology*, 3: 359-367.
- BOILLLOT, G., BOUYASSE, P. y LAMBOY, M., 1971. Morphology, sediments and Quaternary history of the continental shelf between the Straits of Dover and Cape Finistere. *The geology of the east Atlantic continental margin*. Ed. F. M. Delany, n.º 3, Europe. Report n.º 70/15. *Inst. geol. sci.*, 79 p.
- BOSENCE, D. W. J., 1979. Live and dead faunas from coralline algal gravels Co. Galway, Ireland. *Palaeontology*, 22: 449-478.

- BOSENCE, D. W. J., 1980. Sedimentary facies, production rates and facies models for recent coralline algal gravels, Co. Galway, Ireland. *Geological Journal*, 15: 91-111.
- BOUYASSE, P. LE LANN, F. and SCOLARI, G., 1979. Les sédiments superficiels des approches occidentales de la Manche. *Marine Geology*, 29: 107-136.
- BRITISH STANDARDS 1377, 1967. Methods of testing soils for Civil engineering purposes. *British Standards Institution*, 234 p., London.
- BUROLLET, P. F., CLAIREFOND, P. and WINNOCK, E., Eds., 1979. La mer pélagienne. Étude sédimentologique et écologique du Plateau tunisien et du Golfe de Gabès. *Geologie méditerranéenne*, 6: 345 p.
- CABIOCH, J., 1969. Les fonds de maerl de la Baie de Morlaix et leur peuplement végétal. *Cahiers Biol. mar.*, 10: 139-161.
- CAULET, J. P., 1972 a. Recent Biogenic Calcareous Sedimentation on the Algerian Continental Shelf. *The Mediterranean Sea. A Natural Sedimentation Laboratory*. Ed. D. J. Stanley. 261-292. Dowden, Hutchinson and Ross Inc. Stroudsburg, Pennsylvania.
- CAULET, J. P., 1972 b. Les sédiments organogènes du précontinent algérien. *Mémoires Muséum Nat. Hist. Nat., Sér. C. Sci. de la Terre*, 25: 289 p.
- CHAVE, K. E., 1967. Recent carbonate sediments - an unconventional view. *J. Geol. Educ.*, 15: 200-204.
- DAVIES, P. J., 1979. Marine Geology of the continental shelf off southeast Australia. *Bur. Miner. Resour. Australia Bull.*, 195, 51 p.
- EMERY, K. O., 1968. Relict sediments on continental shelves of the world. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.*, 52: 445-454.
- FARROW, G. E., CUCCI, M. A. and SCOFFIN, T. P., 1978. Calcareous sediments or the nearshore continental shelf of western Scotland. *Proc. Royal Soc. Edinburgh*, 76: 55-76.
- FARROW, G. E., SCOFFIN, T. P., BROWN, B. and CUCCI, M. A., 1979. An underwater television survey of facies variation on the inner Scottish shelf between Colonsay, Islay and Jura. *Scottish Jour. Geol.*, 15: 13-29.
- HOSKIN, C. M. and NELSON, R. V., Jr., 1969. Modern marine carbonate sediment. Alexander Archipelago, Alaska. *J. Sedim. Petrol.*, 39: 581-590.
- KEEGAN, B., 1974. The marine fauna of maerl substrates on the west coast of Ireland. *Cahiers Biol. mar.*, 15: 513-530.
- LEES, A. BULLER, A. T. and SCOTT, J., 1968. Marine carbonate sedimentation in Connemara, Ireland. *Reading University Geol. Rep.*, 2: 64 p.
- LEONARD, J. E. CAMERON, B. PILKEY, O. H. and FRIEDMAN, G. M., 1981. Evaluation of cold-water carbonates as a possible paleoclimatic indicator. *Sedimentary Geology*, 28: 1-28.
- MALDONADO, A., 1972. El Delta del Ebro. Estudio sedimentológico y estratigráfico. *Bol. Estratigrafía*, 1: 1-486.
- MALDONADO, A., 1983. Evolution of the Mediterranean Basins and a More Detailed Reconstruction of the Cenozoic Paleooceanography. *A Natural History of the Mediterranean, from the Strait of Gibraltar to the Sicilian Channel*. Ed. R. Margalef. 77 p. Key Environmental Series, Pergamon Press.
- MALDONADO, A., and ZAMARREÑO, I., 1983. Modelos sedimentarios en las plataformas continentales del Mediterráneo español: Factores de control, facies y procesos que rigen su desarrollo. *Estudio oceanográfico de la Plataforma Continental Española. Seminario*, Ed. J. Castellví. Cádiz, marzo 1983, 24-82.
- MCCAVE, I. N., 1972. Transport and escape of fine-grained sediment from shelf areas. *Shelf Sediment Transport and Patterns*. Eds. D. J. P. Swift. P. B. Duane and D. H. Pilkey 656 p., Dowden, Hutchinson and Ross Inc., Stroudsburg, Pennsylvania.
- MILLIMAN, J. D., 1974. Recent Sedimentary Carbonates Part 1: Marine Carbonates, 375 p., Springer-Verlag, Berlin.
- MILLIMAN, J. D., WEILER, Y. and STANLEY, D. J., 1972. Morphology and carbonate sedimentation on shallow banks in the Alboran Sea. *The Mediterranean Sea: A Natural Sedimentation Laboratory*. Ed. D. J. Stanley, 241-259, Dowden, Hutchinson and Ross Inc., Stroudsburg, Pennsylvania.

- NELSON, C. S., HANCOCK, G. E. and KAMP, P. J. J., 1982. Shelf to Basin, Temperate Skeletal Carbonate Sediments, Three Kings Plateau, New Zealand. *J. Sedim. Petrol.*, 52: 717-732.
- RODGERS, J., 1957. The distribution of marine carbonate sediments: a review. *Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ.*, 5: 2-13.
- SCOFFIN, T. P., ALEXANDERSSON, E. T., BOWES, G. E., CLOKIE, J. J., FARROW, G. E., and MILLIMAN, J. O., 1980. Recent, Temperate sub-photic, Carbonate Sedimentation: Rockkall Banck, North-east Atlantic. *J. Sedim. Petrol.*, 50: 331-356.
- SHEPARD, F. P., 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *J. Sedim. Petrol.*, 24: 151-158.
- SUMMERHAYES, C. P.; SESTINI, G.; MISDORP, R., and MARKS, W., 1978. Nile Delta: nature and evolution of continental shelf sediments. *Marine Geology*, 27: 43-65.
- SWIFT, D. J. P., STANLEY, D. J., and CURRAY, J. R., 1971. Relict sediments on continental shelves: a reconsideration. *J. Geol.*, 79: 322-346.
- TAFT, W. H., 1967. Modern Carbonate Sediments. Carbonate Rocks. Eds. G. V. Chilingar, H. J. Bissell, R. W. Fairbridge. *Developments in Sedimentology* 9A, 29-50, Elsevier, Amsterdam.
- THORNTON, S. E., PILKEY, O. H., and LYNTS, G. W., 1978. A Lagoonal Crustose Coralline Angal Micro-Ridge: Bahiret el Bibabns, Tunis. *J. Sedim. Petrol.*, 48: 743-750.
- WASS, R. E., CONOLLY, J. R., and MACINTYRE, J., 1970. Bryozoan carbonate sand continuous along southern Australia. *Marine Geology*, 9: 63-73.
- WILSON, J. L., 1975. Carbonate Facies in Geologic History. *Springer-Verlag*, Berlin, 741 p.
- ZAMARREÑO, I., MAIDONADO, A., CANALS, M. DÍAZ, I., FARRAN, M., and VÁZQUEZ, A., 1982. Temperate Carbonate Sedimentation on the Continental shelf of southern Spain (Western Mediterranean Sea). *XIth Int. Congress on Sedimentology*, McMaster University, Hamilton, Ont. Canada. Abstracts. 96.

# 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.

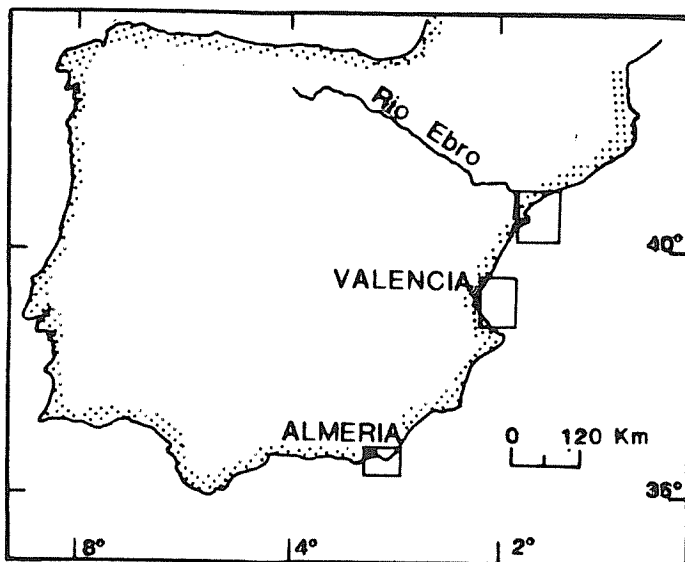


Fig. 1. Situación de las tres áreas estudiadas.

## 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

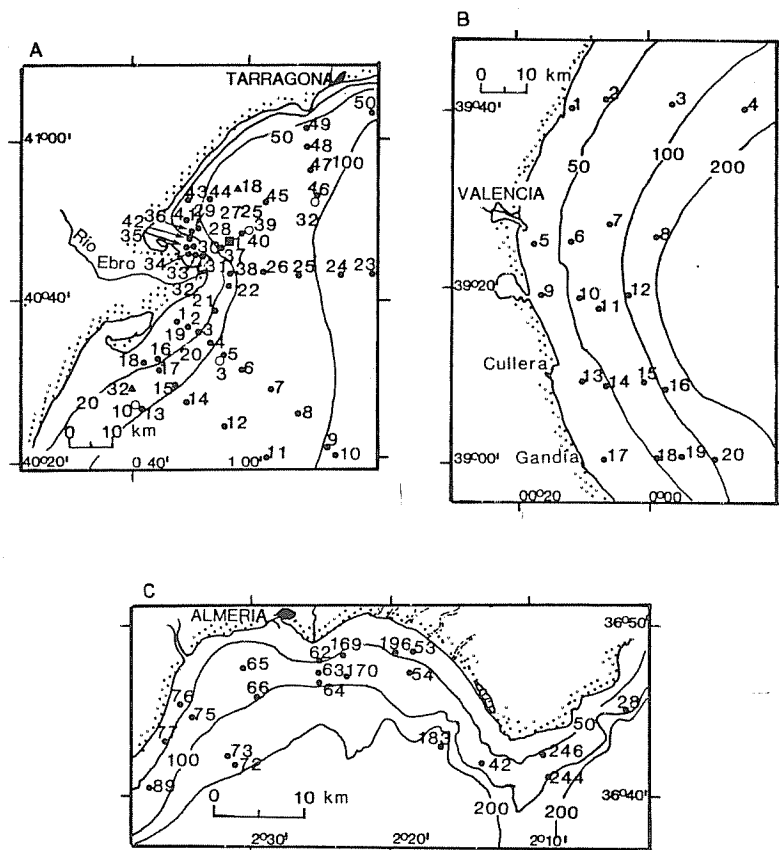


Fig. 2. Mapas de situación de las dragas de cuchara (●), testigos de caja (■) y testigos continuos de pistón (○, ▲).

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.

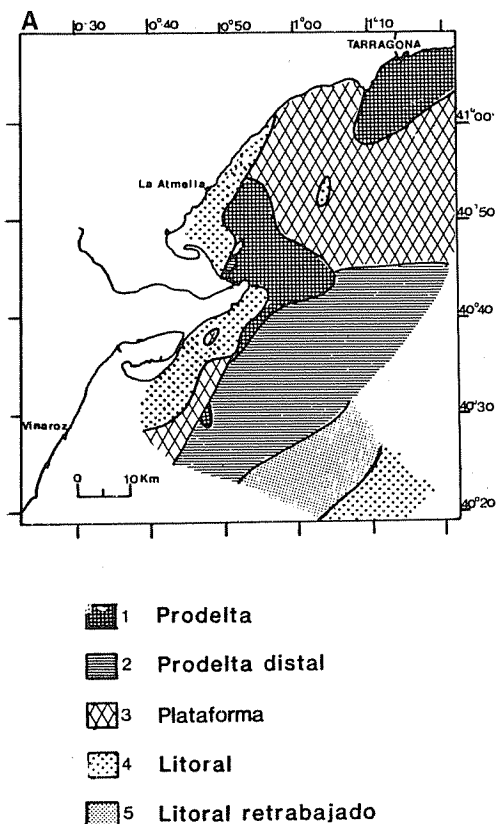


Fig. 3. Mapas de distribución de las facies geoquímicas en las tres áreas estudiadas. Explicación de las facies en el texto.

## 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-

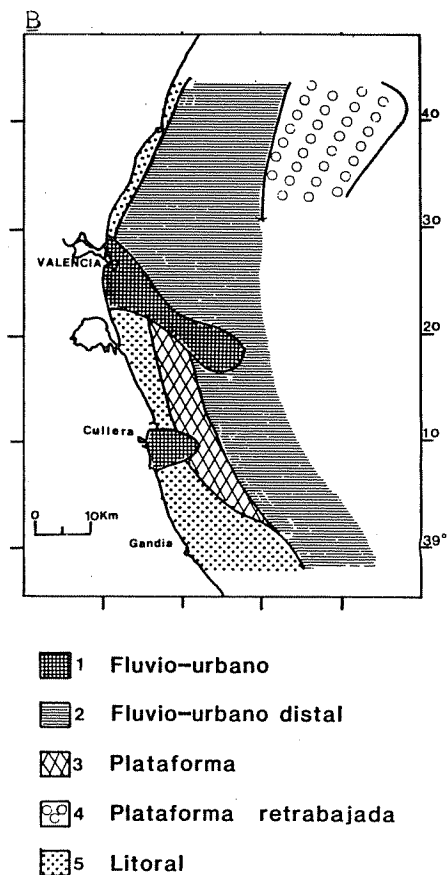


Fig. 3. (Continuación).

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-

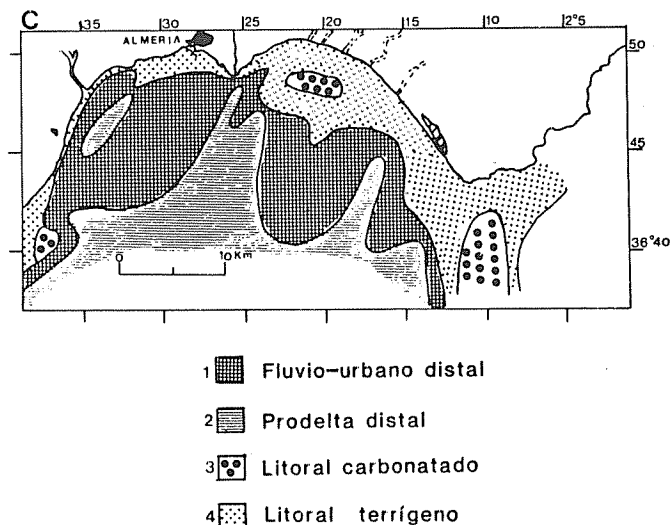


Fig. 3. (Continuación).

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.

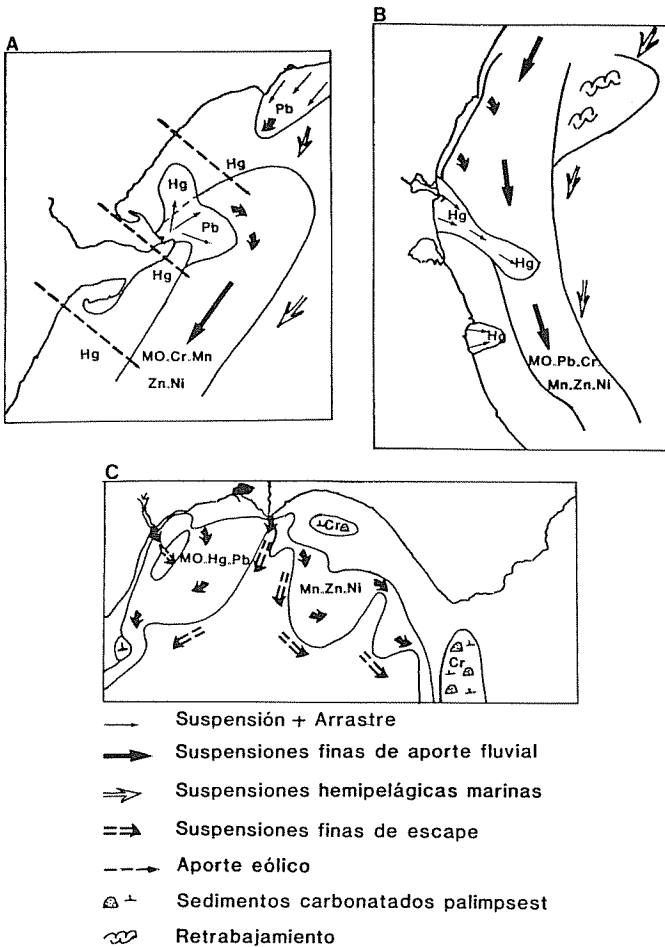


Fig. 4. Mapas de los principales mecanismos de transporte y acumulación de metales pesados en el medio marino.



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 multivariantes 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 (Mediterranée nord-occidentale). *Rapports et Proces-Verbaux des Reunions Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Mediterranée*, 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 silíceo-carbonatada en clima templado. In: *Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental Española. Seminario Cádiz*, Ed. J. Castellví. Marzo 1983: 152-188.

# Circulation on the spanish mediterranean continental shelf near río Ebro

by

GREGORY HAN,\* ANTONIO BALLESTER \*\* y KEVIN KOHLER \*

\* Science Applications. Box 338 Key Biscayne Florida 33149 USA.

\*\* Instituto de Investigaciones Pesqueras. Paseo Nacional, s/n. Barcelona-3.

## RESUMEN

Como parte del Programa Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental se ha llevado a cabo un estudio de la circulación marina en la plataforma continental de los golfos de Valencia y de San Jorge.

Un cierto número de instrumentos autónomos fueron instalados para medir las corrientes en dos estaciones situadas sobre la Plataforma. Dos correntímetros se situaron en cada una de las plataformas petrolíferas Afortunada (AF) (115 m de profundidad) y Amposta (AM) (58 m de profundidad) unos a 8 metros de la superficie y otros a 8 metros del fondo.

La velocidad y dirección del viento se midió en AF y en la estación Delta situada en las proximidades de AF.

Las medidas en AM abarcan desde 1980 a 1982 (actualmente continúan). En AF se tienen sólo medidas de la primavera y verano de 1980. La plataforma AF fue sustituida por la Casablanca (CA) restableciéndose las medidas en octubre de 1982. Se analizan los resultados obtenidos.

## EXPERIMENT DESCRIPTION

As part of the cooperative program, an experiment was conducted on the circulation on the continental shelf in the Gulfs of San Jorge and Valencia. Instruments were deployed to measure currents at two stations on the shelf. Two current meters were deployed from oil rigs Afortunada (AF) (115 m depth) and Amposta (AM) (58 m depth), each 8 m from the surface and bottom. The stations are located in Fig. 1 along with the bound-

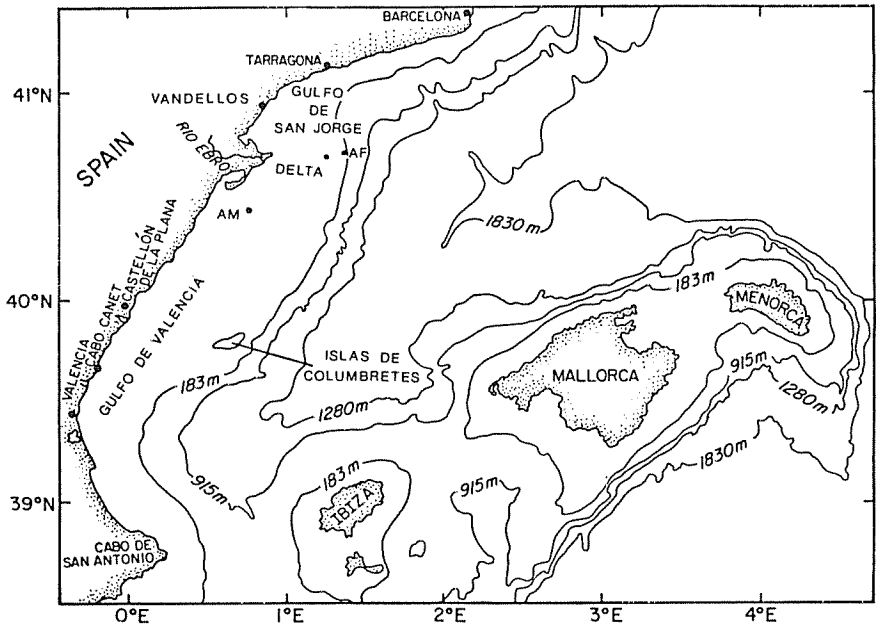


Fig. 1. Location chart of Balearic Islands, Gulf of Valencia, Gulf of San Jorge, current and wind stations Amposta, Afortunada and Delta.

daries of the study area. Wind velocity measurements were also made at AF and at Delta which was nearby AF.

The measurements extended from early 1980 through 1982 at AM and Delta. At AF, the only measurements are in spring and summer of 1980. The AF oil rig was being moved during that time and the platform was not available yet. A time bar chart of the measurements is shown in Fig. 2.

## DATA ANALYSIS AND RESULTS

The data from the winds and currents were edited from the original time series records, filtered with a 3-hour and 40-hour low-pass filter, and plotted. Results for the period spring through winter 1980 are shown in Figs. 3-5 as velocity vectors and components. The data are 40-hour low-pass data which has eliminated the large inertial oscillations which add to the total energy but do not produce a net flow.

The seasonally averaged wind and currents are shown in Fig. 6. Winds are from the northwest in fall and winter and from the south in summer.

# GULF OF VALENCIA UNFILTERED CURRENTS AND WINDS

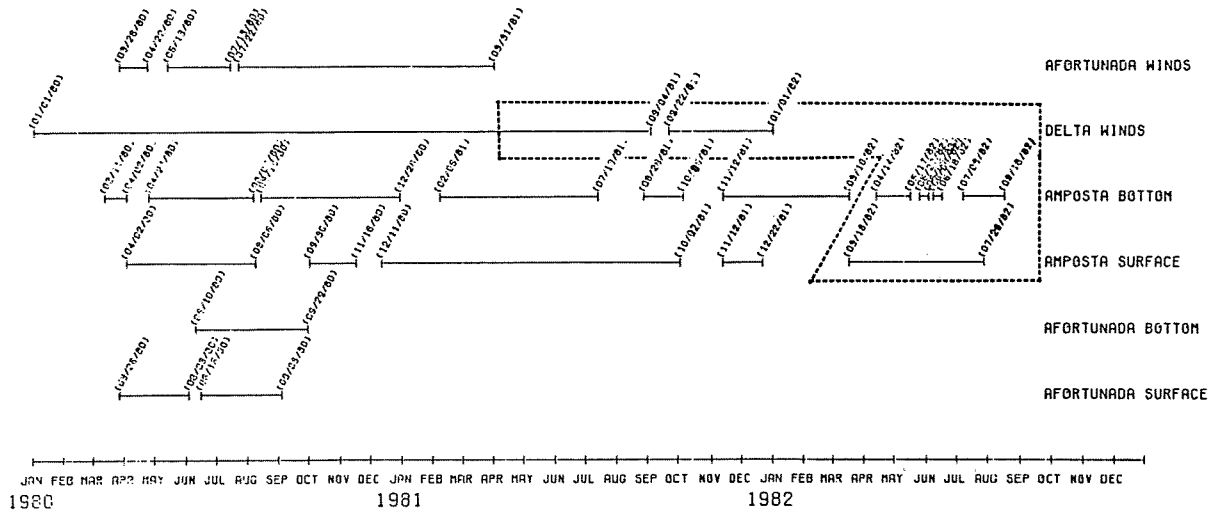


Fig. 2. Time bar chart of available current and wind data.

## 40 HR LP CURRENTS AND WINDS

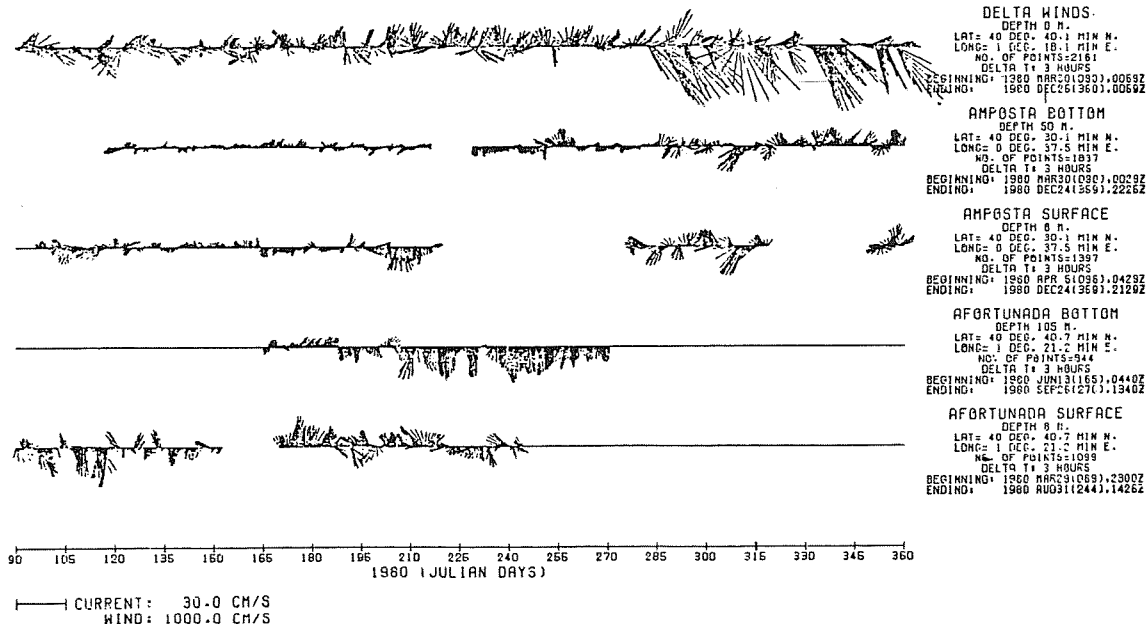


Fig. 3. Vector plots of wind and current at Amposta (surface and bottom) and Amfortunada (surface and bottom), and Delta for spring through winter 1980. Vectors point in the direction towards which the current/wind is heading.

# 40 HR LP CURRENTS AND WINDS



**AMPŌSTA SURFACE**  
 DEPTH 8 M.  
 LAT= 40 DEG. 30.1 MIN N.  
 LONG= 0 DEG. 37.5 MIN E.  
 NO. OF POINTS=1397  
 DELTA T= 3 HOURS  
 BEGINNING: 1980 APR 5(096).0429Z  
 ENDING: 1980 DEC24(359).2129Z

**AMPŌSTA SURFACE**  
 DEPTH 8 M.  
 LAT= 40 DEG. 30.1 MIN N.  
 LONG= 0 DEG. 37.5 MIN E.  
 NO. OF POINTS=1397  
 DELTA T= 3 HOURS  
 BEGINNING: 1980 APR 5(096).0429Z  
 ENDING: 1980 DEC24(359).2129Z

**AFORTUNADA BOTTOM**  
 DEPTH 105 M.  
 LAT= 40 DEG. 40.7 MIN N.  
 LONG= 1 DEG. 21.2 MIN E.  
 NO. OF POINTS=844  
 DELTA T= 3 HOURS  
 BEGINNING: 1980 JUN13(185).0440Z  
 ENDING: 1980 SEP26(270).1940Z

**AFORTUNADA BOTTOM**  
 DEPTH 105 M.  
 LAT= 40 DEG. 40.7 MIN N.  
 LONG= 1 DEG. 21.2 MIN E.  
 NO. OF POINTS=844  
 DELTA T= 3 HOURS  
 BEGINNING: 1980 JUN13(185).0440Z  
 ENDING: 1980 SEP26(270).1940Z

**AFORTUNADA SURFACE**  
 DEPTH 8 M.  
 LAT= 40 DEG. 40.7 MIN N.  
 LONG= 1 DEG. 21.2 MIN E.  
 NO. OF POINTS=1099  
 DELTA T= 3 HOURS  
 BEGINNING: 1980 MAR29(089).2300Z  
 ENDING: 1980 AUG31(244).1426Z

**AFORTUNADA SURFACE**  
 DEPTH 8 M.  
 LAT= 40 DEG. 40.7 MIN N.  
 LONG= 1 DEG. 21.2 MIN E.  
 NO. OF POINTS=1099  
 DELTA T= 3 HOURS  
 BEGINNING: 1980 MAR29(089).2300Z  
 ENDING: 1980 AUG31(244).1426Z

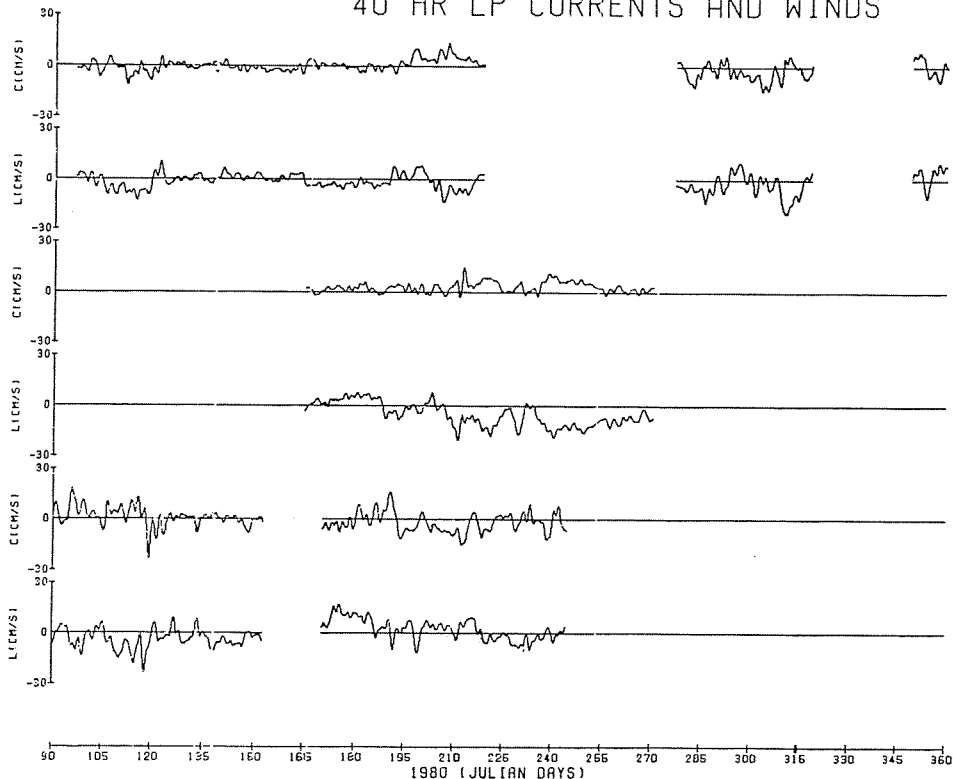


Fig. 4. Velocity component plots for Afortunada (surface and bottom) and Amposta (surface) for spring through winter 1980. Velocities have been rotated by 45° clockwise for Amposta and 25° clockwise for Afortunada to yield alongshore and cross-shore components.



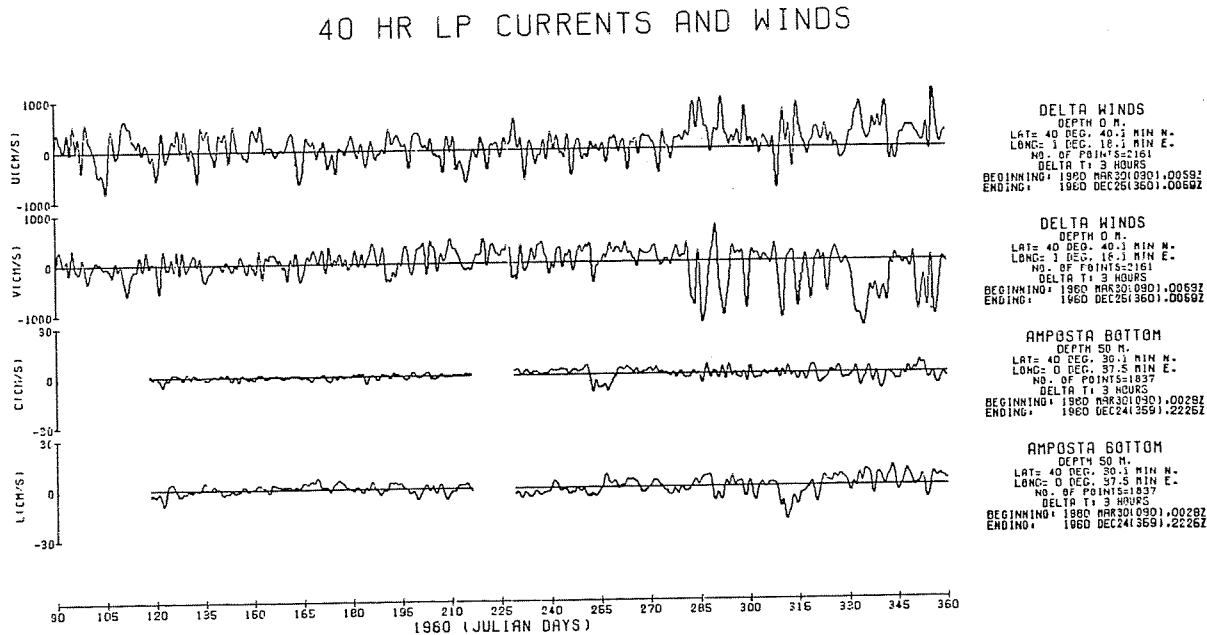


Fig. 5. Velocity component plots for Amposta (bottom and Delta for spring through winter 1980. Velocities have been rotated by 45° clockwise for Amposta to yield alongshore and cross-shore components.

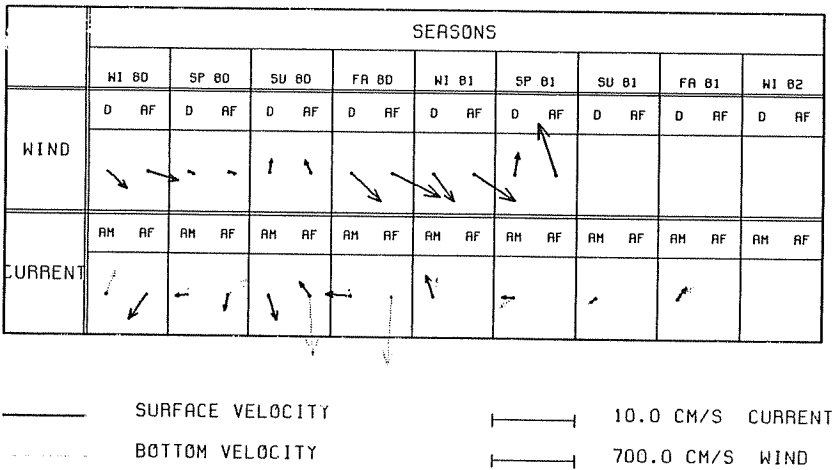


Fig. 6. Seasonally averaged wind and currents.

The average currents are also shown. In summer the average current at AF is southward at 7.3 cm/s at the bottom and onshore at 2 cm/s at the surface. At AM, the surface current is also southward at 3.3 cm/s which is opposite the prevailing wind. In winter, the surface and bottom currents at AM are northward during the time of the strong northwest winds, with an average speed of 2.5-3.0 cm/s.

The frequency distribution of the energy in the flow was examined using complex rotary spectral techniques. The inertial currents at a period of 18-19 hours are strong, with up to 50 % of the total energy, especially at the offshore stations in summer. The bottom inertial currents are at a 180° phase difference from the surface due to the density stratification. Thus, the surface and bottom currents are oppositely directed at any time. The low frequency energy is partitioned into three bands: the 3-4 day band, containing about 20 % of the total low frequency energy; the 6-12 day band, with 40-50 % of the energy and the 24 day band, with 20-30 % of the energy. One deviation from these partitions is for the bottom meter at AF in summer where the lowest frequency 24 day band contains up to 60 % of the low frequency energy.

The wind and currents show poor coherence except in the 3-4 day band where the coherence is only fair. The general effect of the wind is to perturb the overall flow but not to determine its general direction or

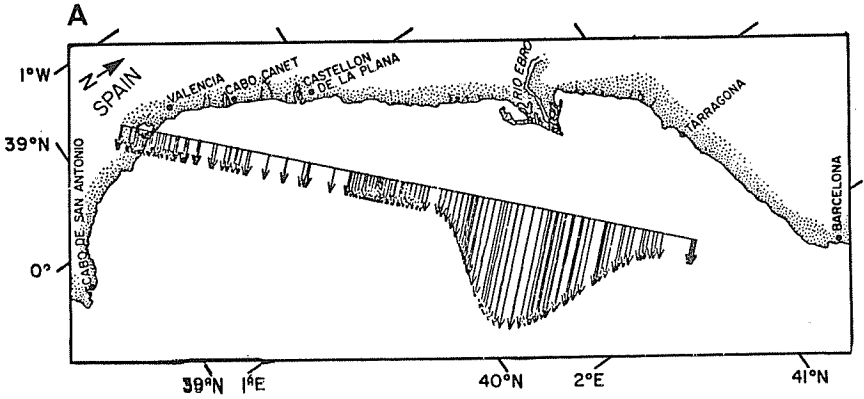


Fig. 7a. Modelled wind stress distribution over the Ebro valley. Maximum stress is  $2.5 \text{ dynes/cm}^2$ , minimum stress is  $0.5 \text{ dynes/cm}^2$ .

strength. This is due to the apparently large influence of the flow from the Balearic Sea on the shelf. The greatest influence of the offshore waters is seen at the deep station in summer when a strong southward bottom flow occurs during the entire season, opposite the prevailing wind. At the AF surface meter the flow is shoreward, again opposite to the flow expected due to a wind from the south.

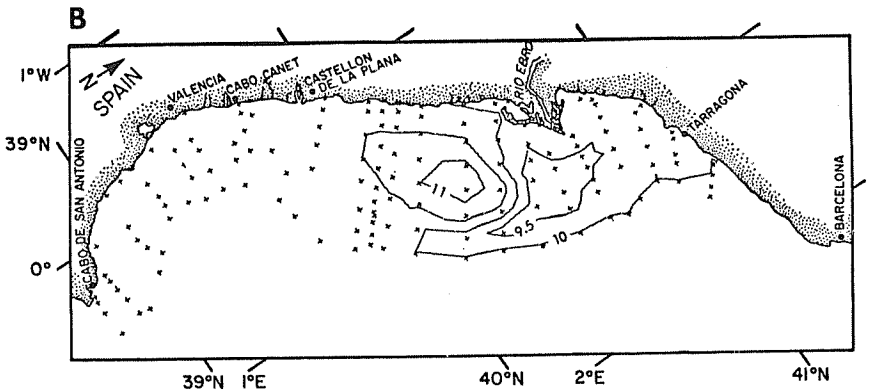


Fig. 7b. Sea surface elevation pattern resulting from wind stress distribution shown in Fig. 7a.

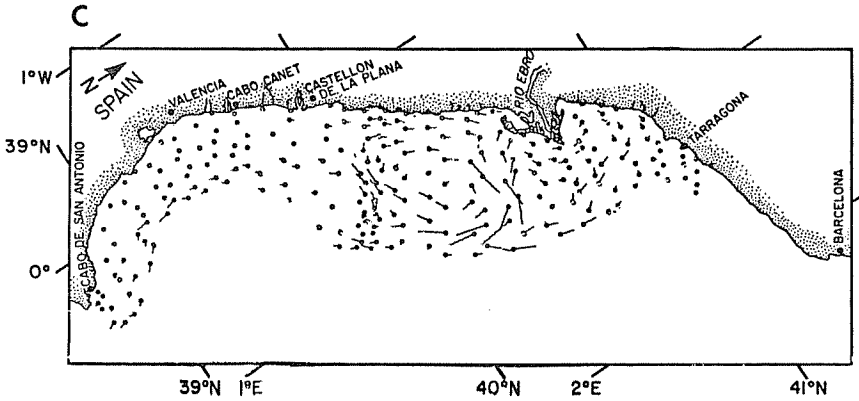


Fig. 7c. Bottom barotropic velocities resulting from wind stress distributions shown in Fig. 7a.

## DISCUSSION

The circulation on the continental shelf near the Río Ebro is difficult to describe in detail with only this preliminary data. However, the important driving forces can be evaluated in the inner and outer regions of the shelf. The outer shelf is totally dominated by the flow imposed from offshore in the Catalan Sea. The inner shelf is also affected by the deep sea boundary but wind has a greater influence. At both stations the wind

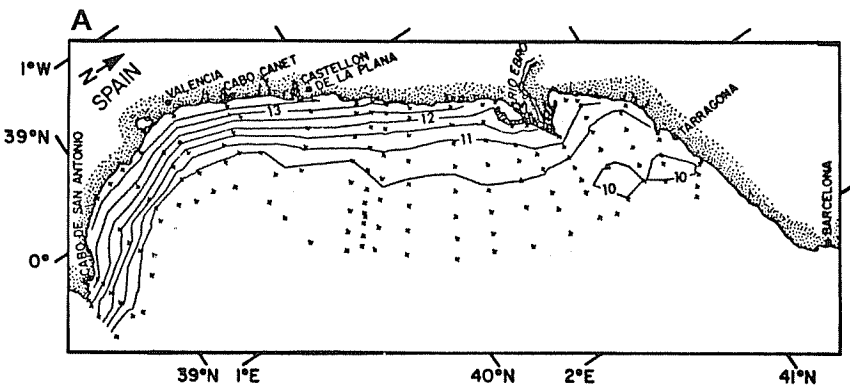


Fig. 8a. Sea surface elevation pattern resulting from a 1 dyne/cm<sup>2</sup> wind from the northeast.

stress seems to only modulate the larger, externally forced flow. The largest currents found were those at AF at the bottom in summer 1980 when the current reached speeds of 25 cm/s with a direction which was uniformly southward for 70 days. The flow at AM at the surface is southward during the same period, opposite the prevailing wind stress. The surface flow at AF was directly shoreward, opposite the expected Ekman transport. This summer onshore flow is confirmed by the drogue track in August, 1978, as reported by Lamy and Millot (1978).

The wintertime flow is dominated by the northwest mestral winds. The nearshore mooring AM showed bottom flow to the north, opposite the alongshore component of the wind stress (Fig. 6). One explanation of this effect is the influence of the blocking of the mestral winds by the coastal mountain ranges which results in the wind entering the shelf as a concentrated jet centered on the Rio Ebro mouth. This local wind ma-

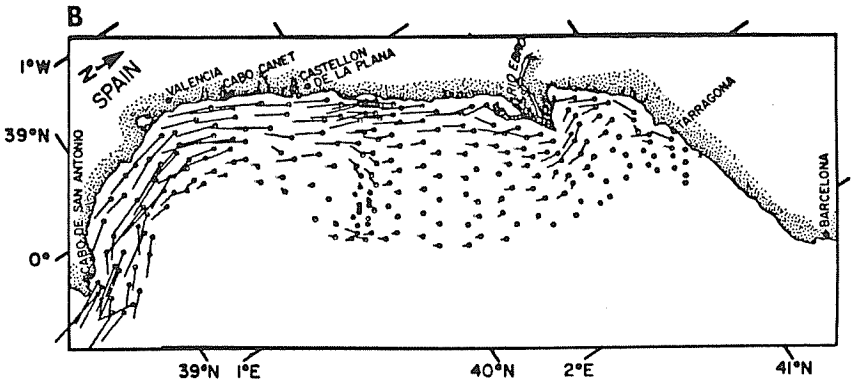


Fig. 8b. Bottom barotropic velocities resulting from a 1 dyne/cm<sup>2</sup> wind from the northeast.

ximum creates an Ekman suction through the curl of the wind stress and this torque is compensated for by a pair of contrarotating gyres in the interior and bottom flow. A vorticity balance model of the region, similar to that of Han, Hansen, and Galt (1980) illustrates the effect of the wind curl and the model results confirm the observed northward flow.

Diagnostic model results for the two wind conditions of greatest importance are shown in Figs. 7 and 8. The northwesterly winds down Ebro Valley produce a wind jet that is modelled as shown in Fig. 7 a. The resulting surface elevation and velocity patterns shown in Figs. 7 b and c show the contra-rotating gyral patterns which produce northward flow along the coast south of the Ebro delta region. The other pattern is the

strong alongshore flow generated by a wind from the northeast. Fig. 8 a and b show the surface elevation set up along the coastline and the resulting southward flow velocities. The velocity is greatest near the coastline and it increases strongly as the shelf narrows near Valencia. Because in this forcing pattern the flow is not allowed to cross the shelf-slope boundary, the flow is very strong near the southern boundary at Cabo San Antonio. A more realistic pattern would allow some of the flow to move offshore in the region north of Cabo San Antonio. No data exist to indicate that such a flow does occur but density patterns found offshore are consistent with this hypothesized flow.

### BIBLIOGRAPHY

- HAN, G. C.; HANSEN, D. V.; GALT, J., 1980. Steady state diagnostic model of New York Bight. *Jour Phys. Oceanog.* 10: 1998-2020.
- LAMY, A.; MILLOT, C., 1978. Lion 78 Rapport de presentation des mesures. *Mus. Natl. D'Hist. Nat.* 79-103. 250 p.

# Corrientes permanentes en el borde de la plataforma continental frente al Delta del Ebro

por

JORDI FONT \*

\* Instituto de Investigaciones Pesqueras. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Paseo Nacional, s/n. Barcelona-3.

## SUMMARY

Geostrophic currents were computed from the density field in the Catalan sea in fall 1976. The dynamic topographies, calculated with a reference level of 500 dbar, were extrapolated to the edge of the continental shelf and reached points with the bottom at 100 m.

In one of these points, off the delta of Ebro river, moored currentmeters were deployed in 1980 and fall 1982. The measured current values are averaged in different seasonal periods and the most permanent components compared with the calculated geostrophic velocities. A good agreement is found for bottom and intermediate currents, and for surface currents in winter period, in both direction and intensity. In general this agreement is stronger in the cases of high persistence of velocity direction.

Mean values of measures collected in the same season than geostrophic calculations show always a high correlation for bottom velocities, with a maximum deviation of 30° in direction and 2 cm/s in intensity.

Shorter periods are studied to analyze the influence of typical wind events in the stability of these permanent currents.

## INTRODUCCIÓN

El Mediterráneo es un mar con fuerte variabilidad estacional. Factores como el régimen de vientos, la insolación, la pluviosidad, la temperatura y la humedad del aire, las diferencias de presión atmosférica e incluso los aportes fluviales, juegan un papel importante en la distribución de las distintas masas de agua y sus movimientos en cada época del año.

A pesar de ello está comprobada la existencia, a gran escala y como promedio, de un sistema general de corrientes (Lacombe y Tchernia, 1972), que en el mar Catalán toma la forma de un giro ciclónico que penetra por el Golfo de León. Este esquema global de circulación ha sido confirmado por diversas medidas lagrangianas experimentales como tarjetas flotadoras (Cruzado, 1979) o boyas libres (Lamy y Millot, 1978).

En las zonas litorales la influencia del viento es evidente en la formación de la microcirculación local y su variabilidad. La determinación con la máxima precisión de las distintas configuraciones de circulación marina que se pueden presentar en una zona concreta y de su ocurrencia en relación con las condiciones atmosféricas, toma una importancia extraordinaria en relación con los problemas derivados de la contaminación por vertidos costeros industriales y urbanos.

En su modelo de diagnóstico de la circulación en la zona comprendida entre Tarragona y el Cabo de San Antonio, Han y Kohler (1982) calculan el campo de velocidades barotrópicas que se producen en equilibrio con la tensión de arrastre del viento. Los valores usados para esta tensión de arrastre son los que corresponden a valores típicos de intensidad del viento para las distintas direcciones características de la zona. En un modelo de este tipo las condiciones de contorno que se impongan en el límite con el mar abierto del área modelada son determinantes de las distintas soluciones que se pueden obtener. Una de las condiciones ensayadas por Han y Kohler es la variación de alturas dinámicas a lo largo del borde de la plataforma continental, calculada a partir del campo de densidades determinado en todo el mar Catalán (Font, 1978; Font y Miralles, 1978).

La fragilidad de los valores que se obtienen en la aplicación del método dinámico es notoria. Tanto la no simultaneidad de las medidas hidrográficas utilizadas, como las dificultades en la correcta determinación del nivel de referencia pueden llevar a la duda sobre el grado de fiabilidad de las topografías dinámicas determinadas y, en consecuencia, de los valores calculados para las corrientes geostróficas. La única manera de tener una certitud aceptable de que los resultados de tales cálculos indirectos de corrientes son correctos, es comparándolos con medidas reales efectuadas en la misma zona. Y además que estas medidas signifiquen unas series temporales de datos suficientemente prolongadas como para poder poner de manifiesto lo que llamamos componente permanente, si es que existe, de las corrientes medidas.

El objetivo de este trabajo es comparar los valores de velocidad geostrófica usados en el modelo de Han y Kohler, con medidas directas de corrientes tomadas con posterioridad en la zona del Delta del Ebro.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Los valores de alturas dinámicas mencionados son el resultado de cálculos efectuados por Font y Miralles (1978) con los datos de 22 estaciones



hidrográficas visitadas en otoño de 1976. La zona cubierta por estas estaciones está limitada por el paralelo  $42^{\circ} 30' N$ , el meridiano  $5^{\circ} E$ , las islas Baleares i Pitiusas y el continente entre el cabo de San Antonio y el cabo de Creus (Fig. 1).

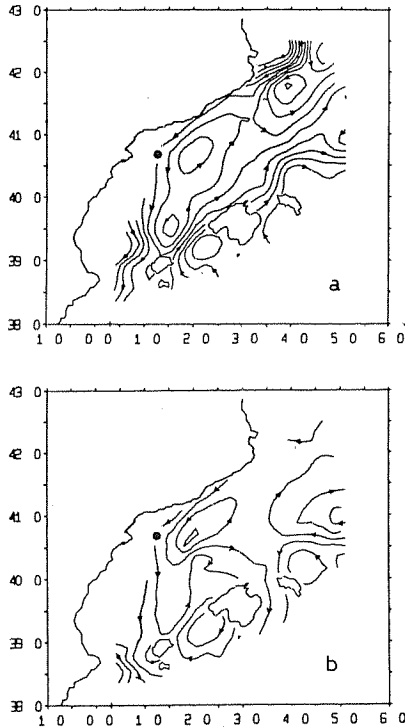


Fig. 1. Circulación geostrofica en el mar Catalán en superficie (a) y en el nivel de 100 dbar (b) calculadas con referencia al nivel de 500 dbar en octubre de 1976. La separación entre curvas de nivel es de 2,5 cm din. Se indica la localización de la estación Afortunada.

En estos cálculos únicamente se tuvieron en cuenta las estaciones situadas sobre un fondo superior a 500 m, ya que precisamente se escogió como nivel de referencia el de 500 dbar, y los intentos de prolongar dicho nivel de manera ficticia bajo tierra no dieron unos resultados suficientemente satisfactorios (Font, 1982). A pesar de ello, el método utilizado para el trazado automático de las topografías dinámicas por ordenador (descrito en otra aplicación por Font, 1977) permitió extrapolar ligeramente los valores hasta alcanzar el borde de la plataforma continental. Este hecho facilita un

posible trabajo de calibración, aunque sólo aproximado debido a la extrapolación, de las corrientes geostróficas, ya que sobre la plataforma continental es menos dificultosa la instalación de aparatos de medida directa de corrientes que en alta mar.

En este caso concreto disponemos de los registros en cinta magnética de los correntímetros Aanderaa, equipados con rotor de Savonius, que fueron instalados durante 1980 bajo la protección de la estructura de la plataforma petrolífera Afortunada. Esta plataforma se encontraba situada a  $40^{\circ} 40' 41''$  N y  $1^{\circ} 21' 11''$  E a unos 50 km mar adentro frente al Delta del Ebro, donde empieza a desaparecer la plataforma continental, sobre un fondo de 115 m. Muy cerca de este punto, y con un fondo de 165 m, ha empezado a operar posteriormente la plataforma petrolífera Casablanca, que ha permitido reemprender las medidas desde octubre de 1982 hasta la actualidad.

En la plataforma Afortunada se colocó un correntímetro a 8 m bajo el nivel del mar y otro a 105 m. El primero está suficientemente cerca de la superficie como para poder considerar que está midiendo las corrientes superficiales, y al mismo tiempo lo suficientemente apartado para evitar que los registros se vean afectados por el oleaje, cosa que ocurre con el tipo de correntímetros que se han usado. El situado a -105 m tiene por objetivo medir los valores de las corrientes cerca del fondo. En la plataforma Casablanca están instalados actualmente tres aparatos de medida, uno a 8 m debajo de la superficie, otro a 50 m, para registrar las corrientes intermedias y otro a 100 m.

De todas las series de valores así obtenidas, las que de antemano ofrecen mayores garantías de contener información sobre las corrientes permanentes son las procedentes de Casablanca 100 m. Las superficiales estarán muy afectadas por las componentes no permanentes, sobre todo a causa de la variabilidad del viento que originará arrastres en direcciones distintas durante tiempo prolongado. Los datos tomados a 50 m, en época estival especialmente, también pueden estar afectados por los movimientos no geostróficos de la capa superficial. Y finalmente los valores obtenidos en Afortunada 105 m, por su proximidad al fondo, pueden estar afectados por el efecto de fricción, que tampoco no se tiene en cuenta en los cálculos geostróficos. Todos estos datos nos ofrecen la posibilidad de efectuar un primer trabajo de calibración de la topografía dinámica del mar Catalán, aunque sea en un solo punto y de manera aproximada. Pero nos permitirán conocer el grado de fiabilidad de los cálculos efectuados con anterioridad.

Teniendo en cuenta la conocida variabilidad estacional del Mediterráneo, y además considerando que se trata de un punto de observación situado en una zona bastante litoral, deberemos analizar separadamente los datos correspondientes a las distintas situaciones ambientales que se pueden presentar. En esta zona próxima al Delta del Ebro el sistema de vientos, que es el factor que puede tener un papel más decisivo en la formación de

las posibles corrientes permanentes distintas, se ajusta al siguiente esquema: en invierno (de octubre a mayo) se caracteriza por un régimen del NW (mestral), con intervalos prolongados del primer cuadrante; en los meses de verano (junio a setiembre) el viento predominante es del SW (garbí) de intensidad generalmente más suave (García, 1982).

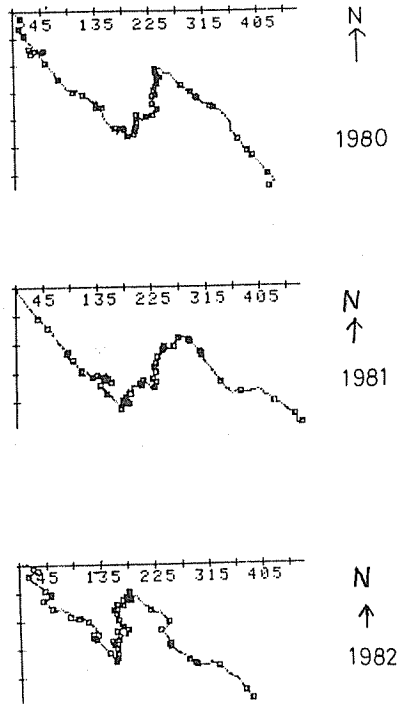


Fig. 2. Recorrido virtual del viento (vector progresivo), en centenares de km, registrados en el aeropuerto de Reus durante 1980, 1981 y 1982. Las marcas indican intervalos de una semana.

La figura 2 representa el recorrido virtual del viento observado en el aeropuerto de Reus durante los años 1980, 1981 y 1982. Este punto de observación se ha comprobado que, en general, presenta unos valores de velocidad del viento muy similares a los de la zona del Delta del Ebro. Es notoria la persistencia de las direcciones predominantes y la aparición de «llevantades», temporales de E y NE, durante los meses invernales, así como la repetitividad de las situaciones en años sucesivos.

Desde el punto de vista del efecto del viento sobre la circulación marina el esquema no es tan sencillo, ya que al régimen de vientos hay que

superponerle la estacionalidad del mar en cuanto a estratificación vertical. Cuando el agua se encuentra fuertemente estratificada (verano), puede distinguirse una capa superficial de otra profunda, con un gradiente brusco de densidad que actúa como barrera, permitiendo a cada capa realizar movimientos en direcciones distintas y dificultando la propagación de la energía recibida del viento hacia la capa profunda. En cambio en invierno, con el agua homogeneizada, todas las propiedades se distribuyen con un gradiente vertical muy suave.

En la zona que estamos estudiando el paso de la situación estratificada a la homogénea suele iniciarse con posterioridad al establecimiento del régimen invernal de vientos (generalmente a mediados de octubre) y puede prolongarse unos dos meses. El paso inverso, también variable según la climatología reinante, suele abarcar los meses de mayo y junio. Por lo tanto al principio y al final del período que hemos llamado invernal deberemos diferenciar dos subperíodos: pre-invernal y post-invernal.

Los datos de corrientes disponibles en el borde de la plataforma no cubren todo el año, pero son suficientes para poder tener una idea de lo que ocurre en las principales situaciones estacionales: una estival (junio-setiembre 1980) y dos invernales o pre-invernales (octubre-noviembre 1980 y octubre 1982-enero 1983), más otra del final del invierno (abril-mayo 1980) pero de la que sólo se tienen datos de superficie.

La figura 3 muestra la cobertura anual que se obtiene con los distintos datos utilizados. Para el año 1980 se han tenido en cuenta los valores de velocidad del viento registrados en la plataforma Afortunada y en la plataforma Delta ( $40^{\circ} 40' 6''$  N,  $1^{\circ} 18' 6''$  E). Para 1982 los del aeropuerto de Reus que, como ya se ha dicho, presentan una alta correlación, especialmente en dirección, con los de la zona del Delta.

Para completar la comprensión de cuál es la circulación que se establece en cada caso, hemos seleccionado algunos períodos concretos más breves representativos de las distintas situaciones y, con la ayuda de valores de corrientes registradas en un punto mucho más cercano a la costa, hemos

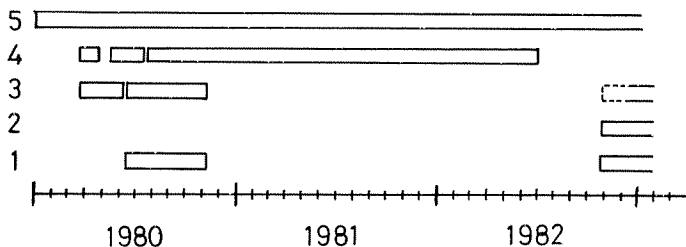


Fig. 3. Distribución temporal de los datos utilizados: 1 corriente a 100 m; 2 corrientes a 50 m; 3 corriente superficial; 4 viento en el borde de la plataforma continental; 5 viento en el aeropuerto de Reus.

realizado un análisis cualitativo de la respuesta del sistema marino ante variaciones del viento determinadas.

Este otro punto de observación de corrientes es la plataforma petrolífera Amposta (40° 30' 6" N, 0° 37' 28" E), situada sobre un fondo de 58 m y en la que se han instalado correntímetros a 8 y 50 m bajo la superficie. Estos datos no son válidos para contrastar directamente con los valores geostróficos calculados, pero son muy útiles para comprender cuál es la circulación en plena plataforma continental y cerca de la costa.

## DISCUSIÓN

El resultado del análisis estadístico de las velocidades de las corrientes (obtenidas como promedio de los valores medidos durante 30 segundos cada 30 minutos) se expresa en el Cuadro I. Para cada período estudiado y para las profundidades de 8, 50 y 100 o 105 m, se indica la dirección más per-

	8 m		50 m		100 m	
Primavera 1980	S 26 % v.	17 cm/s 59 % r.				
Verano 1980	W 22 % v	14 cm/s 29 % r.			S 62 % v.	11 cm/s 78 % r.
Otoño 1980	S 31 % v.	24 cm/s 36 % r.			SSE 62 % v.	15 cm/s 84 % r.
Otoño-Inv. 1982	SSW 53 % v.	(17 cm/s) (52 % r.)	SW 92 % v.	17 cm/s 93 % r.	SSW 94 % v.	17 cm/s 93 % r.

Cuadro I. Resultados del análisis estadístico de las velocidades de las corrientes.

sistente, la velocidad media en esta dirección, el porcentaje de valores totales (v) que se encuentran dentro del sector de la dirección más persistente  $\pm 30^\circ$  y el porcentaje del recorrido virtual total dentro de dicho sector(r).

La duración real de cada período es: primavera 1980 ( 8 m: 27 marzo-10 junio), verano 1980 (8 m: 10 junio-20 septiembre, 105 m: 10 junio-30 septiembre), otoño 1980 (8 m: 1 octubre-10 noviembre, 105 m: 1 octubre-7 noviembre) y otoño-invierno 1982 (19 octubre-12 enero 1983, aunque en 8 m hasta el 1 diciembre sólo se registraron valores de dirección).

El estudio de estos datos nos lleva a las siguientes conclusiones:

- En el borde de la plataforma continental las corrientes permanentes a lo largo del año son del orden de 15 cm/s y se dirigen hacia el SSW, aunque presentan ligeras variaciones estacionales.

- b) La inclinación más hacia el S o SSE de las corrientes a 105 m de Afortunada puede ser debida al efecto de la topografía del fondo, que llevaría la masa de agua a desviarse en dirección perpendicular a la pendiente.
- c) En superficie hay que distinguir dos situaciones bien diferenciadas por la presencia o no de estratificación. En el primer caso siempre se obtienen persistencias muy bajas, del orden del 30 % menos, con lo cual no podemos prácticamente hablar de corriente permanente. Estamos en presencia de una capa superficial que sigue las fluctuaciones del viento, con independencia del movimiento de la capa profunda. El paso de una situación a otra lo podemos apreciar si subdividimos el período de otoño 1980: al principio la dirección predominante es hacia el NNW, con persistencia muy baja (35 %) y al final hacia el S con una persistencia importante (73 %). Entre medio debe haberse iniciado el proceso de mezcla vertical y la estabilización del régimen de vientos del NW que, según la teoría de arrastre de Ekman, debe producir un movimiento global de la capa superficial hacia el SW. En la situación de ausencia de estratificación, aunque en realidad no tenemos datos de un período plenamente invernal, puede observarse como toda la columna de agua se mueve prácticamente en la misma dirección, siempre con menor persistencia en la superficie que en el fondo.

De los casos concretos en que hemos estudiado las corrientes con mayor detalle que el cálculo de persistencias, hemos seleccionado dos: uno plenamente estival (julio 1980) y otro pre-invernal (octubre 1982). En ambos casos se ha procurado que reuniesen el máximo de características típicas del período (en verano fuerte estratificación y predominancia de vientos del tercer cuadrante, y en otoño régimen de NW con un intervalo de NE suficientemente largo para observar la respuesta del sistema, así como la aparición de los primeros síntomas de que se inicia la mezcla vertical).

En julio de 1980 hemos usado los datos de viento de Afortunada y Delta y los de corrientes de Afortunada y Amposta. Al iniciarse el período los vientos son flojos y preferentemente del S y SW, rolando durante el último tercio del mes hacia el SE con un aumento de intensidad (media de 4,5 m/s).

En el borde de la plataforma continental (estación Afortunada) la corriente superficial toma diversas direcciones del primer y cuarto cuadrantes, dirigiéndose finalmente con mayor persistencia hacia el NW con intensidades del orden de 7,5 cm/s, aunque con evidentes oscilaciones. En el fondo la dirección es prácticamente permanente hacia el SSE con una intensidad media de 12 cm/s.

En la estación costera (Amposta) tenemos al principio en superficie movimientos en dirección al primer y segundo cuadrantes, tomando luego persistentemente la dirección S a unos 9 cm/s. En el fondo el agua va os-

cilando paralelamente a la costa con un desplazamiento neto prácticamente nulo; hay que destacar aquí que faltan los datos correspondientes a la segunda mitad del mes.

Todo parece indicar que la fuerte estratificación estival permite un deslizamiento prácticamente libre de la capa superficial sobre la profunda. En la estación exterior el movimiento superficial sigue más o menos el viento, poco intenso, y se estabiliza ligeramente cuando éste aumenta de intensidad. En el fondo se mantiene la conocida dirección permanente, aunque con una intensidad menor que la media anual y, por lo tanto, más predispuesta a dejarse arrastrar siguiendo las isobatas. En este caso no disponemos de valores geostroáficos calculados en verano para poder hacer una comparación directa. En la estación interior la capa superficial no parece seguir el viento, sino incluso al final, cuando éste es más persistente, avanzar en contra. En el fondo la ausencia de movimiento apreciable es casi total.

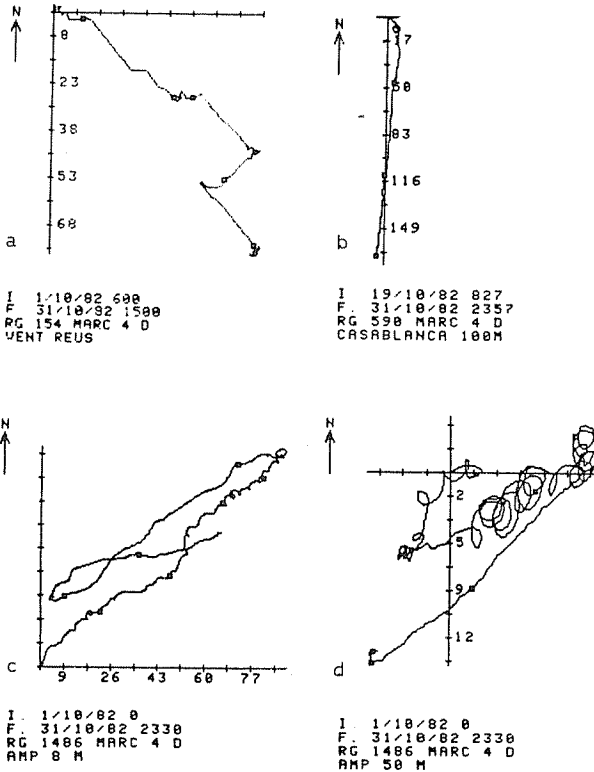


Fig. 4. Recorrido virtual del viento (a), corriente de fondo en el borde de la plataforma (b), corriente superficial costera (c) y corriente de fondo costera (d) durante octubre 1982. Km para corrientes y km×100 viento.

Podemos concluir que en esta situación estival el efecto del viento no es considerable y está totalmente restringido a la capa superficial. En el borde de la plataforma, por debajo de esta capa, las aguas se mueven de forma estable sin estar afectadas en absoluto por las variaciones del viento.

En el estudio del caso de octubre de 1982 hemos usado los vientos de Reus y las corrientes de Casablanca y Amposta (Fig. 4). La situación inicial es todavía de considerable estratificación: hay una diferencia de  $6^{\circ}$  entre la temperatura superficial y la de 50 m en Casablanca y de  $7^{\circ}$  en Amposta. El viento es permanente del NW, con una velocidad media de 10 m/s. El 18 de octubre empieza a cambiar de dirección y durante cuatro días sopla del NNE con una media de 7 m/s. El día 23 vuelve a proceder del NW manteniendo ahora una velocidad superior (12 m/s).

Durante los primeros días de viento del NW los datos de la estación de Casablanca no están disponibles aunque el día 19 parecen indicar una

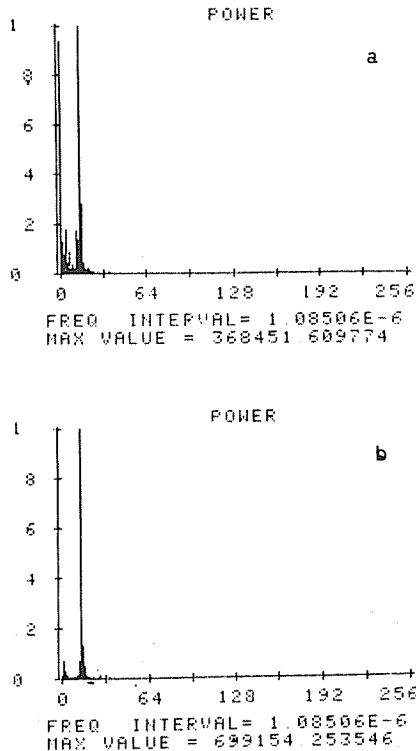


Fig. 5. Espectro de potencia de la componente según la corriente superficial (a) y de fondo (b) en Amposta en días anteriores al 19-X-82. El pico dominante en ambos casos está en la frecuencia correspondiente al período 18,4 horas (período inercial en esta latitud).



dirección hacia el S en todas las profundidades. A partir del día 20 la dirección de la corriente en superficie se orienta claramente hacia el SSW y no se altera al volver al régimen de viento del NW. De la intensidad de la corriente no podemos hablar ya que durante este período no funcionó la recogida de valores. En el fondo la dirección es todavía más persistente hacia el SSW y la intensidad media es de 16 cm/s.

En la estación Amposta tenemos al principio corrientes superficiales y de fondo dirigiéndose hacia el NE, exactamente en dirección contraria de lo que haría prever el viento. En superficie la intensidad es de 12 cm/s aunque una gran parte del movimiento es de tipo inercial (Fig. 5) y el desplazamiento neto se realiza a una velocidad de 7 cm/s. En el fondo la situación es la misma con valores de 10 cm/s y 1 cm/s respectivamente.

Cuando el viento cambia de dirección, y en este caso pasa a ser más frío (se registran temperaturas del aire unos 6° o 7° inferiores a los días anteriores), en menos de 24 horas se inicia un efecto de mezcla vertical (Julià, 1983) y toda la columna de agua se desplaza siguiendo la dirección del viento y desapareciendo el movimiento inercial, con velocidades de 20 cm/s en superficie y 5 cm/s en el fondo. Este movimiento se detecta en el correntímetro superficial a las pocas horas del cambio de viento y en el fondo 14 horas después.

Al volver al régimen de NW el sistema, que está realizando un transporte considerable, reacciona más lentamente. La corriente superficial se va debilitando y tarda unos tres días en retornar a una situación similar a la inicial, ahora hacia el ENE y a 15 cm/s. En el fondo prácticamente llega a detenerse el movimiento y empieza a cambiar de dirección al cabo de 4 días.

La causa del movimiento débil inicial hacia el NE cerca de la costa podría ser la existencia de un rotacional de la tensión de arrastre del viento que, al bajar acanalado en el tramo final del valle del Ebro podría allí aumentar su velocidad respecto a la parte Sur del Delta (Han et al., 1983). O también ser el retorno de un giro anticiclónico que se estableciera más afuera. El hecho es que la preponderancia de la componente inercial, sobre todo en el fondo, nos pone de manifiesto el escaso efecto de la acción del viento en este punto. En la estación Casablanca este viento no haría más que reforzar la circulación en el sentido indicado por Ekman, tal como ocurre durante todo el invierno.

La irrupción del viento más frío del primer cuadrante, por tanto procedente de alta mar y con más superficie para actuar, tiene un efecto inmediato sobre la estación costera, inicia el paso hacia la situación invernal y arrastra a toda la columna de agua en su misma dirección. Al finalizar el mes de octubre toda la estación costera se encuentra homogeneizada con un valor de la temperatura igual al de la capa superficial de la estación exterior, mientras que ésta no muestra señales de homogeneización hasta mediados de noviembre.

Lo más relevante del estudio de este caso, para lo que nos interesa, es que la corriente permanente en el borde de la plataforma, con la posible excepción de los valores de intensidad en la superficie, no se ve significativamente afectada por la variabilidad del viento dentro del régimen invernal.

8 m	50 m	100m
S-SSW: 12-15 cm/s	S: 14-16 cm/s	S-SSW: 14-16 cm/s

Cuadro II. Dirección e intensidad de la velocidad geostrófica durante octubre de 1976 en el mismo punto donde se realizaron las mediciones en 1980 y 1982.

La figura 6 presenta la comparación entre las velocidades geostróficas calculadas (Cuadro II) y las corrientes permanentes encontradas en cada período (Cuadro I). Podemos concluir que la coincidencia entre ambas es realmente importante, excepción hecha del caso superficial en situación estival, cosa por otra parte bien lógica ya que los mecanismos que en este caso producen el movimiento no se incluyen en las hipótesis del cálculo geostrófico.

No sólo se ha demostrado correcta la dirección sino incluso, dentro de la precisión posible, la intensidad, hecho notorio puesto que no hay que olvidar que partimos de una extrapolación de datos. El grado de aceptabilidad de los resultados todavía se acentúa si tenemos en cuenta el nivel de persistencia de las distintas componentes permanentes encontradas. En todo caso en época de coincidencia estacional entre valores medidos y calculados, la discrepancia en el fondo no es nunca superior a  $30^\circ$  y a 2 cm/s.

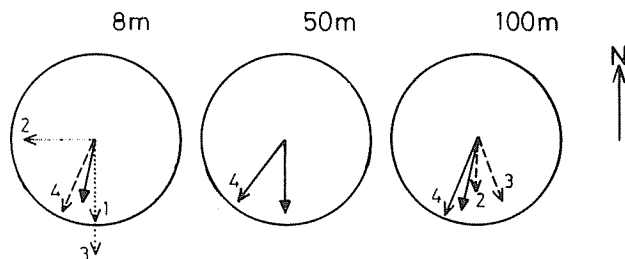


Fig. 6. Comparación entre velocidades geostróficas calculadas ( $\rightarrow$ ) y velocidades más persistentes observadas en los cuatro períodos estudiados: 1 primavera 1980, 2 verano 1980, 3 otoño 1980, 4 otoño-invierno 1982. Se indica en cada caso el grado de persistencia (>75 % —, 50-75 %---, <50 %.....).

Para poder detallar más deberíamos tener nuevos datos que completaran las distintas posibilidades de calibración: cálculos geostróficos en época estival (sólo se han podido realizar más al Norte y dan una coincidencia general en cuanto a dirección con el caso invernal, Font et al., 1982), datos de corrientes en época plenamente invernal, más puntos de calibración y más lejos de la costa, etc.

En resumen, los cálculos geostróficos eran considerablemente correctos, por lo menos en esta zona, y no es exagerado suponer que la topografía dinámica calculada puede ser utilizada aceptablemente como condición de contorno para el área modelada en una situación pre-invernal.

## BIBLIOGRAFÍA

- CRUZADO, A., 1979. Development of a computer method for processing drift-card data. Analysis of DRIFTEX results. *Informe IOC/UNEP*, contrato SC/UNEP 558.225.
- FONT, J., 1977. Distribución superficial de variables oceanográficas en el NW de África. *Res. Exp. Cient. B/O Cornide*, 6: 23-40.
- FONT, J., 1978. Courants généraux dans la mer Catalane en automne. *IV Journ. Etud. Pollution CIESM.*, 559-562.
- FONT, J.; MIRALLES, L., 1978. Circulación geostrófica en el mar Catalán. *Res. Exp. Cient. B/O Cornide*, 7: 155-162.
- FONT, J., 1982. El problema del nivell de referència a la Mediterrània. *Manuscrito no publicado*.
- FONT, J.; MIRALLES, L.; SALAT, J., 1982. Corrents superficials permanents en el mar Català. *Oceanogr. Medit. Occ. (SCB-ICHN-SHNB)*: 24.
- GARCÍA, M., 1982. Aproximación al comportamiento estadístico del viento en el Delta del Ebro. Estudio de la velocidad escalar. *Inv. Pesq.* 46 (3): 349-377.
- HAN, G.; KOHLER, K., 1982. Observed and modelled circulation on the spanish continental shelf near rio Ebro. *Informe NOAA*, contrato NA82RAC0022.
- HAN, G.; BALLESTER, A.; KOHLER, K., 1983. Circulation on the spanish continental shelf near rio Ebro. *Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental Seminario Cádiz*. Ed. Castellví, 137-147.
- JULIÀ, A., 1983. Utilización de las series temporales de temperatura y salinidad para interpretar los movimientos de las masas de agua (zona de Amposta). *Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental. Seminario Cádiz*. Ed. Castellví, 163-179.
- LACOMBE, H.; TCHERNIA, P., 1972. Caractères hydrologiques et circulation des eaux en Méditerranée. *The Mediterranean Sea*. D. J. Stanley. Ed.: 25-36.
- LAMY, A.; MILLOT, C., 1978. Lion 78, Rapport de presentation des mesures. *Mus. Natl. Hist. Nat.*, 79-03, 250 pp.

# Utilización de las series temporales de temperatura y salinidad para interpretar los movimientos de las masas de agua (zona de Amposta)

por

A. JULIÁ \*

\* Instituto de Investigaciones Pesqueras. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Paseo Nacional, s/n. Barcelona-3.

## SUMMARY

We have used the temperature and salinity time series recorded in the current meters placed at the Amposta oil platform. After considering the conductivity sensor degradation by algae and other organisms growth over the instrument, we used calculated salinity and density variations in order to determine the influence of different wind situations into the water masses and their mixing.

Only the larger wind actions had been considered, those having less standard deviation from the mean values.

The proximity of Ebro's river delta, contributes to introduce important amounts of fresh water into the system and produces large variations in salinity, depending on current and wind regimes.

Current meters were placed at 8 meters below the surface and at 50 meters depth, about 10 meters over the sea floor.

The data were collected between april 1980 and december 1982.

## INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente trabajo es el empleo de las series temporales de datos de temperatura y conductividad obtenidos simultáneamente con los de intensidad y dirección de la corriente, para reconocer diversas situaciones de actuación del viento sobre una columna de agua en el mar.

Los datos se obtuvieron en la plataforma de extracción petrolífera AMPOSTA, situada al S del delta del río Ebro y abarca un período comprendido entre abril de 1980 y diciembre de 1982.

Debido al crecimiento de algas y de otros organismos sobre el sensor de conductividad, se produce una degradación de la calidad de los datos del mismo. No obstante, las variaciones producidas por efectos del viento, de menor período que la degradación del sensor, permiten reconocer situaciones de mezcla interesantes.

Los datos se presentan en forma de gráficos continuos de salinidad, temperatura y densidad. De ellos hemos efectuado una selección de los períodos de mayor interés.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El material utilizado en este trabajo está constituido por las series temporales de datos obtenidos a partir de dos correntímetros instalados durante el período de tiempo comprendido entre abril de 1980 y diciembre de 1982, a las profundidades de 8 y 50 metros, sobre un fondo de 64 metros y sostenidos desde la plataforma de extracción de petróleo AMPOSTA.

La plataforma, propiedad de SHELL OIL ESPAÑOLA, está situada en latitud  $40^{\circ} 23' 32''$  N y longitud  $0^{\circ} 42' 32''$  E, a unos 30 km al suroeste de cabo Tortosa.

Los correntímetros utilizados son del modelo RCM-4 de AANDERAA, programados para efectuar una medición cada 30 minutos. Simultáneamente con la corriente, se determinaron la temperatura, la conductividad y la presión de la columna de agua. Las cintas de registro magnético de los datos, ya digitalizados, se recogieron periódicamente con intervalos de tiempo que oscilaron entre uno y dos meses, con una media de 40 días. Si bien los instrumentos permiten estancias más prolongadas sin mantenimiento fue preciso efectuar la recuperación de las cintas magnéticas con la citada periodicidad para evitar que el crecimiento de organismos, principalmente algas, llegase a alterar la calidad de los datos. Este efecto, muy notable en ciertas épocas del año, se nota de forma especial en los datos de conductividad debido principalmente a la forma del propio sensor.

Los datos correspondientes a cada cinta magnética se almacenan en nuestro banco de datos para ser posteriormente procesados.

El banco de datos se constituyó inicialmente en un ordenador IBM 1130 y a partir de mediados de 1981 en un ordenador HP-85 cuya conexión directa a la unidad de lectura de cintas de los correntímetros simplificó todo el proceso.

Los datos meteorológicos utilizados han sido proporcionados por la estación DELTA (latitud  $40^{\circ} 41' 42''$  N y longitud  $1^{\circ} 18' 32''$  E) situada en una zona despejada y relativamente próxima a la plataforma AMPOSTA.

También se han empleado los datos obtenidos en la estación meteorológica de la base aérea de Reus. Véase Font, J.; Manríquez, M. (1983); García, M. (1982) y García, M. (1983).

Para obtener los valores de la salinidad a partir de los correspondientes de temperatura, conductividad y presión se ha publicado los algoritmos de transformación descritos en Ballester, A. (1972), y la determinación de la densidad, expresada como  $\sigma_t$ , se ha realizado utilizando las expresiones recomendadas por UNESCO (1975).

Debido a que el proceso de degradación del sensor de conductividad se inicia prácticamente en el momento de sumergir los correntímetros en estación, se observa en los gráficos correspondientes a la salinidad una disminución progresiva de dicho parámetro. Las operaciones de mantenimiento permiten recuperar el funcionamiento correcto del sensor de conductividad.

Si bien hemos desarrollado un método numérico para reconstruir cada serie correspondiente a la conductividad mediante la estimación de una función de deriva, en el presente trabajo nos limitaremos a utilizar los gráficos correspondientes a las variables salinidad y densidad obtenidos sin ningún tipo de tratamiento especial. Únicamente la limitación de los rangos de variación de cada variable a intervalos definidos, indicados en los gráficos, establece un margen de aceptación o filtrado de los datos.

Debido a la variación prácticamente instantánea de la conductividad, al proceder a la limpieza del transductor (no transcurren más de dos horas desde que se inicia hasta que termina el proceso de limpieza), no existe la posibilidad de confundir las oscilaciones de la conductividad con el proceso de mantenimiento del correntímetro.

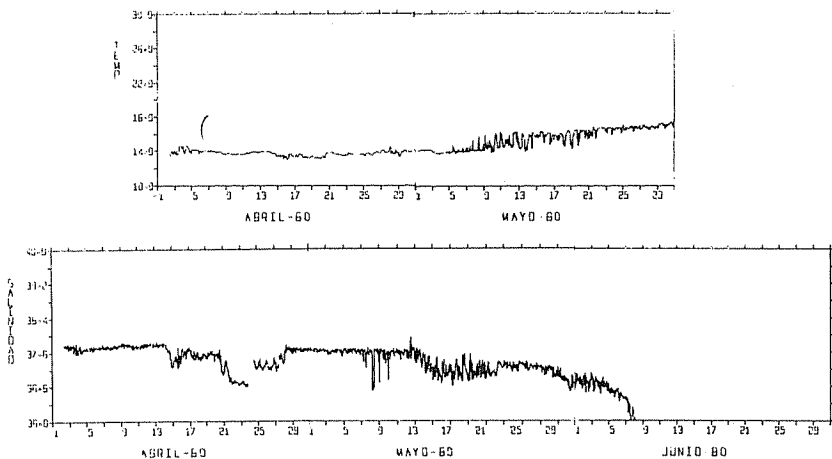


Fig. 1. Series temporales de temperatura y salinidad obtenidas desde abril a junio de 1980 en la plataforma AMPOSTA a 8 metros de profundidad.

Los datos meteorológicos utilizados corresponden a los proporcionados por la estación DELTA y se obtienen en forma de listados horarios de la intensidad y dirección de procedencia del viento.

De los gráficos mensuales obtenidos se ha efectuado una selección de las situaciones más definidas tanto hidrográficas como meteorológicas, con el fin de determinar posibles dependencias existentes entre ambas.

Desde el punto de vista meteorológico hemos considerado una situación concreta aquella durante la cual se produce una elevada persistencia del viento tanto en intensidad como en dirección. Definimos tal situación por el valor medio de la intensidad y dirección del viento, sus desviaciones típicas y su persistencia en horas.

## DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Con el fin de utilizar estas series temporales de salinidad y temperatura en unas situaciones hidrográficas concretas, se han seleccionado seis situaciones hidrográficas distintas, todas ellas caracterizadas por correspon-

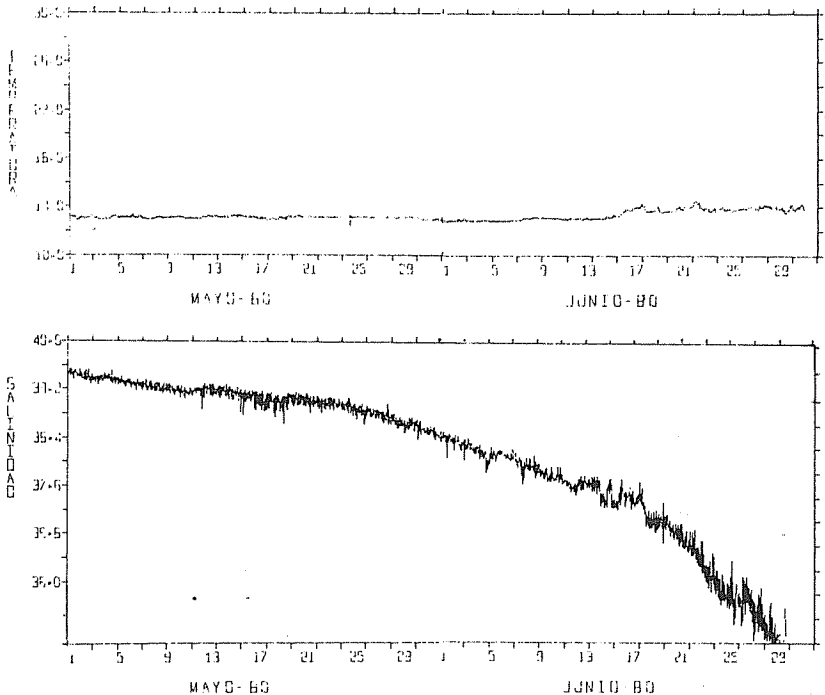


Fig. 2. Series temporales de temperatura y salinidad obtenidas durante mayo y junio de 1980 en la plataforma AMPOSTA a 50 metros de profundidad.

der en el tiempo a regímenes de viento constante durante un gran número de horas.

Cada una de estas situaciones está definida por una velocidad media del viento, una dirección media y una dispersión de ambos parámetros, expresada en forma de desviación típica.

Estas situaciones, cuadro I, son:

Situación 1: se inicia el 11-IV-80 a las 08 horas y finaliza 92 horas después, el 15-IV-80 a las 04 horas. La salinidad baja fuertemente en superficie con vientos de una dirección media del  $87^\circ$  y una velocidad media de 6 m/s. (Figuras 1, 2 y 3).

Situación 2: se inicia el 13-V-80 a las 06 horas y finaliza 75 horas después, el 17-V-80 a las 10 horas. Corresponde a una dirección media del viento de  $312^\circ$  y una velocidad media de 5,6 m/s. (Figuras 1, 2 y 3).

Situación 3: se inicia el 18-V-80 a las 15 horas y finaliza 68 horas después, el 21-V-80 a las 18 horas. Le corresponde una dirección media del viento de  $271^\circ$  y una velocidad media de 4,6 m/s. Se produce un aumento de la salinidad tanto a 8 m como a 50 m de profundidad. (Figuras 1, 2 y 3).

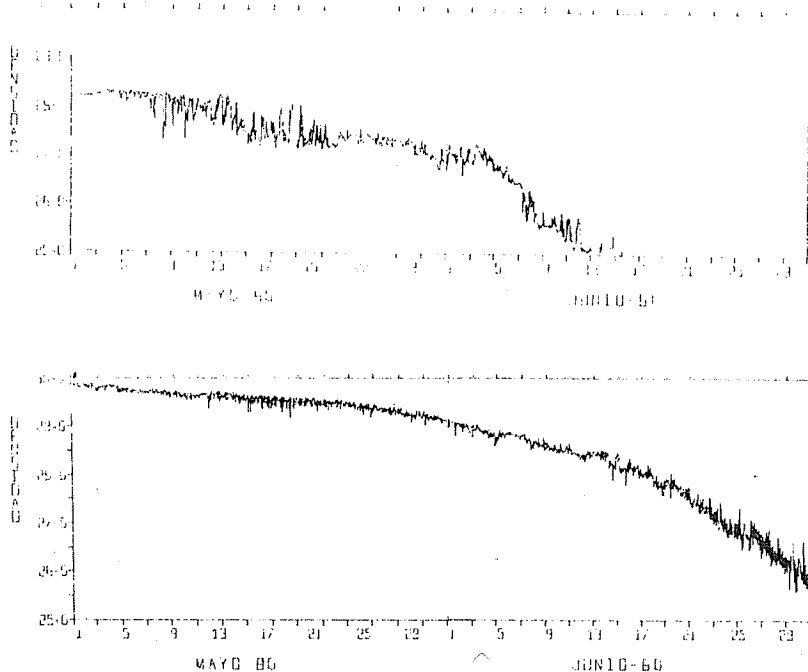


Fig. 3. Serie temporales correspondientes a la densidad calculada para los meses de mayo y junio de 1980. La superior corresponde a la profundidad de 8 metros. La inferior a la de 50 metros.



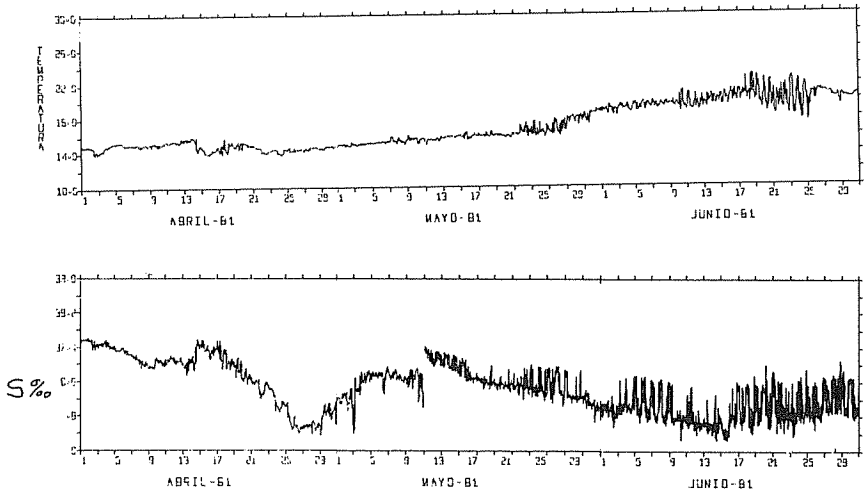


Fig. 4. Serie temporales de temperatura y salinidad correspondientes al período abril-junio de 1981. Obtenidas en la plataforma AMPOSTA a la profundidad de 8 metros.

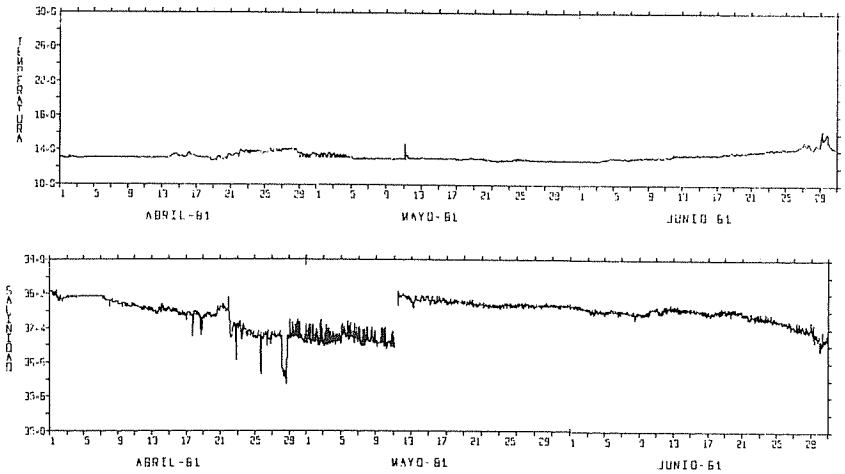


Fig. 5. Serie temporales de temperatura y salinidad correspondientes al período abril-junio de 1980. Obtenidas en la plataforma AMPOSTA a 50 metros de profundidad. La discontinuidad observada en el mes de mayo corresponde al mantenimiento del sensor de conductividad.

Situación 4: se inicia el 9-VIII-80 a las 12 horas y finaliza 63 horas después, el 11-VIII-80 a las 23 horas. La dirección media del viento es de  $201^\circ$  y la intensidad media de 3,7 m/s. Se observa que a 8 metros sube la salinidad mientras que a 50 metros permanece estable.

Situación 5: se inicia el 8-X-80 a las 3 horas y finaliza 52 horas después el 10-X-80 a las 7 horas. El valor medio de la dirección del viento es de  $311^\circ$  y la velocidad media de 11,5 m/s. Se observa una elevación de la densidad en superficie mientras que en el fondo disminuye, lo que correspondería a un proceso de homogeneización de la columna de agua (Fig. 7).

Situación 6: se inicia el 20-IV-81 a las 12 horas y finaliza 59 horas después, el 22-IV-81 a las 23 horas. La dirección media del viento es de  $70^\circ$  y el valor medio de la velocidad de 11,8 m/s. Correspondería a una situación bastante parecida a la que hemos identificado como 1, pero con viento de una velocidad doble. Las consecuencias sobre la columna de agua son parecidas aunque mucho más intensas (Figuras 4, 5 y 6).

Estas distintas situaciones corresponden a condiciones de viento muy comunes en la región. No obstante la alta persistencia las hace de especial interés por cuanto sus efectos sobre la masa de agua son más manifiestos, se comprueba que la dispersión en los valores de la dirección es muy pequeña.

Observamos que los vientos procedentes de la dirección comprendida entre el ENE y E (situaciones 1 y 6), incorporan a la zona aguas de baja

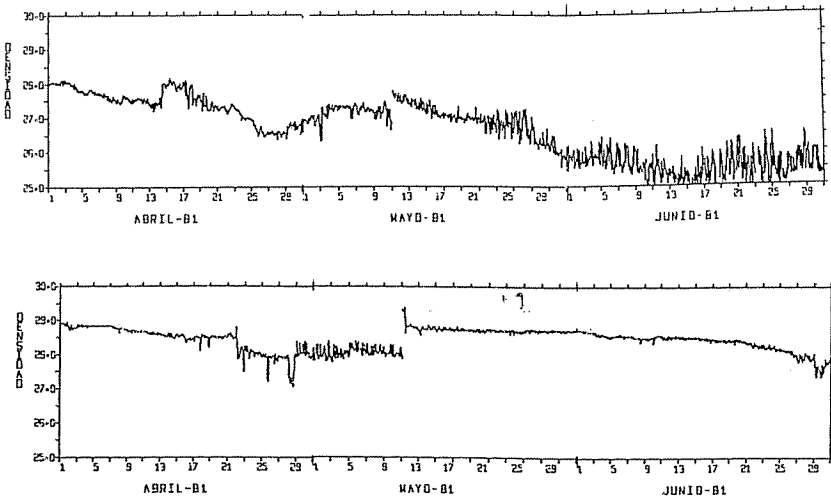


Fig. 6. Series temporales correspondientes a la densidad calculada para el período abril-junio de 1981. La superior corresponde a la profundidad de 8 metros y la inferior a la de 50 metros.

salinidad. Por el contrario, los vientos procedentes del SSW aportan aguas de mayor salinidad.

Queremos hacer notar la clara diferencia que existe entre las situaciones 3 y 4. En el primer caso se produce la acción del viento sobre una masa de agua que responde de manera idéntica tanto en superficie como en profundidad. En el segundo, por el contrario, la acción del viento sólo se manifiesta en superficie, mientras que en profundidad la salinidad se mantiene estable. Nos encontraríamos en el primer caso en un período de homotermia (mayo) mientras que en el segundo ya se habría establecido una separación por la formación de la termoclina. Esto se ve confirmado al estudiar los movimientos de las masas de agua correspondientes (Ballester, A. (comunicación personal) y Font, J. (1983).

Análogamente al proceso de estratificación estival, el estudio de las series correspondientes a octubre-noviembre nos proporcionan información sobre el proceso de homogeneización propio de la situación invernal (Figura 7).

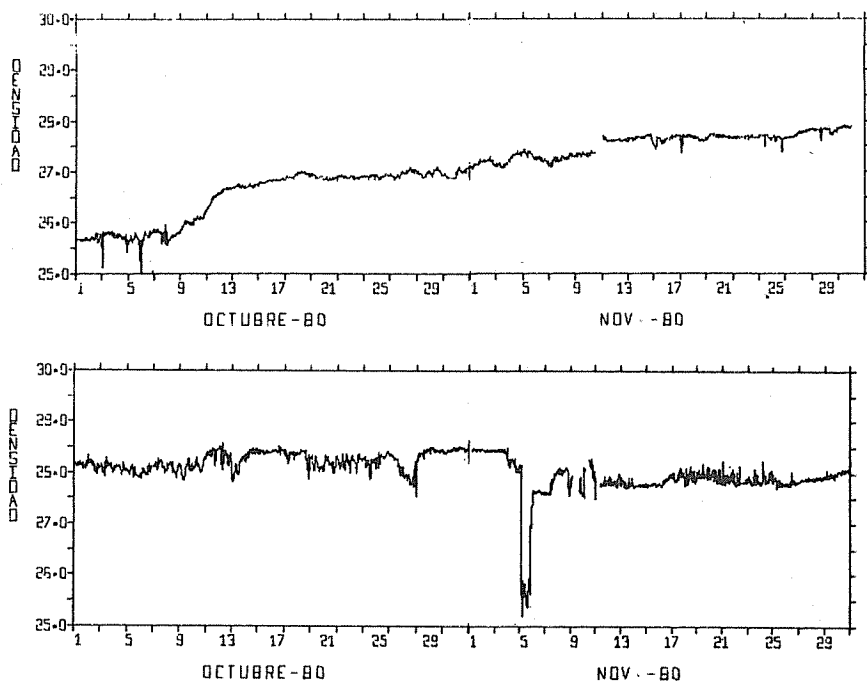


Fig. 7. Series temporales correspondientes a la densidad calculada para el período octubre-noviembre de 1980 en superficie y profundidad. La superior corresponde a los 8 metros y la inferior a 50 metros de profundidad.

SITUACION	DURACION (horas)	VELOCIDAD m/s	DESV./TÍPICA m/s	DIRECCION (grados)	DESV. TÍPICA (grados)	EFECTO	
						8m	50 m
1	92	5,95	2,0	87,3	12	↓ S,T ↓	-
2	75	5,56	1,7	311,7	32	↓ S,T ↑	↓ S
3	68	4,60	2,1	270,9	49	↑ S,T ↑	↑ S,T ↑
4	63	3,70	1,4	201,0	26	↑ S	estable
5	52	11,50	4,5	310,7	27	↑ D	↓ D
6	59	11,80	4,0	70,2	24	↓ S,D ↓	↓ S,D ↓

Cuadro I. Descripción de las distintas situaciones meteorológicas con indicación de los efectos producidos sobre los parámetros estudiados. (S=salinidad; T=temperatura; D=densidad, ↑ sube; ↓ baja.)

## BIBLIOGRAFÍA

- BALLESTER, A.; CRUZADO, A.; JULIÁ, A.; MANRÍQUEZ, M.; SALAT, J., 1972. Análisis automático y continuo de las características físicas, químicas y biológicas del mar. *Investigación Pesquera. Suplemento n.º 1*. Publicaciones Técnicas del Patronato Juan de la Cierva.
- FONT, J., 1983. Corrientes permanentes en el borde de la plataforma continental frente al delta del Ebro. *Estudio oceanográfico de la plataforma continental. Seminario Cádiz*. Ed. Castellví. Marzo 1983. En prensa.
- GARCÍA, M. A., 1982. Aproximación al comportamiento estadístico del viento en el delta del Ebro. Estudio de la velocidad escalar. *Investigación Pesquera*, 46 (3): 349-377.
- GARCÍA, M. A.; MANRÍQUEZ, M., 1983. Aproximación al comportamiento estadístico en el delta del Ebro. Sucesividad temporal de situaciones estacionarias. *Estudio oceanográfico de la plataforma continental. Seminario*.
- UNESCO, 1975. Tablas Científicas. Vol. II.

# Aplicación del análisis de componentes principales a dos series de datos relacionados con la producción primaria en Pto. Cuatrerros (R. Argentina) y en la costa española del Mediterráneo

por

JORGE R. ZAVATTI,\* ANTONIO BALLESTER I NOLLA,\*\*  
RUBEN HUGO FREIJE \* y RAÚL OSCAR ASTEASUAIN \*

\* Instituto Argentino de Oceanografía, Avda. Alem, 53 (8000) Bahía Blanca. R. Argentina.

\*\* Instituto de Investigaciones Pesqueras de Barcelona. Paseo Nacional, s/n. Barcelona-3 (ESPAÑA).

## SUMMARY

The Principal Component Analysis was applied in present work over two series of oceanographic data, collected in different and remote places: I: Puerto Cuatrerros, Argentine and II: Spanish mediterranean coast. We hope that the comparison of these two zones mean a contribution on method possibilities on the behaviour of coastal aquatic ecosystems.

In the case I the first component (maximun of variance) includes the parameters related to primary production and the second component is linked to surroundig hydrologic conditions (temperature and salinity). Nevertheless in case II we can achieve a continental influence over coastal waters reflected by the first component: the second component is some times related with not concordant significance of different parameters and with oceanic influences in other cases.

## INTRODUCCIÓN

Al analizar el comportamiento de un ecosistema en el tiempo y en el espacio es necesario interpretar la evolución de numerosas variables, así como las relaciones existentes entre las mismas. A los efectos de simpli-

ficar el estudio es conveniente valerse de algún medio que permita reducir el número de parámetros a considerar, conservando a su vez la mayor cantidad posible de información.

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es una herramienta de gran utilidad para resolver este tipo de situaciones, y son numerosos los autores que lo han aplicado en circunstancias similares, por ejemplo: Ibáñez, F. (1972), Cassie, M. (1963), Charpy y Charpy-Roubaud, C. (1980) y Estrada, M. (1972), entre otros.

Flos (1979) realiza un ACP sobre una serie temporal de datos oceanográficos de la zona nerítica del Golfo de Vizcaya (España) considerando primero el conjunto de datos, y luego varios subconjuntos más homogéneos, obteniendo de esta forma un aumento del porcentaje de varianza explicada por cada componente, mejorando así la significación del análisis.

En los dos casos que nos ocupan el ACP aplicado a sistemas distintos, en los que se midieron aproximadamente las mismas variables, posibilitará observar la influencia de las variables físicas sobre las bioquímicas; que fenómenos concurren en la fertilización costera y estuarina, su predominio en el tiempo y diferentes características.

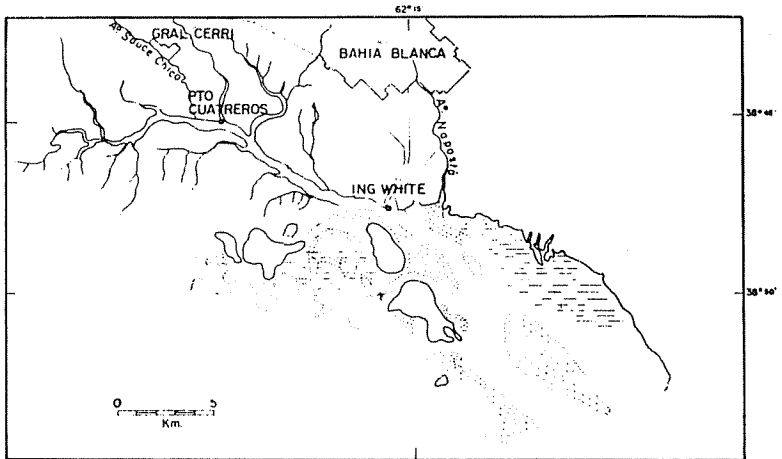


Fig. 1. Zona interior del estuario de Bahía Blanca. Rep. Argentina.

El estuario de Bahía Blanca presenta cualidades especiales (Freije y colab., 1980 y 1981) tanto desde el punto de vista hidrológico (Verticalmente Homogéneo e Hipersalino bajo ciertas condiciones), como desde el correspondiente a la producción primaria (importante florecimiento invernal).

El agua cercana a la costa española del Mediterráneo se caracteriza por

una marcada influencia de los vertidos continentales, asociada al régimen hidrográfico general de la plataforma continental, con estacionalidad pronunciada desde el punto de vista de la temperatura y valores menores de salinidad por dilución (Inf. Cient. Camp. del I.I.P.B.).

Los datos procesados en este trabajo provienen de un estudio realizado por Freije y colab. (com. pers.) desde febrero de 1978 hasta noviembre de 1980 en Puerto Cuatreros, Prov. de Buenos Aires, Rep. Argentina (Fig. 1) y de los informes científicos de las campañas Plataforma I, V, VI, X y XI realizadas por el Instituto de Investigaciones Pesqueras de Barcelona; en la costa mediterránea entre Sagunto y Cartagena (España), en el marco del Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental (Proyecto de Investigación Cooperativa Hispano Norteamericano) (Fig. 2).

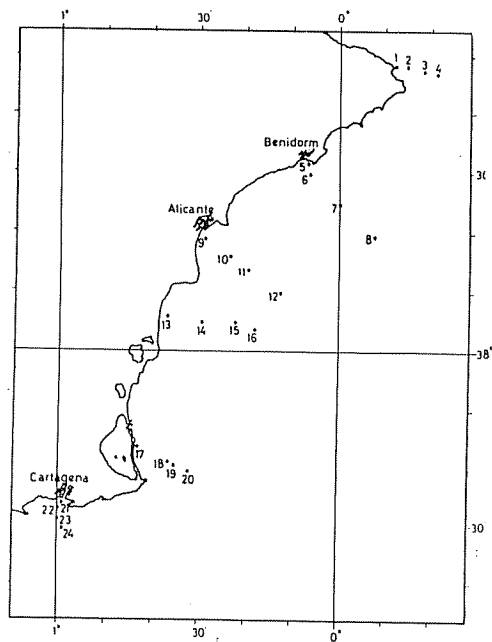
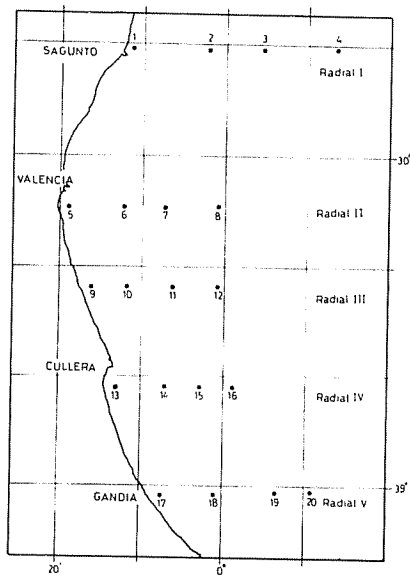


Fig. 2A. Posición de las estaciones durante las campañas Plataforma I, V y VI (Costa española del Mediterráneo).

Fig. 2B. Posición de las estaciones para las campañas Plataforma X y XI (Costa española del Mediterráneo).

## MATERIAL Y MÉTODOS

El ACP es una técnica matemática que permite conocer las relaciones entre variables (modelo R) y/o muestras (modelo Q) reduciendo las dimensiones del «espacio» ecológico original, acumulando gran parte de la varianza de los datos en unos pocos ejes principales no correlacionados entre sí, y que resultan de una combinación lineal de los parámetros originales. De esta manera es posible representar las variables así como las muestras en planos con ciertas propiedades estadísticas y definidos por cada par de ejes.

A. — Pto. Cuatrerros (R. Argentina) .

Las variables que se midieron son las detalladas a continuación:

## CUADRO I

<i>Variables</i>	<i>Símbolo y Unidad</i>
Clorofila «a»	Ca. (mg/m <sup>3</sup> )
Producción Primaria Neta	PPN (mg C/m <sup>3</sup> /h)
Log. del n.º de Diatomeas	LN (log. n.º Cel./1)
Salinidad	S (gr/kg)
Temperatura	T (°C)
Silicatos	Si (µg at.Si/1)
Fosfatos	P (µg at.P/1)
Nitratos Nitritos	N (µg at.N/1)
Feopigmentos	F̄ (mg/m <sup>3</sup> )
Índice pigmentario	D (relación de densidades ópticas a 430 y 665nm).

La frecuencia de muestreo fue aproximadamente quincenal, salvo algunas excepciones durante el año 1978. Los datos originales se transformaron logarítmicamene ( $X' = \text{Log.}(X + 1)$ ) a efectos de obtener una estabilización de la varianza (Flos, 1979).

Los ACP se realizaron sobre las matrices de correlación (10 × 10 variables), con el propósito de independizarlos de las unidades en que fueron medidos los valores originales (Abril, 1980). Para el cálculo se utilizó el programa PCAR (Orloci, 1978), ligeramente modificado, que se elaboró en un equipo Hewlett Packard del Instituto Argentino de Oceanografía.

B. — Costa Española del Mediterráneo.

Se tomaron para la realización de este trabajo las variables que aparecen en el Cuadro II; correspondientes a las estaciones más próximas a la



costa de cada campaña en los niveles de 0 y 5 metros (Fig. 2). Al igual que en el caso anterior se utilizó la transformación logarítmica, la matriz de correlaciones de  $7 \times 7$  variables en este caso y el programa COMP04, que es una versión mejorada del anterior; y se procesó en un ordenador HP-85.

CUADRO II

<i>Variables</i>	<i>Símbolo y Unidad</i>
Clorofila «a»	Ca. (mg/m <sup>3</sup> )
Producción Primaria	PP (mg C/m <sup>3</sup> /h)
Salinidad	S (gr/kg)
Temperatura	T (°C)
Silicatos	Si (µg at/1)
Fosfatos	P (µg at/1)
Nitratos Nitritos	N (µg at/1)

En los Cuadros III y IV se consignan los valores originales sobre los que se desarrollaron los análisis.

En el anexo I aparece un listado del programa COMP04 según se utilizó en el HP-85.

Fecha Variables	15/2/78 1	2/3 2	17/3 3	29/3 4	13/4 5	8/6 6	27/6 7	11/7 8	24/8 9	11/10 10	25/10 11
Clorof. «a»	7.51	4.26	6.16	2.99	3.93	.00	25.75	19.39	30.80	8.20	4.23
Produc. Prim. neta	58.05	22.05	18.90	.00	27.45	.00	249.75	139.05	80.28	31.32	21.19
Log. Nitrato	3.62	3.43	3.55	4.03	4.14	4.89	6.84	6.05	6.52	3.66	3.85
Sal. ‰	38.69	30.14	30.08	29.02	32.42	35.05	32.01	31.81	29.68	29.23	29.19
Tem. °C	22.90	23.05	19.70	19.35	16.03	5.98	7.65	10.20	7.50	17.50	18.50
Silicatos	74.82	108.96	57.37	67.50	59.24	119.39	70.81	62.01	76.53	89.45	94.26
Fosfatos	1.74	2.63	.17	.18	.21	1.86	1.68	1.57	1.23	1.63	2.58
Nitratos Nitritos	4.12	14.92	59.97	34.26	19.15	12.13	4.72	3.46	.42	5.96	7.00
Feopigm.	1.18	.73	2.26	3.12	4.01	.00	20.59	7.98	8.37	6.03	2.06
D 436/665	4.05	2.77	4.87	6.12	4.13	4.10	3.33	2.55	2.36	2.37	2.80

Cuadro III. Datos originales del Puerto Cuatrerros. Argentina.

Fecha Nº	8/3/79 12	21/3 13	17/4 14	2/5 15	18/5 16	1/6 17	15/6 18	28/6 19	2/7 20	4/7 21	13/7 22
Variables											
Clorof. "a"	8.66	10.70	9.12	.43	1.70	2.65	4.36	15.92	28.57	35.40	19.82
Produc. Prim. meta	119.88	97.67	121.23	18.09	47.66	.00	8.21	105.17	246.78	204.39	115.29
Log. Nº Uiat.	3.35	4.01	5.15	3.39	3.49	4.16	5.68	6.52	6.70	6.83	6.49
Sal.‰	34.36	35.14	36.49	36.45	33.98	34.46	33.38	34.34	33.93	33.77	34.28
Tem.°C	18.60	19.89	15.95	14.80	12.63	8.30	4.90	6.90	8.00	8.20	8.65
Silicatos	66.68	79.84	57.54	74.94	102.96	87.74	99.06	81.85	72.58	65.81	53.51
Fosfatos	2.07	1.48	1.97	2.37	2.00	1.86	2.26	1.72	1.81	1.11	.52
Nitratos Nitritos	6.44	6.44	7.09	7.20	9.42	7.63	7.01	5.48	1.21	1.19	.28
Feopigm.	.00	3.35	4.40	2.33	5.89	1.90	.26	5.49	7.71	7.89	10.67
D 430/665	3.01	2.85	2.89	2.70	3.13	3.42	2.89	2.14	2.16	2.17	2.03

Cuadro III. Continuación.

Fecha Nº	26/7/79 23	3/8 24	14/8 25	30/8 26	13/9 27	27/9 28	11/10 29	30/10 30	12/12 31	28/12 32	8/1/80 33
Variables											
Clorof. "a"	23.26	8.72	16.70	9.86	7.88	2.83	.15	7.00	6.73	11.33	5.00
Produc. Prim. meta	173.21	82.44	133.30	33.89	74.34	27.06	71.15	24.84	32.40	180.63	105.98
Log. Nº Uiat.	6.81	6.49	6.56	3.68	6.01	3.88	4.47	3.77	4.01	5.55	3.83
Sal.‰	34.00	33.64	33.31	33.26	34.28	33.42	31.00	33.55	35.29	34.17	35.31
Tem.°C	8.20	10.95	9.90	10.65	12.15	13.05	14.38	16.75	22.40	23.10	22.30
Silicatos	56.37	64.19	84.50	85.69	91.37	85.10	98.60	89.42	93.21	85.24	116.21
Fosfatos	.63	.44	.58	.97	1.10	1.53	1.77	1.34	1.61	.87	.96
Nitratos Nitritos	.70	.58	1.16	3.75	3.77	5.66	7.43	7.03	9.92	.24	2.88
Feopigm.	8.81	2.92	8.79	6.77	5.55	1.67	2.93	4.73	4.15	12.71	5.72
D 430/665	2.49	2.72	2.33	3.48	2.68	3.49	2.98	2.85	2.78	2.67	2.98

Cuadro III. Continuación.

Fecha Variables	29/1/80 34	22/2 35	6/3 36	8/4 37	22/4 38	8/5 39	22/5 40	4/6 41	18/6 42	3/7 43	16/7 44
Clorof. "a"	10.05	2.35	.79	3.51	3.44	1.09	1.94	2.92	3.03	5.74	5.91
Produc. Prim.waca	62.37	65.21	41.18	48.45	36.68	10.67	5.76	35.50	1.62	20.39	2.97
Log. Nº diat.	3.13	4.73	3.40	4.20	4.17	3.32	3.50	3.72	4.09	6.00	6.08
Sal.‰	37.33	40.56	30.90	32.96	33.32	24.78	23.94	27.50	29.38	27.92	23.47
Tem.°C	24.50	21.80	20.10	19.50	14.15	12.45	14.25	6.95	8.80	4.30	5.20
Silicatos	89.16	86.35	72.94	93.70	65.29	111.51	124.12	106.22	105.80	97.10	89.48
Fosfatos	1.21	1.82	2.13	2.00	1.61	1.86	2.06	4.26	3.28	1.55	2.27
Nitratos Nitritos	3.64	6.01	5.69	18.64	14.55	14.84	16.24	14.00	15.83	12.16	16.93
Feopigm.	14.28	6.02	4.08	3.81	3.02	2.49	4.49	1.53	1.52	1.23	1.54
D 430/665	2.71	2.84	2.98	2.77	3.82	3.74	3.06	3.03	2.67	2.37	2.70

Cuadro III. Continuación.

Fecha Variables	4/8/80 45	18/8 46	1/9 47	15/9 48	1/10 49	16/10 50	29/10 51	14/11 52	28/11 53		
Clorof. "a"	37.65	42.92	18.43	13.93	3.68	2.95	8.62	6.87	14.81		
Produc. Prim.waca	278.37	118.94	194.00	98.55	33.30	48.47	70.47	51.03	84.92		
Log. Nº diat.	6.99	6.33	5.88	5.46	4.29	4.78	3.79	3.49	5.40		
Sal.‰	25.68	26.57	29.10	31.80	32.12	30.67	31.67	32.69	33.53		
Tem.°C	6.10	9.65	9.55	11.40	14.70	17.91	17.40	17.60	18.40		
Silicatos	89.48	74.90	35.23	38.15	53.69	83.13	61.50	85.04	26.35		
Fosfatos	.34	.67	.38	.94	1.01	.96	1.25	1.27	.54		
Nitratos Nitritos	5.71	1.17	.62	1.40	2.03	6.27	6.28	6.26	.72		
Feopigm.	6.34	17.05	3.82	5.53	1.45	.00	4.00	2.16	4.91		
D 430/665	2.13	2.65	2.26	2.53	3.16	2.46	2.50	2.75	2.37		

Cuadro III. Continuación.

Campaña Est.	Plataforma I 1		Plataforma I 5		Plataforma I 9		Plataforma I 13		Plataforma I 17	
	0 m.	5 m.	0 m.	5 m.	0 m.	5 m.	0 m.	5 m.	0 m.	5 m.
Cloror. "a"	1.45	1.00	2.67	2.43	4.04	3.26	5.39	2.01	2.73	1.19
Produc. Prim. Meta	1.40	3.05	4.88	2.72	3.53	4.70	4.60	15.03	2.10	1.30
Sal. %	36.79	36.73	36.83	36.12	36.54	36.34	37.19	36.81	32.73	36.64
Temp. °C	12.91	12.90	13.17	13.02	12.78	12.62	12.83	12.83	12.06	12.77
Silicatos	.62	.34	.26	.33	.84	.49	.55	.69	2.18	.47
Fosfatos	2.93	1.61	3.05	4.84	8.10	4.47	2.38	1.87	3.26	3.78
Nitratos + Nitritos	1.27	1.10	3.65	3.29	5.87	2.06	2.50	1.63	7.44	3.04

Cuadro IV. Datos originales de la costa española.

Campaña Est.	Plataforma V 1		Plataforma V 5		Plataforma V 9		Plataforma V 13		Plataforma V 17	
	0 m.	5 m.	0 m.	5 m.	0 m.	5 m.	0 m.	5 m.	0 m.	5 m.
Cloror. "a"	.33	.48	.43	1.14	1.47	.17	1.22	.61	1.91	1.76
Produc. Prim. Meta	.24	.17	2.57	.73	.35	.67	1.19	.57	1.07	1.14
Sal. %	37.68	37.70	37.84	38.03	37.49	37.51	35.16	37.50	37.13	37.15
Temp. °C	18.16	18.17	19.24	18.58	18.46	18.69	19.37	18.51	19.19	19.03
Silicatos	1.61	.82	2.28	3.35	.96	.96	3.84	.69	2.36	3.12
Fosfatos	1.63	1.00	.72	.75	.18	2.81	2.05	.51	1.98	2.38
Nitratos + Nitritos	.50	.46	.60	.47	.50	.50	6.55	.48	.55	.50

Cuadro IV. Continuación.

Variable \ Campaña Est.	Plataforma VI 1		Plataforma VI 5		Plataforma VI 9		Plataforma VI 13		Plataforma VI 17	
	0 m.	5 m.	0 m.	5 m.	0 m.	5 m.	0 m.	5 m.	0 m.	5 m.
Cloror. "a"	.59	.60	3.50	.82	.18	.17	1.28	.19	.36	.33
Produc. Prim. Neta	.76	.97	11.02	.56	.27	.38	.76	.56	.81	.83
Sal. %	37.71	37.68	37.23	37.64	37.66	37.70	37.17	37.42	37.56	37.55
Temp. °C	26.41	26.13	26.38	25.64	25.62	25.61	26.64	25.39	26.38	26.36
Silicatos	.00	.41	.34	.68	.14	.01	.19	.19	.22	.56
Fosfatos	.09	.09	.34	.19	.19	.17	.20	.17	.18	.14
Nitratos + Nitritos	.70	.84	.11	.10	.12	.10	.12	.08	.21	.09

Cuadro IV. Continuación.

Variable \ Campaña Est.	Plataforma X 1		Plataforma X 5		Plataforma X 9		Plataforma X 13		Plataforma X 17	
	0 m.	5 m.	0 m.	5 m.	0 m.	5 m.	0 m.	5 m.	0 m.	5 m.
Cloror. "a"	.15	.10	.13	.05	.27	.88	.17	.08	.08	.10
Produc. Prim. Neta	.97	.39	2.67	6.35	.32	.49	.51	.61	.60	.43
Sal. %	37.66	37.68	37.53	37.49	37.58	37.51	37.33	37.38	37.47	37.45
Temp. °C	21.71	21.22	21.86	21.52	20.86	20.63	20.77	20.77	20.50	20.50
Silicatos	.01	1.43	.00	.00	.02	.08	.00	.00	.00	.00
Fosfatos	.00	.00	.02	.04	.01	.05	.12	.18	.08	.00
Nitratos + Nitritos	.00	.00	.06	.59	.09	.47	.08	2.12	.46	.01

Cuadro IV. Continuación.

Campaña Est. / Variables	Plataforma XI 1		Plataforma XI 5		Plataforma XI 9		Plataforma XI 13		Plataforma XI 17	
	0 m.	5 m.	0 m.	5 m.	0 m.	5 m.	0 m.	5 m.	0 m.	5 m.
Clorof. «a»	.18	.02	.15	.13	.11	.12	.25	.27	.08	.03
Produc. Prim. Neta	.15	.24	2.50	2.03	.60	.35	.58	.36	.19	.37
Sal. ‰	37.92	37.84	37.20	37.21	37.07	37.05	36.99	36.99	37.15	37.14
Temp. °C	21.39	21.28	20.79	20.80	21.11	21.09	21.01	21.00	20.92	20.91
Silicatos	1.25	1.28	1.25	1.30	2.93	3.42	1.38	2.35	1.38	1.09
Fosfatos	.03	.00	.00	.01	.04	.00	.00	.04	.05	.02
Nitratos + Nitritos	1.40	.40	.01	.36	.18	.94	.30	1.33	.77	3.76

Cuadro IV. Continuación.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. — Pto. Cuatrerros.

Se efectuaron cuatro ACP, el primero sobre la totalidad de los datos (53 muestras) y los 3 restantes sobre cada uno de los años considerados: 1978 (11 muestras); 1979 (21 muestras) y 1980 (21 muestras).

En el Cuadro V aparece el porcentaje de la varianza explicada por cada uno de los vectores con raíces características mayores que la unidad, así como los coeficientes de cargas para cada variable.

ACP aplicado al conjunto de datos:

Comentaremos a continuación los dos primeros ejes (59,7 % de la varianza) tratando de otorgar un significado simple y concreto a cada uno, como también a la posición de cada variable respecto de los mismos.

### EJE I:

Como puede observarse en la figura 3 y Cuadro V este eje es posible identificarlos con los factores relacionados con la biomasa fitoplanctónica como lo demuestra las correlaciones positivas de Productividad Primaria Neta, Clorofila «a», Logaritmo del número de Diatomeas y Feopigmentos y las negativas de nutrientes (nitratos mas nitritos, fosfatos y silicatos).

La correlación negativa del índice de diversidad pigmentaria D430/665 (Margalef, 1977) se debe a que durante los florecimientos la concentración relativa de los pigmentos que absorben a 665 (Cla. «a» por ejemplo) es mayor que en otras fases de la sucesión, con la consiguiente disminución del índice.

Compon. Variable	1978/79/80		1978		1979		1980	
	I	II	I	II	I	II	I	II
Ca.	.427	-.047	.418	-.227	.375	.107	.408	-.184
PPN	.388	.186	.396	-.095	.320	.240	.382	.192
LN	.377	-.336	.375	-.034	.386	-.236	.297	-.419
S	.065	.464	-.042	.192	-.020	.660	.103	.501
T	-.126	.643	-.248	-.134	-.143	.539	.009	.595
Si	-.276	-.286	-.083	.585	-.283	-.355	-.336	-.078
P	-.243	-.262	.173	.541	-.337	.113	-.423	-.038
N	-.412	-.065	-.402	-.240	-.403	.077	-.411	-.163
F	.311	.104	.381	-.324	.313	.051	.175	.224
D	-.322	.238	-.349	-.293	-.365	-.045	-.313	.255
Raíz Carct.	4.174	1.790	4.343	2.545	4.962	1.548	4.477	2.519
% Var. Expl.	41.8	17.9	43.5	25.5	49.6	15.5	44.8	25.2
% Acumulado	59.7		69.0		65.1		70.0	

Cuadro V. Coeficiente de carga para cada variable y porcentaje de la varianza explicada para los dos primeros componentes (Puerto Cuatreros. Rep. Argentina).

La posición de la temperatura respecto de este eje con una correlación débilmente negativa, se explica al tener en cuenta que los máximos de producción ocurren durante el invierno (Freije y colab., 1981).

Es interesante destacar la pequeña correlación de la Salinidad con este primer componente, hecho que nos permite deducir la desconexión de los mecanismos que regulan la producción primaria de esta variable, al menos por el período de tiempo considerado y en base a los datos obtenidos.

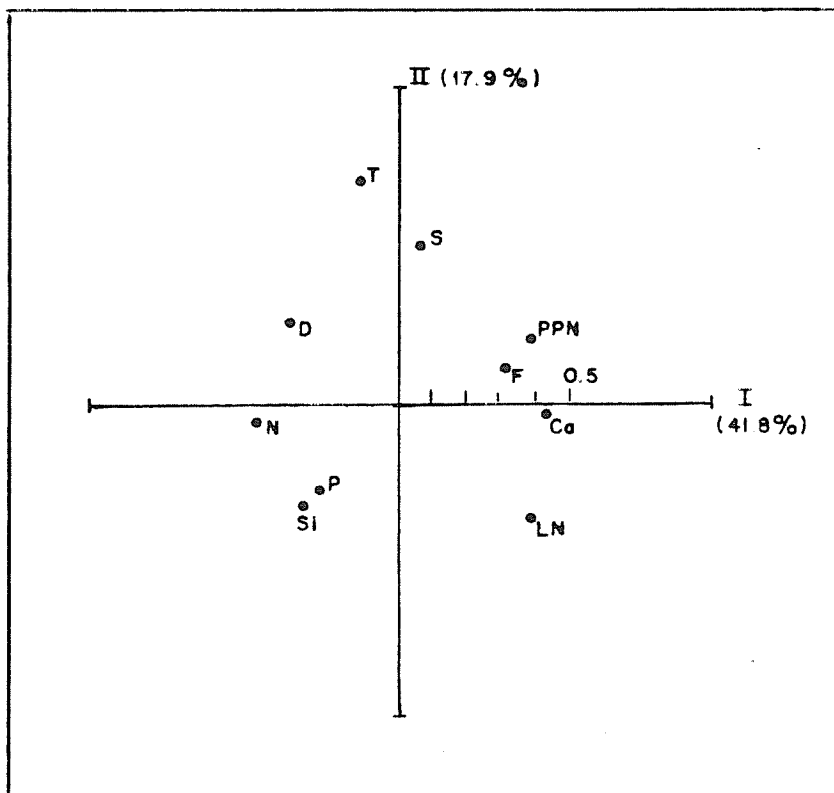


Fig. 3. Distribución de las variables en el plano definido por los dos primeros componentes para el conjunto de datos de Pto. Cuatrosos.

### EJE II:

Este componente se identifica con los parámetros físicos del ambiente, ya que salinidad y temperatura son las variables que tienen mayor coeficiente de carga (Cuadro V).

Es importante hacer notar la no correlación de nitratos mas nitritos con este eje, situación que nos lleva a deducir que las variaciones en la concentración de los mismos son independientes de las que afectan a la salinidad y temperatura.

La correlación negativa de silicatos y fosfatos se debe principalmente a que, en un sistema de este tipo, el ingreso de los mismos está condicionado al aporte de agua dulce; particularmente en este caso un brazo del arroyo Sauce Chico desemboca en la zona inmediata del sitio de muestreo (Figura 1).



Es posible encontrar una explicación, a pesar de la gran heterogeneidad temporal de las muestras (Flos, 1979) a la posición de las variables Clorofila «a», Producción Primaria Neta y Log. del número de Diatomeas en este segundo eje; teniendo en cuenta que existe un desfase en el tiempo entre el incremento de los valores mencionados. Al repasar los datos surge que altos recuentos celulares preceden al aumento de las otras dos variables en el sistema. Por otra parte los diferentes volúmenes celulares, así como los distintos estados fisiológicos de las especies, hacen que las relaciones C «a»/LN y PPN/LN sean variables en el tiempo.

*ACP aplicado a tres subconjuntos de datos (1978, 1979 y 1980)*

1. En las figuras 4a, 4c y 4e se ve la distribución de las variables respecto de los dos primeros componentes correspondientes a los años 1978, 1979 y 1980, respectivamente, lográndose al disminuir el período sobre el que se realiza el ACP aumentar la varianza explicada por los primeros ejes (Cuadro V), mejorando de esta forma la calidad del análisis (Flos, 1979).

Debido a la similitud que existe entre los tres análisis comentaremos cada componente en forma global.

EJE I:

A este eje es posible otorgarle, en general, el mismo significado en estos tres análisis que el que tenía para el conjunto de datos dado que la posición de las variables respecto del mismo es semejante.

EJE II:

Salvo durante 1978, este eje refleja, principalmente, las condiciones físicas del ambiente (S y T), como en el estudio realizado sobre el total de valores.

Durante 1978 este componente expone una oposición entre N y Si-P, situación singular que indicaría una anomalía en las concentraciones relativas de los mismos, ya que las variaciones de los nutrientes deben seguir, normalmente, un mismo patrón, como ocurre en los dos años siguientes.

En 1980 se ve nuevamente la oposición PPN-Ca-LN que había sido detectada en el análisis del conjunto de datos.

2. Calculando el valor de las componentes, para cada muestra, es posible representar las mismas en el plano definido por los dos primeros ejes permitiendo visualizar la evolución del ecosistema en el tiempo (Fig. 4b, 4d y 4f) que resulta distinta para cada uno de los tres años a pesar de que el carácter atribuido a cada eje es similar.

En general para los tres años se observó que en el sistema, se produce al comienzo del ciclo una recuperación de los nutrientes y luego un aumento de la producción. En cada ciclo anual se ve claramente un «pico» importante de producción que ocurre durante el invierno y se insinúa otro de menor intensidad en el verano (recuadros en las figuras).

### B. — Costa mediterránea Española.

Se obtuvieron seis análisis, uno sobre el total de datos (50 muestras) y otros cinco considerando separadamente cada campaña (10 muestras/campaña).

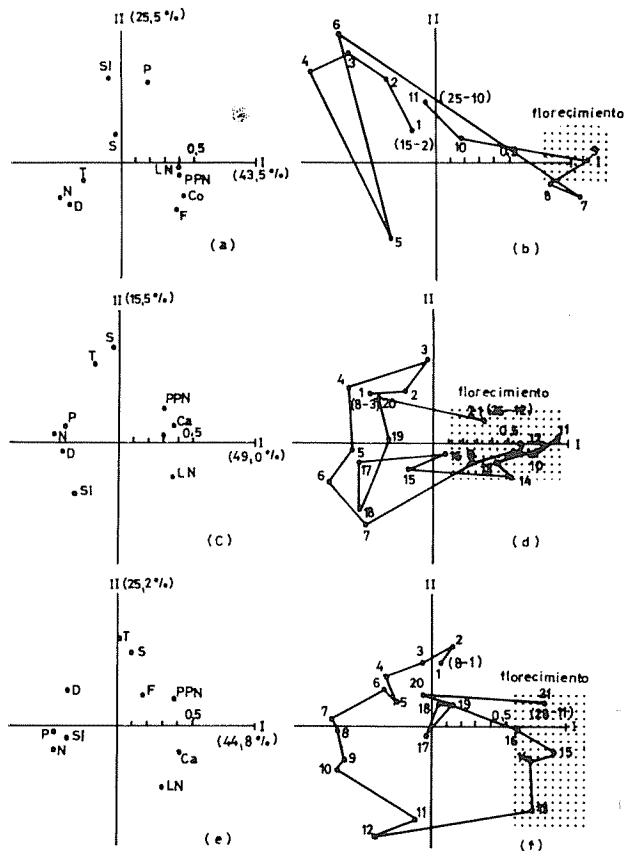


Fig. 4. Distribución de las variables y valor de las componentes en el plano de los dos primeros vectores para 1978 (a y b), 1979 (c y d) y 1980 (e y f); en Pto. Cuarteros.

En la figura 5 se representa la posición de las variables en el plano definido por los dos primeros componentes, y en el Cuadro VI aparecen los coeficientes de carga y tantos por ciento de la varianza explicada para los vectores con raíz característica mayor que la unidad.

*ACP sobre el conjunto de datos*

Al observar la figura 5a, en general resulta claro que la salinidad tiene una influencia decisiva sobre la producción primaria del área; existiendo un mecanismo de fertilización por aporte continental muy fuerte, reflejado por la primera componente (58,1 % Vza. expl.) en la oposición S-nutrientes, Ca y PPN.

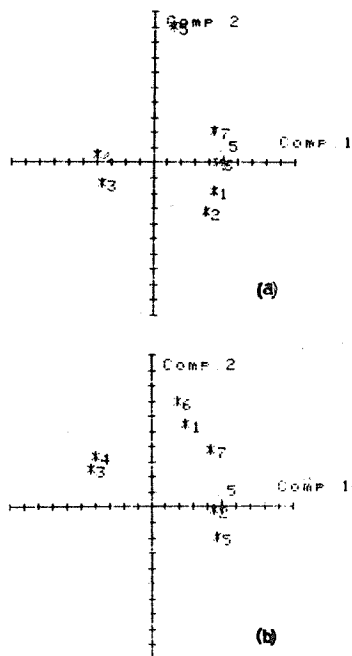


Fig. 5. (a) Variables distribuidas en el plano definido por la 1.<sup>a</sup> y 2.<sup>a</sup> componente del ACP aplicado al conjunto de datos de la plataforma española del Mediterráneo.

(b) Plataforma I.

- 1: clorofila «a»; 2: producción primaria; 3: salinidad; 4: temperatura;
- 5: silicatos; 6: fosfatos; 7: nitratos + nitritos.

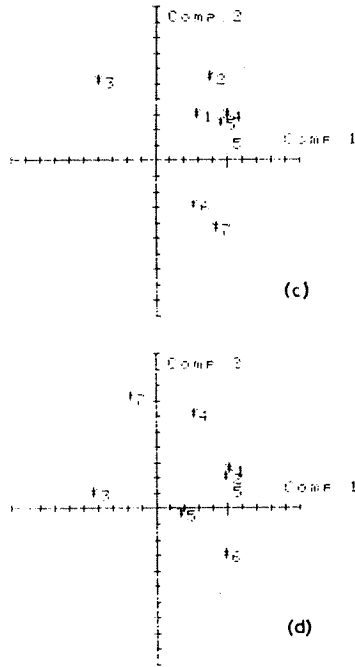


Fig. 5. Continuación.

Variables distribuidas en el plano definido por la también 1.<sup>a</sup> y 2.<sup>a</sup> componentes del ACP (c) plataforma V, (d) plataforma VI.

El segundo eje (15,6 % Vza. expl.) insinúa el aporte oceánico, que viene dado por la contraposición S-Si y la similar tendencia de S, P, Ca y PPN.

Es difícil encontrar una causa a la ubicación de la temperatura sobre todo en este análisis, debido al tiempo transcurrido entre la primera y última muestra.

#### *ACP aplicados a las campañas Plataforma I, V, VI, X y XI*

Los ACP realizados sobre cada campaña (Figuras 5b, 5c, 5d, 5e y 5f) siguen en general un comportamiento similar al anterior, con respecto al primer eje, sin embargo en la campaña Plataforma XI el fenómeno descrito por éste es un aporte de nutrientes debido a surgencias, pasando al segundo el enriquecimiento continental como se ve por la conjunción u oposición de Salinidad y Nutrientes, respectivamente (Fig. 5f).

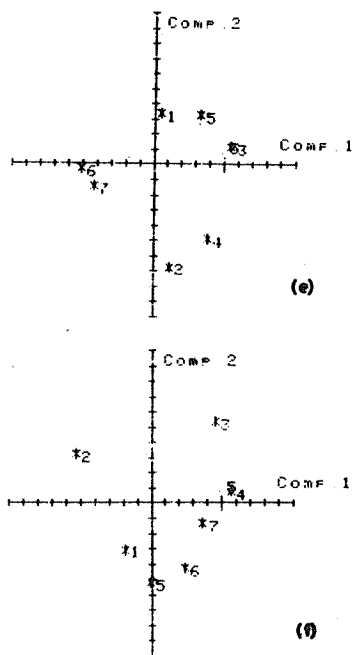


Fig. 5. Continuación.

VARIABLES distribuidas en el plano definido por la también 1.<sup>a</sup> y 2.<sup>a</sup> componentes del ACP (e) plataforma X. (f) plataforma XI.

La II componente de las campañas Plataforma V, VI y X no es sencilla de interpretar y expone situaciones de incongruencia de variables como por ejemplo la de N-P en Plat. VI (Fig. 5d) o la de PPN-Ca en Plat. X (Fig. 5e). En cambio en Plat. I esta II componente muestra claramente la influencia oceánica (Fig. 5b).

### CONCLUSIONES

Al considerar los ACP obtenidos sobre estos dos casos es conveniente destacar que:

- I) Se comprueban situaciones formuladas previamente, como la influencia de las descargas continentales sobre el agua cercana a la costa española del Mediterráneo que es más notable en el

Comp. Var.	Plataf. I,V,VI,X, XI		Plataf. I		Plataf. V		Plataf. VI		Plataf. X		Plataf. XI	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Clor."a"	.409	.230	.224	.511	.268	.270	.491	.225	.023	.297	.205	.346
P.P.N.	.351	.365	.423	.058	.357	.506	.470	.177	.090	.712	.556	.284
Sal.‰	.391	.173	.455	.216	.417	.483	.451	.066	.527	.079	.427	.496
Temp.°C	.424	.013	.423	.297	.472	.264	.237	.578	.364	.528	.546	.038
Silicatos	.119	.867	.443	.240	.429	.210	.152	.066	.310	.284	.026	.556
Fosfatos	.437	.036	.161	.655	.247	.322	.463	.332	.535	.069	.218	.462
NO NO	.415	.175	.402	.337	.399	.469	.201	.682	.446	.187	.347	.171
Raiz Caract.	4.06	1.09	4.19	1.51	3.69	1.24	3.47	1.61	2.90	1.69	2.38	1.70
% Vza. Expl.	58.1	15.6	59.9	21.5	52.7	17.7	49.5	23.0	41.4	24.1	34.0	24.3
% Acumulado	73.7		81.4		70.4		72.5		65.5		58.3	

Cuadro VI. Coeficiente de carga para cada variable y porcentaje de la varianza explicada para los dos primeros componentes (Costa española del Mediterráneo).

sector Sagunto-Denia que entre Cabo San Antonio y Cartagena, siendo a su vez variable con la época del año (Anónimos, 1980 y 1981).

- II) Es posible realizar algunas observaciones interesantes así, por ejemplo: la casi desconexión de la salinidad de los factores relacionados con la producción en Pto. Cuatrerros, situación inversa a la que se encontró en España; a la discrepancia N-P verificada en ambos lugares (P. Cuatrerros, 1978 y Plat. VI), probablemente debida a aporte terrígeno de N.
- III) Existen situaciones difíciles de justificar como la oposición Ca-PPN (P. Cuatrerros, 1980 y Plat. X), sin embargo es necesario considerar que la relación Ca-PPN es variable con el estado fisiológico de las poblaciones y los errores que se pueden cometer en la determinación de pequeñas cantidades de Ca y PPN.
- IV) El empleo de conjuntos reducidos, más homogéneos en el tiempo, resultó efectivo en el caso de Pto. Cuatrerros; donde al di-

vidir los datos en forma anual se logró un aumento de la varianza explicada por los dos primeros componentes de cada subconjunto, respecto del análisis del total de datos (Ver Tabla V). En cambio, para la situación española, al agrupar los valores por campañas, criterio similar al anterior, se consigue aumentar la varianza explicada solamente en la campaña Plataforma I (Ver Cuadro VI).

- V) Es muy atractiva la posibilidad de seguir la evolución de un ecosistema en el tiempo a través de dos parámetros, tal como se realizó para Pto. Cuatrerros (Fig. 4b, 4d y 4f).

En resumen: El ACP al realizar una síntesis poderosa de la información original, posibilita una proyección de conjunto del problema muy interesante; que permite describir el funcionamiento de este tipo de ecosistemas en forma gráfica, ahorrando páginas de comentarios.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABRIL, J. C., 1980. Notas sobre análisis estadístico multivariado (versión preliminar). Nota n.º 21. Instituto de Investigaciones Estadísticas. (Univ. Nac. de Tucumán. Argentina).
- ANÓNIMO, 1980. Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental Informe Científico II. Proyecto de Investigación Cooperativa Hispano-Norteamericana n.º 793020.
- ANÓNIMO, 1981. Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental Informe Científico IV. Proyecto de Investigación Cooperativa Hispano-Norteamericana n.º 793020.
- CASSIE, M. R., 1963. Multivariate Analysis in the interpretation of numerical plankton data. *New Zealand Journal of Science*, 6 (1): 36-59.
- CHARPY, L. J. & CHARPY-ROUBAUD, C. J., 1980. La production primaire des eaux du golfe San José. II. Populations phytoplanctoniques et composition du seston. *Hydrobiologia*. 75: 215-224.
- ESTRADA, M., 1972. Analyse en composantes principales de données de phytoplancton de la zone côtière du Sud de l'Ebre. *Inv. Pesq.*, 36 (1): 109-118.
- FLOS, J., 1979. Interpretación de varios análisis de las componentes principales aplicado a un conjunto de datos oceanográficos de una zona nerítica del Golfo de Vizcaya. *Inv. Pesq.*, 43 (3): 611-635.
- FREIJE, R. H.; ZAVATTI, F. R.; GAYOSO, A. M.; ASTEASUAIN, R. O., 1980. Producción Primaria, Pigmentos y Fitoplancton del Estuario de Bahía Blanca. I. Zona Interior, Puerto Cuatrerros. *Cont. Cient. n.º 46 I A.D.O. Bahía Blanca*, R. Argentina.
- FREIJE, R. H.; ASTEASUAIN, R. O.; SCHIMIDT, A. S.; ZAVATTI, J. R., 1981. Relación de la Salinidad y Temperatura del agua con las condiciones hidrometeorológicas en la porción interna del Estuario de Bahía Blanca. *Cont. Cient. n.º 57 I A.D.O. Bahía Blanca*, R. Argentina.
- IBAÑEZ, F., 1972. Interpétation de données écologiques par l'analyse des composantes principales: ecologie plantonique de la mer du Nord. *J. Cons. int. Explor. Mer*, 34 (3): 323-340.
- MARGALEF, R., 1977. *Ecología*. Ed. Omega. Barcelona.
- ORLOCI, L., 1978. Multivariate Analysis in Vegetation Research. *Dr. W. Junk by Publishers La Haya Boston*.

## ANEXO

## Programa COMPO4

```

10 ! STORE"COMPO4 OCEAN"
20 CLEAR
30 OPTION BASE 1
40 DIM X(7,60),R(7,7)
50 DIM B(7,7),T(60,7)
60 DIM C(60,7),Q(7)
70 DIM Y(7,60),U(7),V(9),U1(60)
80 DIM E(60),E1(40),E2(60)
90 DIM Y1(7,60)
100 DISP "BIENVENIDO AL PROGRAMA
PARA OBT COMP PRINCIPALES"
@ DISP @ DISP
110 DISP "*****"
";
120 DISP "Advertencia:Por Razon
e de capacidad de memoria NO
calcular MAS de 7 VAR. > 60
EST "
130 DISP "*****"
";
140 DISP "ENTRARA LOS DATOS POR
TECLADO O FICHERO (T o F)"
";
150 INPUT A$
160 DISP "DESEA TRANSF LOG(S/N)"
";
170 INPUT L1$
172 IF L1$="S" THEN PRINT "Trans
f. Log."
180 IF A$="F" THEN 550
190 DISP "No de variables";
200 INPUT P
210 IF P>7 THEN DISP "ERROR: CAP
ACIDAD SUPERADA(Var <=7)";@
DISP @ BEEP 300,300 @ GOTO 1
90
220 PRINT "No de variables=";P @
PRINT
230 DISP "Asignar Nombre a C/Var
con 3 Letras" @ DISP
240 DISP "Var(1)=";
250 INPUT B$
260 FOR I=2 TO P
270 DISP "Var(";I;)"=";
280 INPUT A$
290 B$=B$#A$
300 NEXT I
310 FOR J=1 TO 3:P STEP 3
320 PRINT "Var(";J-INT(J/3)*2;)"
=" ";
330 PRINT B$[J,J+2]
340 NEXT J
350 DISP "No. de estaciones";
360 INPUT N
370 IF N>60 THEN DISP "ERROR:CAP
ACIDAD SUPERADA(Est.<=60)";@
DISP @ BEEP 300,300 @ GOTO
350
380 PRINT "No de estaciones=";N
@ PRINT
390 REDIM Y1(P,N)
400 FOR I=1 TO 3:P STEP 3
410 FOR J=1 TO N
420 DISP B$[I,I+2];" Est";J;"=";
430 I1=I-INT(I/3*2)
440 INPUT Y1(I-INT(I/3*2),J)
450 IF L1$="S" THEN Y1(I1,J)=LOG
(Y1(I1,J)+1)
460 NEXT J
470 NEXT I
480 REDIM X(P,N),R(P,P),B(P,P)
490 REDIM T(N,P),C(N,P),Q(P)
500 REDIM Y(P,N),U(P),V(P),U1(N)
510 W4=P
520 GOSUB 3120
530 C.L=N @ R.N=P
540 GOTO 1700
550 DISP "El formato del fichero
es VAR=FILAS(<=7) > EST(<=6
0)=COLUMNAS?" @ BEEP 300,300
560 DISP "SI pulse CONT *** NO
reordenselo y resrese";@ DISP
@ DISP
570 PAUSE
580 DISP "Cual es el nombre de s
u FICHERO";
590 INPUT F1$
600 PRINT "Fichero=";F1$ @ PRINT
610 DISP "Cuantas variables tien
e su fichero";
620 INPUT P2
625 PRINT "No.de Var.=";P2
630 DISP "Cuantas estaciones tie
ne su fichero";
640 INPUT N3
645 PRINT "No.de Est =" ;N3
650 REDIM Y(P2,N3)
660 ASSIGN# 1 TO F1$
670 READ# 1 ; Y(,)
680 ASSIGN# 1 TO *
690 DISP @ DISP
700 DISP "Los nombres de las VAR
IABLES del fichero son?(3 LE
TRAS)";@ DISP
710 FOR I=1 TO P2
720 DISP "VAR (";I;)"=NOM";
730 INPUT A3$
740 PRINT @ PRINT "VAR.";I;"=";A
3$;
750 A3$=""
760 NEXT I
770 DISP @ PRINT
780 DISP " Que VAR Deses?"
@ DISP
790 ! DISP
800 DISP "Inrese 0 luego de la
ULTIMA VAR. deseada" @ DISP
810 PRINT @ PRINT "Variables Sol
icitadas" @ PRINT

```



```

820 FOR I=1 TO 10
830 IF I=P2+1 THEN 890
840 DISP "VAR("&;I;")=";
850 INPUT V(I)
860 PRINT "Var (";I;")=";V(I) @
PRINT
870 IF V(I)>P2 THEN DISP "ERROR:
VAR >";P2;"NO DEFINIDAS" @ D
ISP @ BEEP 300,300 @ GOTO 84
0
880 IF V(I)<1 THEN 890 ELSE 920
890 I0=I-1
900 W4=I0
910 GOTO 930
920 NEXT I
930 REDIM R(I0,I0),B(I0,I0),Q(I0
),U(I0)
940 DISP "CALCULARE TODAS LAS ES
TACIONES O ALGUNAS (T/A)" @
DISP
950 INPUT E$
960 IF E$#"A" AND E$#"T" THEN DI
SP "ERROR:pulsar T o A" @ BE
EP 300,300 @ GOTO 940
970 IF E$#"T" THEN 1590
980 DISP "Me Indicara las EST au
e DESEA o las que NO(D/ND)"
@ DISP
990 DISP "Ingrese 0 despues de
la ULTIMA";
1000 INPUT E1$
1010 IF E1$#"D" AND E1$#"ND" THE
N DISP "ERROR:pulsar D o ND
" @ BEEP 300,300 @ GOTO 960
1020 IF E1$#"ND" THEN 1250
1030 PRINT @ PRINT "Estaciones d
eseadas"
1040 FOR I=1 TO 30
1050 DISP "E("&;I;")=";
1060 INPUT E(I)
1070 PRINT E(I),
1080 IF E(I)>N3 THEN DISP "ERROR
(E("&;N3;")");@ DISP @ BEEP
300,300 @ GOTO 1050
1090 IF E(I)<1 THEN 1100 ELSE 11
20
1100 J0=I-1
1110 GOTO 1130
1120 NEXT I
1130 REDIM X(I0,J0),T(J0,I0),U1(
J0),V(I0),E(J0)
1140 REDIM C(J0,I0),Y1(I0,J0)
1150 FOR I=1 TO I0
1160 FOR J=1 TO J0
1170 Y1(I,J)=Y(V(I),E(J))
1180 IF L1$="S" THEN Y1(I,J)=LOG
(Y1(I,J)+1)
1190 NEXT J
1200 NEXT I
1210 C,L=J0

```

```

1220 R,N,P=I0
1230 GOSUB 3120
1240 GOTO 1700
1250 PRINT @ PRINT "Estaciones n,
o deseadas"
1260 FOR I=1 TO 40
1270 DISP "E.ND("&;I;")=";
1280 INPUT E1(I)
1290 PRINT E1(I),
1300 IF E1(I)>N3 THEN DISP "ERRO
R(E.ND("&;N3;")");@ DISP @ B
EEP 300,300 @ GOTO 1270
1310 IF E1(I)<1 THEN 1320 ELSE 1
340
1320 J1=I-1
1330 GOTO 1350
1340 NEXT I
1350 FOR I=1 TO N3
1360 E2(I)=I
1370 NEXT I
1380 FOR I=1 TO J1
1390 E2(E1(I))=0
1400 NEXT I
1410 K=0
1420 FOR I=1 TO N3
1430 IF E2(I)=0 THEN 1460
1440 K=K+1
1450 E(K)=E2(I)
1460 NEXT I
1470 REDIM Y1(I0,K),X(I0,K)
1480 REDIM T(K,I0),C(K,I0),U1(K)
1490 FOR I=1 TO I0
1500 FOR J=1 TO K
1510 Y1(I,J)=Y(V(I),E(J))
1520 IF L1$="S" THEN Y1(I,J)=LOG
(Y1(I,J)+1)
1530 NEXT J
1540 NEXT I
1550 C,L=K
1560 R,N,P=I0
1570 GOSUB 3120
1580 GOTO 1700
1590 REDIM X(I0,N3),T(N3,I0),C(N
3,I0),Y1(I0,N3),U1(N3)
1600 PRINT "Todas las Estaciones
"
1610 FOR I=1 TO I0
1620 FOR J=1 TO N3
1630 Y1(I,J)=Y(V(I),J)
1640 IF L1$="S" THEN Y1(I,J)=LOG
(Y1(I,J)+1)
1650 NEXT J
1660 NEXT I
1670 C,L=N3 @ R,N,P=I0
1680 GOSUB 3120
1690 GOTO 1700
1700 MAT B=IDN
1710 FOR I=1 TO P
1720 A,B=0
1730 FOR J=1 TO C

```

```

1740 Q=Y1(I,J)
1750 X(I,J)=Q
1760 A=A+Q
1770 B=B+Q^2
1780 NEXT J
1790 B=SQR(ABS(B-A^2/C))
1800 A=A/C
1810 FOR J=1 TO C
1820 IF Z1=0 THEN 1840
1830 B=SQR(C-1)
1840 X(I,J)=(X(I,J)-A)/B
1850 NEXT J
1860 NEXT I
1870 MAT T=TRN(X)
1880 MAT R=X*T
1890 IF Z2=0 THEN 1920
1900 IF Z1=1 THEN PRINT "Matriz
de COVAR " ELSE PRINT "Matr
iz de CORR ."
1910 MAT PRINT USING "3D.4D" ; R
1920 ' VALORES PROPIOS
1930 A=.00000001 @ C=0
1940 FOR I=2 TO N
1950 FOR J=1 TO I-1
1960 C=C+2*R(I,J)^2
1970 NEXT J
1980 NEXT I
1990 Y=SQR(C) @ O=A/N*Y @ T=Y
2000 O=0
2010 T=T/N
2020 FOR O=2 TO N
2030 FOR P=1 TO O-1
2040 IF ABS(R(P,O))<T THEN 2300
2050 D=1 @ V=R(P,P) @ Z=R(P,O)
2060 E=R(O,O) @ F=.5*(V-E)
2070 IF F=0 THEN 2100
2080 G=-SGN(F)
2090 GOTO 2110
2100 G=-1
2110 G=G*Z/SQR(Z^2+F^2)
2120 H=G/SQR(2*(1+SQR(1-G^2)))
2130 K=SQR(1-H^2)
2140 FOR I=1 TO N
2150 IF I=P THEN 2220
2160 IF I=O THEN 2220
2170 C=R(I,P) @ F=R(I,O)
2180 R(O,I)=C*H+F*K
2190 R(I,O)=R(O,I)
2200 R(P,I)=C*K-F*H
2210 R(I,P)=R(P,I)
2220 C=B(I,P) @ F=B(I,O)
2230 B(I,O)=C*H+F*K
2240 B(I,P)=C*K-F*H
2250 NEXT I
2260 R(P,P)=V*K^2+E*H^2-2*Z*H*K
2270 R(O,O)=V*H^2+E*K^2+2*Z*H*K
2280 R(P,O)=(V-E)*H*K+Z*(K^2-H^2)
)
2290 R(O,P)=R(P,O)
2300 NEXT P
2310 NEXT Q
2320 IF D#1 THEN 2350
2330 O=0
2340 GOTO 2020
2350 IF T>0 THEN 2010
2360 FOR I=1 TO N
2370 Q(I)=I
2380 NEXT I
2390 J=0
2400 V1=0
2410 J=J+1
2420 FOR I=1 TO N-J
2430 IF R(I,I)=R(I+1,I+1) THEN
2510
2440 V1=1
2450 V2=R(I,I)
2460 R(I,I)=R(I+1,I+1)
2470 R(I+1,I+1)=V2
2480 P=Q(I)
2490 Q(I)=Q(I+1)
2500 Q(I+1)=P
2510 NEXT I
2520 IF V1#0 THEN 2400
2530 CREATE "ARGRA",N^2,8
2540 ASSIGN# 2 TO "ARGRA"
2545 R5=0
2550 FOR J=1 TO N
2560 K=Q(J) @ PRINT @ PRINT
2570 PRINT "VECTOR";J
2580 PRINT "RAIZ";J;"=";INT(R(J,
J)*10000)/10000
2585 R5=R5+INT(R(J,J)*10000)/100
00
2590 U=0
2600 FOR I=1 TO N
2610 V=V+B(I,K)^2
2620 NEXT I
2630 FOR I=1 TO N
2640 B(I,K)=B(I,K)*SQR(1/V)
2650 U(I)=INT(B(I,K)*10000)/1000
0
2660 PRINT U(I);
2670 PRINT# 2 ; U(I)
2680 NEXT I
2690 ! DISP
2700 NEXT J
2710 ASSIGN# 2 TO *
2715 PRINT @ PRINT "% Var. Explic
ada:"
2716 FOR J=1 TO N
2717 PRINT "Vector";J;"=";INT(IN
T(R(J,J)*10000)/10000/R5*10
0*100)/100
2718 NEXT J
2720 C=L @ PRINT @ PRINT
2730 MAT C=T*B
2740 FOR J=1 TO N
2750 PRINT
2760 PRINT "COMPONENTE";J

```

```

2770 PRINT "VALOR COMPONENTE"
2780 K=Q(J)
2790 FOR I=1 TO C
2800 Q=C(I,K) @ U1(I)=C(I,K)
2810 NEXT I
2820 M=INT(C/4)*4
2830 FOR I=1 TO M STEP 4
2840 PRINT USING "4(3D.4D)" ; U1
(I),U1(I+1),U1(I+2),U1(I+3)
2850 NEXT I
2860 FOR I=M+1 TO C
2870 PRINT INT(U1(I)*10000)/1000
0;
2880 NEXT I @ PRINT
2890 NEXT J
2900 DISP "DESEA GRAFICAR LAS VA
R.(S/N)"
2910 INPUT A5#
2920 IF A5#="S" THEN GOSUB 3220
ELSE GOTO 2930
2930 PURGE "ARGRA"
2935 IF A8#="T" THEN 3060
2940 DISP "DESEA OTRAS ESTACIONE
S SI o NO" @ DISP @ BEEP 30
0,300
2950 INPUT L4#
2960 IF L4#="SI" THEN GOTO 940
2970 IF L4#="NO" THEN 2980
2980 DISP "DESEA OTRAS EST.CON D
ISTINTAS VARIABLES (SI o NO
)" @ DISP
2990 INPUT L5#
3000 IF L5#="SI" THEN GOTO 780
3010 IF L5#="NO" THEN 3020
3020 DISP "USARA OTRO FICHERO(SI
o NO)"
3030 INPUT L6#
3040 IF L6#="SI" THEN GOTO 550
3050 IF L6#="NO" THEN 3060
3060 FOR I=1 TO 5
3070 DISP "ADIOS ADIOS ADIOS ADI
OS"
3080 NEXT I
3090 WAIT 2000
3100 CLEAR
3110 END
3120 DISP "Que desea COVARIANZA
o CORRELACION (1 o 0)";
3130 INPUT Z1
3140 IF Z1#0 AND Z1#1 THEN DISP
"ERROR Z1=1 o 0" @ DISP @ B
EEP 300,300 @ GOTO 3120
3150 DISP "Desea imprimir las ma
trices de: covar o corr (S
I=1; NO=0)";
3160 INPUT Z2
3170 IF Z2#0 AND Z2#1 THEN DISP
"ERROR Z2=1 o 0" @ DISP @ B
EEP 300,300 @ GOTO 3150
3180 DISP "Cuantos componentes d
esea";
3190 INPUT N
3200 IF N>M4 THEN DISP "ERROR:No
de comp.<=No.de VAR" @ BEE
P 300,300 @ GOTO 3180
3210 RETURN
3220 ASSIGN# 2 TO "ARGRA"
3230 READ# 2 ; R(,)
3240 ASSIGN# 2 TO *
3250 DISP "Que componente desea
en el eje X"
3260 INPUT X4
3270 DISP "y en el eje Y"
3280 INPUT Y4
3285 IF A8#="T" THEN F1#="Tecla.
"
3290 GCLEAR
3291 PLOTTER IS 705
3300 SCALE -14 3,14.3,-10,10
3310 XAXIS 0,1,-10,10
3320 YAXIS 0,1
3330 FOR I=1 TO N
3340 MOVE R(X4,I)*10,R(Y4,I)*10
3350 LABEL "*" @ I MOVE 7,- 2 @
LABEL VAL$(I)
3360 NEXT I
3370 MOVE 9,1 @ LABEL "Comp. "&VA
L$(X4)
3380 MOVE 1,9 @ LABEL "Comp. "&VA
L$(Y4)
3390 MOVE 4.5,.7 @ LABEL " 5" @
MOVE 5,-.5 @ IDRAW 0,1
3395 MOVE -9.5,9 @ LABEL F1#
3400 PAUSE
3410 DISP "Desea graficar otras
componentes(S/N)"
3420 INPUT X5#
3430 IF X5#="S" THEN GOTO 3250 E
LSE 3440
3440 RETURN

```

# Evaporación en el mar balear

por

J. L. LÓPEZ-JURADO MARQUÉS \*

\* Instituto Español de Oceanografía, Centro de Palma de Mallorca.

## SUMMARY

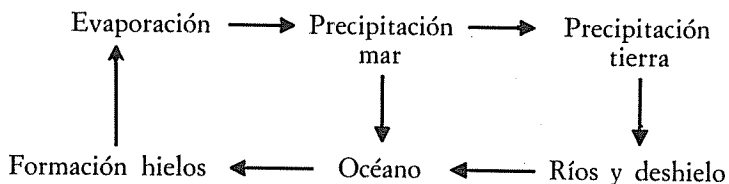
This report has been developed within the Spain-USA cooperation program n.º 793020, as a complement of the oceanographic research developed.

Lack of offshore data has forced us to calculate evaporation parameters using climatological data obtained from onshore weather stations. Following the WMO recommendations, we have used the Dalton-type formula.

The results distribution is in good agreement with other knowing general results of West Mediterranean and there are not great differences between stations; therefore these results can be representative of his maritime area.

## INTRODUCCIÓN

Dentro de los estudios de dinámica en un área costera, es sumamente importante determinar el balance hidrológico y dentro de éste uno de los parámetros más importantes es la evaporación. De forma esquemática el balance hidrológico nos viene dado por:



Para calcular la evaporación en el área asumida por este trabajo nos hubiera gustado ceñirnos a las normas de la WMO (World Meteorological

Organization), que recomienda la utilización de cuadrículas de 5° en el océano y de 1° en las zonas costeras y los mares cerrados, como es el caso del Mediterráneo.

Los pocos datos en tierra y la falta total de ellos en alta mar, nos obligan a trabajar con datos de estaciones en tierra, por lo tanto este trabajo que en un principio se reducía al Golfo de Valencia, se tuvo que ampliar a la zona comprendida entre Cabo San Antonio y Delta, en las costas levantinas y a las estaciones de las Islas Baleares.

Posteriormente y para diferenciar de su entorno los datos de evaporación en el Delta, se añadieron estaciones en la costa catalana.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La liberación o pérdida de agua en forma de vapor a través de la superficie del mar, es un proceso de transferencia turbulenta. Existe una voluminosa literatura a este particular y especialmente en lo referente a los diferentes aspectos del cálculo de la evaporación.

Laevastu (1976) y por encargo de la WMO, revisó todo lo publicado llegando a la conclusión de que si bien todas las teorías son muy razonables, no siempre se podían llevar a la práctica debido a la dificultad de calcular ciertos parámetros en grandes áreas y a la imposibilidad de verificarlo. Por lo que recomienda la utilización de fórmulas del tipo desarrollado por Dalton, si bien con ciertas modificaciones:

$$E = K. (e_s - e_a). V$$

Por lo tanto utilizaremos esta formulación con algunas modificaciones:

El gradiente de presión de vapor con la altura por el cálculo de la diferencia ( $e_s - e_a$ ).

$e_s$  = Presión de vapor saturante a la temperatura de la superficie del mar  $T_s = SST$ .

$e_a$  = Presión de vapor de agua en el aire a la temperatura del aire  $T_a$ , leída a 10 metros sobre el mar.

El viento, el cual determina en gran medida el proceso turbulento, se toma al mismo nivel.

El coeficiente  $K$ , debe estar calculado a partir de datos empíricos y tiene que poder reflejar casos de inestabilidad y calma, por lo que la fórmula anterior nos quedará:

$$E = (a + bV) \times (e_s - e_a)$$

en donde  $a$  permite calcular la evaporación en períodos de calma; cuando la diferencia de presiones de vapor es negativa, omitimos el término  $a$  y obtenemos la condensación.

Laevastu calculó los valores de  $a$  y  $b$  para datos referidos a 10 metros y utiliza la siguiente formulación, que es la que nosotros vamos a utilizar:

$$E = (0,26 + 0,077 V) \times (0,98 e_s - e_a)$$

el factor 0,98 indica que el valor de la presión de vapor saturante  $e_s$  es un 2 % menor que el mismo valor en agua dulce.

Para el cálculo de la presión de vapor saturante empleamos la fórmula empírica de Magnus:

$$e_s = 6,10 \times 10 \frac{7,4475 T_s}{234,07 + T_s} \quad (\text{mb})$$

Para el cálculo de la presión de vapor en el aire utilizamos la fórmula:

$$e_a = e_w - 0,00066 B (T_a - T_w) (1 + 0,00115) (T_a - T_w)$$

en donde:

$e_w$  = Presión de vapor saturante a la temperatura del termómetro húmedo (mb).

$B$  = Presión atmosférica en mb.

$T_a$  = Temperatura del aire, termómetro seco, °C.

$T_w$  = Temperatura del termómetro húmedo, °C.

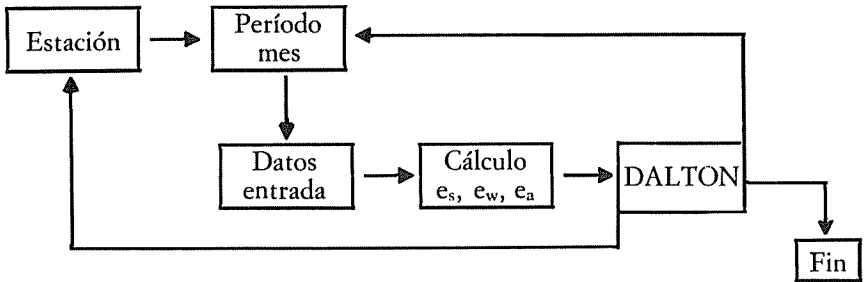
Los parámetros necesarios para el cálculo de la evaporación son: temperatura del termómetro seco y húmedo, temperatura de la superficie del mar, presión atmosférica y velocidad media del viento en m/s. Como dato complementario se adjuntan los datos de humedad relativa  $H$ . A partir de estos datos se calculan los correspondientes a  $e_s$ ,  $e_a$  en mb.

Los datos meteorológicos los obtenemos de las series climatológicas (30 años) de las distintas estaciones de la red nacional del INM (Instituto Nacional de Meteorología), al igual que los datos de temperatura superficial del mar, deducidos de los mapas de temperaturas medias del mar de la Sección Marítima del INM.

El dato de viento está calculado a partir del recorrido medio a lo largo de un mes (km/día), algunas de las series de este parámetro no se corresponden en período y longitud, en particular, la de Ibiza, por mal funcionamiento de los aparatos, por lo cual ha tenido que ser calculada en un período bastante más corto.

Las estaciones empleadas han sido: Alicante, Valencia, Castellón, Tortosa, Tarragona y Barcelona en la costa peninsular e Ibiza, Mahón y Palma en las islas.

Con la formulación anterior hemos estructurado un programa de ordenador en lenguaje BASIC, para utilizar con un HP-9845B.



El programa empieza determinando la estación y el período de trabajo, en este caso mensual, a continuación se le entran los datos, efectúa los cálculos de presión de vapor a las distintas temperaturas y posteriormente calcula la evaporación y lista los resultados. Cuando no hay más meses en una estación, puede empezar a trabajar con la siguiente, terminando el programa cuando no hay más estaciones.

## DISCUSIÓN

Los resultados de cada estación, junto con los datos climatológicos y las presiones de vapor calculados, aparecen en los listados del Cuadro I.

De antemano sabemos que las mayores evaporaciones las vamos a encontrar en las zonas costeras y no en alta mar, debido a que los procesos de mezclado turbulento facilitan el transporte del vapor de agua, favoreciendo, por lo tanto, la evaporación. Esta a su vez se ve favorecida cuando la temperatura de la superficie del mar (SST) es bastante más alta que la del aire ( $T_a$ ), observándolo con más frecuencia en las zonas costeras que en alta mar, pues esta diferencia tiende a suavizarse a medida que las masas de aire se alejan de la costa.

Por otro lado, también sabemos que el viento favorece la evaporación, puesto que facilita el transporte del vapor de agua.

A partir del listado de datos y de las Figuras 1 y 2, vemos que los valores de evaporación en todas las estaciones mantienen una tendencia similar, aunque podríamos diferenciar dos grupos: las estaciones peninsulares y las de las islas.

En ambas, las evaporaciones mínimas aparecen en mayo: si observamos el Cuadro II vemos que estos mínimos coinciden con los mínimos de  $(e_s - e_a)$ , siendo la temperatura del aire mayor que la superficial del mar. Todo esto podría dar lugar a pensar en condiciones cercanas a la satura-

## TORTOSA

	SST	Ta	Tw	Es	Ea	V	P	Hr	Ev
ENERO	12.8	9.2	6.7	14.8	8.2	3.3	759.0	66	.33
FEBRERO	12.0	10.3	7.3	14.1	8.2	3.3	758.4	63	.29
MARZO	12.8	12.9	9.8	14.8	10.1	3.1	756.8	65	.22
ABRIL	14.2	15.4	11.8	16.3	11.5	3.4	757.0	61	.23
MAYO	15.6	18.3	13.7	17.8	12.7	3.0	756.6	63	.24
JUNIO	19.4	22.2	17.6	22.7	17.2	2.8	757.9	62	.24
JULIO	22.4	24.9	19.9	27.3	20.0	3.0	757.9	61	.33
AGOSTO	24.0	25.1	20.7	30.1	21.6	2.9	757.4	65	.38
SEPTIEM.	23.1	22.6	19.0	28.5	19.7	2.6	758.2	69	.38
OCTUBRE	22.3	17.8	14.6	27.1	14.6	2.6	758.0	69	.55
NOVIEM.	16.8	13.3	10.6	19.2	11.0	3.1	758.0	68	.39
DICIEM.	14.3	9.9	7.4	16.4	8.6	3.6	758.4	68	.40

## TARRAGONA

	SST	Ta	Tw	Es	Ea	V	P	Hr	Ev
ENERO	12.6	8.9	6.6	14.6	8.2	2.0	757.0	70	.25
FEBRERO	12.0	10.0	7.4	14.1	8.6	2.2	756.8	68	.22
MARZO	12.6	11.7	9.4	14.6	10.3	2.2	756.9	72	.17
ABRIL	14.0	13.7	11.3	16.1	11.8	2.2	755.8	73	.17
MAYO	15.5	16.7	14.1	17.7	14.4	2.0	755.9	73	.12
JUNIO	19.3	20.3	17.4	22.5	18.0	2.0	757.0	74	.17
JULIO	22.3	23.0	19.8	27.1	21.1	2.0	757.1	73	.23
AGOSTO	23.0	23.2	20.2	28.3	21.8	2.0	756.7	74	.24
SEPTIEM.	22.2	21.7	18.7	26.9	19.7	1.9	757.5	74	.27
OCTUBRE	19.8	17.7	14.7	23.2	14.8	2.0	756.6	71	.33
NOVIEM.	16.3	13.3	10.5	18.6	10.9	2.1	756.7	69	.31
DICIEM.	14.0	10.3	7.7	16.1	8.8	2.2	756.9	68	.30

## BARCELONA

	SST	Ta	Tw	Es	Ea	V	P	Hr	Ev
ENERO	12.3	9.5	7.1	14.4	8.5	2.3	753.7	68	.24
FEBRERO	12.2	10.3	7.7	14.3	8.8	2.4	754.1	66	.23
MARZO	12.5	12.3	9.7	14.6	10.3	2.2	753.4	70	.17
ABRIL	13.8	14.6	11.6	15.8	11.7	2.2	753.4	68	.16
MAYO	15.2	17.7	14.4	17.4	14.3	2.1	752.9	68	.11
JUNIO	19.3	21.5	17.6	22.5	17.6	2.1	754.4	66	.19
JULIO	22.1	24.3	20.3	26.8	21.3	2.1	754.2	67	.21
AGOSTO	22.5	24.3	20.7	27.4	22.2	2.1	753.7	71	.20
SEPTIEM.	21.8	21.9	18.8	26.3	19.8	2.0	754.4	73	.25
OCTUBRE	19.0	17.6	14.9	22.1	15.2	2.1	753.9	73	.27
NOVIEM.	16.0	13.5	11.0	18.3	11.5	2.2	753.9	72	.27
DICIEM.	14.3	10.3	7.9	16.4	9.1	2.5	754.0	70	.32

Cuadro I. Listado de evaporación media mensual con los parámetros meteorológicos empleados en el cálculo.



## ALICANTE

	SST	Ta	Tu	Es	Ea	V	P	Hr	Ev
ENERO	14.0	9.5	7.2	16.1	8.6	2.3	757.1	71	.31
FEBRERO	13.0	10.7	8.1	15.0	9.1	2.5	757.2	68	.26
MARZO	14.1	13.3	10.3	16.2	10.6	2.5	755.8	66	.24
ABRIL	14.5	15.1	11.8	16.6	11.7	2.4	755.3	65	.20
MAYO	16.5	18.7	14.6	18.9	14.0	2.3	754.2	61	.20
JUNIO	19.5	22.7	17.5	22.8	16.6	2.2	755.8	58	.25
JULIO	22.0	25.7	19.9	26.6	19.5	2.2	755.2	56	.28
AGOSTO	24.5	26.1	21.0	31.0	21.6	2.1	754.3	61	.37
SEPTIEM.	23.0	23.4	19.2	28.3	19.6	2.0	755.7	65	.34
OCTUBRE	20.5	18.5	15.4	24.3	15.5	1.9	756.2	70	.34
NOVIEM.	17.0	14.0	11.4	19.5	11.8	2.1	756.3	72	.31
DICIEM.	14.5	10.7	8.2	16.6	9.2	2.2	756.5	69	.30

## VALENCIA

	SST	Ta	Tu	Es	Ea	V	P	Hr	Ev
ENERO	13.5	10.3	8.2	15.5	9.5	2.3	762.2	71	.25
FEBRERO	12.0	10.9	8.3	14.1	9.2	2.5	762.4	68	.21
MARZO	13.0	13.1	10.4	15.0	10.8	2.5	761.2	69	.18
ABRIL	14.3	14.8	11.8	16.4	11.9	2.4	760.8	68	.19
MAYO	16.2	17.8	14.6	18.5	14.5	2.3	760.1	68	.16
JUNIO	19.4	21.3	17.6	22.7	17.7	2.2	761.4	68	.19
JULIO	22.5	23.9	20.3	27.4	21.5	2.2	761.1	70	.23
AGOSTO	24.5	24.5	21.2	31.0	23.1	2.1	760.3	73	.30
SEPTIEM.	23.3	22.4	19.3	28.8	20.4	2.0	761.4	74	.32
OCTUBRE	20.4	18.3	15.7	24.1	16.2	1.9	761.3	74	.30
NOVIEM.	17.0	14.4	12.2	19.5	12.8	2.1	761.9	72	.27
DICIEM.	14.5	11.1	8.7	16.6	9.7	2.2	762.0	71	.28

## CASTELLON

	SST	Ta	Tu	Es	Ea	V	P	Hr	Ev
ENERO	13.2	10.6	7.5	15.2	8.3	2.9	759.9	61	.32
FEBRERO	12.0	11.1	7.6	14.1	8.1	2.8	759.4	58	.27
MARZO	12.8	13.1	10.1	14.8	10.4	3.0	758.2	62	.20
ABRIL	14.3	14.9	11.4	16.4	11.2	2.7	758.0	60	.23
MAYO	16.0	17.8	14.3	18.3	14.0	2.3	757.7	62	.17
JUNIO	19.4	21.6	17.3	22.7	17.0	2.3	759.1	62	.23
JULIO	22.5	24.3	19.4	27.4	19.4	2.3	758.9	62	.33
AGOSTO	24.3	24.7	20.3	30.6	21.0	2.4	758.1	65	.40
SEPTIEM.	23.3	22.8	18.8	28.8	19.1	2.3	759.1	66	.40
OCTUBRE	20.3	18.5	14.9	24.0	14.6	2.8	759.2	66	.42
NOVIEM.	17.0	14.5	11.1	19.5	11.0	2.7	758.7	63	.38
DICIEM.	14.4	11.6	8.4	16.5	8.9	3.1	759.3	62	.36

## MAHON

	SST	Ta	Tw	Es	Ea	V	P	Hr	Ev
ENERO	13.0	10.4	8.6	15.0	10.0	3.9	758.4	76	.27
FEBRERO	12.6	10.5	8.5	14.6	9.8	4.0	757.8	75	.26
MARZO	13.6	12.2	10.2	15.6	11.1	4.0	757.1	76	.24
ABRIL	13.8	14.2	11.7	15.8	12.1	4.0	757.0	73	.19
MAYO	16.1	17.4	14.4	18.4	14.5	3.0	756.9	71	.17
JUNIO	19.5	21.3	17.6	22.8	17.8	3.0	758.3	67	.23
JULIO	22.4	24.1	19.7	27.3	20.1	2.8	758.3	65	.31
AGOSTO	23.8	24.5	20.4	29.7	21.4	2.9	757.6	68	.37
SEPTIEM.	22.3	22.5	19.4	27.1	20.6	3.0	758.3	73	.29
OCTUBRE	20.4	18.4	15.8	24.1	16.3	3.2	757.7	75	.37
NOVIEM.	17.0	14.4	12.1	19.5	12.6	4.0	757.7	75	.37
DICIEM.	14.4	11.9	10.0	16.5	11.0	4.0	757.7	77	.29

## PALMA

	SST	Ta	Tw	Es	Ea	V	P	Hr	Ev
ENERO	13.4	10.1	8.2	15.4	9.6	2.3	760.8	77	.24
FEBRERO	12.7	10.5	8.7	14.7	10.1	2.5	760.5	76	.20
MARZO	13.7	12.2	10.2	15.7	11.1	2.4	759.4	76	.19
ABRIL	14.4	14.5	12.1	16.5	12.6	2.5	759.3	73	.16
MAYO	16.2	17.3	14.8	18.5	15.2	2.4	759.0	73	.13
JUNIO	19.6	21.4	17.8	22.9	18.1	2.4	762.7	69	.20
JULIO	22.8	24.0	20.3	27.9	21.5	2.4	760.2	69	.26
AGOSTO	25.2	24.5	21.1	32.3	22.9	2.3	759.5	72	.38
SEPTIEM.	22.7	22.6	19.5	27.8	20.7	2.2	760.3	74	.28
OCTUBRE	20.9	18.4	16.0	24.9	16.7	2.3	759.9	77	.34
NOVIEM.	17.2	14.3	12.2	19.7	12.9	2.2	760.2	78	.28
DICIEM.	14.6	11.5	9.5	16.7	10.6	2.4	760.1	77	.26

## IBIZA

	SST	Ta	Tw	Es	Ea	V	P	Hr	Ev
ENERO	13.6	10.8	8.9	15.6	10.2	3.7	763.4	74	.28
FEBRERO	12.8	10.7	8.8	14.8	10.1	4.0	763.3	74	.25
MARZO	13.7	12.7	10.5	15.7	11.3	3.9	761.7	75	.23
ABRIL	14.6	14.8	12.0	16.7	12.2	3.5	761.9	70	.22
MAYO	16.3	18.2	15.0	18.6	15.0	2.8	762.1	69	.16
JUNIO	19.6	21.7	17.9	22.9	18.1	2.5	762.4	67	.20
JULIO	22.8	24.5	20.3	27.9	21.1	2.1	762.1	66	.26
AGOSTO	25.2	25.1	21.1	32.3	22.5	2.0	761.5	68	.38
SEPTIEM.	23.2	23.3	20.0	28.6	21.3	1.7	762.0	71	.26
OCTUBRE	21.0	19.0	16.2	25.0	16.6	2.9	762.3	73	.38
NOVIEM.	17.3	15.1	12.7	19.9	13.1	2.5	762.7	75	.29
DICIEM.	14.6	12.4	10.2	16.7	11.0	3.7	762.4	75	.29

	Ts-Ta	$e_s - e_a$	Ev	Ts-Ta	$e_s - e_a$	Ev	Ts-Ta	$e_s - e_a$	Ev
E	3,3	5,8	0,24	2,6	5,0	0,27	2,8	5,4	0,28
F	2,2	4,6	0,20	2,1	4,8	0,26	2,1	4,7	0,25
M	1,5	4,6	0,19	1,4	4,5	0,24	1,0	4,4	0,23
A	-0,1	3,9	0,16	-0,4	3,7	0,19	-0,2	4,5	0,22
M	-1,1	3,3	0,13	-1,3	3,9	0,17	-1,9	3,6	0,16
J	-1,8	4,8	0,20	-1,8	5,0	0,23	-2,1	4,8	0,20
J	-1,2	6,4	0,26	-1,7	7,2	0,31	-1,7	6,8	0,26
A	0,7	9,4	0,38	-0,7	8,3	0,37	0,1	9,8	0,38
S	0,1	7,1	0,28	-0,2	6,5	0,29	-0,1	7,3	0,26
O	2,5	8,2	0,34	2,0	7,8	0,37	2,0	8,4	0,38
N	2,9	6,8	0,28	2,6	6,9	0,37	2,2	6,9	0,29
D	3,1	6,1	0,26	2,5	5,5	0,29	2,2	5,7	0,29
	PALMA			MAHON			IBIZA		
	Ts-Ta	$e_s - e_a$	Ev	Ts-Ta	$e_s - e_a$	Ev	Ts-Ta	$e_s - e_a$	Ev
E	4,5	7,5	0,31	3,2	6,0	0,25	2,6	6,9	0,32
F	2,3	5,9	0,26	1,1	4,9	0,21	0,9	6,0	0,27
M	0,8	5,6	0,24	-0,1	4,2	0,18	0,3	4,4	0,20
A	-0,6	4,9	0,20	-0,5	4,5	0,19	-0,6	5,2	0,23
M	-2,2	4,9	0,20	-1,6	4,0	0,16	-1,8	4,3	0,17
J	-3,2	6,2	0,25	-1,9	5,0	0,19	-2,2	5,7	0,23
J	-3,7	7,1	0,28	-1,4	5,9	0,23	-1,8	8,0	0,33
A	-1,6	9,4	0,37	0,0	7,9	0,30	-0,4	9,6	0,40
S	-0,4	8,7	0,34	0,9	8,4	0,32	0,5	9,7	0,40
O	2,0	8,8	0,34	2,1	7,9	0,30	1,8	9,4	0,42
N	3,0	7,7	0,31	2,6	6,7	0,27	2,5	8,5	0,38
D	3,8	7,4	0,30	3,4	6,9	0,28	2,8	7,6	0,36
	ALICANTE			VALENCIA			CASTELLON		
	Ts-Ta	$e_s - e_a$	Ev	Ts-Ta	$e_s - e_a$	Ev	Ts-Ta	$e_s - e_a$	Ev
E	3,7	6,4	0,25	3,6	6,6	0,33	2,8	5,9	0,24
F	2,0	5,5	0,22	1,7	5,9	0,29	1,9	5,5	0,23
M	0,9	4,3	0,17	-0,1	4,7	0,22	0,22	4,3	0,17
A	0,3	4,3	0,17	-1,2	4,8	0,23	-0,8	4,1	0,16
M	-1,2	3,3	0,12	-2,7	5,1	0,24	-2,5	3,1	0,11
J	-1,0	4,5	0,17	-2,8	5,5	0,24	-2,2	4,9	0,19
J	-0,7	6,0	0,23	-2,5	7,3	0,33	-2,2	5,5	0,21
A	-0,2	6,5	0,24	-1,1	8,5	0,38	-1,8	5,2	0,20
S	0,5	7,2	0,27	0,5	8,8	0,38	-0,1	6,5	0,25
O	2,1	8,4	0,33	4,5	12,5	0,55	1,4	6,9	0,27
N	3,0	7,7	0,31	3,5	8,2	0,39	2,5	6,8	0,27
D	3,7	7,3	0,30	4,4	7,8	0,40	4,0	7,3	0,32
	TARRAGONA			TORTOSA			BARCELONA		

Cuadro II. Diferencias de temperatura y de presiones de vapor a las temperaturas del mar y del aire.

ción de vapor de agua en la atmósfera, circunstancia poco acorde con la Figura 3, en la que vemos que los máximos de humedad relativa no se dan en esas fechas. Lo que sí podemos advertir en el Cuadro I, es que en mayo, mínimo absoluto y en septiembre, mínimo relativo en las islas, los vientos son débiles, lo cual no favorece la evaporación.

En cuanto a los máximos éstos aparecen a partir de agosto hasta diciembre, en el cuadro II podemos ver la coincidencia con los máximos de  $(e_s - e_a)$ , con el máximo de temperatura superficial del mar y con vientos ligeros, Cuadro I.

Comparando los datos de las islas con los de las costas levantinas, los primeros parecen estar más afectados por el viento, la caída de intensidad en septiembre parece dar lugar al mínimo relativo, mientras los segundos parecen estar más afectados por la sequedad relativa del aire, el mismo caso de septiembre, como muestra la Figura 3, respecto a la humedad relativa de Castellón, Tortosa y Alicante.

Una circunstancia que podría reforzar este fenómeno, es que en esta época del año, las distintas masas de aire de procedencia atlántica se secan al atravesar la península o si proceden de latitudes más altas son frías y secas.

El máximo de octubre en las islas parece ser debido a una conjugación de un valor grande de  $(e_s - e_a)$  y vientos ligeros.

Lo que sí queda claro es la correlación existente entre la temperatura superficial del mar y la evaporación, no por afectar directamente al cálculo pero sí por regular el valor de la presión saturante  $e_s$ .

Es de notar que los datos de Tortosa que, en principio, parecía que iban a dar grandes anomalías no lo han hecho. En general son algo superiores, pero no mucho más, que los de Castellón mostrando un mínimo en marzo (marzo-junio), que comparado con los de Barcelona y Tarragona muestra una gran diferencia, pero es similar a los de Castellón, Alicante y Valencia.

La evaporación de octubre en esta misma estación es altísima. En este caso, se debe al valor de  $T_a$  que, respecto al mes anterior, varía casi 5 °C. En cambio, la temperatura superficial del mar,  $T_w$ , apenas varía 1 °C, siendo todavía una temperatura muy alta. El dato de viento es el más bajo para esta estación, 2,6 m/sg. Tortosa muestra el valor más alto de todas las estaciones, exceptuando Castellón, debido al aire frío y seco canalizado por el valle del Ebro.

Circunstancias parecidas se dan en Alicante y Castellón. En la primera, el viento es débil, 2 m/sg, y en la segunda algo más fuerte, 2,8 m/sg, la diferencia de temperatura es grande aunque algo menor por lo que la evaporación, aún siendo alta, no alcanza a la de Tortosa.

Sobre los datos publicados por otros autores, en primer lugar debemos hacer mención a Colacino y Dell'osso, los cuales calcularon la evaporación media anual y mensual para todo el Mediterráneo Occidental. Emplearon datos climatológicos y oceanográficos que elabora el Royal Netherlands

Meteorological Institute en base a datos proporcionados «in situ» por barcos que navegan por aguas mediterráneas y datos de la red Europea.

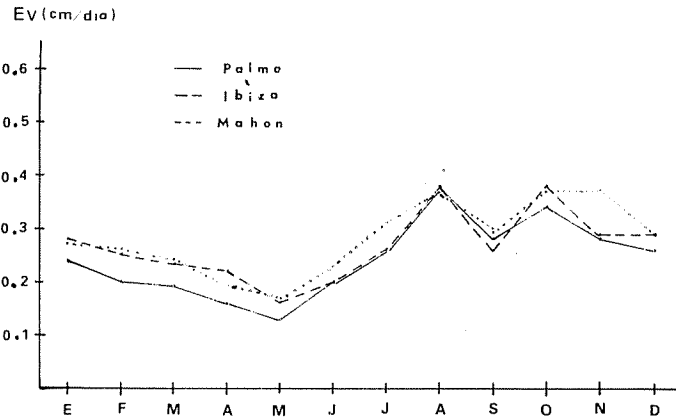
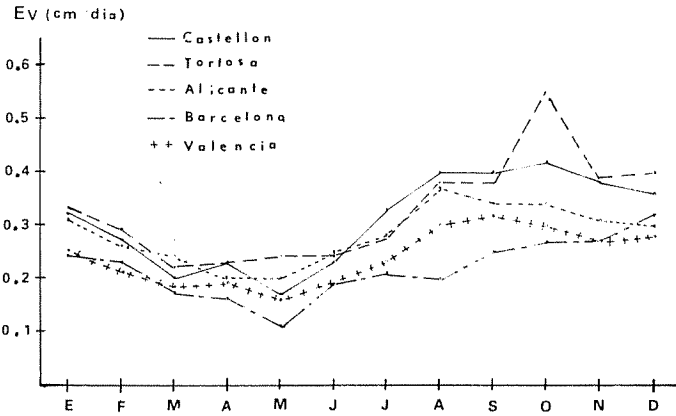
En el Cuadro III figuran los datos proporcionados por dichos autores que son coincidentes en gran medida con los calculados en este trabajo. El mínimo de mayo y el máximo de agosto coinciden, no siendo así el de octubre que está desplazado a diciembre. El valor medio anual difiere del calculado en 1 cm/año.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Alicante	0,31	0,26	0,24	0,20	0,20	0,25	0,28	0,37	0,34	0,34	0,31	0,30
Valencia	0,25	0,21	0,18	0,19	0,16	0,19	0,23	0,30	0,32	0,30	0,27	0,28
Castellón	0,32	0,27	0,20	0,23	0,17	0,23	0,33	0,40	0,40	0,42	0,38	0,36
Tortosa	0,33	0,29	0,22	0,23	0,24	0,24	0,33	0,38	0,38	0,55	0,39	0,40
Tarragona	0,25	0,22	0,17	0,17	0,12	0,17	0,23	0,24	0,27	0,33	0,31	0,30
Barcelona	0,24	0,23	0,17	0,16	0,11	0,19	0,21	0,20	0,25	0,27	0,27	0,32
Palma	0,24	0,20	0,19	0,16	0,13	0,20	0,26	0,38	0,28	0,34	0,28	0,26
Mahón	0,27	0,26	0,24	0,19	0,17	0,23	0,31	0,37	0,29	0,37	0,37	0,29
Ibiza	0,28	0,25	0,23	0,22	0,16	0,20	0,26	0,38	0,26	0,38	0,29	0,29
Media (8)	0,27	0,24	0,20	0,19	0,15	0,21	0,26	0,33	0,30	0,34	0,31	0,30
Media (9)	0,27	0,24	0,20	0,19	0,16	0,21	0,27	0,34	0,31	0,40	0,32	0,31
Colacino	0,30	0,27	0,20	0,18	0,18	0,22	0,28	0,35	0,25	0,28	0,31	0,35
								96,9	cm/año			
								97,7	cm/año			

Cuadro III. Datos de evaporación mensual media. Datos promedio de las estaciones empleadas y datos para el Mediterráneo occidental.

Otros autores únicamente nos proporcionan datos para toda la cuenca mediterránea por lo que no son comparables. Quizás el único comparable sea el de Sverdrup el cual da para el Atlántico y para nuestras latitudes un dato promedio de 100 cm/año.

En la Figura 4 están representadas las distribuciones de evaporación por meses según Colacino, los promedios de nuestras nueve estaciones y el promedio sin contar con los datos de Tortosa. Dada la similitud de valores podemos pensar que los datos obtenidos son representativos de las evaporaciones que se producen en el mar Balear, en cuyas costas están ubicadas algunas de las estaciones estudiadas.



Figs. 1 y 2. Evaporación media mensual de las distintas estaciones.

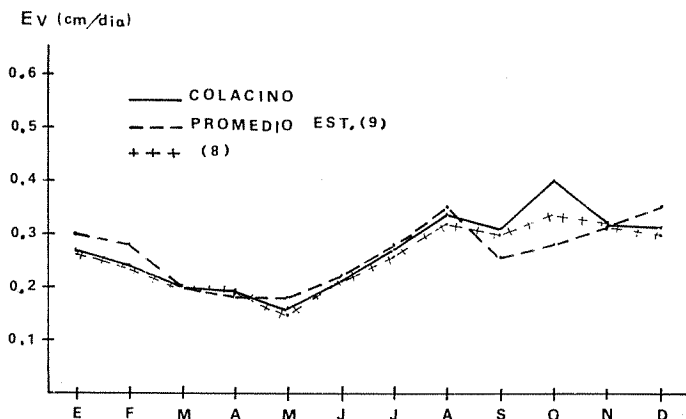
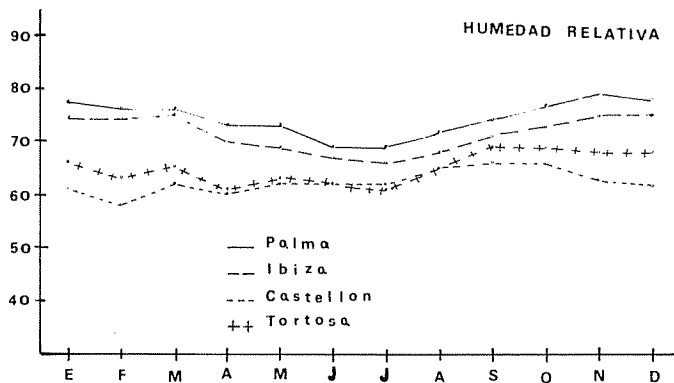


Fig. 3. Humedad relativa y media mensual en las estaciones de mayor y menor valor de este parámetro.

Fig. 4. Evaporación media mensual, promedio de las estaciones empleadas y valor de este parámetro para el Mediterráneo occidental calculado por Colacino.

## BIBLIOGRAFÍA

- COLACINO, M., and DELL'OSSE, 1976. The mean monthly evaporation and heat budget on the Mediterranean sea. *Instituto di Fisica dell'atmosfera*.
- NEUMAN, G., and PIERSON, W., 1966. Principles of Physical Oceanography. *Prentice Hall Inc.*
- LAEVASTU, 1976. Oceanic water balance. *WMO n.º 442*.
- SVERDRUP, J., and FLEMING, 1942. *The oceans*. Prentice Hall Inc.

# Aproximación al comportamiento estadístico del viento en el Delta del Ebro. Sucesividad temporal de situaciones estacionarias

por

M. A. GARCÍA \* y M. MANRÍQUEZ \*

\* Instituto de Investigaciones Pesqueras. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Final Paseo Nacional, s/n. Barcelona-3.

## SUMMARY

Observed wind events in the Delta del Ebro region have been classified according to their direction. The duration of a wind event and the time interval between same-directed events have been regarded as random variables whose distribution is investigated. Sample correlations between these variables and the average, modal and maximal wind velocities of events are calculated. The statistical distribution of the average wind velocity of events is studied.

## INTRODUCCIÓN

Se prosigue aquí el ya iniciado estudio estadístico del viento que se observa en el dominio litoral del delta del Ebro mediante el análisis de los datos horarios (promedios de 10 minutos cada hora) registrados por la estación Delta ( $40^{\circ} 40'07''$  N,  $01^{\circ} 18'03''$  E) (García, 1982).

La atención que se ha dedicado a esta parcela de actividad viene justificada por la necesidad de conocer la representatividad y significación de los datos medios que se emplean para determinar los campos tipo de tensión de arrastre por viento (wind stress) para los que se ha modelado la circulación en el Golfo de Valencia (Han y Kohler, 1982).



Resulta difícil establecer un criterio que permita delimitar en el tiempo la sucesión de los estados de viento característicos del Delta (a saber, mestrál o NW, garbí o SW, levant o E y gregal o NE). En términos genéricos, este criterio debería establecerse en base a una condición de cierta constancia de la velocidad y procedencia angular del viento. Ahora bien, la variabilidad de la intensidad es grande incluso para procedencias poco oscilantes, por lo que cualquier condición de uniformidad de velocidades del tipo acotación superior del valor absoluto de la diferencia entre dos registros consecutivos de velocidad resulta inadecuada como criterio.

De ahí que deba recurrirse a una única condición sobre la dirección de procedencia del viento para definir la duración de un estado dado: que registros consecutivos de procedencia pertenezcan a un mismo sector angular establecido. Esta condición no es obvia, puesto que si bien la orografía del valle del Ebro provoca una clara diferenciación angular de los vientos que descienden por éste respecto de los procesos de viento de distinto origen, ello no es así con los vientos asociados a estados del NE (tormentas con elevadas velocidades de viento) y E (velocidades moderadas), puesto que poseen rangos de procedencia (es decir, intervalos angulares sobre los que oscilan los valores horarios que se van registrando) que se solapan.

El convenio que finalmente se adopta para definir la duración de un estado de viento es que ésta es igual al número de horas consecutivas en las que la dirección de procedencia observada ha pertenecido a un mismo intervalo angular, considerándose que registros horarios aislados de procedencia no perteneciente a éste no interrumpen el estado en cuestión.

Los intervalos que se escogen son solamente tres, puesto que se ha agrupado a los llevants y gregals en un solo bloque de procedencias. Así se tiene:

1. Estados del Este (levant, gregal): ( $0^\circ$ ,  $150^\circ$ ).
2. Garbí: ( $150^\circ$ ,  $270^\circ$ ).
3. Mestrál: ( $270^\circ$ ,  $360^\circ$ ).

El intervalo entre dos ocurrencias consecutivas de un mismo tipo de estado quedará definido en forma análoga por el número de horas que separen los primeros registros de ambas.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Al estudiar la distribución de las duraciones de estados de vientos e intervalos entre ocurrencias sucesivas de un mismo tipo de estado, considerando que se tratan de variables aleatorias por hipótesis, se emplea el test de Kolmogorov-Smirnov en forma discreta para establecer la bondad del ajuste de las distribuciones teóricas a los respectivos histogramas acumulados observados.

La correlación entre las variables mencionadas y las respectivas velocidades medias, modales o extremales de cada estado se estima mediante una matriz de coeficientes de correlación muestrales cuyos términos deben ser también sometidos a un test de hipótesis sobre independencia funcional de unas variables respecto a otras.

No se dispone de información acerca de cuál pueda ser la distribución teórica de las variables aleatorias duración de estado e intervalo entre estados análogos consecutivos. Nada impide suponer que las ocurrencias de un tipo de estado dado se producen en forma de llegadas aleatorias cuyo número  $x$  (número de llegadas durante un tiempo de referencia  $T$ ) está distribuido según una función de Poisson:

$$P_n(x) = \frac{n^x \cdot \exp(-n)}{x!}, \quad x = 0, 1, 2, \dots$$

donde  $n = L \cdot T$ , siendo  $L$  la esperanza matemática del número de llegadas que se producen en la unidad de tiempo y  $T$  el tiempo considerado. De ser cierta esta hipótesis, deberá concluirse que el intervalo  $t$  entre llegadas consecutivas de un mismo tipo de estado se distribuirá exponencialmente. En efecto:

$$\frac{n^0 \cdot \exp(-n)}{0!} = \exp(-n) = P_n(x=0) = P(t \geq T) = 1 - F(T),$$

y por tanto:

$$F(t) = FL(t) = 1 - \exp(-L \cdot t), \quad \forall t > 0$$

Sobre la distribución de la duración de los estados puede establecerse un razonamiento análogo: si se considera que las llegadas de inicios o finales de estados tienen también carácter Poisson, la duración de éstos será una variable aleatoria exponencial.

## DISCUSIÓN

### *Duraciones de estado*

Considerando todas las duraciones de estados que se han observado durante 1980 en la estación de referencia, se ha calculado el histograma acumulado correspondiente a la duración de cada uno de los tipos de estado

considerado. De ellos se deducen los estimadores muestrales de los parámetros estadísticos de las distribuciones teóricas respectivas:

	n.º de sucesos	media muestral	desviación típica muestral
	(n)	( $\bar{x}_d$ , horas)	( $s_d$ , horas)
Estados del Este	190	10.97	19.49
Garbí	241	13.58	14.58
Mestral	213	11.78	15.85

La hipótesis de que la duración de estado  $d$  se distribuye en cada caso según una función exponencial:

$$f_L(d) = L \cdot \exp(-L \cdot d)$$

$$F_L(d) = 1 - \exp(-L \cdot d)$$

implica que la esperanza matemática de  $d$  va a ser:

$$E(d) = \int_0^{\infty} d \cdot f(d) \cdot \partial d = 1/L$$

Si se asume:

$$1/L = E(d) \equiv \bar{X}_d$$

y se impone una significación = 0.01 al test de Kolmogorov-Smirnov, lo que implica que debe verificarse:

$$\max_{\forall d = 1, 2, \dots} |F(d) - S_n(d)| \leq \frac{1,63}{\sqrt{n}}$$

se concluye que se satisface la hipótesis formulada con la significación establecida en el caso de estados de garbí (SW) y mestral (NW) (figuras 2 y 3). Ello no es así con la duración de los estados del este, lo cual no es sorprendente puesto que se incluyen aquí dos tipos de situaciones de viento de diferentes características meteorológicas. No obstante, si bien la sustitución de  $L$  por el estimador  $1/\bar{X}_d$  genera una distribución teórica que no ajusta con bondad suficiente, si se verifica el test tomando  $L = 1/6$  (figura 4).

*Intervalos entre estados*

Los estimadores muestrales de la media y la desviación típica de las variables intervalo entre dos estados de viento sucesivos de una misma procedencia, tal como se definieron, son:

	n.º de sucesos	media muestral	desviación típica muestral
	(n)	( $X_i$ , horas)	( $s_i$ , horas)
Estados del Este	190	44,57	45,56
Garbí	241	33,45	38,22
Mestral	213	38,45	39,87

El ajuste de sendas distribuciones exponenciales a las tres variables intervalo  $i$ , evaluando el parámetro  $L$  de las mismas mediante el estimador muestral

$$L = 1 / X_i$$

verifica el test de Kolmogorov-Smirnov con significación 0,01 (figuras 5, 6 y 7).

*Correlaciones*

Para cada tipo de régimen se ha investigado la correlación muestral que existe entre las variables duración e intervalo y las variables velocidad media, modal y máxima de cada estado.

Alguno de los coeficientes de correlación muestral que han resultado ser próximos a la unidad responden a lo ya esperado. Tal es el caso de la correlación entre medias y modas de velocidad: en efecto, se conocía que las velocidades promediadas durante 10 minutos cada hora se distribuyen según una función de Weibull en períodos en los que las condiciones atmosféricas generales son estacionarias y para procedencias asociadas a situaciones de viento diferenciadas (García, 1982). Parece lógica, por tanto, la hipótesis de que las velocidades horarias o registradas durante un estado de viento dado también se distribuyan según una función de Weibull  $F_{c,k}(u)$  (ello no se ha investigado aquí por ser la duración de los estados de viento tal que el número de registros de velocidad por estado es muy pequeño en la mayoría de los casos). Aceptando esto:

$$F_{c,k}(u) = 1 - \exp(- (u/c)^k)$$

La moda de la velocidad es la abscisa asociada al máximo de la función de densidad  $f_{c,k}(u)$ . Así:

$$f_{c,k}(u) = \frac{\partial F_{c,k}}{\partial u} = \frac{k}{c^k} u^{k-1} \exp(- (u/c)^k);$$

$$0 = \frac{\partial f_{c,k}(u)}{\partial u} \therefore u_m = c \sqrt[k]{\frac{k-1}{k}}$$

La media de la velocidad es

$$E(u) = \int_0^{\infty} u \cdot f(u) \cdot \partial u = c \int_0^{\infty} (k + \frac{1}{k}),$$

por lo que existe la siguiente relación entre  $u_m$  y  $E(u)$ :

$$u_m = \frac{\sqrt[k]{\frac{k-1}{k}}}{\int_0^{\infty} (1 + \frac{1}{k})} E(u),$$

esto es, lineal, puesto que  $k$  es un valor fijo característico de la distribución. Por consiguiente, el coeficiente de correlación muestral será tanto más próximo a 1 como mayor validez tenga la hipótesis enunciada y mayor representatividad los estimadores muestrales.

Se han calculado las matrices de correlación asociadas a cada tipo de estado, habiéndose considerado sólo los procesos de duración superior a 24 horas, ya que en estados de duración menor se encontraban correlaciones muy poco significativas. Aparte de los nada sorprendentes valores siempre altos de los coeficientes de correlación de las variables media y moda de velocidad entre sí (se encuentran correlaciones superiores a 0,8 para garbins y la misma cifra para mestral), no hay correlaciones apreciables de las variables duración e intervalo con el resto de variables consideradas. No obstante, si se excluye en el cálculo de la matriz de correlaciones los estados de duración más elevada (por encima de 72 horas), se aprecian correlaciones superiores a 0,5 entre la duración de estado y las velocidades media y modal con procedencias del Este, así como entre la duración y el intervalo en estados de mestral. De todas maneras, es evidente que estos resultados no permiten efectuar hipótesis general alguna sobre la relación de las variables consideradas entre sí.

*Estadística de las velocidades medias de estado.*

Como ya se ha apuntado, se sabe que las velocidades de viento promediadas durante 10 minutos cada hora en el Delta del Ebro y asociadas a un mismo tipo de estado siguen aproximadamente una distribución Weibull, pudiendo suponerse su coeficiente  $k = 1,90$  en todos los casos. Ahora bien, la distribución de Weibull no es regenerativa, por lo que no se puede afirmar que la suma de  $n$  variables Weibull independientes entre sí vaya a seguir semejante distribución, y menos aún se puede aventurar hipótesis alguna sobre la distribución que siguen las velocidades medias observadas de cada tipo de estado, puesto que se trata del cociente de una suma de variables Weibull supuestamente independientes por una variable (el número de registros de velocidad en un estado, esto es, su duración) que se distribuye exponencialmente.

No obstante se ha encontrado que si se establece la hipótesis heurística de que esas velocidades medias se distribuyen según una función de Weibull de parámetros

$$k = 1,90$$

$$c = \frac{X_v}{\prod \left(1 + \frac{1}{k}\right)} = X_v / 0,89,$$

se comprueba que se satisface el test de ajuste con significación 0,01 para los tres tipos de estado. Los estimadores muestrales de estas variables son:

	n.º de sucesos	media muestral	desviación típica muestral
	(n)	( $x_v$ , m/seg)	( $s_v$ , m/seg)
Estados del Este	190	3,56	2,41
Garbí	241	3,69	1,76
Mestral	213	5,20	2,97

## CONCLUSIONES

Se ha caracterizado la duración y el intervalo de los estados de viento que se observan en el Delta como variables aleatorias a través del cálculo de su función de distribución, que ha resultado ser exponencial en ambos casos y tal que los respectivos parámetros pueden evaluarse directamente a partir de los estimadores muestrales de las variables en cuestión en la práctica totalidad de los tipos de estado. Análogamente se ha comprobado que la velocidad media de un estado de cierta procedencia se distribuye

según una función de Weibull de parámetros también calculables a través de los estimadores estadísticos muestrales, y que la correlación de esta variable con los anteriores es pequeña en casi todos los casos.

El conocimiento de las funciones de distribución de las variables citadas es importante para situar en un contexto adecuado la aplicación del modelo de diagnóstico que se ha empleado en el proyecto, dado que ilustra las implicaciones de la hipótesis estacionaria subyacente a aquél.

En otro orden de cosas, el saber cómo se distribuyen las variables que han sido objeto de estudio permite sentar las bases de un modelo aleatorio de simulación de la meteorología y la dinámica litoral en la zona de estudio. Este estaría basado en la posibilidad de poder generar secuencias de valores aleatorios de un conjunto de variables (entre las que se encuentran las que han sido tratadas aquí) que definirían las características de la solitización de vientos a que estaría sometido el dominio marino en cuestión. Esta posibilidad queda abierta al conocer la distribución estadística de tales variables. La aplicación repetida del modelo diagnóstico para las solitizaciones sucesivas determinaría una evolución simulada de la circulación.

### CLAVE DE SÍMBOLOS

$P_n(x)$	Función de probabilidad tipo Poisson, de parámetro $n$
$L$	Parámetro de la función de distribución exponencial
$c, k$	Parámetros de la función de distribución de Weibull
$F(t)$	Función de distribución de la variable $t$
$f(t)$	Función de densidad relativa de la variable $t$
$F_L(t)$	Función de distribución tipo exponencial — de parámetro $L$ — de la variable $t$
$f_L(t)$	Función de densidad relativa tipo exponencial — de parámetro $L$ — de la variable $t$
$F_{c,k}(t)$	Función de distribución tipo Weibull — de parámetros $c, k$ de la variable $t$
$f_{c,k}(t)$	Función de densidad relativa tipo Weibull — de parámetros $c, k$ — de la variable $t$
$S_n(t)$	Histograma acumulado observado de la variable $t$
$n$	Número de sucesos o registros
$d$	Duración de un estado de viento, en horas
$i$	Intervalo entre dos estados de viento, en horas
$u$	Velocidad horaria observada (media durante 10 minutos), m/seg
$\Gamma(x)$	Función de gamma de $x$
$E(t)$	Esperanza matemática de $t$
$t_m$	Moda de $t$

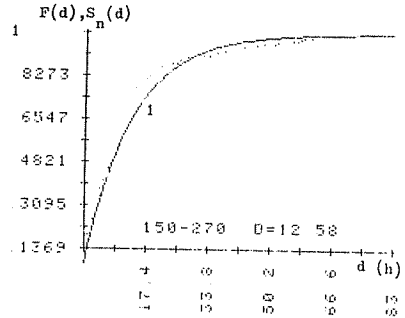
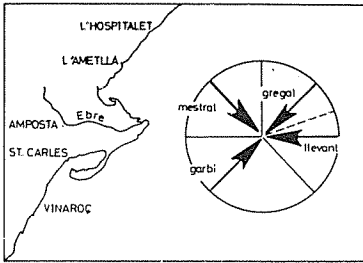


Fig. 1. Intervalos de procedencia considerados.

Fig. 2. Histograma observado (línea de puntos) y distribución teórica (línea continua) de la duración de estados del SW.

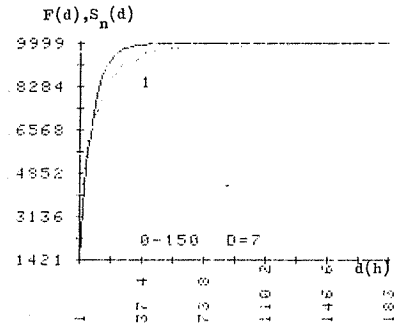
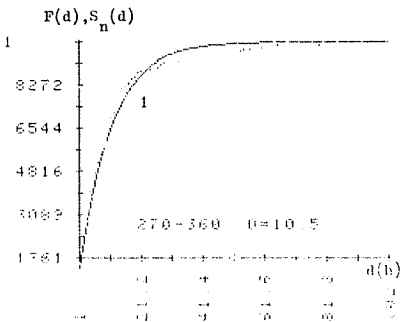


Fig. 3. Histograma observado (línea de puntos) y distribución teórica ajustada (línea continua) de la duración de estados del NW.

Fig. 4. Histograma observado (línea de puntos) y distribución teórica ajustada (línea continua) de la duración de estados del E.

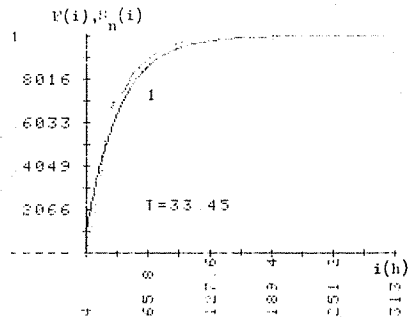
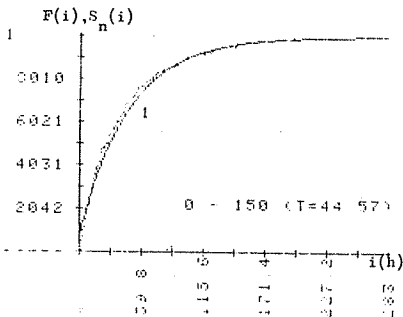


Fig. 5. Histograma observado (línea de puntos) y distribución teórica ajustada (línea continua) del intervalo entre estados del E.

Fig. 6. Histograma observado (línea de puntos) y distribución teórica ajustada (línea continua) del intervalo entre estados del SW.



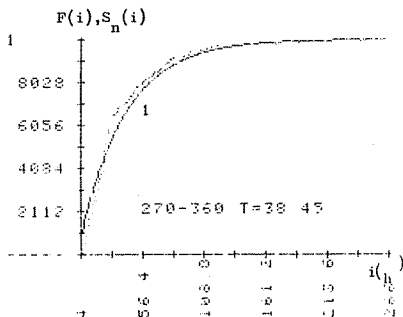


Fig. 7. Histograma observado (línea de puntos) y distribución teórica ajustada (línea continua) del intervalo entre estados del NW.

## BIBLIOGRAFÍA

- COPEIRO, E., 1979. Estima de una función de distribución a partir de una muestra aleatoria. *Revista de Obras Públicas*, marzo. 193-207.
- DAVENPORT, A. G., 1967. Wind structure and wind climate. Faculty of Engineering Science. *Unv. Wes. Ontario*, 48 pp.
- GARCÍA, M. A., 1982. Aproximación al comportamiento estadístico del viento en el Delta del Ebro. Estudio de la velocidad escalar. *Inv. Pesq.*, 46 (3): 349-377.
- HAN, G. C., KHOLER, K. E., 1982. Observed and modelled circulation on the Spanish Continental Shelf near Rio Ebro, Part I. SAI Report, Miami, 66 pp.
- HOEL, P. G., 1968. Introducción a la estadística matemática. *Ed. Ariel*, Barcelona, 451 pp.
- SIEGEL, S., 1956. Nonparametric statistics for the behavioral sciences. *McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo*, 312 pp.
- SHELL SPANJE, N. V., 1980. Castellon-Data listings of wind and waves. *Marex House, Isle of Wight*, Great Britain.

# Resultados del Sub-Programa de química correspondiente al estudio de la plataforma mediterránea española. I.- Consideraciones Físicas y Químicas sobre el afloramiento del Mar de Albarán

por

ANTONIO BALLESTER \* y JORGE ZAVATTI \*

\* Instituto de Investigaciones Pesqueras. Paseo Nacional, s/n. Barcelona-3.

## SUMMARY

During PLATAFORMA XV Cruise (9-22 february, 1983) there were done several legs on Alboran sea between the spanish and moroccan coasts measuring continuously the following parameters: salinity, temperature and nitrate+nitrite. The water was pumped from 1 meter below the surface. The deep water upwellings found, with mediterranean characteristic, keep close relation to bottom topography. Those situations show maximum intensity in superficial waters, near the ramp of the spanish continental shelf, continuing towards the coast with nutrient concentration nitrates + nitrites— decrease while photosynthesis increases.

## INTRODUCCIÓN

El Sub-Programa de química se estableció sobre la base de que los aspectos que ofrecía el estudio químico de la plataforma mediterránea española (sedimentos, organismos, agua) eran diversos, complejos y extraordinariamente importantes. Desde el punto de vista de la evaluación de los contaminantes principales presentes era fundamental, según nuestro criterio, la estimación de la carga contaminante de los vertidos pro-

cedentes del complejo sistema de núcleos urbanos e industriales existentes en el sector próximo a Valencia y Tarragona, así como la incidencia de las actividades agrícolas que existen a lo largo del litoral comprendido entre Sagunto y el Estrecho de Gibraltar.

No obstante, es interesante hacer notar que, por la misma configuración del Programa, se prescindió de la costa correspondiente a Barcelona y Gerona entendiéndose que, por sus especiales características, este sector debía ser objeto de un estudio separado. Las mayores concentraciones de contaminantes se han detectado en el Golfo de Valencia y la zona de Cartagena hecho que hemos atribuido al impacto considerable de las aglomeraciones urbanas, agrícolas e industriales de estas zonas que, en el caso de Cartagena, viene incrementado por actividades mineras muy intensas. El sector meridional comprendido entre Cabo de Gata y el Estrecho de Gibraltar es el menos contaminado de la costa estudiada. A los niveles bajos de aportes continentales se suma la presencia de aguas atlánticas que se mezclan con las aguas mediterráneas en el Mar de Alborán y a la existencia de amplias áreas de upwelling en las que surgen aguas profundas, frías y ricas en nutrientes y más limpias que las aguas superficiales costeras.

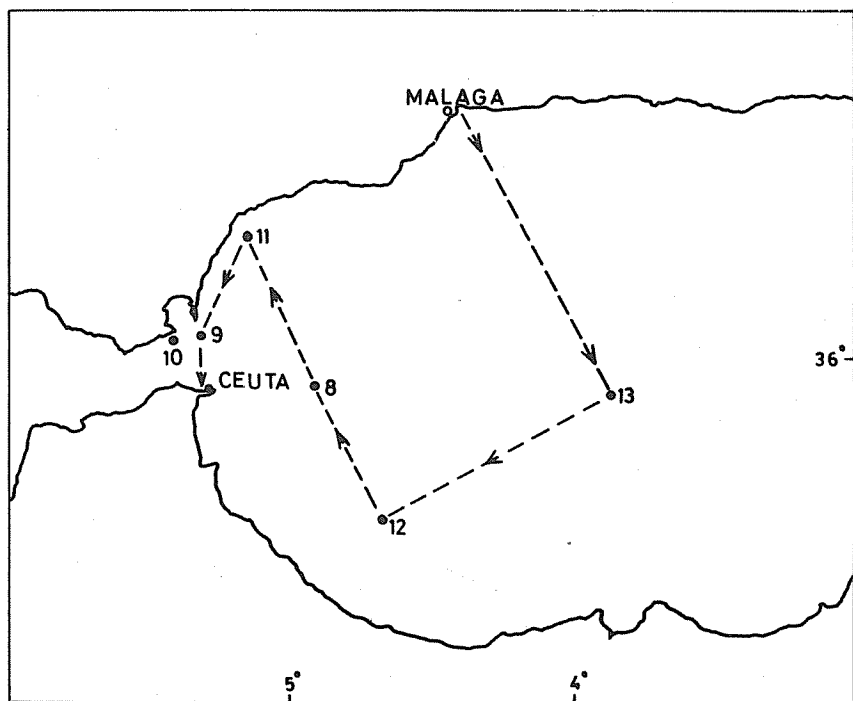


Fig. 1. Situación de las estaciones y derrota del barco en el Mar de Alborán durante la Campaña Plataforma XV.

Los niveles de contaminantes presentes en los sedimentos de la zona no superan, en muchos casos, los límites de detección. La granulometría de los mismos (bajo contenido en materiales finos y alta fracción de arenas cuarzosas) contribuye en gran manera a mantener estos bajos valores.

Desde el punto de vista oceanográfico tienen mayor transcendencia los estudios de nutrientes y de clorofila realizados.

La química de los nutrientes ha sufrido la presión acuciante de los oceanógrafos capaces de obtener información secuencial de las caracterís-

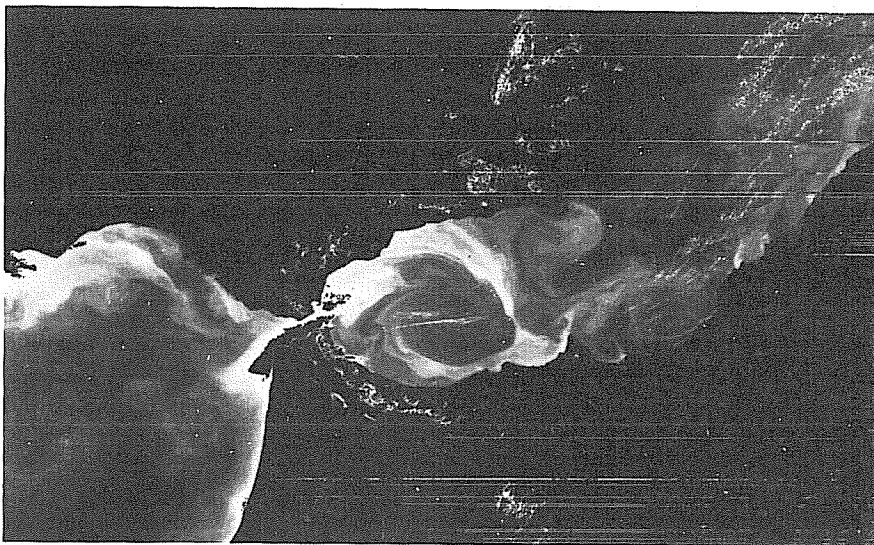


Fig. 2. Imagen del Satélite NOAA 6 en I. R. térmico.

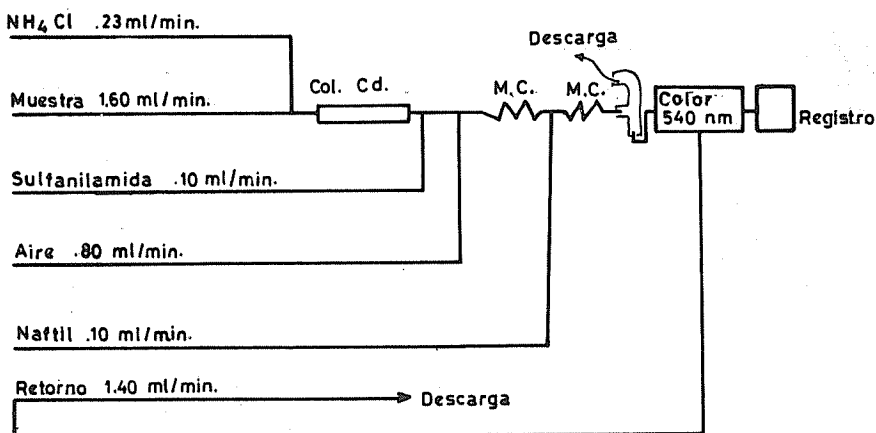
ticas de las masas de agua sobre las que navega un buque oceanográfico dotado de termosalinógrafos automáticos trabajando en continuo y dando respuestas secuenciales en tiempo real. Actualmente es posible localizar, así, pequeñas modificaciones de las masas de agua y, por supuesto, las anomalías térmicas y halinas que introducen los afloramientos o pequeñas surgencias de aguas subsuperficiales o profundas. Especialmente interesante es este tipo de estudios en la zona del Mar de Alborán, al E del estrecho de Gibraltar (Fig. 1) donde existen movimientos verticales de gran magnitud asociados al movimiento circular de las aguas superficiales, de carácter anticiclónico, fácilmente detectables por las anomalías térmicas que produce y por anomalías halinas que pueden contribuir a la interpretación del origen de las aguas superficiales que definen el fenómeno de turbulencia en cuestión. Tanto por las consecuencias prácticas (ferti-

zación de las aguas costeras) como por el interés teórico del fenómeno es necesario confirmar la procedencia profunda de las aguas afloradas. Esto es justamente lo que el contenido en sales nutrientes (especialmente nitratos) define. No obstante, la persistencia de aguas afloradas, con alto contenido en nitrato (de características definidas por su T-S) en la superficie iluminada, provocará una progresiva disminución de  $\text{NO}_3$  utilizado en la fotosíntesis (envejecimiento del agua aflorada que, en el caso de haber realizado una radial perpendicular a la costa, constituye una buena indicación para conocer la situación del plano de afloramiento y el desplazamiento ulterior de las aguas afloradas). La localización de las zonas de afloramiento se ha realizado con la ayuda de imágenes estivales de la temperatura de superficie (con contrastes térmicos muy bien definidos) obtenidas desde el satélite NOAA6 (Fig. 2).

## MATERIAL Y MÉTODOS

Las medidas en continuo de salinidad y de temperatura superficiales, en el curso de la campaña, se obtuvieron con termosalinógrafos Grundy modelo 66220; calibrados periódicamente.

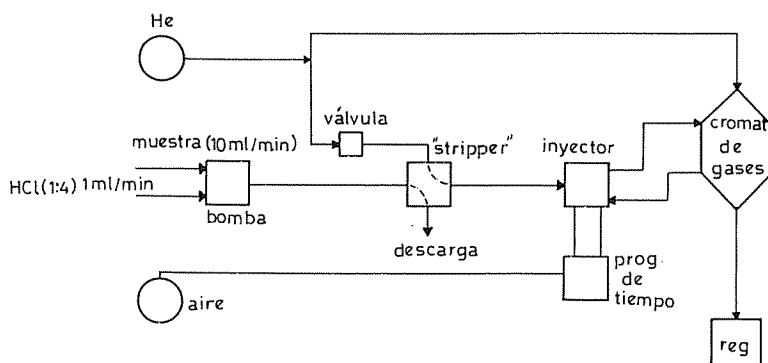
Los análisis continuos y automáticos de nitratos más nitritos y nitritos se realizaron con dos canales de autoanalizador Technicon A I, utilizando el procedimiento analítico siguiente:



Esquema analítico para Nitratos mas Nitritos

Los perfiles verticales de  $\text{O}_2$ , temperatura, salinidad y nitrato más nitrito en las estaciones 8, 9, 11 y 12 se obtuvieron con termómetros de inversión, medidas de conductividad con salinómetro y análisis de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{O}_2$  en las muestras recién tomadas.

El oxígeno disuelto se determinó también por cromatografía de gases sobre el flujo continuo de agua superficial, con una frecuencia de 5 minutos, contrastando los resultados con valoraciones discretas del oxígeno disuelto por el método de Winkler. El dispositivo analítico empleado es el siguiente:



## DISCUSIÓN

Durante la campaña Plataforma XV, se realizó un barrido continuo del Mar de Alborán cortando los frentes de la turbulencia (eddy) situada al E del Estrecho de Gibraltar con varias radiales entre la costa española y la de Marruecos. La evolución de los valores de temperatura y salinidad confirman la existencia de un núcleo central de aguas más calientes que en los bordes del giro lo cual indica la existencia de una turbulencia permanente en el sector occidental del mar de Alborán. En la Fig. 3 se pueden observar los registros T-S obtenidos durante el recorrido: Estación 8 (situada aproximadamente en el centro de la turbulencia entre la costa de África y la española), la estación 11 situada en la plataforma continental cerca de Estepona y Ceuta. En la Fig. 4, los registros T-S corresponden al recorrido: Málaga - estación 13 (1.360 metros de profundidad) — estación 12, situada en el talud de la costa africana (—530 m). En los dos recorridos se han realizado análisis continuos de  $\text{NO}_3^-$  en aguas superficiales. La Fig. 5 corresponde a los valores de nitratos obtenidos por análisis automático y continuo del agua de superficie muestreada para el análisis de temperatura y salinidad (T-S). Los resultados son muy elocuentes: entre la estación 8, situada sobre un fondo de profundidad superior a los 1.000 m en el eje del flujo de agua atlántica y el talud continental de Estepona la salinidad y temperatura se mantienen prácticamente constantes y con valores próximos a 36,5‰ y 15,4° C, respectivamente (Fig. 3). En el borde del talud

continental la salinidad se eleva bruscamente a 37 ‰, con un máximo de 37,5 ‰, mientras que la temperatura desciende a valores de 13,7° C. El registro continuo de nitratos sigue la misma pauta: los valores se mantienen bajos entre la estación 8 y el talud continental, asociados con las salinidades y las temperaturas antes mencionadas (36,5 ‰, 15,4° C). Es-

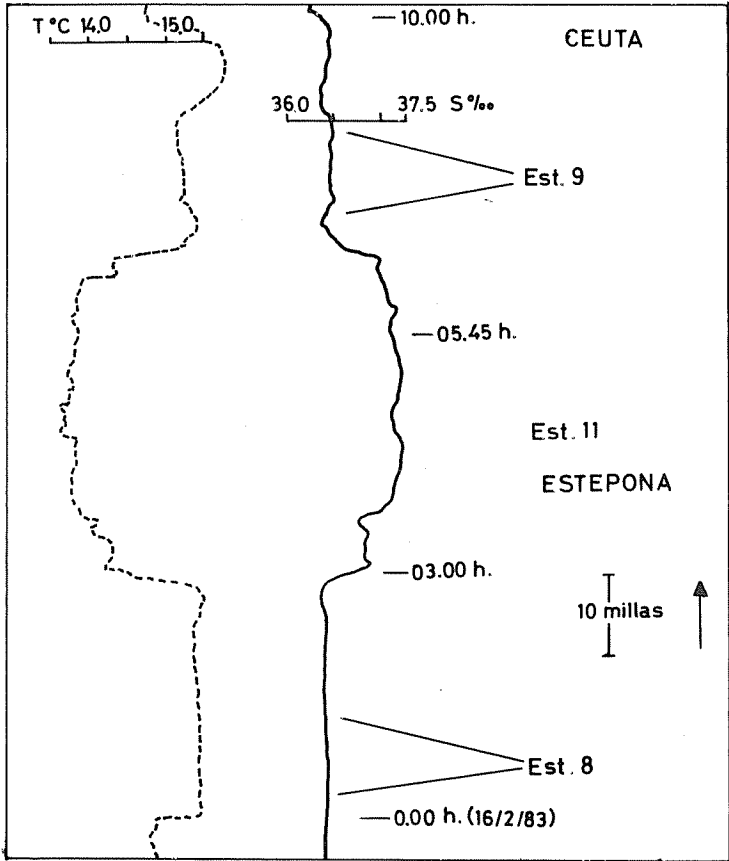


Fig. 3. Registros de temperatura y salinidad del agua de superficie entre la estación 8 y Ceuta.

tos valores bajos son siempre inferiores a  $1,0 \mu\text{mol}/1$ , hasta que un pico de  $3 \mu\text{mol}/1$  de  $\text{N-NO}_3$  aparece en el mismo punto en que se produce el brusco cambio de las características T-S del agua. Los valores altos persisten hasta llegar al Estrecho de Gibraltar. La evolución de los valores correspondientes a los parámetros T, S y  $\text{NO}_3$  sugiere la existencia de un

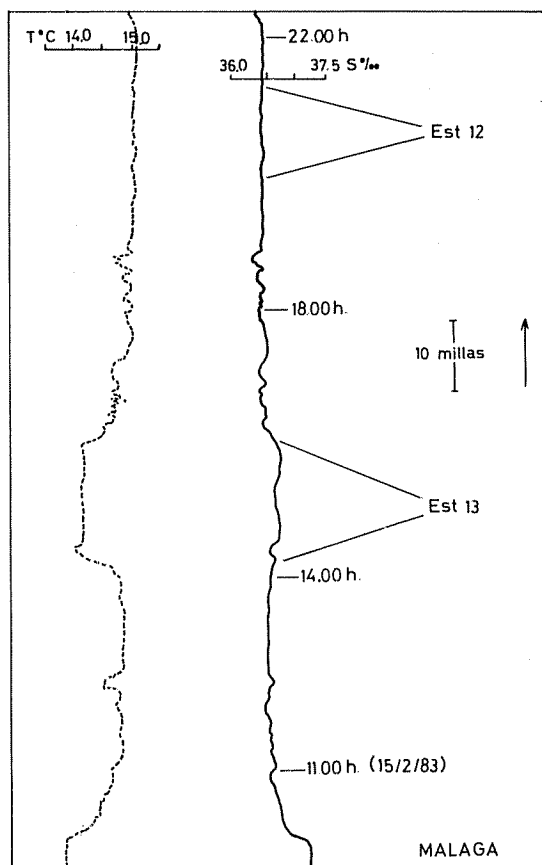


Fig. 4. Registros continuos de temperaturas y salinidad del agua de superficie correspondientes al recorrido entre Málaga y la estación 12 (talud continental de la costa africana).

intenso movimiento ascendente relacionado con la topografía del fondo, la corriente mediterránea profunda, la existencia de una turbulencia de carácter anticiclónico al E del Estrecho de Gibraltar y la entrada de aguas superficiales atlánticas. A fin de confirmar este fenómeno se han estudiado las distribuciones verticales de la temperatura y de la salinidad (Fig. 6) y de  $N-NO_3$  y oxígeno disuelto (Fig. 7), entre las estaciones 12, 8 y 11 y 12, 8 y 9, respectivamente. Todos los parámetros muestran la existencia de un afloramiento, situado en el talud continental al llegar a la cota de  $-500$  m en que se inicia un rápido ascenso del perfil del fondo (Fig. 8). Los valores de temperatura y salinidad que se encuentran en el nivel 0 en



los puntos situados sobre la plataforma (estaciones 11 y 9) son  $13,8^{\circ}\text{C}$  y  $37,5\text{‰}$  y corresponden al nivel  $-200\text{ m}$  en la estación 12.

Salat y Cruzado (1981) definen como agua atlántica a una mezcla entre agua del Atlántico norte de superficie (ANS:  $T^{\circ}\text{C}$ ,  $15,7$  y  $S^{\text{‰}}$ ,  $36,25 - 36,5$ ) y agua mediterránea intermedia de invierno (MII:  $T^{\circ}\text{C}$ ,  $12,8 - 13,0$  y  $S^{\text{‰}}$ ,  $38,2 - 38,3$ ). El agua ANS se encuentra en los primeros  $150\text{ m}$  de la estación 12 aumentando hacia el fondo la proporción de MII hasta que por debajo de los  $200\text{ m}$  y en superficie de la estación 11 y 9 es absolutamente dominante (Fig. 6).

Es interesante observar que los valores máximos de  $\text{NO}_3$  ( $3,0$  y  $2,8\ \mu\text{mol/l}$ ) están situados, respectivamente, en el borde de la plataforma

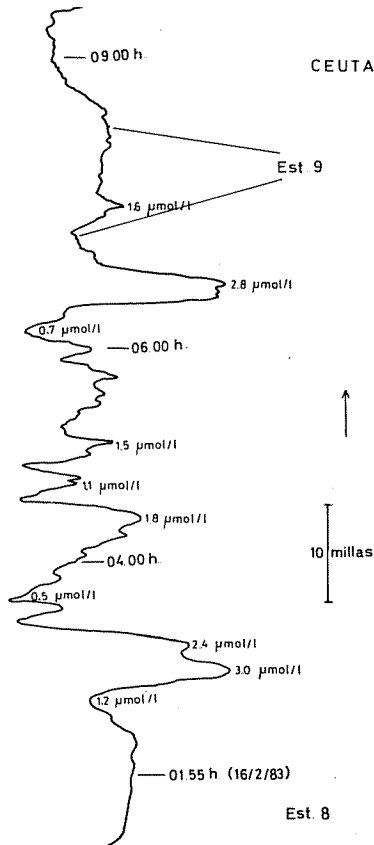


Fig. 5. Registro continuo de nitratos + nitritos ( $\mu\text{mol/l}$ ) en agua superficial entre la estación 8 y Ceuta.

entre la estación 8 y la estación 11 y en las proximidades de la estación 9 (Fig. 7). Se confirma de esta manera la importancia que tiene el perfil de fondo en los fenómenos de afloramiento de aguas profundas. Las aguas afloradas se desplazan hacia la costa «envejeciendo» a medida que los nitratos son utilizados para la fotosíntesis que se inicia al llegar las aguas afloradas a los niveles iluminados. De ahí que los niveles de los nitratos disminuyan en el recorrido comprendido entre los dos máximos correspon-

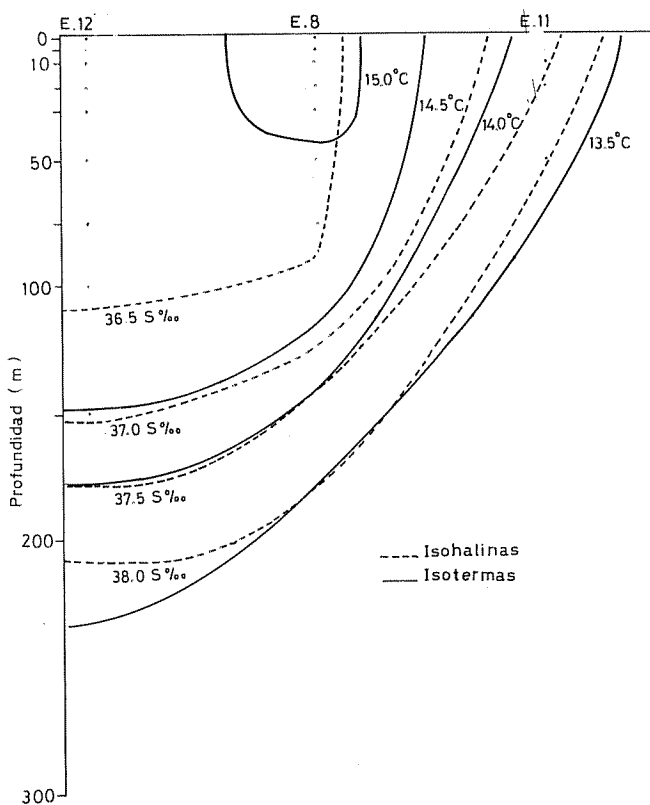


Fig. 6. Distribución vertical de salinidad y temperatura para la radial formada por las estaciones 12, 9 y 11.

dientes a los dos recorridos sobre el borde la plataforma continental (estación 8 a estación 11 y estación 11 a estación 9).

En la figura 4 se puede observar la evolución de los valores de temperatura y salinidad desde Málaga a la estación 12 situada en el borde de la costa africana. No se detecta ningún afloramiento importante. Los

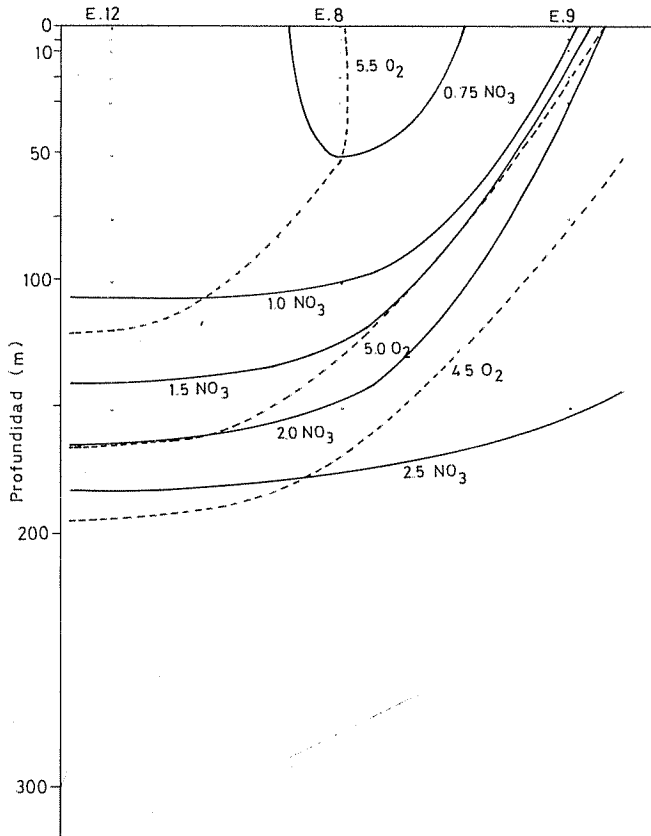


Fig. 7. Distribución vertical de nitratos (en  $\mu\text{mol/l}$ ) y oxígeno disuelto (en  $\text{ml/l}$ ) para la radial formada por las estaciones 12, 8 y 9.

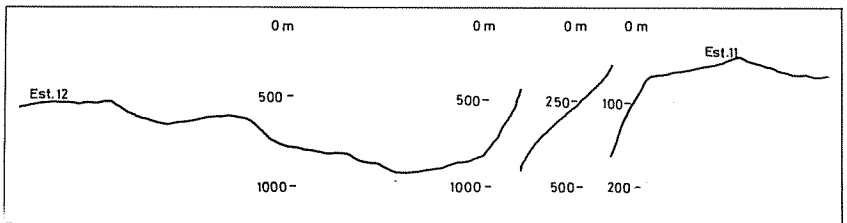


Fig. 8. Perfil batimétrico entre las estaciones 12 y 11. Profundidades en metros.

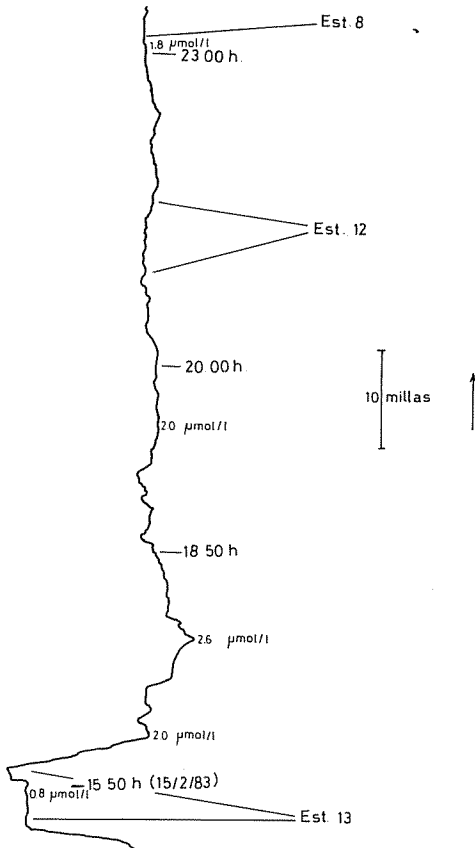


Fig. 9. Registro continuo de nitratos + nitritos (conc. en  $\mu\text{mol/l}$ ) en agua superficial entre las estaciones 13 y 8.

valores de nitratos son también bajos en el litoral marroquí en el que la influencia atlántica es muy importante (36,5‰ en todo el recorrido). Únicamente entre la estación 12 y la 13, al aproximarse el recorrido al talud africano, se observa una ligera disminución de la temperatura asociado con un suave incremento de la salinidad que coincide con el máximo de nitratos en el transecto ( $2,6 \mu\text{mols/l}$ ) (Fig 9).

Es interesante observar como las aguas relativamente frías ( $14,2^\circ \text{C}$ ) situadas sobre la plataforma son aún más frías en el interior de la bahía de Algeciras (Fig. 10) llegando a alcanzar mínimos de  $13,2$  a  $13,5^\circ \text{C}$ . La salinidad aumenta también ligeramente en el puerto de Algeciras, mientras que los nitratos (Fig. 11) registran valores superiores a  $2,0 \mu\text{mols/l}$ . Al

llegar a la estación 10, frente a Punta Europa, la temperatura sube bruscamente a 15° C y la salinidad desciende, también bruscamente, a 36,5 ‰. Bajo la influencia del flujo de agua atlántica que entra por el Estrecho, los nitratos pasan a tener valores inferiores a 0,5  $\mu\text{mols/l}$  (Fig. 11).

## CONCLUSIONES

1. El análisis secuencial de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes (en el presente caso, nitratos) es posible gracias a la introducción de métodos automáticos que operan sobre un flujo de agua de superficie bombeada continuamente hacia el laboratorio del buque oceanográfico. Los nitratos se analizan utilizando técnicas continuas (Ballester et al.,

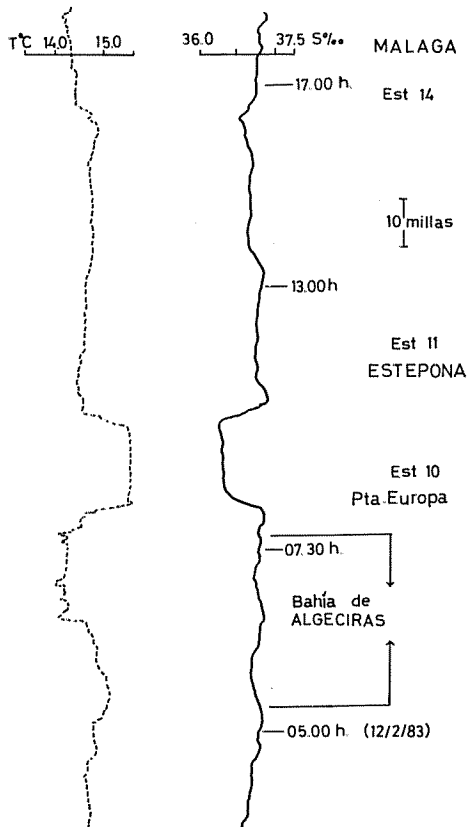


Fig. 10. Registro continuo de temperatura y salinidad en agua de superficie entre la bahía de Algeciras y Málaga.

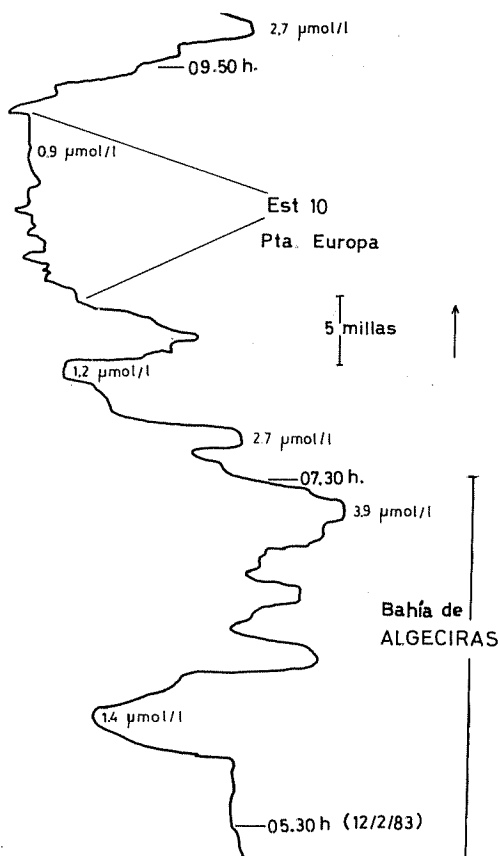


Fig. 11. Registro continuo de nitratos + nitritos (conc. en  $\mu\text{mol/l}$ ) en agua de superficie entre la bahía de Algeciras y la estación 10.

1972; Ballester y Font, 1976). Temperatura y salinidad se registran por medio de termosalinógrafos del tipo Grundy modelo 6620. El oxígeno disuelto se determina, con una frecuencia de 5 minutos, sobre el flujo continuo de agua muestreada por medio de cromatografía en fase gaseosa que permite también el análisis de  $\text{N}_2$  y  $\text{CO}_2$  con la misma frecuencia (Ballester y Zavatti, 1982).

2. Las largas series de determinaciones secuenciales permiten conocer la evolución de los parámetros fundamentales y la identificación de las áreas de afloramiento para poder deducir, conociendo la evolución de los fondos y las circunstancias meteorológicas, las causas determinantes del fenómeno, su extensión y, finalmente, su clasificación en diversos tipos.

3. Complementando las observaciones secuenciales realizadas en aguas de superficie, se analizan las imágenes sinópticas obtenidas por medio de sensores remotos situados a bordo de aviones de observación o satélites. Destacan por su importancia los mapas térmicos facilitados por los satélites NOAA 6 y NIMBUS G. En el caso presente se ha utilizado una imagen estival en la que destacan fuertemente los gradientes térmicos a fin de conocer los grandes trazos de la turbulencia de Gibraltar. Posteriormente se utilizarán imágenes simultáneas para la elaboración definitiva de los resultados y realizar una nueva calibración de los sensores térmicos utilizados en los satélites antes mencionados. Los perfiles verticales de T, S y nitratos contribuyen a la definición del modelo tridimensional de distribución de estos parámetros lo cual permite establecer la potencia mínima del afloramiento que, en la costa de Estepona, alcanza 200 m.

4. Las surgencias detectadas en el Mar del Alborán se inician en el talud alcanzando la costa mientras envejecen (o sea, mientras disminuyen los nitratos a expensas de la fotosíntesis) actuando como un mecanismo de fertilización de la plataforma. Las aguas atlánticas superficiales tienen un nivel térmico superior, salinidad más baja y bajos niveles de nitratos. La fertilización de la plataforma se realiza a expensas de aguas mediterráneas afloradas.

5. La imagen de satélite no permite distinguir fácilmente la discontinuidad existente entre las aguas procedentes del Atlántico y las aguas mediterráneas intermedias afloradas en el borde de la plataforma. Esta limitación obliga a considerar la información remota como indicativa siendo necesario introducir los parámetros salinidad, nitratos (nutrientes) y fluorescencia debida a la clorofila, para la interpretación de los fenómenos oceánicos. Es, por el contrario, muy eficaz para la localización de los frentes térmicos y su evolución en el tiempo. La importancia de los frentes térmicos estriba en su estrecha relación con fenómenos dinámicos y de transporte, con la productividad primaria y las pesquerías y con la acumulación de contaminantes disueltos o en suspensión. Por esta razón hemos incorporado este tipo de información a nuestras rutinas de trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- BALLESTER, A.; CRUZADO, A.; JULIA, A.; MANRIQUEZ, M., y SALAT, J., 1972. Análisis automático y continuo de las características físicas, químicas y biológicas del mar. *Pub. Tec. Pat. J. Cierva* 1: 1-72.
- BALLESTER, A. y FONT, J., 1976. A numerical method to improve automatic nutrient analysis in seawater. Advanced in automated analysis. *Technicon International Congress 1970 (NY)*, Industrial Symposia, Vol. n.º 2.
- BALLESTER, A. y ZAVATTI, J., 1982. Dissolved oxygen, nitrogen and total inorganic carbon in the Alboran Sea surface water. *XXVIIIth Congress and Plenary Assembly of CIESM*, Comitee of Chemical Oceanography.
- SALAT, J. y CRUZADO, A., 1981. Masses d'eau dans la Méditerranée Occidentale: Mer Catalane et eaux adjacents. *Rapp. Com. Int. Mer Médit.*, 27 (6): 201-209.

# Productividad primaria de la Plataforma continental mediterránea

por

JOSEFINA CASTELLVÍ \* y MERCÈ CANO \*

\* Instituto de Investigaciones Pesqueras. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Paseo Nacional, s/n. Barcelona-3.

## SUMMARY

After an introductory approach to the general planification of the different jobs for the «Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental» and the sampling strategy, we analyze the different results found in primary production in the three areas of the spanish mediterranean coast during the three seasons in which we have divided the year. Apart from the absolute values, generally low, of the primary production in the Mediterranean, we take into consideration some punctual anomalies we have found. A comparative study of primary production with respect to salinity and to pigments (chlorophylla) in the studied areas is given.

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el planteamiento de objetivos del Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental del Mediterráneo español se ha determinado sistemáticamente la productividad primaria en todos los puntos muestreados. Este parámetro en sí mismo nos indica el potencial de síntesis orgánica de las aguas correspondientes a la zona como consecuencia de los mecanismos de fertilización de las aguas iluminadas ya sea por afloramientos de aguas profundas o por mezclas verticales turbulentas que se producen predominantemente en invierno. Paralelamente, se han hecho determinaciones del valor de la excreción de sustancias orgánicas de origen fitoplanctónico que, aún no siendo el tema de este artículo, debemos mencionar dado que se trata de una materia orgánica directamente asimilable por la población bacteriana, tema principal del estudio biológico de este programa.



El mar Mediterráneo se caracteriza por su pobreza en sales nutritivas de manera que la productividad es generalmente baja y la capa fótica se encuentra, prácticamente siempre, carente de nutrientes ya que el sistema tiende al máximo aprovechamiento. En general, puede hablarse de dos máximos productivos dentro del ciclo anual, uno en primavera y otro de menor entidad en otoño.

Sobre este esquema general, que es válido para todo el Mediterráneo occidental, se superponen anomalías puntuales tanto en el espacio como en el tiempo. Sus causas son variadas pero suelen coincidir con fenómenos locales de fertilización de las aguas superficiales ya sea por circunstancias naturales ligadas en general a la circulación y la topografía de la Plataforma Continental, ya sea por enriquecimientos debidos a los aportes continentales que afectan áreas restringidas.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La determinación de productividad primaria se hizo por el método de Steemann Nielsen (1952) modificado por Strickland y Parsons (1968). Las muestras se inocularon con 1 ml de  $^{14}\text{CO}_3\text{HNa}$  (2,64  $\mu\text{Ci}$ ) y se mantuvieron en incubación con luz natural en un baño circulante de agua de mar, durante dos horas. Pasado este tiempo la población fitoplanctónica se concentró sobre un filtro de acetato de celulosa de 0,8  $\mu$  de diámetro de poro. El  $^{14}\text{CO}_3\text{HNa}$  no utilizado y que quedaba retenido en el filtro se eliminó mediante un lavado con agua de mar filtrada y ligeramente acidulada (1% o de  $\text{ClH}$ ). La medida de la radiactividad incorporada se hizo en un detector de centelleo líquido Beckman.

La concentración de «clorofila a» se ha calculado mediante las fórmulas de Parsons y Strickland aplicadas a las lecturas espectrofotométricas de extractos acetónicos de concentrados de poblaciones fitoplanctónicas que se obtuvieron por la filtración de un gran volumen de agua (+ l.).

Los muestreos se han colectado a lo largo de nueve campañas oceanográficas cuya distribución en distintas zonas y épocas del año se consignan a continuación:

— Área de Sagunto a Gandía:

Plataforma I: 28-II-80 a 2-III-80 (Invierno)

Plataforma V: 31-V-80 a 4-VI-80 (Primavera)

Plataforma VI: 6-VIII-80 a 9-VIII-80 (Verano)

— Área de Cabo San Antonio a Cartagena:

Plataforma VIII: 1-IV-81 a 6-IV-81 (Primavera)

Plataforma X: 30-VI-81 a 5-VII-81 (Verano)

Plataforma XI: 8-X-81 a 13-X-81 (Otoño)

— Área de Cabo de Gata a Cabo Trafalgar:

Plataforma XII: 25-I-82 a 30-I-82 (Invierno)

Plataforma XIII: 2-IV-82 a 12-IV-82 (Primavera)

Plataforma XIV: 6-IX-82 a 12-IX-82 (Verano)

## DISCUSIÓN

En las figuras 1, 2 y 3 se muestran colecciones de histogramas representativos de los valores de productividad primaria determinados en las 68 estaciones estudiadas en 3 regiones y en las 3 estaciones en las que hemos dividido el año.

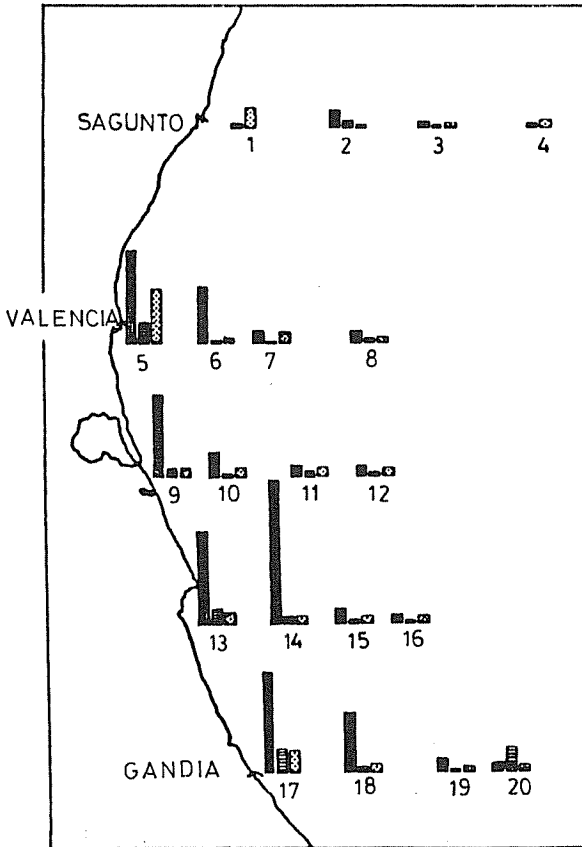


Fig. 1. Histogramas representativos del valor medio de productividad primaria en la zona de Valencia. Invierno: negro; primavera: rayado y verano: punteado.

En la zona de Valencia las máximas productividades se encuentran en invierno-primavera (campaña Plataforma I febrero-marzo 1980) y en las estaciones situadas sobre 15 y 50 m de profundidad. Cuando nos alejamos de esta franja costera fuertemente influenciada por los aportes terrestres, en la que se encuentran producciones de hasta 2 y 3  $\text{mgr C/m}^3/\text{h}$ , los valores decaen hasta 0,1 — 0,3  $\text{mgr C/m}^3/\text{h}$  que es lo normal para zonas alejadas de la costa en el Mediterráneo.

Esta influencia costera viene reforzada por la asociación existente entre altas productividades y baja salinidad (Castellví y Ballester, 1981). La radial norte de la zona, realizada frente a Sagunto, no participa del mismo mecanismo de fertilización y por tanto su comportamiento es muy distinto coincidiendo con la anomalía que también presentan el resto de parámetros biológicos estudiados.

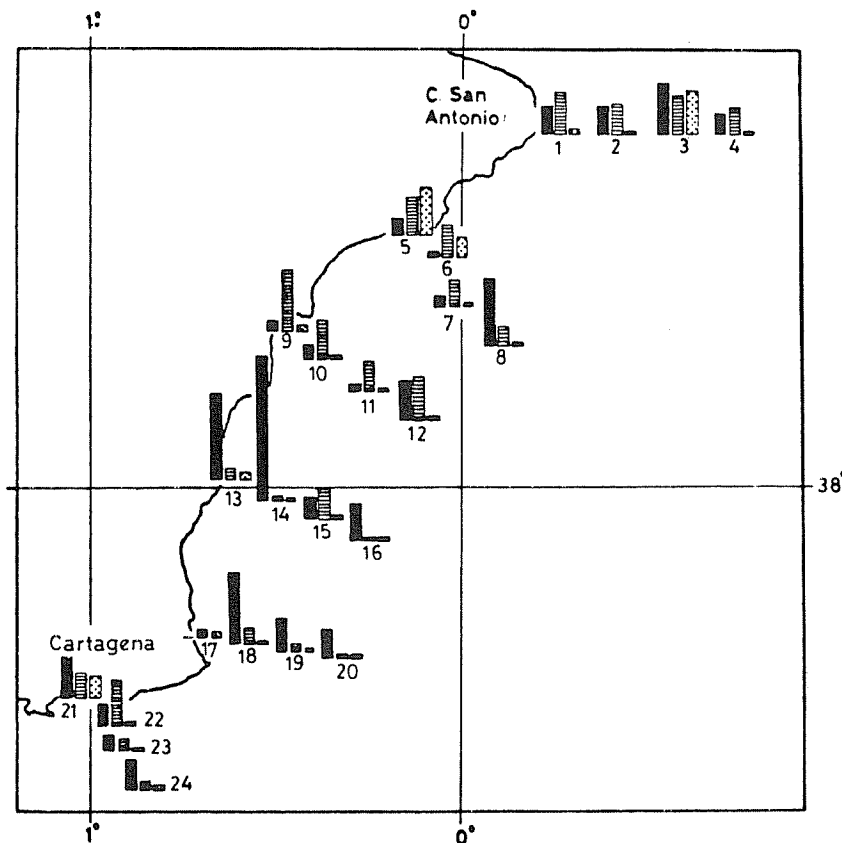


Fig. 2. Histogramas representativos del valor medio de productividad primaria en la zona de Alicante. Invierno: negro; primavera: rayado y verano: punteado.

En las campañas que se hicieron en junio y agosto los valores de producción son mucho más moderados sin aparecer el fuerte contraste de primavera entre las estaciones costeras y las de aguas afuera.

En la zona de Alicante, la campaña de primavera se realizó en el mes de abril y, principalmente en las zonas costeras, se encontraron valores que son anormales para el Mediterráneo. Abundan los niveles de productividad de 4-5 mgr C/m<sup>3</sup>/h con máximos puntuales de alrededor de 11 mgr C/m<sup>3</sup>/h. Aquí, aparte de la posible influencia de aportes terrestres, se superpone la

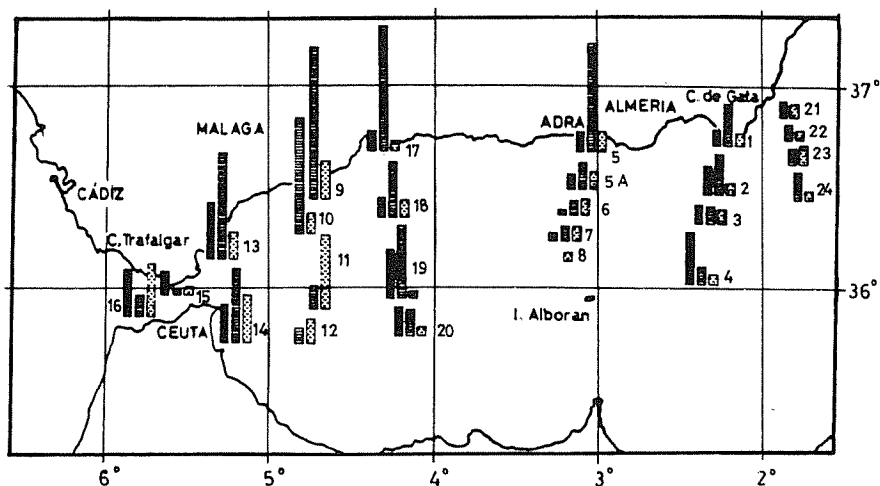


Fig. 3. Histogramas representativos del valor medio de productividad primaria en la zona de Alborán. Invierno: negro, primavera: rayado y verano: punteado.

existencia de un afloramiento costero que había sido descrito en el año 1967 (Ballester, comunicación personal) y que ahora ha podido ser estudiado detenidamente.

En la campaña de primavera en esta zona, junto a los altos valores destaca el hecho de que los máximos se encuentran, en general, a bastante profundidad (sobre los 30 m) donde existe una elevada concentración de nitratos.

Llama la atención que en la campaña de octubre (Plataforma XI) se encuentren valores bajos de productividad primaria a pesar de que los nutrientes muestran concentraciones que permitirían el mantenimiento de una población activa. Probablemente se trata de nutrientes regenerados «in situ» ya que en esta época un fuerte gradiente térmico impide el ascenso de aguas ricas del fondo.

En la zona del Mar de Alborán la productividad decae a valores próximos a  $1 \text{ mgr C/m}^3/\text{h}$  aunque tiene máximos puntuales de  $3\text{-}4 \text{ mgr C/m}^3/\text{h}$  que por su particular localización merecen una mención especial. Estos aumentos bruscos de productividad se hallan asociados a las discontinuidades de densidad ya sea por variaciones de la salinidad o de la temperatura o de ambos parámetros a la vez. Esta zona del mar de Alborán presenta una superposición de aguas (atlántica y mediterránea) que al entrar en contacto sin mezclarse producen fenómenos de interfase que favorecen el acúmulo de material particulado caracterizándose por su elevada actividad biológica. Se puede detectar este fenómeno en la estación 3 a  $-30 \text{ m}$ , en la estación 5 a  $-10$  y  $-20 \text{ m}$ , en la estación 6 a  $-20 \text{ m}$  y en la estación 19 a  $-30 \text{ m}$ .

El hecho de encontrarse dos masas de agua bien definidas en niveles fóticos, permite hacer un estudio de la productividad en cada una de ellas. En la figura 4 se muestra la relación existente entre los valores medios de salinidad y productividad primaria de los  $50 \text{ m}$  superficiales de todas las estaciones estudiadas en la campaña Plataforma XII. Aunque, los valores presentan una gran dispersión sobresalen dos hechos:

a) Hay una familia de puntos en la parte superior de la gráfica que no participan en el comportamiento del resto. Se trata de todas las estaciones costeras de muy poca profundidad y que lógicamente están afectadas por los aportes terrígenos. Hay dos excepciones: las estaciones 1 y 21 (radial de Cabo de Gata y al Norte de Cabo de Gata) que, a pesar de ser costeras, están situadas muy lejos de vertidos urbanos y las influencias de aportes terrestres de manera que las encontramos localizadas en el otro grupo.

b) El resto de valores manifiestan una tendencia a aumentar la productividad al disminuir la salinidad que es la característica típica de las aguas atlánticas. Los valores más bajos de síntesis de materia orgánica se encuentran relacionados con salinidades próximas a  $38 \text{ ‰}$ .

La campaña Plataforma XIV se realizó del 6 al 12 de septiembre (1982) en la misma zona y siguiendo idéntica estrategia de estudio. Esta época se caracteriza por la caída de la productividad primaria. Al final del verano con una termoclina muy bien establecida no es posible la fertilización de la zona fótica desde el agua profunda. La elevada producción fitoplanctónica que se ha desarrollado durante la primavera y principios de verano ha dejado el agua exhausta de nutrientes, de manera que en el momento de realizar esta campaña sólo se encuentra la síntesis orgánica que permite la regeneración «in situ» de la materia orgánica detrítica y disuelta que originan los distintos eslabones de la cadena trófica.

En el estudio de la distribución vertical de la productividad primaria y de los pigmentos cabe destacar la existencia, en determinadas épocas del año, de un máximo profundo de pigmentos que son funcionales: Margalef (1974), Anónimo (1980 a), (1980 b), (1981), (1982 a) y (1982 b) y Cas-

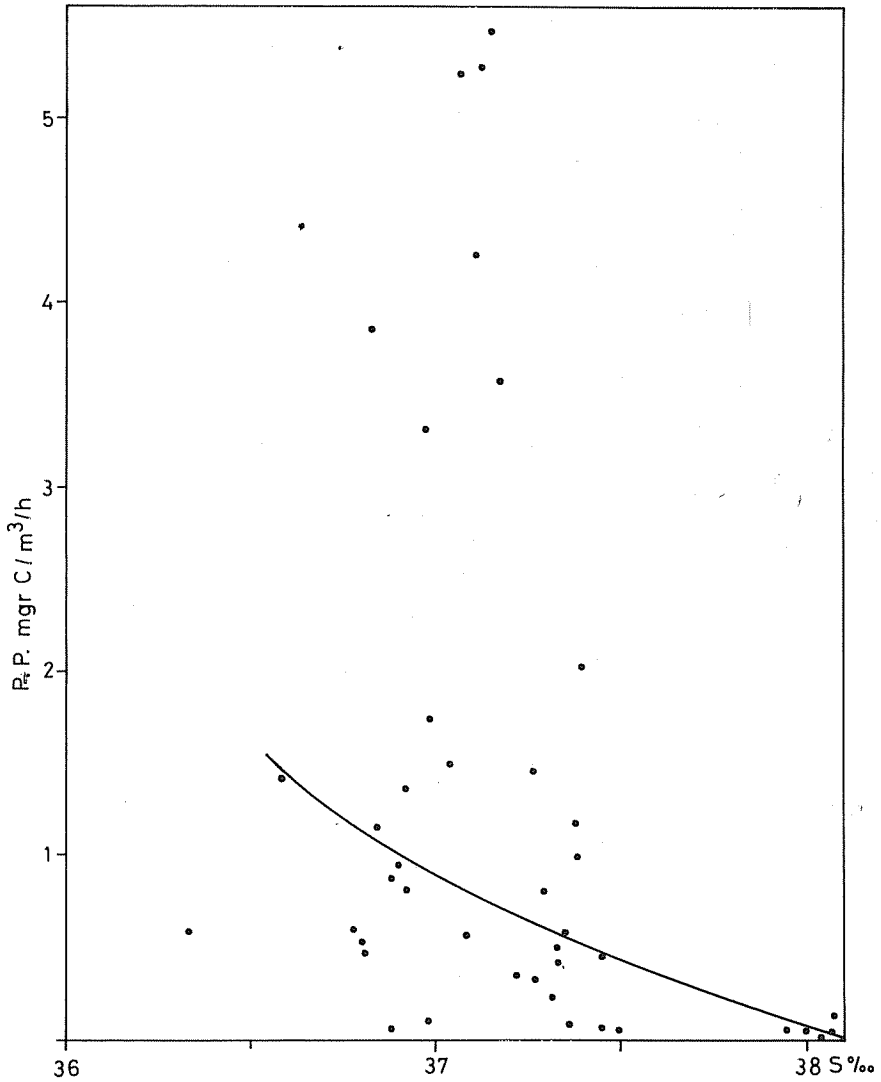


Fig. 4. Relación entre la productividad primaria y los valores de salinidad.

tellví y Ballester (1981). En la figura 5 se muestran algunos ejemplos hallados en la zona de Valencia durante la campaña Plataforma I (febrero-marzo 1980). Se observa que los máximos de pigmentos que se dan en general a los —50 m no van nunca acompañados de valores altos de síntesis de materia orgánica de manera que hay que interpretar este hecho como la consecuencia de un acúmulo de células fitoplanctónicas degradadas en el curso de su sedimentación, pero que mantienen las moléculas de clorofila (o feofitina) químicamente activas.

En la zona de Alicante, en abril de 1981 (campaña Plataforma VIII), se comienzan a destacar los inicios de este fenómeno que se encuentra consolidado, con su estructura típica, en julio de 1981 (campaña Plataforma X). En la figura 6 se muestran los ejemplos más representativos.

En la zona de Alborán este fenómeno no se presenta de manera tan manifiesta. Aquí, en algunos casos, encontramos máximos profundos de pigmentos acompañados de altas productividades, fenómeno en el que la transparencia del agua es decisiva. Un ejemplo típico es el hallado en la estación 7 que, por su situación, se puede considerar como ejemplo genuino sin posibles influencias de aportes terrestres. Entre los 30 y 50 m de profundidad se produce una discontinuidad térmica y salina (de 15,84 pasa a 14,82 °C y 36,81 a 37,29 S‰) apareciendo en —30 m un máximo de fotosíntesis (3,60 mgr C/m<sup>3</sup>/h) que contrasta con los bajos valores que se encuentran por encima y por debajo de este nivel y que va acompañado por un aumento paralelo del contenido en pigmentos. Los nutrientes son prácticamente inexistentes entre —30 m y la superficie, pero las aguas

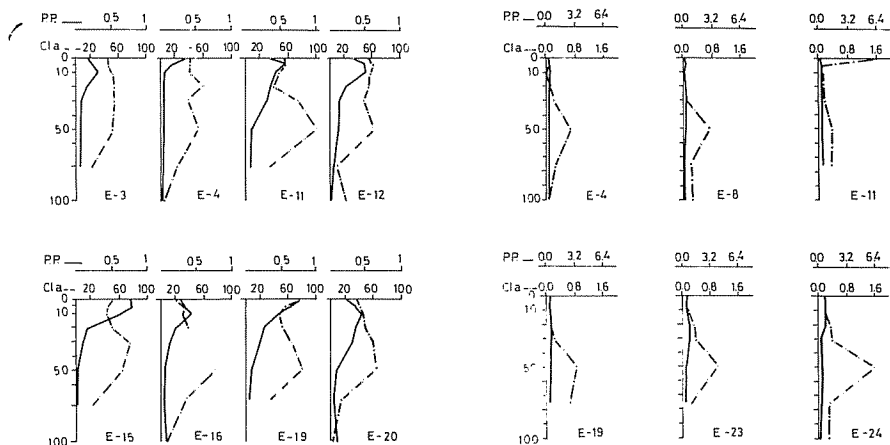


Fig. 5. Distribución vertical de los valores de productividad primaria y clorofila-a durante la campaña Plataforma I.

Fig. 6. Distribución vertical de los valores de productividad primaria y clorofila-a durante la campaña Plataforma X.

mediterráneas intermedias y profundas son ricas en nitratos, fosfatos y silicatos. La superposición de aguas de distinta densidad permite una alta actividad en las poblaciones fitoplanctónicas que se desarrollan en la zona de discontinuidad.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos en primer lugar al Dr. A. Ballester, jefe de la Unidad Estructural de Investigación de Oceanografía del Instituto de Investigaciones Pesqueras y jefe de misión de las campañas oceanográficas comentadas su ayuda y colaboración.

Asimismo, este trabajo no habría podido realizarse sin el beneplácito del Comandante y Capitanes de los buques colaboradores en este proyecto: B/H TOFIÑO, B/O GARCÍA DEL CID y B/O CORNIDE DE SAAVEDRA. A ellos nuestro agradecimiento.

Agradecemos particularmente la ayuda prestada por la Srta. Maria Rosa Vitriá que ha dibujado las figuras.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANÓNIMO, 1980 a. Informe científico I. Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental. Cont. 793020. Comité Conjunto Hispano-Norteamericano.
- ANÓNIMO, 1980 b. Informe científico II. Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental. Cont. 793020. Comité Conjunto Hispano-Norteamericano.
- ANÓNIMO, 1981. Informe científico III. Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental. Cont. 793020. Comité Conjunto Hispano-Norteamericano.
- ANÓNIMO, 1982 a. Informe científico IV. Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental. Cont. 793020. Comité Conjunto Hispano-Norteamericano.
- ANÓNIMO, 1982 b. Informe científico V. Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental. Cont. 793020. Comité Conjunto Hispano-Norteamericano.
- CASTELLVÍ, J., 1971. Contribución a la biología de *Skeletonema costatum* (Grev) Cleve. *Inv. Pesq.*, 35 (2): 365-520.
- CASTELLVÍ, J., y BALLESTER, A., 1981 b. Aspectos microbiológicos del estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental. II. Hidrografía y Productividad primaria. *Inv. Pesq.* 45 (2): 391-414.
- HERRERA, J., y MARGALEF, R., 1963. Hidrografía y fitoplancton de la costa comprendida entre Castellón y la desembocadura del Ebro, de Julio de 1960 a Junio de 1961. *Inv. Pesq.*, 24: 33-111.
- MARGALEF, R., 1968. Fluctuaciones de varios años de período medio en la producción de fitoplancton en el Mediterráneo occidental. *Collect. Bot.*, 7 (2): 727-747.
- MARGALEF, R., 1974. *Ecología*. Editorial Omega. Barcelona.
- SAN FELIU, J. M., y MUÑOZ, F., 1971. Fluctuations d'une année a l'autre dans l'intensité de l'affleurement dans la Méditerranée occidentale. *Inv. Pesq.*, 35 (1): 155-159.
- SOURNIA, A., 1973. La production primaire planctonique en Méditerranée. Essais de mise à jour. *Bulletin de l'étude en commun de la Méditerranée*. N.º 5. Mónaco.
- STEEMANN NIELSEN, E., 1951. Measurement of production of organic matter in the sea by means of Carbon-14. *Nature (Lond.)*, 167 (4252): 684-685.



# Ciclo del azufre en la plataforma continental mediterránea

por

P. AMENGUAL \* y J. CASTELLVÍ \*

\* Instituto de Investigaciones Pesqueras. Paseo Nacional, s/n. Barcelona-3.

## SUMMARY

The amount of studies on the bacterial activity in the sulphur cycle has been increasing as sulphate-reducing activity been accepted as an indicator of the environment capacity of assimilation of organic supplies either natural ones, or due to man-pollutant activities.

After 3 years of sampling at the Spanish coasts we have observed relatively high sulphate-reducing activity. This is specially important in the gulf of Valencia, where some zones happen to be in a difficult situation as the environment is unviable to assimilate the organic and inorganic pollutants. The strong relationship of sulphate-reductants with the presence of organic matter (source of energy) has been shown in this study, and a new aspect of the S-R activity related to organic aggregates, suspended in oxygen rich water, has been introduced and discussed.

## INTRODUCCIÓN

El estudio del ciclo del azufre en el marco del programa Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental ha tenido un especial relieve dentro del contexto microbiológico. En su inicio se planteó como la determinación de un grupo fisiológico que permitiría definir, junto con los otros estudiados, unas características determinadas del ecosistema. Pero a lo largo de las 9 campañas realizadas desde 1980 a 1983 se ha visto que el ciclo del azufre es capaz, por sí solo, de dar información sobre el estado del ecosistema y de intervenir en los procesos de transferencia energética, de manera significativa, en el ciclo general de mineralización de la materia orgánica.

El azufre es uno de los elementos más abundantes en la hidrosfera donde se encuentra casi en su totalidad en forma de sulfatos. Los iones sulfato constituyen alrededor del 7 % de las sales marinas (2,65 mg/l) y, considerando al azufre como elemento constituyente de la materia orgánica, es el metaloide más abundante después del C, O, H y N.

El sulfato entra a formar parte de los ciclos vitales por dos vías igualmente importantes y esencialmente distintas:

- a) Vía asimilativa por la que el azufre pasa a formar parte de ácidos orgánicos, aminoácidos y dando sulfuros alifáticos a lo largo de su metabolismo.
- b) Vía respiratoria por la cual el ion sulfato funciona como aceptor de electrones en ausencia de oxígeno disuelto. Durante este proceso el metabolismo bacteriano sólo aprovecha el oxígeno, de forma que queda un ion sulfuro como producto residual de la respiración, que se desprende en forma de  $\text{SH}_2$  o de sulfuro de algún metal (comúnmente de hierro) (Posgate, 1959).

De las dos vías de utilización del sulfato, la respiratoria o desasimilativa es la que incide de manera más directa sobre el ecosistema que nos ocupa, ya que el hecho de la producción de sulfuros es capaz, por sí mismo, de cambiar las condiciones físico-químicas del ambiente.

La incorporación de materia orgánica en un sistema ya sea natural (por fotosíntesis del fitoplancton) o artificial (aporte de aguas urbanas o industriales) provoca un consumo de oxígeno utilizado durante los procesos de mineralización que, normalmente, se ve compensado por la producción de oxígeno por fotosíntesis y por la difusión de este gas desde otros sistemas contiguos y desde la atmósfera. Cuando el aporte orgánico es muy abundante y continuado, los procesos de consumo de oxígeno no llegan a equilibrarse con los de producción y difusión y el sistema entra en fase anaerobia. En este momento la microbiocenosis pone en marcha los equipos enzimáticos adecuados para aprovechar el oxígeno que forma parte de moléculas de compuestos inorgánicos, especialmente  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{CO}_3^{2-}$ . Esto se logra mediante la actividad de especies bacterianas capaces de desarrollar ambos metabolismos según sean las condiciones del medio, o por cambios dentro de la estructura de la población, de manera que bacterias anaerobias que hasta este momento permanecían aletargadas se hacen dominantes ocupando el sitio de aerobias que pasan a un segundo término. Por lo general los procesos de reducción desasimilativa del sulfato se producen en el sedimento, ya que aquí los fenómenos de difusión de oxígeno son más lentos que en el agua. Sólo en ambientes muy particulares se han descrito fenómenos de anaerobiosis en el agua de mar; entre ellos cuentan la fosa de Cariaco en el Caribe (Castellví, 1981), algunos fiordos de Noruega y Mar Negro (Castellví, 1975). A pesar de lo que se acaba de exponer, durante el trabajo que nos ocupa, se planteó el estudio de la sulfatoreducción en agua

y sedimentos. Uno de los autores tenía experiencia de haber encontrado poblaciones sulfatorreductoras en aguas atlánticas de la costa africana (Castellví, 1978) y, si bien su interpretación no era definitiva, el hecho venía apoyado con la teoría de algunos autores (Bonsang y Lovelock) sobre la posibilidad de producción de sulfuros volátiles en aguas superficiales del océano y que ellos encontraban en la atmósfera.

En el capítulo de discusión se pondrá de manifiesto la importancia de esta decisión que, junto con el intento de servirse de la actividad sulfatorreductora del sedimento costero como índice de deterioro del litoral, ha sido lo más relevante del programa de microbiología.

Los resultados que más adelante se comentarán han sido obtenidos de muestreos realizados en la plataforma continental mediterránea desde Sagunto a Tarifa. Este litoral ha sido dividido en tres zonas y muestreado tres veces al año en sendas campañas oceanográficas. A saber:

- Zona de Sagunto a Cabo San Antonio:
  - Plataforma I (Febrero/1980)
  - Plataforma V (Junio/1980)
  - Plataforma VI (Agosto/1980)
- Zona de Cabo San Antonio a Cabo Tiñoso:
  - Plataforma VIII (Abril/1981)
  - Plataforma X (Julio/1981)
  - Plataforma XI (Julio/1981)
- Zona de Cabo de Gata a Tarifa:
  - Plataforma XII (Enero/1982)
  - Plataforma XIII (Abril/1982)
  - Plataforma XIV (Septiembre/1982)

En la figura 1 se muestra una panorámica de la situación de las estaciones estudiadas que en total han sido 68.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El método utilizado para el estudio del ciclo del azufre es común con el empleado para todos los grupos fisiológicos bacterianos. El gran problema en el estudio de la bacteriología marina es la baja concentración bacteriana de las muestras de agua, de manera que la metodología común que se usa para suelos y sedimentos, basada en la dilución de las muestras, aquí no es aplicable. Con el fin de determinar la actividad potencial de la población en un tiempo lo más breve posible, se ha procedido a concentrar una mues-

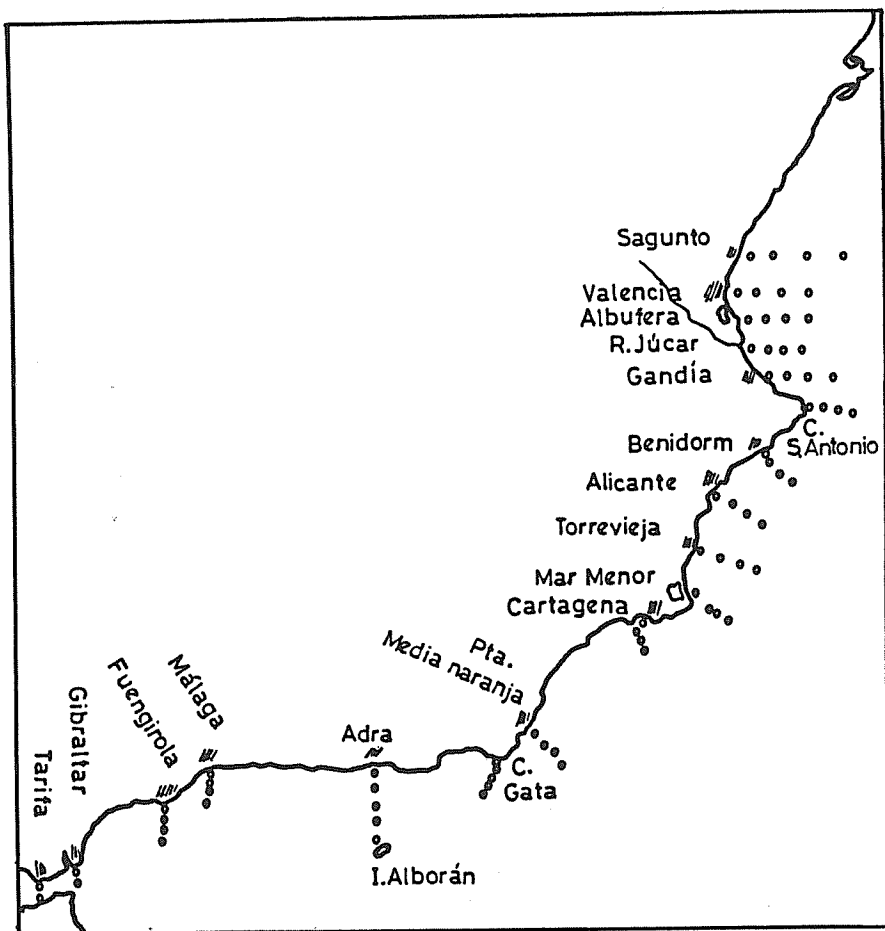


Fig. 1. Situación de las 68 estaciones estudiadas.

tra de gran volumen (250 ml) sobre una membrana filtrante estéril de  $0,45 \mu$  de diámetro de poro. Esto presenta la doble ventaja de concentrar la población y eliminar el agua cuya composición química es, en principio, desconocida y variable con la posibilidad de que la presencia de determinados compuestos puedan interferir el desarrollo de la población y por tanto la fiabilidad de los resultados (Castellví, Amengual y Cano, 1981). Estos filtros se incubaron en viales con 25 ml de medio de cultivo específico, durante 10 días a  $28^{\circ}$  C en condiciones aerobias en la sulfooxidación y anaerobias en la sulfatorreducción. Los medios utilizados han sido:

#### Sulfatorreducción

$\text{NH}_4\text{Cl}$	1	g	
$\text{CaSO}$	1	g	
$\text{K}_2\text{HPO}_4$	0,5	g	
$\text{MgSO}_4$	1	g	
Lactato sódico	3,5	g	
$\text{NaCl}$	20,0	g	
Agua destilada	1.000	ml	pH = 7,5

#### Sulfooxidación

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0,1	g	
$\text{K}_2\text{HPO}_4$	4,0	g	
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	4,0	g	
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,1	g	
$\text{CaCl}_2$	0,1	g	
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0,02	g	
$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0,02	g	
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	10,0	g	
$\text{NaCl}$	30,0	g	
Agua destilada	1.000	ml	pH = 7,0

Las muestras se filtraron e incubaron inmediatamente después de subirlas a bordo. Para los sedimentos se preparó una dilución de un volumen conocido y se sembraron los medios de cultivo con dos mililitros de la suspensión homogeneizada que equivalía aproximadamente a 0,5 g de sedimento. Los resultados se han referido a peso seco del sedimento.

Ante la imposibilidad de obtener todos los resultados durante la campaña oceanográfica, al terminar el período de incubación se fijaba la actividad bacteriana por congelación a  $-20^{\circ}$  C. Una vez en el laboratorio de tierra se descongelaron y se valoró la actividad potencial de la sulfatorreducción midiendo los sulfuros formados por titulación con  $\text{I}_2$  (0,001 N).

Esta actividad se ha expresado en  $\mu\text{g S}/1/\text{día}$  en el agua y por día en el sedimento. Para sulfooxidación se ha procedido de la misma forma. Aquí el sustrato oxidable es el tiosulfato, de manera que la medida de la actividad potencial se ha realizado valorando la desaparición del tiosulfato que inicialmente contenía el medio. Estos valores se han expresado en  $\text{mg S oxidado}/1/\text{día}$  y por gramo y por día en el caso de los sedimentos.

Esta metodología se ha mantenido sin cambio alguno a lo largo de las nueve campañas que ha comportado el proyecto. Únicamente durante la campaña Plataforma XIV, y por motivos que se justificarán en la Discusión, se ha procedido a una prefiltración de la muestra a través de mallas cuya luz estaba comprendida entre 20 y 50  $\mu$ . Esto permitió separar los agregados de materia orgánica detrítica cuyas dimensiones fueran superiores al paso de la malla. El cultivo de estos concentrados se hizo en iguales condiciones que las descritas para la sulfatorreducción.

## DISCUSIÓN

Para el estudio del ciclo del S en la plataforma continental es necesario separar los resultados obtenidos en el agua de los del sedimento ya que la problemática que presenta cada uno de estos medios es de muy distinta significación.

### *Sedimento*

Según lo expuesto en la introducción se comprenderá que la difusión de oxígeno es tanto mayor cuanto mayor sea el tamaño de las partículas que forman el sedimento. Por tanto, a igualdad de aporte orgánico, se establecerán condiciones anaerobias más rápidamente cuanto más finas sean las partículas. Esta consideración es esencial al enfrentarse con el estudio de la sulfatorreducción de un sedimento.

En la plataforma continental estudiada nos encontramos con características sedimentarias muy distintas. Así, la zona que va de Sagunto a C. San Antonio se caracteriza por un sedimento con partículas extraordinariamente finas que le confieren una consistencia compacta. De C. San Antonio a C. Tiñoso domina la arena e incluso la grava y cascajo y del C. de Gata a Tarifa el fondo es rocoso en su mayor parte, de manera que no se ha podido hacer un estudio sistemático como en el resto.

En los esquemas de las figuras 2 y 3 se sintetizan los valores de la actividad sulfatorreductora hallada en el sedimento de las dos zonas en las tres épocas del año estudiadas. Se observa que, en general, hay actividades más elevadas en la zona de Valencia que en la de Alicante, lo cual era de esperar teniendo en cuenta la granulometría del sedimento. Como comportamiento general se observa que la actividad sulfatorreduc-

tora en la zona de Valencia es máxima en invierno, mínima en primavera y en verano se produce un aumento que probablemente llega a cerrar el ciclo con el máximo invernal. Llama la atención el que no coincide con los ciclos de producción fitoplanctónica, pero hay que tener en cuenta que se trata de actividades en el sedimento y, por tanto, que hay un factor de distorsión en el tiempo por la velocidad de sedimentación de la materia orgánica que depende de la profundidad de la estación estudiada y de la eficacia de las corrientes en el transporte de las partículas orgánicas.

SAGUNTO	E1	E2	E3	E4
Invierno	1569	1089	509	1294
Primavera	59	67	489	46
Verano	—	1103	404	1545
VALENCIA	E5	E6	E7	E8
Invierno	1576	747	759	823
Primavera	2246	123	37	414
Verano	2339	137	1496	400
ALBUFERA	E9	E10	E11	E12
Invierno	1114	724	712	719
Primavera	1023	325	489	79
Verano	687	175	216	541
RÍO JÚCAR	E13	E14	E15	E16
Invierno	1032	606	1450	1098
Primavera	2399	597	—	201
Verano	1082	144	85	24
GANDÍA	E17	E18	E19	E20
Invierno	2439	1044	1229	1349
Primavera	1770	567	468	50
Verano	1603	622	399	1679

Fig. 2. Valores de la actividad sulfatorreductora en los sedimentos de la zona de Valencia, expresados en  $\mu\text{g}$  de S /g/día.

C. S. ANTONIO	E1	E2	E3	E4
Otoño	37	209	174	66
Primavera	—	235	555	48
Verano	839	1056	338	300
BENIDORM	E5	E6	E7	E8
Otoño	210	130	122	74
Primavera	610	407	395	574
Verano	—	793	1252	752
ALICANTE	E9	E10	E11	E12
Otoño	453	304	208	79
Primavera	—	196	327	239
Verano	837	743	353	651
TORREVIEJA	E13	E14	E15	E16
Otoño	92	196	170	229
Primavera	408	243	290	114
Verano	499	2256	25	125
MAR MENOR	E17	E18	E19	E20
Otoño	331	268	214	302
Primavera	—	919	606	134
Verano	1186	844	392	149
CARTAGENA	E21	E22	E23	E24
Otoño	162	153	216	117
Primavera	3	214	21	—
Verano	993	1282	189	198

Fig. 3. Valores de la actividad sulfatorreductora en los sedimentos de la zona de Alicante, expresados en  $\mu\text{gS/g/día}$ .



En la zona de Alicante esta estacionalidad no es tan marcada posiblemente debido que, al ser más fácil la difusión de oxígeno, el establecimiento de las condiciones anaerobias es más difícil y menos durable.

Es importante destacar que para el normal equilibrio de un ecosistema es indispensable la existencia de estas fases de recuperación en su ciclo anual ya que el mantenimiento constante de una actividad sulfatorreductora alta lleva consigo la degradación del sistema. El  $\text{SH}_2$  que se desprende, además de ser tóxico a determinadas concentraciones, mantiene las condiciones reductoras del ambiente de manera que las zonas sometidas constantemente a estas actividades acaban por degradarse totalmente eliminando la vida bentónica.

Del estudio de los resultados obtenidos, se observa que la única zona con peligro de degradación por la alta actividad sulfatorreductora durante todo el año sin síntomas de fases de recuperación es la zona costera que va desde Valencia a Gandía (Estaciones 5, 9, 13 y 17).

Se ha estudiado también la parte oxidativa del ciclo (sulfooxidación) protagonizada por los *Thiobacillus*. Se trata de una actividad eminentemente aerobia que utiliza como fuente de energía los sulfuros. Por tanto, aunque el ambiente óptimo sea muy distinto, se relaciona con la población sulfatorreductora que, en el sedimento, es su productor de energía. Así, en la zona de Valencia, encontramos que los máximos y mínimos de sulfooxidación concuerdan con los de sulfatorreducción excepto en las estaciones costeras más arriba citadas ya que las condiciones reductoras son tan exageradas que no permiten la vida aerobia.

### Agua

Desde la primera campaña realizada en la zona de Valencia se detectaron actividades sulfatorreductoras relativamente altas en el agua sobre todo si se tiene en cuenta que se trataba de muestras de agua con un contenido en oxígeno disuelto que, en la mayoría de los casos, sobrepasaba el 100 %. En principio, el sulfato no funciona como aceptor de electrones en presencia de oxígeno, por tanto parecía absurdo encontrar actividades anaerobias en estas condiciones. El hecho de haberse realizado esta campaña en invierno, en condiciones de homoternia que indicaba una mezcla vertical importante, hizo que se interpretara esta actividad relacionándola con bacterias sulfatorreductoras propias del sedimento que habían sido arrastradas por la corriente ascendente. Esta población se encontraría inactiva debido a las altas concentraciones de oxígeno existentes en el agua, pero al reconstituirles sus condiciones óptimas en el medio de cultivo, manifestaban cierta actividad. En las siguientes campañas de primavera y verano con termoclinas muy bien establecidas si la interpretación que se le había dado al fenómeno fuera cierta, era evidente que no podía encontrarse actividad sulfatorreductora en el agua superficial debido a la desconexión que en estas circunstancias existe con el agua pro-

funda. La termoclina supone una barrera entre dos masas de agua de distinta densidad. La realidad de los análisis mostró que no solamente había actividad sulfatorreductora en el agua sino que ésta había aumentado en el transcurso del año.

Esto indicaba que había una población autóctona del agua, sin conexión ninguna con el sedimento, que tenía una actividad acorde con los factores ambientales. En la figura 4 se muestran algunos perfiles verticales de esta actividad escogidos entre los más representativos. Al intentar buscar una relación entre esta actividad y alguno de los parámetros estudiados se vio que aparecía un cierto paralelismo entre la distribución de productividad primaria y los acúmulos profundos de pigmentos que se han descrito principalmente en la región de Valencia. En la figura 5 se consignan algunos perfiles que muestran esta relación.

Fenómenos parecidos se detectaron durante las campañas de la zona de Alicante.

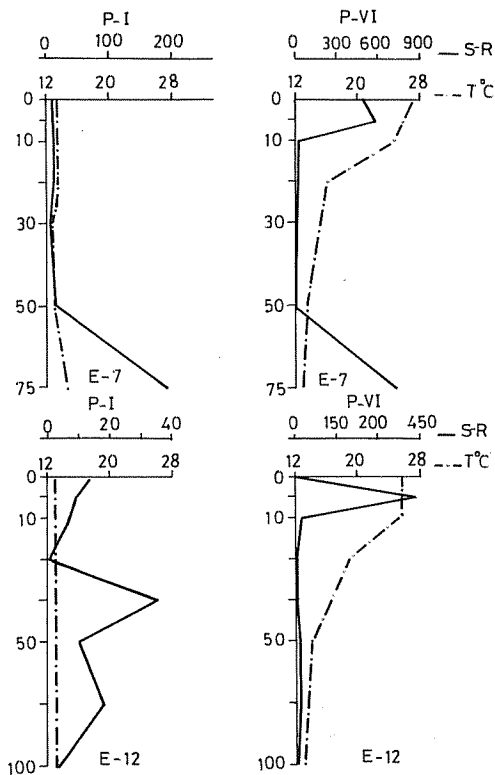


Fig. 4. Ejemplos de distribuciones verticales de actividad sulfatorreductora superpuestas al perfil de temperatura.

Para continuar el estudio de la actividad sulfatorreductora en el agua era necesario tener una hipótesis de trabajo que permitiera suponer que una actividad anaerobia podía tener lugar en el seno de un medio saturado de oxígeno. Este aparente contrasentido sólo podía existir suponiendo que la población sulfatorreductora estaba albergada en microclimas suspendidos en el agua que les protegieran de las altas concentraciones de oxígeno del ambiente exterior. En los sistemas que estamos estudiando esto sólo se podía cumplir con los agregados de materia orgánica detritica que a la vez pueden ofrecer alimento a la población y zonas resguardadas entre las concavidades de sus estructuras que permitan mantener bajas tensiones de oxígeno. Es por ello que la actividad sulfatorreductora se encuentra relacionada con la productividad primaria no por el funcionalismo de síntesis sino por el hecho de que son las zonas donde abunda el material particulado al igual que en los acúmulos profundos de pigmentos no funcionales.

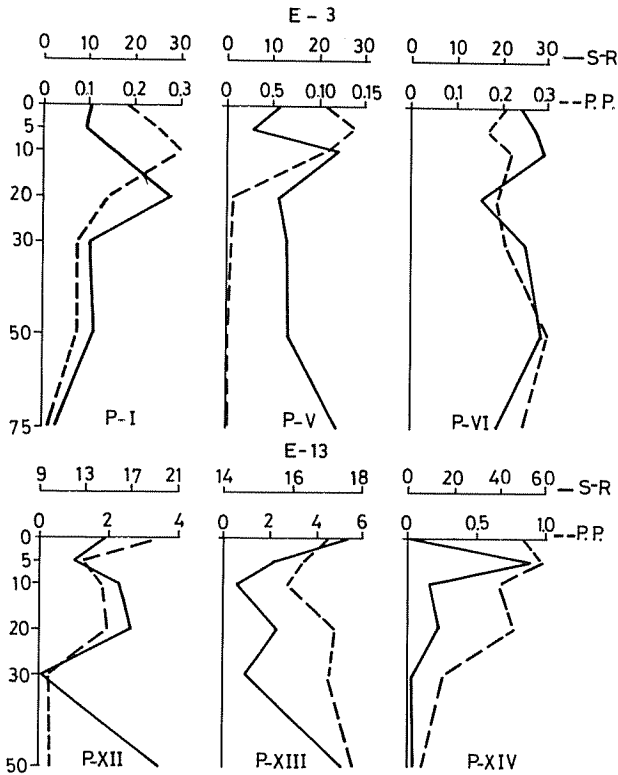


Fig. 5. Ejemplos de distribuciones verticales de actividad sulfatorreductora y productividad primaria.

En las campañas siguientes, además de seguir la metodología normal, se trataron las muestras con prefiltrados a través de mallas de distintos calibres (desde 20 a 50  $\mu$ ), con el fin de atrapar a los agregados. Con estos concentrados sobre mallas se hizo un doble tratamiento:

- a) Hacer preparaciones para el microscopio electrónico de barrido.
- b) Incubarlos en el medio de cultivo específico de sulfatorreducción y hacer una determinación de actividad.

Ambos resultados fueron positivos. En las fotografías de la figura 6 se observa que los agregados de materia orgánica aparecen colonizados por

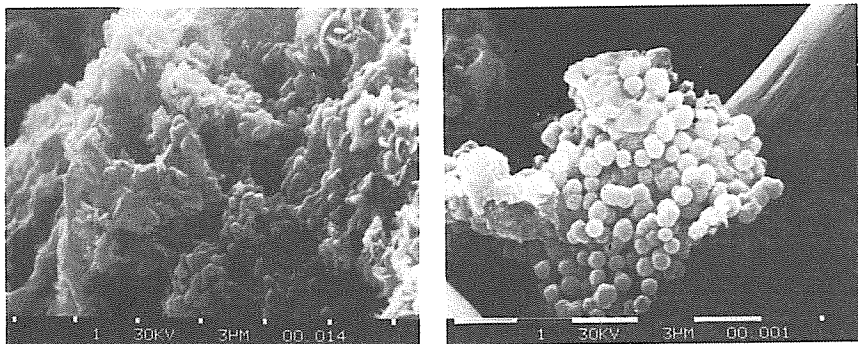


Fig. 6a. Imágenes al microscopio electrónico de agregados que aparecen colonizados por bacterias cuando finaliza el período de incubación.

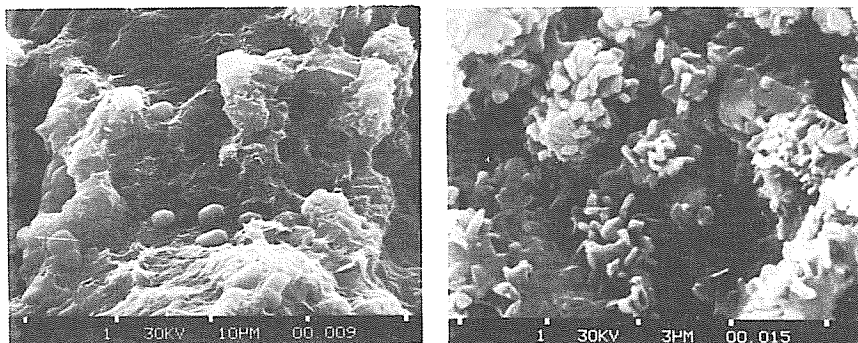


Fig. 6b. Imagen al microscopio electrónico que muestra la estructura en cavidades de un agregado. Las formas poliédricas corresponden a cristales.

Fig. 6c. Agregado obtenido por filtración que muestra una fuerte colonización bacteriana en su estado natural.

bacterias en su estado natural. Las actividades medidas después del cultivo de las distintas mallas, permitieron constatar que se trataba de poblaciones sulfatorreductoras. Las amplitudes de malla que manifestaron una mayor actividad fueron las de 30 y 40  $\mu$  con lo que queda definido el tamaño de los agregados que, con mayor frecuencia, albergan a este tipo de población.

Actualmente se está procediendo a completar este estudio con el aislamiento de las cepas puras responsables de esta acción, para su identificación e investigación de su metabolismo y fisiología en cultivos de laboratorio.

Creemos que el conocimiento de los mecanismos por los que se produce sulfatorreducción en el agua es importante, ya que nos lleva a considerar al sulfato como un competidor del oxígeno, en su función de aceptor de electrones, durante los procesos de remineralización de la materia orgánica. Esto hace pensar que un sistema natural que comporte este tipo de poblaciones alojados en microclimas particulares, es más eficaz.

En cuanto a la distribución general de esta actividad en el agua se observa que en la plataforma de la zona valenciana, que es ancha y de pendiente suave, se encuentra una sulfatorreducción alta principalmente en las estaciones costeras y en las correspondientes a la radial situada al Sur de Valencia que durante todo el año no muestran síntomas de descenso. Este comportamiento debe relacionarse con los aportes de materiales orgánicos que llegan desde tierra y desde la ciudad de Valencia que bajo la influencia de la corriente general de la zona se dirigen hacia el Sur.

En la zona de Alicante, con una plataforma continental más estrecha, las estaciones estudiadas, que de forma general alcanzaban hasta los 100 m de profundidad, se localizan más cerca de la costa. Aquí, la actividad sulfatorreductora es más alta que en la zona de Valencia y permanece durante las tres épocas del año muestreadas. En cambio, en la zona comprendida entre C. de Gata y Tarifa la actividad decae vertiginosamente durante invierno y primavera y sólo aparece en la campaña realizada a finales de verano. Este aumento es general, pero la máxima incidencia se encuentra en las estaciones cercanas a la costa (particularmente en las radiales frente a Adra y Motril) y en las estaciones de 200 m de profundidad del Estrecho de Gibraltar.

Es difícil poder establecer términos de comparación entre las zonas de Valencia-Alicante y la del mar de Alborán ya que en esta última hay una dinámica particular cuya característica más sobresaliente es la influencia atlántica.

La actividad sulfooxidante del agua aparece máxima en invierno de forma general. Téngase en cuenta que su fuente de energía es el sulfuro y que éste, además de producirse por respiración del sulfato, se ori-

gina por la liberación de los grupos sulfhidrilos de algunos aminoácidos (cistina y cisteína) y de ácidos orgánicos. Lógicamente, pues, la actividad de *Thiobacillus* va ligada, en el tiempo, a las épocas de mineralización de la materia orgánica.

## BIBLIOGRAFÍA

- BALLESTER, A.; CASTELLVÍ, J.; PLANA, A.; RENZI, M., y CRUZADO, A., 1966. Análisis de la actividad sulfatorreductora en bacterias marinas y su significación geológica. Boletín del Instituto de Estudios Asturianos, n.º 12.
- CAPPEMBERG, TH. E., 1975. A study of mixed continuous cultures of sulphate-reducing and methane-producing bacteria. *Microbial Ecology*. 2: 60-72.
- CARON, D. A.; DAVIS, P. G.; MANDIN, P. L.; SIEBURTH, J. McN., 1982. Heterotrophic bacteria and bacterivorous protozoans in oceanic macroaggregates. *Science*. 218: 795-797.
- CASTELLVÍ, J., 1975. Procesos autotróficos y heterotróficos debidos a la actividad de bacterias marinas. *Investigación Pesquera*. 39 (1): 119-144.
- CASTELLVÍ, J., 1979. Considerations sur la flore bacterienne sulfato-reductrice dans les eaux et sédiments marins. *Rap. Proc. Verb. CIESM*. 25/26 6.
- CASTELLVÍ, J., y BALLESTER, A., 1974. Activité hétérotrophique bactérienne en rapport avec les conditions hydrologiques des systèmes marins. *Tethys*. 6: 189-202.
- CASTELLVÍ, J.; AMENGUAL, P., y CANO, M., 1981. Aspectos microbiológicos del estudio oceanográfico de la Plataforma Continental. IV. Ciclo del azufre. *Investigación Pesquera*. 45 (2): 415-432.
- CASTELLVÍ, J., y AMENGUAL, P., 1982. Activité Sulfatorreductrice liée aux particules de matière organique. *Rap. Proc. Ver. CIESM* (en prensa).
- CASTELLVÍ, J., y FERNÁNDEZ, E., 1978. Estudio microbiológico de la Fosa de Cariaco (Venezuela). *Bol. Inst. Ocean. Univ. Oriente* 17: (1-2), 9-29.
- HOWARTH, R. W., 1977. A rapid and precise method for determining sulfate in seawater, estuarine waters, and sediment core waters. *Limnology and Oceanography*. 23: 1066-1069.
- KEITH, S. M.; HERBERT, R. A., and HARFOOT, C. G., 1981. Isolation of new types of sulphate-reducing bacteria from estuarine and marina sediments using chemostat enrichments. *Journal of Applied Bacteriology*. 53: 29-33.
- KRITZ, M. A., 1982. Exchange of sulfur between the free troposphere marina boundary layer, and the sea surface. *Journal of Geophysical Research*. 87: 8795-8803.
- LINLEY, E. A. S., and FIELD, J. G., 1981. The nature and ecological significance of bacterial aggregation in a nearshore upwelling ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 14: I-II.
- POSGATE, J. R., 1979. The sulphate-reducing bacteria. *Cambridge University Press*.
- RAMM, A. E., and BELLA, D. A., 1974. Sulfide production in anaerobic microcosms. *Limnology and Oceanography*. 19: 110-112.
- RILEY, G. A., 1963. Organic aggregates in seawaters, and the dynamics of their formation and utilization. *Limnology and Oceanography*. 8: 372-381.
- SORENSEN, J.; JORGENSEN, B. B., and REVSBECH, N. P., 1979. A comparison of oxygen, nitrate and sulfate respiration in coastal marine sediments. *Microbial Ecology*. 5: 105-116.
- SOROKIN, Y. I., and KADOTA, H., 1972. Microbial production and descinoisutuib ub fresh waters, *International Biological Programme. Blackwell Scientific Publications*.

# Nitrificación autótrofa y heterótrofa en la plataforma continental del Mediterráneo español

por

JOSEFINA CASTELLVÍ \*

\* Instituto de Investigaciones Pesqueras. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Paseo Nacional, s/n. Barcelona-3.

## SUMARY

For three years we have been studying the nitrification process by autotrophic and heterotrophic paths in 68 stations placed on the Mediterranean spanish continental shelf. In general we have observed that the autotrophic path is dominant over the heterotrophic one, but during spring and summer in the zones of Valencia, and in summer at the Alboran Sea, we observed that heterotrophic oxidation of amonia is higher than autotrophic. By the momment, we describe the observed phenomenum, but at the actual state of the research, it is not possible to describe the factors who control that activity.

## INTRODUCCIÓN

El estudio del proceso de nitrificación, es básico para comprender y valorar la productividad del sistema marino. El  $\text{NO}_3^-$  es el compuesto de nitrógeno de menor nivel de energía interna y, por tanto, el más estable. El  $\text{NO}_3^-$  se acumula en las zonas oscuras donde la falta de energía luminosa no permite la fotosíntesis, o en zonas iluminadas que están sometidas a condiciones de temperatura no favorables para el desarrollo del fitoplancton.

En el desarrollo del ciclo del N, la nitrificación supone la culminación de la mineralización de la materia orgánica. El N, elemento esencial en la constitución de las proteínas, sigue una serie de transformaciones des-

pués de la muerte de los organismos, que le lleva a constituir el grupo  $\text{NH}_4^+$  de elevado poder energético, estado de máxima reducción del N. Esta energía acumulada (entalpía) es utilizada por las poblaciones bacterianas nitrificadoras dejando en último término al nitrato como producto residual.

Diversos autores han estudiado desde antiguo el proceso de nitrificación en el mar, Carlucci y Strickland (1968), Kalinenko (1948), Watson (1963, 1965), y todos ellos llegan a la conclusión que hay un fuerte contraste entre los bajos niveles de actividad bacteriana y las altas concentraciones de nitratos.

Desde 1972 nos ha preocupado este problema y se han hecho intentos preliminares en búsqueda de procesos de nitrificación por otras vías que no fueran las clásicas asociaciones de los autótrofos tipo *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*. En Castellví (1977) se discute ampliamente este tema.

Al plantear el estudio microbiológico del programa «Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental», se consideró la posibilidad de continuar el estudio iniciado en 1972 en las costas noroccidentales de África. Con esta idea se puso a punto una metodología que permitía hacer una valoración de la actividad potencial de la nitrificación clásica, por vía autótrofa y contrastarla con la que nosotros creíamos que podía existir por vía heterótrofa. A lo largo de 9 campañas que se han realizado durante 3 años en la plataforma continental española del Mediterráneo, se han recogido numerosos datos que permiten disponer de un material valioso para el estudio de este fenómeno.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología empleada ha sido común para todos los grupos fisiológicos estudiados (Castellví et al. 1981 c y 1981 d) y se basa en la concentración de las poblaciones bacterianas existentes en un gran volumen de muestra (250 ml) sobre membranas estériles de acetato de celulosa con poros de  $0,45 \mu$  de diámetro. Estos filtros se incuban durante 18 días a  $28^\circ \text{C}$  en los siguientes medios de cultivo:

### *Nitrificación autótrofa*

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . . . . .	0,14 g
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . . . . .	0,03 g
$\text{KH}_2\text{PO}_4$ . . . . .	0,13
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . . . . .	0,66 g
Agua de mar 75 % . . . . .	1.000 ml
pH 7,0 — 7,5	
Añadir $\text{CO}_2/\text{Ca}$	



*Nitrificación heterótrofa*

Citrato sódico . . . . .	1	g
SO <sub>4</sub> (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> . . . . .	0,5	g
Cl <sub>2</sub> Ca . . . . .	0,05	g
Agua de mar 75 ‰ . . . . .	1.000	ml
pH 7,0 — 7,5		

Dado que las muestras se trataban inmediatamente después de ser obtenidas, todo el proceso se realizó a bordo del barco oceanográfico. No obstante, la lectura de actividad no era posible hacerla inmediatamente por dos razones:

- a) Junto a la nitrificación se han determinado otros grupos fisiológicos (Castellví, 1981 a) hasta un total de 8, de manera que el pequeño espacio de un laboratorio de barco, el escaso personal embarcado y la gran cantidad de muestras no hacían viable el disponer de una instalación adecuada para todos los análisis.
- b) El período, relativamente largo, de 18 días de incubación, hacía que las campañas finalizasen antes que las muestras estuvieran disponibles para su análisis.

Durante el período de puesta a punto del método se hicieron numerosos ensayos de fijación de las muestras después del tiempo de incubación llegándose a la conclusión de que congelando a  $-20^{\circ}$  C no se producía alteración ninguna de la muestra siempre que se tuviera la precaución de efectuar el análisis inmediatamente después de la descongelación.

Aunque la verdadera actividad de la muestra hubiera debido valorarse por la determinación de las cantidades de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> + NO<sub>3</sub><sup>-</sup> formadas durante el período de incubación, en esta exploración de actividad en la plataforma continental, sólo se ha determinado el NO<sub>2</sub><sup>-</sup> por el método de Gries. Esta actividad se ha expresado en  $\mu$ at N-N<sub>2</sub>/1/día.

En la figura 1 se muestra la localización de las estaciones estudiadas que han sido 68 en total, muestreándose en las campañas y épocas del año que a continuación se señalan.

— Zona de Sagunto a Cabo San Antonio:

Plataforma I (Febrero/1980)  
 Plataforma V (Junio/1980)  
 Plataforma VI (Agosto/1980)

— Zona de Cabo San Antonio a Cabo Tiñoso:

Plataforma VIII (Abril/1981)  
 Plataforma X (Julio/1981)  
 Plataforma XI (Octubre/1981)

— Zona de Cabo de Gata a Tarifa:

Plataforma XII (Enero/1982)

Plataforma XIII (Abril/1982)

Plataforma XIV (Septiembre/1982)

## DISCUSIÓN

El estudio conjunto de los resultados obtenidos desde Sagunto a Tarifa (Cuadro I), permite describir situaciones y comportamientos diversos.

En la zona de Valencia (desde Sagunto a Cabo San Antonio) se observa una actividad nitrificadora autótrofa que va creciendo desde invierno a primavera y verano (Castellví, 1983) pero la característica principal es que siempre se encuentran valores muy bajos alrededor de  $1 \mu\text{at N-NO}_2/1/\text{día}$ . La actividad heterótrofa también es muy baja y se mantiene prácticamente con los mismos valores a lo largo de las tres épocas del año. Esto hace que, en valores medios de todos los niveles de cada estación, se hallen momentos en que la actividad heterótrofa supere la autótrofa sobre todo en las épocas de invierno y primavera.

En la zona de Alicante (desde Cabo San Antonio a Cabo Tiñoso) que por los estudios de nutrientes y productividad primaria, se puede considerar una zona mucho más rica que la anterior, se encuentran valores de nitrificación autótrofa mucho más elevados sobre todo en primavera y verano. Se han llegado a encontrar valores medios de hasta  $12 \mu\text{at N-NO}_2/1/\text{día}$  en estaciones de 50 y 75 m de profundidad lo cual permite descartar las influencias eutroficantes por aportes terrestres de materia orgánica.

En contraste con estos valores, la actividad nitrificante por vía heterótrofa está muy deprimida manteniéndose en el orden de valores hallados en la zona de Valencia lo cual hace que en valores relativos a la autótrofa, todavía deba considerarse como menor.

En la zona de Alborán (desde Cabo de Gata a Tarifa) la situación que se encuentra es muy distinta. En primer lugar la actividad autótrofa ya es muy alta en invierno (campaña Plataforma XIII) con valores medios alrededor de los  $9 \mu\text{at N-NO}_2/1/\text{día}$  pero con máximos puntuales de hasta  $19 \mu\text{at N-NO}_2/1/\text{día}$ . En esta época la vía heterótrofa se mantiene con actividades muy moderadas que oscilan, en valores medios, entre 0,5 y  $1,5 \mu\text{at N-NO}_2/1/\text{día}$ . En primavera continúa esta actividad baja, pero ya se encuentra una estación (21 de la campaña Plataforma XIII) cuyo valor medio es mayor que la nitrificación autótrofa. En verano, con valores de autotrofismo más moderados, el 30 % de las estaciones manifiestan una predominancia de la actividad heterótrofa sobre la autótrofa pero, lo que nos parece importante, con valores muy elevados de nitrificación heterótrofa ( $8 \mu\text{at N-NO}_2/1/\text{día}$ ) lo cual no hace comparable esta situación con la descrita en la zona de Valencia.

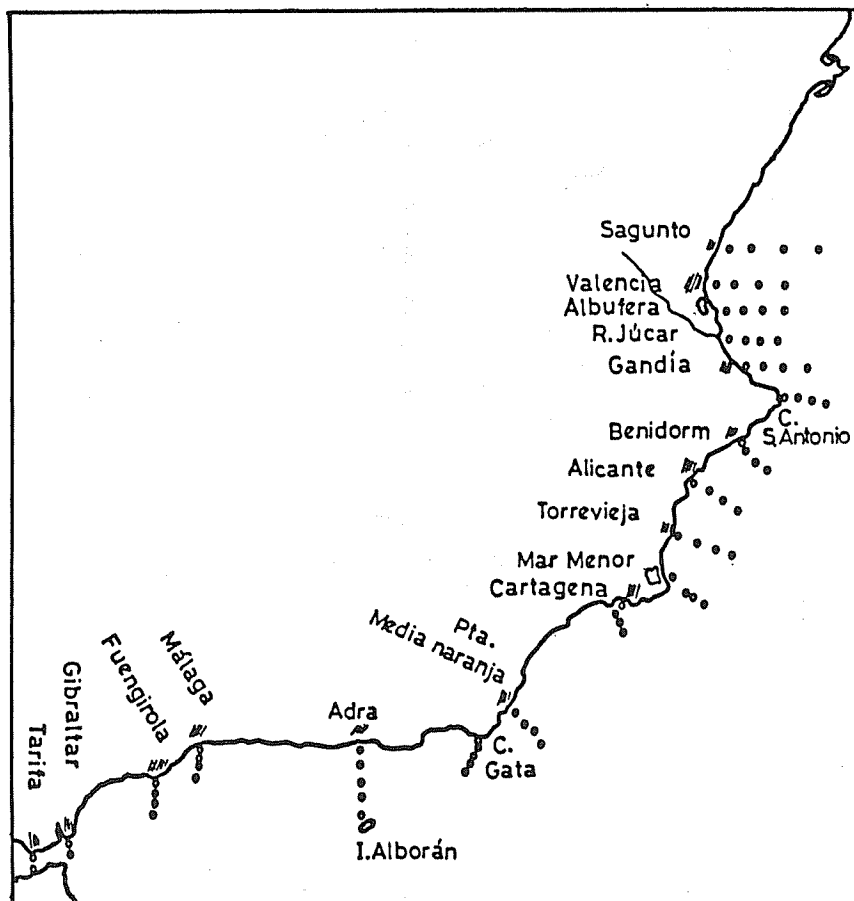


Fig. 1. Situación de las 68 estaciones estudiadas.

## Plataforma I Febrero / Marzo 1980

Est	Prof	Nita	Nith	Est	Prof	Nita	Nith	Est	Prof	Nita	Nith
Est 1	0	0.27	1.52	Est 8	0	0.11	0.21	Est 15	0	0.07	0.20
	5	0.09	1.89		5	0.19	0.31		5	0.10	0.26
	10	0.09	1.04		10	0.07	0.26		10	0.11	0.15
					20	0.10	0.43		20	0.09	1.28
Est 2	0	0.10	0.16		30	0.10	0.15		30	0.06	0.53
	5	0.13	0.49		50	0.09	0.56		50	0.10	0.60
	10	0.22	0.14		75	0.05	0.18		75	1.16	0.55
	20	0.07	0.94		100	0.10	0.27				
	30	0.15	0.93	Est 9	0	0.06	1.86	Est 16	0	0.15	0.15
	50	0.38	1.01		5	0.05	1.56		5	0.06	0.34
					10	0.10	2.00		10	0.06	0.60
Est 3	0	0.05	0.09						20	0.10	0.00
	5	0.05	0.12	Est 10	0	0.02	0.53		30	0.06	0.22
	10	0.09	0.10		5	0.31	0.17		50	0.11	0.91
	20	0.05	0.05		10	0.30	0.23		75	0.08	0.15
	30	0.08	0.46		20	0.46	0.47	Est 17	0	0.50	1.38
	50	0.09	0.15		30	0.10	0.26		5	0.25	0.87
	75	0.09	0.29		50	0.05	1.08		10	0.26	0.72
Est 4	0	0.02	0.01	Est 11	0	0.10	0.25	Est 18	0	0.14	0.15
	5	0.07	0.07		5	0.05	0.74		5	0.14	1.15
	10	0.09	0.02		10	0.11	0.36		10	0.22	0.65
	20	0.05	0.09		20	0.12	0.29		20	0.24	1.83
	30	0.03	0.05		30	0.10	0.19		30	0.10	0.68
	50	0.04	0.07		50	0.13	0.20		50	0.32	0.62
	75	0.03	0.02		75	0.02	0.28				
	100	0.02	0.01								
Est 5	0	0.09	0.63	Est 12	0	0.14	0.21	Est 19	0	0.15	0.32
	5	0.10	0.85		5	0.16	0.69		5	0.11	0.94
	10	0.15	0.86		10	0.10	0.12		10	0.14	0.22
					20	0.11	0.39		20	0.12	0.91
					30	0.14	0.31		30	0.16	0.29
Est 6	0	0.09	0.26		50	0.08	0.10		50	0.13	0.22
	5	0.14	1.29		75	0.11	0.51		75	0.26	0.05
	10	0.13	0.21		100	0.10	1.83				
	20	0.07	0.50					Est 20	0	0.09	0.33
	30	0.14	0.62	Est 13	0	0.23	0.14		5	0.08	0.33
	50	0.13	0.97		5	0.44	1.81		10	0.19	0.05
					10		0.81		20	0.07	0.36
Est 7	0	0.14	0.10						30	0.11	0.65
	5	0.09	0.48	Est 14	0	0.09	0.97		50	0.07	0.27
	10	0.12	0.85		5	0.11	1.86		75	0.09	0.65
	20	0.12	1.66		10	0.12	0.96		100	0.07	0.52
	30	0.10	0.44		20	0.13	0.75				
	50	0.48	0.26		30	0.09	0.76				
	75	0.79	0.99		50	0.12	1.88				

Cuadro I. Listado de los valores de nitrificación autótrofa y heterótrofa.

## Plataforma V Mayo / Junio 1980

Est 1 Prof	Nita	Nith	Est 8 Prof	Nita	Nith	Est 15 Prof	Nita	Nith
0	0.07	1.63	0	4.87	2.05	0	2.50	1.32
5	0.29	1.13	5	0.00	1.87	5	1.91	0.48
10	3.55	1.91	10	1.38	1.38	10	0.46	1.33
			20	0.13	1.69	20	0.26	2.07
Est 2 Prof	Nita	Nith	30	0.99	0.69	30	0.66	0.50
0	2.37	1.13	50	1.15	1.25	50	1.55	0.33
5	2.60	2.00	75	4.21	2.10	75	0.58	0.48
10	0.00	0.79	100	0.13	2.07			
20	0.31	2.10				Est 16 Prof	Nita	Nith
30	0.44	1.64	Est 9 Prof	Nita	Nith	0	0.18	1.22
50	0.59	1.15	0	0.40	0.30	5	0.59	1.74
			5	8.16	0.27	10	1.91	1.32
Est 3 Prof	Nita	Nith	10	0.20	0.33	20	3.35	1.38
0	1.09	1.37				30	0.33	0.92
5	2.99	1.05	Est 10 Prof	Nita	Nith	50	0.99	1.06
10	0.64	1.45	0	1.05	0.09	75	0.66	0.46
20	0.33	1.09	5	2.73	0.36	100	0.30	0.50
30	0.36	1.45	10	0.39	0.33			
50	1.35	1.83	20	2.24	0.18	Est 17 Prof	Nita	Nith
75	2.30	1.31	30	0.30	0.43	0	0.39	0.81
			50	1.02	0.31	5	0.14	0.96
Est 4 Prof	Nita	Nith				10	3.88	0.56
0	1.64	1.61	Est 11 Prof	Nita	Nith			
5	1.48	1.05	0	0.00	0.25	Est 18 Prof	Nita	Nith
10	7.17	0.82	5	4.37	0.46	0	3.16	0.43
20	9.47	2.11	10	1.10	0.28	5	2.01	0.69
30	2.66	1.45	20	0.00	0.33	10	0.14	0.94
50	2.73	1.73	30	0.32	0.35	20	0.89	1.78
75	0.89	1.48	50	0.95	0.36	30	0.72	0.72
100	5.52	1.51	75	0.92	0.28	50	9.80	1.12
Est 5 Prof	Nita	Nith	Est 12 Prof	Nita	Nith	Est 19 Prof	Nita	Nith
0	0.24	1.02	0	0.23	0.30	0	2.04	0.41
5	0.85	0.78	5	1.63	0.25	5	1.05	0.79
10	2.33	0.46	10	0.77	0.14	10	0.07	0.92
			20	2.43	0.15	20	2.24	0.76
Est 6 Prof	Nita	Nith	30	0.99	1.12	30	0.26	1.36
0	2.47	0.76	50	0.35	0.26	50	1.38	1.97
5	1.12	1.94	75	0.69	0.46	75	0.56	1.32
10	0.23	0.84	100	1.41	0.20			
20	0.15	0.89				Est 20 Prof	Nita	Nith
30	0.72	0.73	Est 13 Prof	Nita	Nith	0	2.56	0.62
50	0.15	2.02	0	0.41	1.17	5	1.87	1.79
			5	0.15	1.19	10	0.48	0.75
Est 7 Prof	Nita	Nith	10	0.49	0.36	20	0.07	1.74
0	0.00	1.15				30	0.20	1.25
5	3.06	1.51	Est 14 Prof	Nita	Nith	50	0.72	0.82
10	1.78	1.68	0	0.26	1.37	75	0.23	0.81
20	0.46	1.64	5	3.63	1.68	100	0.82	0.59
30	4.87	1.71	10	2.24	0.89			
50	2.60	1.22	20	2.47	0.72			
75	0.00	1.38	30	0.53	1.28			
			50	0.36	0.69			

Cuadro I. Continuación.

## Plataforma VI Agosto 1980

Est 1	Prof	Nita	Nith	Est 8	Prof	Nita	Nith	Est 15	Prof	Nita	Nith
	0	0 00	1 19		0	0 43	1 27		0	1 42	1 19
	5	0 64	1 24		5	11 54	1 01		5	5 47	1 68
	10	1 21	1 54		10	0 64	1 19		10	8 65	0 98
					20	1 71	1 07		20	0 40	1 27
Est 2	Prof	Nita	Nith		30	0 81	1 21		30	1 50	1 71
	0	0 38	1 39		50	0 72	1 33		50	1 73	1 56
	5	0 06	1 01		75	2 86	1 04		75	3 44	1 07
	10	0 17	1 39								
	20	7 49	1 50	Est 9	Prof	Nita	Nith	Est 16	Prof	Nita	Nith
	30	2 05	1 50		0	0 81	0 95		0	7 06	0 78
	50	2 02	1 21		5	8 50	1 04		5	8 94	1 13
					10	0 40	0 72		10	11 54	1 10
Est 3	Prof	Nita	Nith						20	2 57	0 98
	0	5 47	1 21	Est 10	Prof	Nita	Nith		30	1 42	0 81
	5	0 17	1 53		0	4 60	1 21		50	1 42	1 19
	10	2 81	1 50		5	7 06	1 27		75	3 21	1 13
	20	0 84	1 16		10	1 04	1 16		100	2 86	1 01
	30	2 28	1 53		20	0 58	0 81				
	50	5 03	1 45		30	0 72	1 36	Est 17	Prof	Nita	Nith
	75	3 15	1 21		50	1 13	1 07		0	0 00	1 30
									5	2 05	1 65
Est 4	Prof	Nita	Nith	Est 11	Prof	Nita	Nith		10	1 10	1 21
	0	0 09	1 07		0	1 62	1 24				
	5	2 00	1 65		5	14 72	1 07	Est 18	Prof	Nita	Nith
	10	0 00	1 73		10	0 64	1 19		0	1 76	1 33
	20	8 94	1 42		20	1 24	1 19		5	0 00	1 33
	30	0 61	1 76		30	1 56	1 30		10	2 31	1 36
	50	0 00	1 36		50	0 38	2 89		20	2 05	1 53
	75	2 86	1 24		75	1 94	0 33		30	0 00	1 27
	100	0 00	1 16						50	8 07	1 36
Est 5	Prof	Nita	Nith	Est 12	Prof	Nita	Nith	Est 19	Prof	Nita	Nith
	0	0 52	2 05		0	7 06	1 27		0	2 89	1 19
	5	5 99	0 95		5	5 76	0 78		5	0 00	1 47
	10	0 49	1 04		10	6 91	0 98		10	2 86	1 53
					20	3 50	1 21		20	0 64	1 74
Est 6	Prof	Nita	Nith		30	0 58	1 01		30	0 23	1 55
	0	0 40	2 37		50	2 26	1 01		50	1 73	1 30
	5	0 72	1 04		75	1 47	0 78		75	0 00	1 45
	10	4 31	1 27		100	3 15	0 87				
	20	3 73	1 39	Est 13	Prof	Nita	Nith	Est 20	Prof	Nita	Nith
	30	0 40	1 79		0	3 38	1 82		0	6 91	1 30
	50	1 42	0 87		5	0 32	2 11		5	3 41	1 33
					10	1 76	1 30		10	0 00	1 42
Est 7	Prof	Nita	Nith						20	0 00	1 50
	0	0 55	1 07	Est 14	Prof	Nita	Nith		30	0 23	1 39
	5	5 73	0 81		0	0 26	1 21		50	0 00	1 25
	10	0 49	0 95		5	9 49	1 53		75	0 00	1 88
	20	0 17	1 36		10	1 85	1 73		100	3 09	1 94
	30	0 58	1 45		20	0 66	0 00				
	50	1 71	1 21		30	0 52	1 07				
	75	5 90	0 98		50	0 00	1 19				
	100	0 00	1 07								

Cuadro I. Continuación.

## Plataforma VIII Abril 1981

Est	Prof	Nita	Nith	Est	Prof	Nita	Nith
Est 1	0	3.14	0.21	Est 8	0	6.49	0.30
	5	6.55	0.10		5	8.74	0.28
	10	5.32	0.12		10	4.96	0.27
					20	8.74	0.21
Est 2	0	3.95	0.31	30	8.41	0.27	
	5	0.99	0.27	50	9.40	0.26	
	10	0.84	0.30	75	7.22	0.18	
	20	5.53	0.24	100	9.07	0.17	
	30		0.20				
	50	5.59					
Est 3	0	2.32	0.23	Est 9	0	0.40	0.18
	5	4.67	0.34		5	6.19	0.11
	10	0.20	0.12		10	5.36	0.15
	20	1.82	0.25	Est 10	0	8.54	0.19
30	2.52	0.15	5		2.21	0.27	
50	0.00	0.12	10		3.50	0.18	
75	1.85	0.08	20		2.34	0.26	
			30		6.45	0.22	
Est 4	0	7.95	0.05	50	2.62	0.28	
	5	9.71	0.15	Est 11	0	8.44	0.22
	10	4.38	0.28		5		0.21
	20	4.49	0.14		10	4.08	0.31
	30	1.69	0.30		20	2.80	0.31
	50	3.44	0.11		30	4.35	0.25
	75	0.98	0.32		50	3.81	0.13
100	3.56	0.06	75		4.78	0.16	
Est 5	0	6.39	0.26	Est 12	0	8.08	0.14
	5	7.81	0.22		5	3.77	0.28
	10	2.61	0.26		10	3.18	0.25
Est 6	0	9.73	0.25		20	2.32	0.17
	5	7.88	0.22		30	3.94	0.21
	10	1.26	0.21		50	4.50	0.18
	20	10.08	0.24	75	3.77	0.18	
	30	10.72	0.18	100	4.10	0.22	
50	9.80	0.21	Est 13	0	8.08	0.19	
Est 7	0	7.15		0.32	5	8.27	0.28
	5	7.41		0.17	10	6.69	0.15
	10	7.35	0.27	Est 14	0	5.73	0.27
	20	11.72	0.25		5	0.49	0.25
	30	7.22	0.22		10	1.17	0.23
	50	7.02	0.23		20	2.38	0.27
75	8.44	0.11	30		3.38		
			50		5.86	0.33	

Cuadro I. Continuación.

Est 15	Prof	Nita	Nith	Est 22	Prof	Nita	Nith
	0	5.49			0	3.28	0.26
	5	4.97	0.25		5	3.11	0.20
	10	4.04	0.32		10	2.71	0.20
	20	7.41	0.43		20	3.94	0.35
	30	6.49			30	6.92	0.18
	50	6.26			50	2.22	0.35
	75	9.73					
Est 16	Prof	Nita	Nith	Est 23	Prof	Nita	Nith
	0	4.77	0.23		0	3.08	0.22
	5	3.77	0.30		5	6.98	0.31
	10	3.91	0.33		10	5.92	0.27
	20	4.91	0.24		20	4.27	0.34
	30	2.48	0.21		30	4.73	0.31
	50	2.39	0.35	50	3.21	0.26	
	75	1.79	0.28	75	5.83	0.35	
100	3.38	0.19					
Est 17	Prof	Nita	Nith	Est 24	Prof	Nita	Nith
	0	1.07	0.33		0	2.45	0.20
	5	0.55	0.32		5	2.91	0.23
	10	1.09	0.28		10	1.92	0.19
			20		1.79	0.28	
			30		2.25	0.40	
Est 18	Prof	Nita	Nith	50	7.12	0.25	
	0	3.39	0.22	75	2.83	0.31	
	5	2.61	0.28	100	4.17	0.40	
	10	0.66	0.38				
	20	4.87	0.21				
	30	3.51	0.16				
50	2.27	0.20					
Est 19	Prof	Nita	Nith				
	0	1.01	0.24				
	5	3.16	0.21				
	10	2.20	0.18				
	20	2.04	0.21				
	30	4.27	0.22				
	50	3.03	0.28				
75	3.58	0.21					
Est 20	Prof	Nita	Nith				
	0	3.18	0.17				
	5	4.17	0.27				
	10	3.69	0.20				
	20	3.79	0.23				
	30	2.68	0.51				
	50	2.74	0.12				
	75	1.26	0.22				
100	9.23						
Est 21	Prof	Nita	Nith				
	0	6.45	0.11				
	5	2.19	0.33				
	10	1.69	0.38				

Cuadro I. Continuación.



## Plataforma X Junio / Julio 1981

Est	Prof	Nita	Nith	Est	Prof	Nita	Nith
Est 1	0	0.24	0.19	Est 8	0	0.45	0.10
	5	1.69	0.06		5	0.38	0.06
	10	0.42	0.19		10	0.39	0.06
Est 2	0	1.46	0.12	20	0.64	0.05	
	5	0.99	0.14	30	0.64	0.09	
	10	0.56	0.05	50	2.56	0.06	
	20	0.55	0.04	75	0.38	0.09	
	30	0.53	0.08	100	0.50	0.00	
	50	0.53	0.06				
Est 3	0	0.53	0.18	Est 9	0	1.18	0.12
	5	1.09	0.19		5	0.31	0.15
	10	0.62	0.19		10	0.50	0.10
	20	0.66	0.13	Est 10	0	0.50	0.19
	30	0.77	0.19		5	0.56	0.19
	50	0.60	0.19		10	0.45	0.09
75	0.32	0.12	20	1.63	0.15		
Est 4	0	0.44	0.43	30	0.62	0.13	
	5	0.38	0.43	50	0.45	0.19	
	10	0.64	0.39	Est 11	0	0.58	0.04
	20	0.64	0.65		5	0.45	0.10
	30	0.43	0.31		10	1.36	0.15
	50	0.26	0.48	20	0.38	0.13	
	75	0.32	0.46	30	1.85	0.08	
100	0.34	0.43	50	0.77	0.06		
75	0.34	0.43	75	0.48	0.06		
Est 5	0	0.30	0.09	Est 12	0	0.48	0.07
	5	0.43	0.09		5	0.44	0.05
	10	0.43	0.07		10	0.43	0.09
Est 6	0	0.40	0.17		20	0.50	0.09
	5	0.48	0.11		30	0.53	0.08
	10	0.53	0.13		50	0.50	0.08
	20	0.88	0.05	75	0.80	0.10	
	30	0.53	0.12	100	0.91	0.07	
50	0.56	0.20					
Est 7	0	0.34	0.34	Est 13	0	1.22	0.13
	5	0.40	0.81		5	0.47	0.06
	10	0.57	0.30		10	0.51	0.12
	20	0.58	0.34	Est 14	0	0.83	0.06
	30	0.41	0.18		5	0.98	0.16
	50	1.85	0.39		10	1.01	0.14
75	5.95	0.25	20	0.62	0.14		
			30	1.26	0.09		
			50	1.40	0.15		

Cuadro I. Continuación.

Est 15	Prof	Nita	Nith	Est 22	Prof	Nita	Nith
	0	0.62	0.06		0	1.04	0.08
	5	0.71	0.07		5	0.44	0.12
	10	0.34	0.06		10	0.47	0.15
	20	0.97	0.07		20	0.47	0.12
	30	0.38	0.39		30	1.18	0.11
	50	0.56	0.21		50	0.45	0.07
75	0.41	0.04					
Est 16	Prof	Nita	Nith	Est 23	Prof	Nita	Nith
	0	0.33	0.27		0	0.46	0.07
	5	0.26	0.18		5	0.50	0.09
	10	0.27	0.42		10	0.46	0.06
	20	1.34	0.35		20	0.38	0.03
	30	0.44	0.15		30	0.47	0.10
	50	0.65	0.09		50	0.41	0.07
75	0.39	0.21	75	0.47	0.05		
100	0.46	0.20					
Est 17	Prof	Nita	Nith	Est 24	Prof	Nita	Nith
	0	0.44	0.12		0	0.95	0.09
	5	0.56	0.12		5	0.50	0.04
	10400.00	0.00	0.00		10	8.82	0.10
			20		0.26	0.10	
			30		1.69	0.09	
Est 18	Prof	Nita	Nith	50	0.21	0.10	
	0	1.23	1.06	75	3.00	0.09	
	5	1.97	0.31	100	0.22	0.11	
	10	0.74	0.33				
	20	0.38	0.33				
	30	1.29	0.38				
50	0.76	0.38					
Est 19	Prof	Nita	Nith				
	0	7.99	0.07				
	5	0.38	0.07				
	10	0.82	0.09				
	20	0.51	0.08				
	30	0.50	0.13				
	50	0.32	0.05				
75	1.38	0.03					
Est 20	Prof	Nita	Nith				
	0	2.62	0.13				
	5	2.20	0.11				
	10	0.38	0.19				
	20	0.88	0.06				
	30	2.38	0.16				
	50	0.69	0.21				
	75	0.91	0.12				
100	1.45	0.07					
Est 21	Prof	Nita	Nith				
	0	6.00	0.13				
	5	8.88	0.08				
10	0.47	0.11					

Cuadro I. Continuación.

## Plataforma XI Octubre 1981

Est	Prof	Nita	Nith	Est	Prof	Nita	Nith										
Est 1	0	1.57	0.13	Est 8	0	20.24	0.10										
	5	0.33	0.10		5	0.21	0.20										
	10	1.08	0.11		10	0.47	0.41										
Est 2	Prof	Nita	Nith	20	1.29	0.24	Est 9	Prof	Nita	Nith							
				30	1.93	0.32					0	3.90	0.06				
				0	0.49	0.05					5	1.53	0.08				
				5	1.10	0.02					10	0.43	0.12				
				10	3.88	0.00					Est 10	Prof	Nita	Nith			
				20	0.40	0.06									0	1.14	0.11
30	1.82	0.06	5	2.37	0.02												
Est 3	Prof	Nita	Nith	10	0.33	0.03	10	0.33	0.03								
				50	0.40	0.18	20	8.00	0.12								
				75	12.16	0.54	30	11.36	0.03								
				Est 4	Prof	Nita	Nith	50	0.42	0.11	Est 11	Prof	Nita	Nith			
								0	11.28	0.23					0	20.56	0.23
								5	1.11	0.10					5	2.75	0.13
10	12.24	0.05	10					1.41	0.06								
20	0.05	0.07	20					0.49	0.20								
30	7.94	0.08	30					6.96	0.16								
Est 5	Prof	Nita	Nith	50	10.35	0.09	Est 12	Prof	Nita	Nith							
				75	0.00	0.11					0	10.24	0.23				
				100	0.86	0.10					5	2.36	0.17				
Est 6	Prof	Nita	Nith	10	0.33	0.26	10	0.33	0.16								
				20	7.71	0.20	20	7.71	0.20								
				30	1.45	0.23	30	1.45	0.23								
				50	16.54	0.24	50	16.54	0.24								
				75	1.05	0.27	75	1.05	0.27								
				100	16.54	0.20	100	16.54	0.20								
Est 7	Prof	Nita	Nith	Est 13	Prof	Nita	Nith										
								0	0.00	0.04	0	4.57	0.07				
								5	0.47	0.15	5	10.00	0.27				
								10	4.16	0.17	10	10.61	0.29				
								20	1.35	0.24	Est 14	Prof	Nita	Nith			
								30	0.49	0.03					0	3.86	0.10
50	0.09	0.02	5	2.86	0.18												
75	0.38	0.01	10	0.35	0.08												
			20	16.16	0.12												
			30	0.00	0.03												
			50	0.93	0.21												

Cuadro I. Continuación.

Est 15	Prof	Nita	Nith	Est 22	Prof	Nita	Nith		
		0	12.88		0.14		0	8.59	0.13
		5	9.06		0.12		5	12.48	0.03
		10	12.37		0.11		10	12.16	0.18
		20	11.31		0.11		20	12.96	0.17
		30	11.79		0.09		30	12.12	0.08
	50	1.63	0.04		50	19.12	0.20		
	75	1.20	0.03						
Est 16	Prof	Nita	Nith	Est 23	Prof	Nita	Nith		
		0	1.82		0.16		0	8.26	0.12
		5	4.21		0.06		5	3.76	0.06
		10	9.14		0.13		10	9.92	0.09
		20	0.00		0.13		20	10.32	0.10
		30	6.80		0.11		30	6.00	0.08
	50	9.39	0.20		50	11.52	0.05		
	75	12.96	0.22		75	15.44	0.27		
	100	8.29	0.09						
Est 17	Prof	Nita	Nith	Est 24	Prof	Nita	Nith		
		0	13.36		0.21		0	4.50	0.02
		5	1.02		0.21		5	19.60	0.24
		10	12.42		0.11		10	5.49	0.02
Est 18	Prof	Nita	Nith		20	10.37	0.01		
		0	10.14	0.21		30	14.16	0.18	
		5	11.60	0.13		50	14.98	0.04	
		10	11.12	0.06		75	16.58	0.18	
		20	11.12	0.18		100	10.48	0.06	
		30	2.32	0.16					
	50	13.39	0.16						
Est 19	Prof	Nita	Nith						
		0	0.09	0.21					
		5	0.45	0.06					
		10	10.64	0.12					
		20	0.00	0.06					
		30	0.01	0.03					
	50	12.56	0.11						
	75	0.00	0.01						
Est 20	Prof	Nita	Nith						
		0	0.34	0.23					
		5	11.14	0.35					
		10	12.88	0.51					
		20	9.24	0.45					
		30	13.04	0.28					
		50	8.12	0.24					
	75	1.71	0.23						
	100	12.43	0.22						
Est 21	Prof	Nita	Nith						
		0	11.66	0.39					
		5	2.63	0.12					
		10	11.73	0.41					

Cuadro I. Continuación.

Plataforma XII Enero 1982											
Est 1	Prof	Nita	Nith	Est 7	Prof	Nita	Nith	Est 13	Prof	Nita	Nith
	0	1.19	0.93		0	6.64	1.29		0	5.76	0.27
	5	1.08	0.90		5	9.27	1.26		5	8.66	0.19
	10	1.16	0.94		10	4.65	1.50		10	1.11	0.26
Est 2	Prof	Nita	Nith		20	3.00	1.38		20	1.59	0.29
	0	2.66	1.70		30	2.64	1.55	Est 14	Prof	Nita	Nith
	5	3.00	1.75		50	3.76	1.77		30	11.19	0.32
	10	2.76	1.86		75	10.31	1.17		50	5.65	0.30
	20	2.92	1.90		100	5.37	1.14		0	2.28	1.62
	30	3.16			150	10.99	1.32		5	5.29	1.36
	50	12.21	2.02		200	14.05	1.22		10	2.16	1.70
Est 3	Prof	Nita	Nith	Est 9	Prof	Nita	Nith		20	3.20	1.96
	0	1.25			0	2.55	0.83		30	5.13	0.79
	5	1.71	1.21		5	14.03	0.65		50	1.39	1.16
	10	2.88	1.33		10	3.04	0.69		75	3.84	4.89
	20	1.13	1.33						100	2.68	1.50
	30	4.61	1.39	Est 10	Prof	Nita	Nith		150	4.53	1.68
	50	2.56	1.56		0	2.40	0.54		200	2.44	1.37
Est 4	Prof	Nita	Nith		5	3.52	0.43	Est 15	Prof	Nita	Nith
	0	5.29	1.33		10	4.77	0.58		0	19.51	0.19
	5	3.04	1.44		20	5.81	0.65		5	10.55	0.15
	10	3.24	1.61	Est 11	Prof	Nita	Nith		10	7.10	0.19
	20	3.64	0.90		0	2.31	0.26		20	4.89	0.15
	30	5.81	0.86		5	5.57	0.25	Est 16	Prof	Nita	Nith
	50	7.18	1.63		10	6.01	0.26		0	5.61	1.61
	75	1.73	1.25		20	6.90	0.06		5	10.23	1.02
	100	7.76	1.23		30	7.48	0.25		10	6.49	1.13
	150	1.57	0.76		50	5.37	0.30		20	4.57	1.62
200	2.57	1.16		75	2.92	0.33		30	13.04	0.93	
Est 5	Prof	Nita	Nith	Est 12	Prof	Nita	Nith		50	2.64	0.74
	0	1.27	1.05		0	5.17	1.36		75	5.61	1.70
	5	1.19	0.75		5	6.62	1.46		100	3.36	0.85
	10	11.80	0.85		10	5.05	1.29		150	3.16	0.61
Est 5 A	Prof	Nita	Nith		20	2.34	1.42		200	3.88	0.50
	0	2.12	1.43		30	8.42	1.39				
	5	2.72	1.40		50	4.33	1.29				
	10	2.54	1.54		75	5.21	1.53				
	20	2.44	1.71		100	7.77	1.62				
	30	6.37	1.67								
	50	3.00	1.37								
Est 6	Prof	Nita	Nith								
	0	5.29	1.32								
	5	1.88	1.48								
	10	3.16	1.56								
	20	5.01	1.58								
	30	5.37	1.60								
	50	3.16	1.36								
	75	5.01	1.61								
100	3.74	1.64									

Cuadro 1. Continuación.

## Plataforma XIII Abril 1982

Est 1	Prof	Nita	Nith	Est 7	Prof	Nita	Nith
	0	5.04	1.09		0	8.92	0.73
	5	8.39	0.85		5	10.34	0.48
	10	2.37	0.59		10	18.27	0.45
					20	2.29	0.86
Est 2	Prof	Nita	Nith		30	7.23	0.54
	0	3.12	0.51		50	4.41	0.50
	5	6.96	0.47		75	4.01	0.36
	10	6.66	0.58		100	3.88	0.35
	20	9.15	0.45		150	2.45	1.09
	30	2.32	0.62		200	3.96	0.47
	50	6.07	0.59		300	2.36	0.65
Est 3	Prof	Nita	Nith	Est 9	Prof	Nita	Nith
	0	3.85	0.68		0	1.43	0.26
	5	6.73	0.41		5	12.10	0.33
	10	2.62	0.48		10	14.62	0.67
	20	2.98	0.63	Est 10	Prof	Nita	Nith
	30	2.15	0.77		0	2.68	0.56
	50	1.89	0.61		5	3.00	0.42
	75	2.35			10	6.56	1.47
	100	4.09	0.84		20	5.70	0.59
Est 4	Prof	Nita	Nith		30	3.55	0.37
	0	6.13	0.44		50	3.78	0.45
	5	4.58	0.50	Est 11	Prof	Nita	Nith
	10	3.78	0.56		0	6.66	0.21
	20	2.72	0.51		5	7.10	0.18
	30	3.23	0.52		10	5.40	0.21
	50	4.81	0.58		20	8.82	0.22
	75	7.94	0.61		30	10.54	0.20
	100	9.38	0.45		50	9.48	0.20
Est 5	Prof	Nita	Nith		75	4.24	0.18
	0		0.88		100	7.46	0.45
	5	5.97	0.91	Est 12	Prof	Nita	Nith
	10	10.98	0.78		0	2.82	0.12
Est 5 A	Prof	Nita	Nith		5	3.10	0.08
	0	2.72	0.55		10	4.34	0.46
	5	8.52	0.55		20	7.16	0.21
	10	6.47			30	8.65	0.12
	20	3.32	0.48		50	10.51	0.20
	30	11.47	0.64		75	11.97	0.92
	50	6.86	0.65		100	1.89	0.22
Est 6	Prof	Nita	Nith		150	2.06	0.37
	0	5.17	0.70		200	8.92	0.19
	5	7.73		Est 13	Prof	Nita	Nith
	10	4.34	1.11		0	13.13	
	20	3.78			5	9.98	0.50
	30	9.45	0.84		10	14.62	1.13
	50	3.81	0.84		20	15.78	0.59
	75	5.60	0.84		30	23.08	0.42
	100	4.51	0.58		50	19.80	0.54
					75		
					100		

Cuadro I. Continuación.

Est 14	Prof	Nita	Nith	Est 20	Prof	Nita	Nith
	0	4.87	0.68		0	1.76	0.33
	5	10.73	0.68		5	6.37	0.22
	10	4.01			10	4.91	
	20	10.64			20	2.06	0.51
	30	8.90	1.53		30	6.70	2.00
	50	9.48	2.26		50	3.78	0.29
	75	1.02	1.21		75	4.11	0.40
	100	7.83	0.87		100	2.49	0.23
	150	9.35			150	9.48	0.27
	200	2.31			200	6.20	0.25
	300				250	8.15	0.91
					300	6.50	0.32
Est 15	Prof	Nita	Nith	350	1.48	0.60	
	0	7.00	1.56	400	1.46	0.54	
	5	6.57	1.62	450	7.66	0.55	
	10	8.79	0.82	500	3.02	0.58	
	20	8.19	1.84				
	30	8.19	2.07				
50	5.90	2.07					
Est 16	Prof	Nita	Nith	Est 21	Prof	Nita	Nith
	0	4.54	0.78		0	2.39	2.47
	5	8.54	1.08		5	2.16	2.07
	10	8.22	1.44	10	1.36	2.11	
	20	1.55	1.37	Est 22	Prof	Nita	Nith
	30	7.16	1.51		0	2.05	1.30
	50	5.84	1.88		5	1.81	0.79
	75	10.91	1.87		10	1.83	0.81
	100	5.50	1.63		20	6.17	0.94
	150	1.49	1.93	30	1.75	1.00	
200			50	1.56	0.91		
300							
Est 17	Prof	Nita	Nith	Est 23	Prof	Nita	Nith
	0	1.76	1.57		0	2.25	1.11
	5	1.41	0.80		5	2.16	0.85
	10	1.33	0.50		10	2.03	1.08
			20		1.89		
Est 18	Prof	Nita	Nith	30	2.09	1.12	
	0	0.85	0.56	50	1.87	1.11	
	5	0.76	0.43	75	8.32	1.08	
	10	1.58	0.56	100	7.63		
	20	4.01	0.59				
	30	10.31	0.58	Est 24	Prof	Nita	Nith
	50	6.10	0.50		0	1.06	1.01
			5		10.81	0.78	
			10		7.53	0.87	
			20		6.17	0.88	
Est 19	Prof	Nita	Nith	30	10.48	0.85	
	0	2.98	1.73	50	7.43	1.00	
	5	6.83	1.76	75	4.08	0.88	
	10	5.90		100	11.46	0.87	
	20	4.94	2.13	150	7.15	0.91	
	30	9.95	2.07	200	1.00	0.91	
	50	3.51	2.07				
	75	3.08	2.23				
100	2.50	2.21					

Cuadro I. Continuación.

Plataforma XIV				Septiembre 1982				
Est 1	Prof	Nita	Nith	Est 7	Prof	Nita	Nith	
	0	12.60	0.93		0	0.23	2.33	
	5	6.22	0.60		5	0.33	1.83	
	10	1.41	0.00		10	0.49	1.74	
Est 2	Prof	Nita	Nith	Est 8	Prof	Nita	Nith	
	0	6.55	0.33		0	2.25	0.99	
	5	16.17	2.55		5	3.03	0.94	
	10	3.52	2.60		10	1.26	0.93	
	20	2.67	2.76		20	4.23	0.58	
	30	3.72	2.11		30	1.55	1.16	
Est 3	Prof	Nita	Nith	Est 9	Prof	Nita	Nith	
	0	13.76	0.88		0	0.24	3.07	
	5	13.35	0.78		5	0.26	3.18	
	10	20.65	0.00		10	0.94	3.76	
	20	6.22	0.08		Est 10	Prof	Nita	Nith
	30	0.70	0.75			0	1.81	1.81
50	3.03	1.21	5	2.59		1.82		
75	5.97	2.26	10	5.80		1.96		
100	1.33		20	3.42	6.09			
Est 4	Prof	Nita	Nith	30	4.81	1.94		
	0	18.32	1.94	50	10.45	4.92		
	5	1.24	1.65	Est 11	Prof	Nita	Nith	
	10	7.46	0.00		0	8.95	5.01	
	20	0.83	0.88		5	2.47	1.69	
	30	19.90	0.71		10	3.48	5.13	
50	1.92	0.16	20	5.97	2.17			
75	7.30	1.84	30	12.44	2.17			
Est 5	Prof	Nita	Nith	50	1.93	5.34		
	0	12.02	4.26	75	0.25	2.36		
	5	2.98	5.42	100	4.36	1.69		
	10	3.23	6.33	Est 12	Prof	Nita	Nith	
Est 5 A	Prof	Nita	Nith		0	3.14	3.75	
	0	2.65	6.09		5	0.24	3.75	
	5	3.15	5.50		10	3.36	5.26	
	10	1.04	5.34	20	0.68	6.58		
	20	2.49	5.75	30	6.63	2.63		
	30	1.66	5.09	50	0.21	4.76		
Est 6	Prof	Nita	Nith	75	6.22	3.56		
	0	0.08	2.85	100	8.87	5.48		
	5	0.25	1.84	150	6.80	4.10		
	10	0.16	1.93	200	0.48	3.86		
	20	0.12	0.70					
	30	0.08	2.25					
	50	0.33	1.56					
	75	0.26	1.60					
	100	0.23	1.96					

Cuadro I. Continuación.



Est 13	Prof	Nita	Nith	Est 19	Prof	Nita	Nith
	0	1.67	0.00		0	5.39	1.05
	5	4.73	0.00		5	7.21	0.57
	10	6.80	0.17		10	7.13	0.76
	20	5.06	0.00		20	5.39	0.00
	30	0.91	0.00		30	3.31	0.00
	50	1.91	0.00	50	0.33	0.94	
				75	22.39	1.36	
				100	3.32	0.89	
Est 14	Prof	Nita	Nith	Est 20	Prof	Nita	Nith
	0	20.31	1.10		0	11.86	1.22
	5	2.98	1.30		5	14.89	1.30
	10	4.23	1.32		10	0.16	0.93
	20	4.55	1.55		20	0.16	0.03
	30	4.31	1.33		30	0.16	1.18
	50	12.85	1.36		50	5.72	0.00
	75	9.87	1.22		75	3.78	0.00
	100	4.22	2.23		100	2.17	0.00
	150	14.10	0.80		150	9.95	1.49
200	2.06	1.13	200	11.44	0.90		
Est 15	Prof	Nita	Nith	Est 21	Prof	Nita	Nith
	0	0.26	10.89		0	10.03	1.13
	5	0.38	10.40		5	0.07	1.18
	10	0.37	7.99		10	6.96	5.92
	20	2.85	6.50				
	30	0.37	5.59				
50	10.12	6.00					
Est 16	Prof	Nita	Nith	Est 22	Prof	Nita	Nith
	0	0.46	4.92		0	0.12	1.27
	5	0.26	5.26		5	7.63	1.04
	10	0.50	5.50		10	12.69	0.74
	20	1.54	5.00		20	4.81	5.92
	30	4.05	5.01		30	9.45	3.38
	50	0.39	5.71		50	0.43	5.26
	75	0.22	5.09				
	100	6.30	4.10				
	150	1.57	4.10				
200	0.16	5.19					
Est 17	Prof	Nita	Nith	Est 23	Prof	Nita	Nith
	0	9.45	0.02		0	0.07	1.28
	5	5.14	0.94		5	7.46	0.88
	10	2.82	1.03		10	0.16	4.68
			20	3.05	0.94		
			30	0.08	1.31		
			50	10.53	4.52		
			75	0.32	4.51		
			100	0.12	1.26		
Est 18	Prof	Nita	Nith	Est 24	Prof	Nita	Nith
	0	5.64	1.25		0	20.07	1.38
	5	0.29	1.31		5	11.77	1.62
	10	4.64	0.05		10	0.20	5.75
	20	0.69	1.02		20	16.57	1.53
	30	4.89	1.03		30	5.22	1.98
	50	6.86	0.89		50	20.73	6.00
					75	0.26	0.83
			100	0.26	1.77		
			150	0.26	1.86		
			200	0.14	0.99		

Cuadro I. Continuación.

La Figura 2 consiste en un gráfico de puntos que muestra la relación existente, en valores medios de cada estación, entre la actividad autótrofa y heterótrofa en las tres épocas estudiadas. Los puntos que se localizan por debajo de la bisectriz corresponden a las dominantes heterótrofas.

Al estudiar las distribuciones verticales de estas actividades se detectan, en general, comportamientos muy distintos para las actividades autótrofas y heterótrofas, lo cual induce a adscribir distintos mecanismos de regulación de tales actividades y, en este sentido, tenemos el proyecto de seguir la investigación con objeto de llegar a conocer la naturaleza de los respectivos mecanismos de regulación. En las Figuras 3 y 4 se muestran algunos ejemplos de estas distribuciones escogidas de entre las 68 que

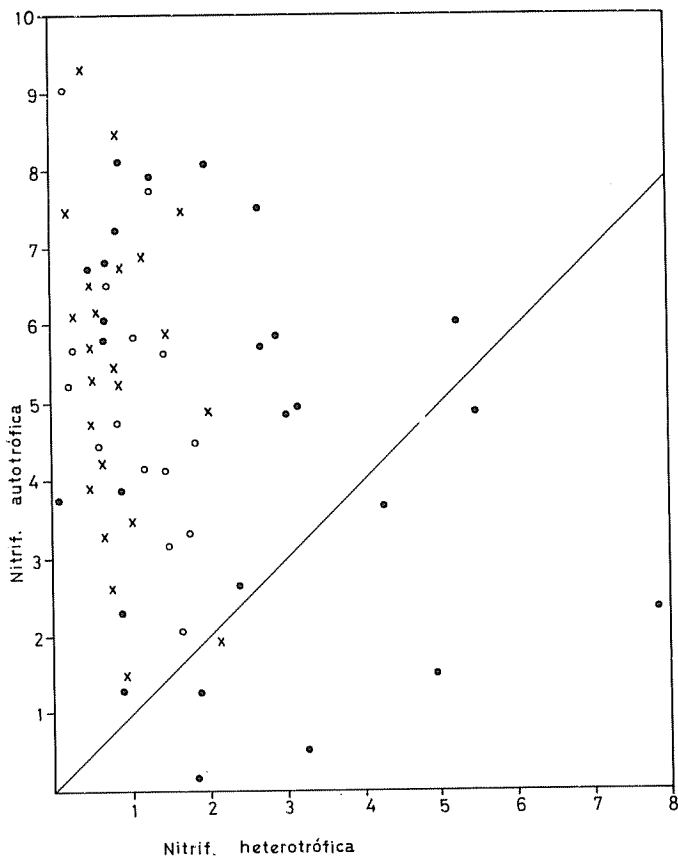


Fig. 2. Relación entre los valores medios de cada estación de nitrificación autótrofa y heterótrofa.

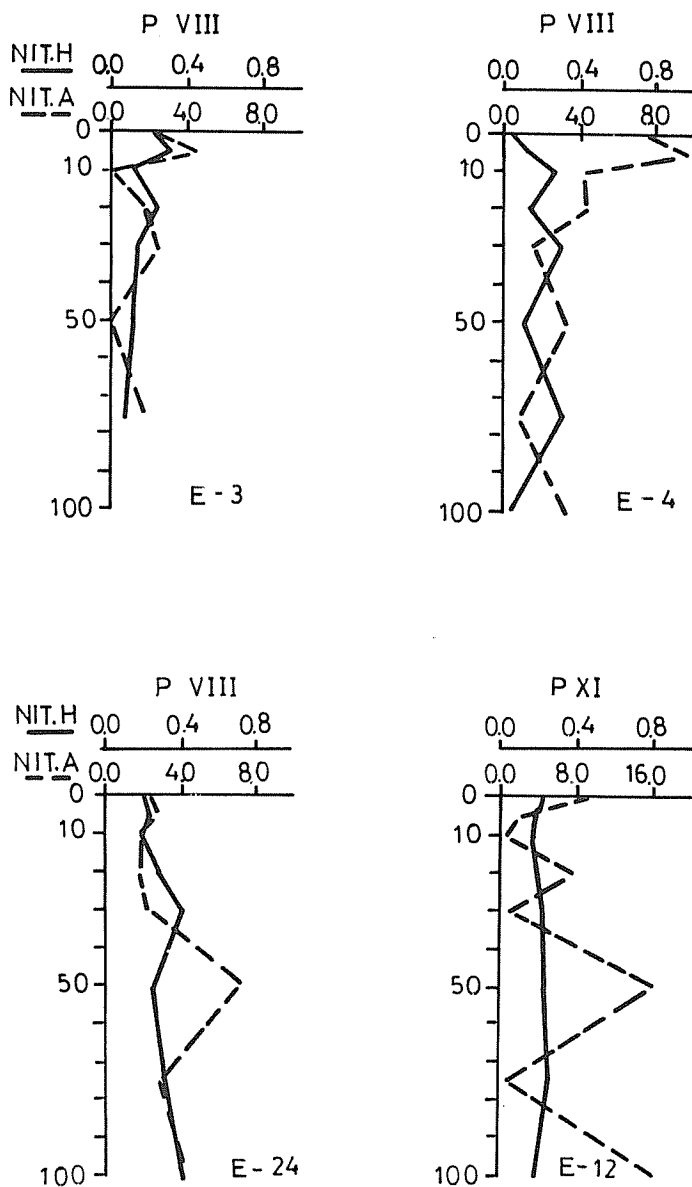


Fig. 3 Ejemplos de distribuciones verticales de Nitrificación autótrofa y heterótrofa durante las campañas Plataforma VIII y XI.

se han determinado. En ellas se observan desde casos de concordancia bastante aceptable hasta casos en que las evoluciones siguen signos opuestos.

El hecho de realizar este estudio en el seno de un gran programa interdisciplinar, tiene la ventaja de que, al tiempo que se hacían las determinaciones microbiológicas, las mismas muestras servían para determinar los principales parámetros físicos, químicos y biológicos, de suerte que podemos conocer perfectamente las condiciones en que se encontraba la población bacteriana (Anónimo, 1980 a, 1980 b, 1981, 1982 a y 1982 b).

En la distribución vertical de la nitrificación autótrofa es frecuente hallar máximos en profundidades variables que coinciden con fuertes gradientes de temperatura y salinidad. Al igual que otras actividades biológicas, da la impresión que ésta depende en gran manera de la estructura de la columna de agua y, especialmente de las interfases que se producen o fronteras entre dos masas de agua de distintas características. En estas superficies de discontinuidad se observan aumentos de la DBO, de las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  e incluso en algunos casos de máximos esporádicos de pigmentos. Ejemplos de este fenómeno se han encontrado du-

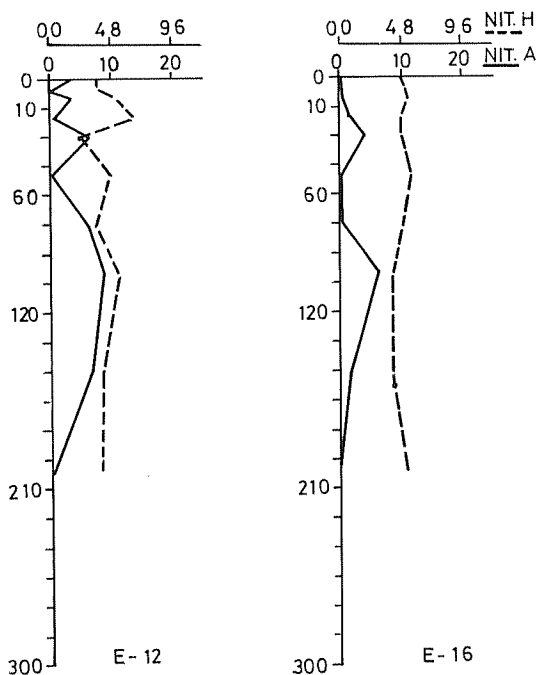


Fig. 4. Ejemplos de distribuciones verticales de Nitrificación autótrofa (—) y heterótrofa (---) durante la campaña Plataforma XIV.

rante la campaña Plataforma XIII (Mar de Alborán en las estaciones 11, 12 y 16. En esta última se halla un máximo a  $-75$  m ligado a una clara inversión térmica).

Durante la campaña Plataforma XIV, en la estación 4, se encuentra un máximo muy elevado de nitrificación autótrofa a  $-30$  m. En este mismo nivel se localiza un gradiente próximo a  $0,4$   $^{\circ}\text{C. m}^{-1}$  y valores altos de DBO y  $\text{NH}_4^+$ . Este mismo fenómeno se encuentra de nuevo en:

- nivel  $-30$  m de la estación 11, aunque aquí el gradiente térmico es de sólo  $0,2$   $^{\circ}\text{C. m}^{-1}$ .
- nivel  $-50$  m de la estación 14 con  $0,1$   $^{\circ}\text{C. m}^{-1}$ .
- en  $-75$  m de la estación 19 con algo menos de  $0,1$   $^{\circ}\text{C. m}^{-1}$ .

Nótese que todas las estaciones citadas tanto en Plataforma XIII como en XIV están situadas lejos de la costa por lo que este fenómeno puede definirse como eminentemente autóctono y normal dentro del ciclo biológico de regeneración de la materia orgánica.

El trabajo que aquí se presenta es fundamentalmente descriptivo y sólo pretende constatar que la nitrificación heterótrofa no solamente existe sino que tiene sentido y significación ecológica. El estudio de las cepas bac-

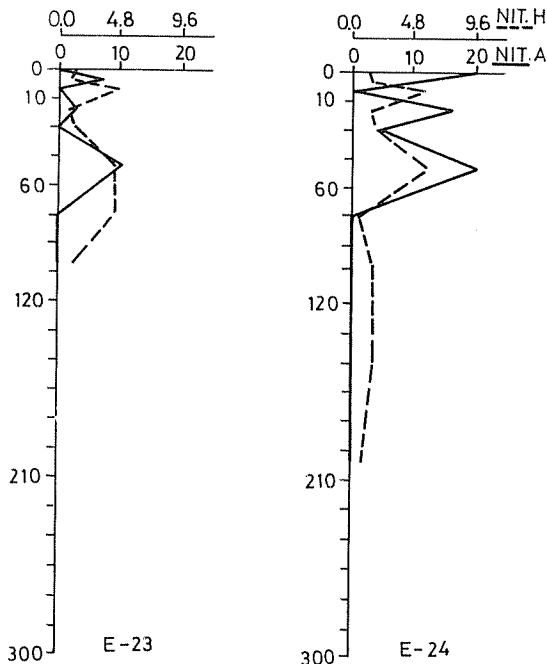


Fig. 4 (Continuación).

terianas, responsables de esta acción, aisladas durante las mencionadas campañas nos ilustrará sobre los mecanismos de acción y de regulación de esta actividad.

## AGRADECIMIENTOS

Las campañas oceanográficas que han permitido la recogida de muestras para este estudio se han realizado a bordo de los buques: B/H Tofiño, B/O Cornide de Saavedra y B/O García del Cid. Agradecemos a su Comandante y Capitanes así como a la tripulación la ayuda prestada.

Durante estas campañas las Srtas. Pilar Amengual y Mercè Cano han prestado una gran colaboración tanto en el tratamiento de las muestras como en la realización de los análisis en el laboratorio del Instituto de Investigaciones Pesqueras de Barcelona. Reciban nuestro agradecimiento así como el Dr. A. Ballester, Jefe de Misión de todas las campañas.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANÓNIMO, 1980 a. Informe Científico I. Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental. Cont. 793020. Comité Conjunto Hispano-Norteamericano.
- ANÓNIMO, 1980 b. Informe Científico II. Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental. Cont. 793020. Comité Conjunto Hispano-Norteamericano.
- ANÓNIMO, 1981. Informe Científico III. Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental. Cont. 793020. Comité Conjunto Hispano-Norteamericano.
- ANÓNIMO, 1982 a. Informe Científico IV. Estudio oceanográfico de la Plataforma Continental. Cont. 793020. Comité Conjunto Hispano-Norteamericano.
- ANÓNIMO, 1982 b. Informe Científico V. Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental. Cont. 793020. Comité Conjunto Hispano-Norteamericano.
- CARLUCCI, A. F., STRICKLAND, J. D. H., 1968. The insolation, purification and some kinetics studies of marine nitrifying bacteria. *J. exp. mar Biol. Ecol.* 2: 156-166.
- CASTELLVÍ, J., 1976. Nitrification autotrophique en mer. *Rapp. Comm. Int. Med.* 23, 6 p. 79-81.
- CASTELLVÍ, J., O'SHANAHAN, L., 1977. Nitrificación heterotrofa por bacterias marinas. *Inv. Pesq.*, 41 (2): 501-507.
- CASTELLVÍ, J., 1981 a. Aspectos microbiológicos de la Plataforma Continental. I. PlanTEAMIENTO general. *Inv. Pesq.*, 45 (2): 345-358.
- CASTELLVÍ, J., BALLESTER, A., 1981 b. Aspectos microbiológicos del Estudio oceanográfico de la Plataforma Continental. II. Hidrografía y productividad primaria. *Inv. pesq.*, 45 (2): 359-390.
- CASTELLVÍ, J.; AMENGUAL, P.; CANO, M., 1981 c. Aspectos microbiológicos de la Plataforma Continental. III. Demanda biológica de oxígenos y amonificación. *Inv. Pesq.*, 45 (2): 391-414.
- CASTELLVÍ, J.; AMENGUAL, P.; CANO, M., 1981 d. Aspectos microbiológicos de la Plataforma Continental. IV. Ciclo del azufre. *Inv. Pesq.*, 45 (2): 415-437.
- KALINENKO, V. O., 1948. Heterotrophic bacteria as nitrifiers. *Pobcbovedenie* 6: 357-363.
- WATSON, S. W., 1963. Autotrophic nitrification in the ocean. *Atti Symposium on marine microbiology C. C. Thomas Pub.* 7: 73.
- WATSON, S. W., 1965. Characteristics of a marine nitrifying bacterium, *Nitrosocystis oceanus* sp. nov. *Limnol. Ocean. sup.* vol. 10 R274-R289.

# Zooplankton de la plataforma continental ibérica desde la zona del Golfo de Valencia hasta el Estrecho de Gibraltar

por

AINA CARBONELL \* y JAVIER JANSÁ \*

\* Centro Oceanográfico de Baleares. Muelle de Pelaires, s/n. Palma de Marllorca.

## SUMMARY

During 1980, 1981 and 1982, zooplankton samplings have been carried out on the continental shelf between the Gulf of Valencia and the Strait of Gibraltar. The shelf has been divided into 2 sub-zones: Gulf of Valencia, Alicante zone and Alboran sea. Cruises in each season have been performed on all of them.

All species have been studied at the Gulf of Valencia, but only copepods have been regarded in the other regions.

We must quote these following species as the most frequent ones (they are similiary distributed in the three zones): *Clausocalanus* spp. *Ctenocalanus vanus*, *Calanus helgolandicus*, *Oithona plumifera*, *Temora stylifera*.

Other species have been observed to be occupying a definite zone: *Acartia clausi* and *Paracalanus parvus*.

Other species as *Centropages typicus* and *Eucalanus monachus* have turned out to be significant only at some sampled zones. Thus, the first one was abundant in Valencia, whereas the other was to be mostly found in Alboran and Alicante.

In general, the copepod community has turned out to be rather diversified. A southwards rise in the number of species towards the Gibraltar Strait have been observed. It is partially due to the influence of far-from-shore water (stressed southwards) that supplies species which are not on the shelf. We can quote: *Lucicutia flavicornis*, *Pleuromamma* spp, *Heterorhabdus papilliger*, *Acartia danae* and *Temora Longicornis* among them.

At the Gulf of Valencia, the most significant species and genera of the rest of taxonomic groups are the typical ones in the western Mediterranean, and their distribution is the same than the one observed by other authors.

As an average, copepods were 50 % of the total zooplankton. Cladocera have been seen to abound at Valencia and Alboran (warm season). At some points, they have displaced copepods widely.

Other taxonomic groups such as salps and doliolids, have sometimes appeared in the different zones (according to their peculiar biological cycles).

No ctenophores have been found.

In the summers cruise, biomas (and viovolumen in Valencia have been seen to increase, just as the concentration of some groups like copepods. This feature can be attributed to a previous phytoplanktonic bloom. Maximum average values were recorded in Alboran (july, about 40 mg/m<sup>3</sup>) and in Valencia (about 30 mg/m<sup>3</sup>).

## INTRODUCCIÓN

En el estudio del ambiente marino, uno de los aspectos que conviene contemplar es el análisis de las características de las poblaciones zooplancónicas. Ello se debe, y es suficientemente sabido, a que el zooplankton constituye un eslabón importante dentro de las cadenas tróficas marinas. Es, en cierta manera, el canal de enlace entre los productores primarios y las etapas posteriores de producción dentro de las cuales se encuentran los organismos de interés comercial.

Si bien, como resulta lógico, el conocimiento de los mecanismos y fenómenos que tienen lugar dentro de los productores primarios permite, en gran manera, clarificar los sucesos que muestra el zooplankton, también se da el aspecto inverso en el sentido de que el conocimiento de un determinado fenómeno ocurrido en el zooplankton, puede ayudar a explicar ciertas características que presentan, por ejemplo, las poblaciones fitoplantónicas en un momento dado. Abundando en este punto, puede añadirse que el zooplankton contribuye de forma notable a la formación de detritus, la distribución de los cuales puede influir en la forma en que se distribuyen determinados tipos de bacterias.

Uno de los puntos de vista, bajo los cuales puede enfocarse la investigación del zooplankton, es aquel que va encaminado a esclarecer las características de distribución en el espacio y en el tiempo de las distintas comunidades y organismos. Si bien no se descarta la importancia de investigaciones de tipo fisiológico, bioquímico, etc., el interés del aspecto antes citado sigue vigente ya que, a pesar del creciente número de trabajos que contemplan el estudio de la distribución, siguen existiendo grandes lagunas. Por otra parte, las condiciones del ambiente marino son progresivamente cambiantes como consecuencia de la acumulación de contaminantes y ello ocurre especialmente en las zonas costeras por lo que es cada vez más necesario fijar puntos de referencia que, al cabo de diferentes lapsos de tiempo permitan evaluar tendencias.

En las investigaciones en las que se contempla el zooplankton como «factor ambiental» es necesario estudiarlo en bloque, por tanto, no resulta conveniente despreciar ningún grupo de organismos que, en un momento



dado, pueden resultar importantes. Evidentemente, al ser el zooplancton un conjunto de animales extraordinariamente variado y heterogéneo, resulta muy difícil mantener un alto nivel de precisión taxonómica especialmente en el análisis de un muestreo intensivo, ello hace necesaria la selección de uno o varios grupos de organismos en los cuales, sin olvidar el resto, la precisión sea mayor.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio de las comunidades zooplanctónicas de la plataforma continental se ha basado en el análisis de un muestreo realizado durante los años 1980, 1981 y 1982.

La zona de plataforma continental objeto de investigación ha sido dividida en tres zonas: Golfo de Valencia, zona de Alicante y mar de Alborán. Cada una de estas regiones se ha estudiado por separado mediante campañas que coincidían con las distintas estaciones del año.

Las muestras se han obtenido mediante pescas oblicuas realizadas con una red del tipo Bongo-20 con malla de 250  $\mu$ .

A excepción de dos campañas realizadas en la zona de Alicante, en el resto de las expediciones, la red iba equipada con un flujómetro General-Oceanics. Una vez que se obtenían las muestras, éstas eran fijadas a bordo con formol al 4 %.

Los trabajos de recuento, realizados en el laboratorio, han estado basados en el estudio de varias partes alícuotas, el tamaño de las cuales dependía de la abundancia de la muestra original.

A parte de los recuentos de los distintos organismos, se han realizado mediciones de biovolumenes (en el golfo de Valencia) por el método de sedimentación y de biomásas mediante el método de pesada por peso seco en todas las estaciones.

En la zona del golfo de Valencia se ha hecho un estudio cuantitativo de los principales grupos taxonómicos y de las especies más características de la comunidad de copépodos, este estudio ha ido acompañado de otro cualitativo que ha abarcado la totalidad del zooplancton. En las demás zonas se ha realizado un estudio cuantitativo o semicuantitativo de las especies presentes en la comunidad de copépodos y también de los principales grupos taxonómicos aunque sin precisar especies.

En la presente comunicación se incide especialmente en el estudio de la comunidad de copépodos. De acuerdo con la abundancia relativa de las distintas especies encontradas, éstas se han reunido en *tres grupos* (obtenidos según el promedio correspondiente a cada zona): grupo A: especies cuyos porcentajes son superiores al 1 %; Grupo B: comprendidas entre 0,1 y 1 % y grupo C: inferiores al 0,1 %. Sobre estos grupos se han elaborado los cuadros I, II y III.

Dentro de estos grupos se comentan en la discusión las principales características de distribución de las especies más significativas. En los comentarios que se hacen en la discusión estas especies se han ordenado de acuerdo con los criterios de frecuencia y distribución.

## DISCUSIÓN

### A) Comunidad de copépodos.

En las tres zonas de la plataforma peninsular que han sido objeto de muestreo, la población de copépodos aparece bastante diversificada. Ello se debe, en parte, a la influencia que supone la llegada de aguas alejadas de la costa o bien a la subida de aguas más profundas con el consiguiente aporte de algunas especies que, en principio, no forman parte de la comunidad típica de la plataforma. Incidiendo en este fenómeno, cabe observar igualmente un aumento progresivo del número de especies hacia el sur y hacia el estrecho de Gibraltar. Así considerando el número global de especies encontradas en cada zona, vemos que en el golfo de Valencia se totalizan 53, en la zona de Alicante 74, y en el mar de Alborán 81. De acuerdo con lo apuntado antes, este incremento resulta bastante lógico si se tiene en cuenta que, en la zona del golfo de Valencia, la plataforma continental presenta una mayor anchura que en el resto de la costa muestreada. Por otra parte, en la zona del mar de Alborán es clara la influencia de aguas profundas (en las zonas de afloramiento) y del agua atlántica, cerca del estrecho de Gibraltar.

## CUADRO I

### ZONA DEL GOLFO DE VALENCIA

Especies de copépodos identificados fuera de los recuentos cuantitativos y que son probablemente asimilables a los grupos B y C.

#### GRUPO B

*Calanus tenuicornis*  
*Paracalanus pygmaeus*  
*Cacolanus pavo*  
*Calocalanus styliremis*  
*Ceentropages violaceus*  
*Heterorhabdus papilliger*  
*Sapphirina nigromaculata*  
*Copilia mediterranea*

#### GRUPO C

*Eucalanus hyalinus*  
*Calocalanus plumulosus*  
*Ischnocalanus equalicauda*  
*Diaixis pymaea*  
*Pleuromamma abbodminalis*  
*Acartia danae*

Cuadro I. Continuación.

GRUPO A	n.º m <sup>3</sup>	%
<i>Calanus helgolandicus</i>	30,4	3,7
<i>Paracalanus parvus</i>	8,9	1,4
<i>Clausocalanus spp</i>	133,5	23,7
<i>Ctenocalanus vanus</i>	40,3	5,8
<i>Centropages typicus</i>	47,5	7,8
<i>Temora stylifera</i>	128,0	15,0
<i>Acartia clausi</i>	7,8	2,0
<i>Oithona helgolandica</i>	12,0	2,2
<i>Oithona nana</i>	14,4	3,8
<i>Oithona plumifera</i>	26,6	4,8
<i>S. G. Ditrichocorycaeus</i>	23,7	2,8
GRUPO B	n.º m <sup>3</sup>	%
<i>Calanus minor</i>	1,5	0,3
<i>Mecynocera clausi</i>	1,8	0,3
<i>Pleuromanma gracilis</i>	1,2	0,2
<i>Pontella mediterranea</i>	0,7	0,1
<i>Euterpina acutifrons</i>	0,9	0,2
<i>Oncaea minuta</i>	1,0	0,3
<i>Oncaea media</i>	1,8	0,3
<i>Oncaea venusta</i>	0,2	0,1
<i>Corycaeus flaccus</i>	2,3	0,4
<i>Corycaeus ovalis</i>	2,6	0,5
<i>Corycaeus furcifer</i>	1,0	0,2
<i>Corycela rostrata</i>	2,8	0,5
GRUPO C	n.º m <sup>3</sup>	%
<i>Neocalanus gracilis</i>	—	—
<i>Eucalanus spp</i>	0,4	0,06
<i>Calocalanus tenuis</i>	0,03	—
<i>Diaixis hibernica</i>	0,4	0,06
<i>Centropages ponticus</i>	0,2	0,06
<i>Isias clavipes</i>	0,2	0,05
<i>Lucicutia flavicornis</i>	0,1	0,03
<i>Candacia armata</i>	0,3	0,07
<i>Labidocera wollastoni</i>	0,2	0,03
<i>Microsetella norvegica</i>	0,1	—
<i>Clytemnestra scutellata</i>	0,4	0,03
<i>Oncaea conifera</i>	0,1	0,03
<i>Oncaea mediterranea</i>	0,1	0,03
<i>Sapphirina angusta</i>	0,7	0,06
<i>Corycaeus giesbrechti</i>	0,1	0,03
<i>Corycaeus latus</i>	0,7	0,03

## CUADRO II

## ABUNDANCIAS RELATIVAS DE COPÉPODOS EN LA ZONA DE ALICANTE.

GRUPO A	n.º m <sup>3</sup>	%
<i>Calanus helgolandicus</i>	576	3,5
<i>Nannocalanus minor</i>	468	2,8
<i>Eucalanus monachus</i>	359	2,2
<i>Paracalanus parvus</i>	1.515	9,2
<i>Clausocalanus</i> spp.	3.970	24,1
<i>Ctenocalanus vantus</i>	501	3,0
<i>Temora stylifera</i>	2.163	13,1
<i>Centropages violaceus</i>	224	1,4
<i>Centropages</i> sp. jv.	268	1,6
<i>Acartia clausi</i>	2.553	15,5
<i>Oithona plumifera</i>	540	3,3
<i>Oithona helgolandica</i>	471	2,9
Cop. no identificados	443	2,7

GRUPO B	n.º m <sup>3</sup>	%
<i>Calanus tenuicornis</i>	25	0,2
<i>Eucalanus elongatus</i>	36	0,2
<i>Rhincalanus nasutus</i>	29	0,2
<i>Mecynocera clausi</i>	77	0,5
<i>Calocalanus pavo</i>	89	0,5
<i>Calocalanus styliremis</i>	77	0,5
<i>Calocalanus tenuis</i>	165	1,0
<i>Pleuromamma gracilis</i>	119	0,7
<i>Pleuromamma borealis</i>	22	0,1
<i>Pleuromamma</i> sp. jv.	127	0,8
<i>Centropages typicus</i>	96	0,6
<i>Centropages chierchiae</i>	78	0,5
<i>Centropages ponticus</i>	24	0,1
<i>Isias clavipes</i>	40	0,2
<i>Lucicutia flavicornis</i>	29	0,2
<i>Candacia armata</i>	48	0,3
<i>Candacia</i> sp. jv.	134	0,8
<i>Acartia danae</i>	50	0,3
<i>Acartia</i> sp. jv.	73	0,4
<i>Oithona nana</i>	130	0,8
<i>Oithona</i> sp. jv.	78	0,4
<i>Euterpina acutifrons</i>	47	0,3
<i>Oncaea venusta</i>	33	0,2
<i>Oncaea mediterranea</i>	42	0,3
<i>Oncaea media</i>	39	0,2
<i>Oncaea conifera</i>	41	0,2
<i>Oncaea curta</i>	34	0,2

Cuadro II. Continuación.

GRUPO B	n.º m <sup>3</sup>	%
<i>Oncaea</i> sp. jv.	94	0,6
<i>Sapphirina nigromaculata</i>	82	0,2
<i>Copilia quadrata</i>	34	0,2
<i>Corycaeus flaccus</i>	27	0,2
<i>Corycaeus giesbrechti</i>	22	0,1
<i>Corycaeus latus</i>	162	1,0
<i>Corycaeus ovalis</i>	75	0,5
<i>Corycaeus brehmi</i>	38	0,2
<i>Corycella rostrata</i>	43	0,3
GRUPO C	n.º m <sup>3</sup>	%
<i>Neocalanus gracilis</i>	1	0,006
<i>Eucalanus crassus</i>	12	0,07
<i>Actideus armatus</i>	4	0,02
<i>Euchaeta marina</i>	11	0,07
<i>Diaixis hibernica</i>	—	—
<i>Diaixis pygmoea</i>	7	0,04
<i>Pleuromamma abdominalis</i>	1	0,006
<i>Pleuromamma xiphias</i>	—	—
<i>Centropages kroyeri</i>	1	0,006
<i>Haloptilus longicornis</i>	3	0,02
<i>Haloptilus acutifrons</i>	4	0,02
<i>Candacia aethiopica</i>	4	0,02
<i>Candacia simplex</i>	1	0,006
<i>Pontella mediterranea</i>	9	0,05
<i>Labidocera wollastoni</i>	2	0,01
<i>Labidocera brunescens</i>	—	—
<i>Labidocera</i> sp. jv.	4	0,02
<i>Microsetella norvegica</i>	3	0,02
<i>Macrosetella gracilis</i>	—	—
<i>Clytemnestra scutellata</i>	6	0,04
<i>Lubbockia</i> sp. jv.	—	—
<i>Oncaea dentipes</i>	1	0,006
<i>Oncaea subtilis</i>	1	0,006
<i>Sapphirina angusta</i>	—	—
<i>Sapphirina ovatolanceolata</i>	6	0,04
<i>Sapphirina gemma</i>	1	0,006
<i>Sapphirina</i> sp. jv.	1	0,006
<i>Copilia mediterranea</i>	6	0,04
<i>Copilia</i> sp. jv.	1	0,006
<i>Corycaeus clausi</i>	—	—
<i>Corycaeus limbatus</i>	2	0,01
<i>Corycaeus anglicus</i>	3	0,02
<i>Corycaeus furcifer</i>	10	0,06
<i>Corycaeus</i> sp. jv.	11	0,07
<i>Corycella carinata</i>	11	0,07

CUADRO III  
ABUNDANCIAS RELATIVAS DE COPÉPODOS EN LA ZONA  
DEL MAR DE ALBORÁN

GRUPO A	n.º m <sup>3</sup>	%
<i>Calanus helgolandicus</i>	26,9	1,7
<i>Eucalanus monachus</i>	79,2	6,0
<i>Paracalanus parvus</i>	196,9	13,8
<i>Calocalanus tenuis</i>	26,2	1,3
<i>Clausocalanus spp</i>	405,8	23,3
<i>Ctenocalanus vanus</i>	33,2	2,4
<i>Temora stylifera</i>	69,2	7,5
<i>Pleuromamma sp (jv)</i>	23,4	2,0
<i>Centropages sp (jv)</i>	34,0	2,9
<i>Lucicutia flavicornis</i>	13,0	1,2
<i>Acartia clausi</i>	108,1	8,5
<i>Oithona plumifera</i>	46	3,1
<i>Oithona helgolandica</i>	206,5	10,7
<i>Oncaea sp (jv)</i>	18,6	1,0
Copepoditos y otros	30,9	2,1
GRUPO B	n.º m <sup>3</sup>	%
<i>Calanus tenuicornis</i>	4,9	0,7
<i>Eucalanus elongatus</i>	10,4	0,6
<i>Mecynocera clausi</i>	8,5	0,3
<i>Calocalanus pavo</i>	3,0	0,2
<i>Calocalanus stlyiremis</i>	17,2	0,9
<i>Aetideus armatus</i>	2,2	0,1
<i>Diaixis pygmoea</i>	1,5	0,2
<i>Diaixis hibernica</i>	3,7	0,3
<i>Temora longicornis</i>	0,5	0,1
<i>Pleuromamma gracilis</i>	7,6	0,5
<i>Pleuromamma borealis</i>	5,1	0,4
<i>Pleuromamma abdominalis</i>	5,0	0,4
<i>Centropages violaceus</i>	1,2	0,1
<i>Centropages chierchiai</i>	6,7	0,8
<i>Candacia sp (jv)</i>	3,7	0,2
<i>Acartia danae</i>	7,7	0,5
<i>Acartia sp. (jv)</i>	7,8	0,5
<i>Oithona nana</i>	6,5	0,3
<i>Oithona sp (jv)</i>	7,9	0,4
<i>Euterpina acutifrons</i>	2,2	0,2
<i>Clytemnestra scutellata</i>	2,1	0,1
<i>Oncaea conifera</i>	9,4	0,6
<i>Oncaea venusta</i>	3,7	0,3
<i>Oncaea mediterranea</i>	13,3	0,8
<i>Oncaea media</i>	7,0	0,6
<i>Oncaea curta</i>	3,2	0,1
<i>Sapphirina nigromaculata</i>	1,7	0,2
<i>Corycaeus giesbrechti</i>	0,7	0,1
<i>Corycaeus latus</i>	4,3	0,3
<i>Corycaeus brehmi</i>	4,7	0,3
<i>Corycaeus furcifer</i>	1,3	0,1
<i>Corycaeus sp (jv)</i>	1,3	0,1

Cuadro III. Continuación.

GRUPO C	n.º m <sup>3</sup>	%
<i>Neocalanus gracilis</i>	0,1	—
<i>Nannocalanus minor</i>	1,0	—
<i>Eucalanus crassus</i>	0,1	—
<i>Farrania oblonga</i>	—	—
<i>Euchaeta marina</i>	0,7	—
<i>Euchaeta</i> sp (jv)	0,4	—
<i>Amalothrix</i> sp (jv)	0,1	—
<i>Temoropia mayumbaensis</i>	—	—
<i>Pleuromamma xiphias</i>	0,1	—
<i>Centropages typicus</i>	—	—
<i>Centropages kröyeri</i>	0,1	—
<i>Centropages ponticus</i>	0,2	—
<i>Heterorhabdus papilliger</i>	0,3	—
<i>Heterorhabdus</i> sp (jv)	0,6	—
<i>Haloptilus acutifrons</i>	0,5	—
<i>Haloptilus longicornis</i>	0,2	—
<i>Haloptilus fertilis</i>	—	—
<i>Candacia armata</i>	0,4	—
<i>Candacia bispinosa</i>	—	—
<i>Candacia simplex</i>	—	—
<i>Pontella mediterranea</i>	0,1	—
<i>Labidocera wollastoni</i>	—	—
<i>Mormonilla minor</i>	—	—
<i>Microsetella rosea</i>	0,1	—
<i>Microsetella norvegica</i>	0,1	—
<i>Clytemnestra rostrata</i>	0,2	—
<i>Oncaea ornata</i>	—	—
<i>Oncaea dentipes</i>	0,1	—
<i>Lubbockia squillimana</i>	0,1	—
<i>Lubbockia aculeata</i>	0,1	—
<i>Sapphirina angusta</i>	0,1	—
<i>Sapphirina metallina</i>	—	—
<i>Sapphirina opalina</i>	—	—
<i>Sapphirina</i> sp (jv)	0,1	—
<i>Corycaeus flaccus</i>	0,5	—
<i>Corycaeus limbatus</i>	0,7	—
<i>Corycaeus ovalis</i>	0,2	—
<i>Corycaeus lautus</i>	—	—
<i>Corycaeus clausi</i>	0,1	—
<i>Pachos punctatum</i>	—	—
<i>Corina granulosa</i>	0,1	—
<i>Copilia mediterranea</i>	0,1	—
<i>Copilia</i> sp (jv)	0,3	—
<i>Corycella rostrata</i>	1,1	—
<i>Corycella carinata</i>	0,4	—
<i>Corycella</i> sp (jv)	0,1	—

Teniendo en cuenta las especies más características de cada zona (entendiendo por tales aquellas cuya abundancia es superior al 1 % = grupo A), podemos destacar, en primer lugar, las que presentan una frecuencia similar en las tres zonas y que serían las siguientes: el primer lugar queda ocupado por las especies del género *Clausocalanus*, el cual, en conjunto presenta porcentajes muy parecidos: 23,7 % en el Golfo de Valencia, 24,1 % en la zona de Alicante y 23,3 % en el mar de Alborán. Este género está constituido por especies que, a veces resultan de difícil identificación en los recuentos rutinarios. De todas formas, entre ellas, las más importantes son *Cl. arcuicornis* y *Cl. furcatus*, asimismo se han podido observar ejemplares de *Cl. pergens* y *Cl. paululus*. Debido a lo indicado antes, no se ha hecho distinción entre las diferentes especies del género en los recuentos cuantitativos.

Durán (1963), en el área de Castellón-Columbretes encuentra el género durante todo el año. Vives (1966) observa que en aguas de Castellón *Cl. furcatus* ocupa el segundo lugar en abundancia y considera al género ampliamente difundido por toda la zona. Rodríguez (1981) observa una amplia distribución para *Clausocalanus spp.* ocupando tanto las zonas de afloramiento como las aguas más cálidas.

*Ctenocalanus vanus* presenta en nuestro estudio, frecuencias que oscilan entre el 5 y el 2,4 %. Vives (1966) considera su distribución vertical inversa a la de *Paracalanus Parvus*, mostrando un claro aumento a medida que la pesca se hace a mayor profundidad.

*Calanus belgolandicus* presenta porcentajes que oscilan entre 1,7 y 3,7 %. Durán (1963), en la zona de Castellón-Columbretes, encuentra que el período de mayor abundancia corresponde a febrero-marzo desapareciendo de la capa superficial desde finales de junio hasta finales de octubre. Vives (1966) lo observa más frecuente a medida que la pesca se realiza a mayor profundidad. El mismo autor en 1978 en su estudio sobre el Mediterráneo occidental, constata una notable abundancia entre 500 y 1.000 m. Las aguas situadas por encima de los 200 m muestran cantidades pequeñas. La capa de 200-500 m podría considerarse como una zona de transición. De acuerdo con todos estos datos, en nuestras campañas, hemos observado una disminución de la abundancia hacia la época estival (como máximo se ha muestreado hasta 100 m de profundidad).

*Oithona plumifera* es igualmente una especie de distribución bastante regular (en promedio) y su frecuencia se sitúa alrededor del 3 %. Vives (1978) la considera de tendencias pelágicas si bien puede resultar, a veces, importante en las zonas costeras y según este autor, es uno de los copépodos más característicos de nuestras costas. Asimismo, en la zona del mar de Alborán, Rodríguez (1981), considera que el género *Cithona* presenta una amplia distribución ocupando tanto las zonas de afloramiento como las aguas más cálidas.

*Temora stylifera* de características neríticas, es según Durán (1963) la



tercera especie en abundancia en la zona de Castellón-Columbretes. En el presente estudio, es una especie constante si bien su abundancia puede resultar variable según el mes en que se realizó el muestreo y según la estación en que tuvo lugar la pesca; en conjunto muestra una tendencia a aumentar hacia la época estival. En promedio presenta frecuencias importantes en Valencia: 15,0 % y en la zona de Alicante: 13,1 %, sigue siendo una especie importante aunque, en menor grado en el mar de Alborán: 7,5 %.

Vives (1966) considera *Temora stylifera* ampliamente difundida en la zona de Castellón y también observa hacia finales de primavera y principios de verano un aumento importante de las concentraciones. Tanto Durán (1963) como Vives (1966-1978), la definen como una especie epiplanctónica y de carácter termófilo. Rodríguez (1981) la considera como una de las especies perennes en la zona de Málaga.

Existen otras especies que si bien son comunes a las tres zonas, muestran una tendencia más clara a ocupar preferentemente una región determinada. Entre ellas podemos citar:

*Acartia clausi* que se revela como más importante en la zona de Alicante y en el mar de Alborán y *Paracalanus parvus* que aumenta su frecuencia hacia el sur.

*Acartia clausi* como se ha indicado es relativamente poco importante en el golfo de Valencia situándose su porcentaje promedio sobre el 2 %. En Alborán y Alicante, los porcentajes son respectivamente de 8,5 y 15,5 %.

Durán (1963) encuentra que esta especie es escasa en las costas orientales de Ibiza y Formentera, está presente aunque a baja concentración en la zona comprendida entre el cabo de La Nao y cabo de Gata y aparece con abundancia muy variable en el mar de Alborán. Massuti y Navarro la citan como una de las más abundantes del plancton de verano de la parte occidental del mar de Alborán. Vives (1966) la encuentra también en aguas de Castellón en pequeño número de individuos y generalmente en los estratos más superficiales. Tanto Durán como Vives la definen como especie epiplanctónica. Rodríguez (1981) la considera como una de las especies perennes de la bahía de Málaga.

*Paracalanus parvus* presenta abundancias relativas crecientes desde Valencia hacia Alborán situándose estas respectivamente sobre: 1,4 9,2 y 13,8 %.

Esta especie está considerada como nerítica y superficial. Vives (1966) la cita como la más abundante de nuestras costas.

Entre las especies que aparecen como importantes en una zona determinada pero que carecen de significación en las otras pueden citarse *Centropages Typicus* y *Eucalanus monachus*.

La primera presenta una abundancia relativa de 7,8 % en el golfo de Valencia, en la zona de Alicante su porcentaje es de sólo el 0,6 % y se observa la sustitución de esta especie por otras tales como *Centropages*

*violaceus*. En el mar de Alborán la especie más abundante es *C. chierchiae* con 0,8 %, en cambio es prácticamente despreciable la abundancia de *C. typicus*.

Respecto a *C. typicus*, los datos de otros autores están de acuerdo con las presentes observaciones. Así, por ejemplo, Vives (1978) la considera como una especie epiplanctónica con marcadas tendencias neríticas hallándose ampliamente distribuida en el Mediterráneo occidental. Massuti y Navarro (1950) y Durán (1963), la consideran como rarísima en el mar de Alborán.

*C. Violaceus* ha sido considerada por Durán (1963) como muy rara en el mar de Alborán. Esta especie ha sido citada como indicadora de aguas atlánticas, sin embargo este papel se pone en duda por varios autores tales como Crisafi (1960), Mazza (1962) y Vives (1978).

*Eucalanus monachus* presenta (de acuerdo con nuestras observaciones) frecuencias notables en la zona de Alicante y en el mar de Alborán, en cambio, no ha sido hallada en el golfo de Valencia. De los datos de los diferentes autores puede resumirse lo siguiente: Durán (1963) la encuentra especialmente frecuente en la zona de Alborán y de manera ocasional en la zona de Castellón-Columbretes. Vives (1966), no menciona esta especie en Castellón. El mismo autor en 1978, en el estudio de la distribución de los copépodos del Mediterráneo occidental considera la especie como rara en los primeros 200 m. Rodríguez (1981) considera a *E. monachus* como un copépodo que refleja la importancia de la ascensión de aguas subsuperficiales.

Dentro de las especies pertenecientes a los grupos B y C podemos señalar, por una parte, aquellas que son indicadoras de aguas alejadas de la costa o de procedencia atlántica. En relación a este aspecto podríamos citar las siguientes especies a manera de ejemplo:

*Lucicutia flavicornis* aumenta su abundancia relativa hacia el sur y, en el mar de Alborán, supera el 1 %. Esto estaría de acuerdo con la existencia de una menor influencia de aguas alejadas de la costa en la zona del golfo de Valencia.

Las especies de los géneros *Pleuromamma* y *Heterorhabdus* son frecuentes si bien nunca aparecen en elevado número de individuos. Los autores ya citados las encuentran de una forma similar. Así Durán (1963) considera a *H. papilliger* como una especie de profundidad hallándose en superficie solo accidentalmente. Vives (1966) también la observa como una forma de aguas profundas encontrándola de una manera esporádica. El mismo autor en 1978 la define como subsuperficial y de carácter marcadamente pelágico.

Dentro del género *Acartia* *A. danae* es también indicadora de aguas alejadas de la costa y es precisamente en la zona del mar de Alborán donde se observan sus mayores concentraciones.

Una especie de clara influencia atlántica es *Temora Longicornis* hallada únicamente en Alborán.

Por otra parte, y dentro de las especies que pudiendo o no presentar el carácter de indicadoras y que contribuyen en gran manera a aumentar la diversidad de las comunidades de la plataforma podemos citar las especies del género *Oncaea* con *O. mediterránea*, *O. venusta*, *O. conifera*, *O. media*, etc.

Dentro del género *Sapphirina* han aparecido numerosas especies tales como *S. nigromaculata*, *S. angusta*, *S. opalina*, *S. metallina*, *S. ovatolanceolata*, etc.

Como *Corycaeus* más abundantes encontramos a *C. flacus*, *C. latus*, *C. Brehmi* y *C. anglicus*, y a menores concentraciones aparecen *C. limbatus*, *C. ovalis*, *C. giesbrechti*, *Corycella carinata* y *rostrata*. Otras especies de este género han aparecido de una manera más esporádica, entre ellas cabe citar *C. furcifer* al que se considera como indicador de aguas alejadas de la costa.

En último término, algunas especies han hecho su presencia en la comunidad sólo en forma muy ocasional. Así *Temoropia mayumbaensis* ha sido hallada solamente en un punto de muestreo en el mar de Alborán; Vives (1978) la considera ausente de la plataforma continental, observándola de manera frecuente aunque no abundante por debajo de los 500 m de profundidad.

Otras especies muy raras son *Pachos punctatum*, *Mormonilla minor*, *Corina granulosa*, etc.

B) Géneros y especies más característicos de las comunidades zooplanctónicas (a excepción de los copépodos) encontrados en el Golfo de Valencia.

El estudio de los géneros y especies predominantes que caracterizan los distintos grupos taxonómicos del zooplancton se ha realizado únicamente en la zona del Golfo de Valencia. En relación con los aspectos más significativos de presencia y distribución puede apuntarse lo siguiente: en cuanto al grupo de los protozoos hay que resaltar la pobreza de éstos a lo largo de las tres campañas realizadas, ello se debe a que este grupo está formado, en gran parte por especies pelágicas. Como forma frecuente y abundante cabe citar *Aulacantha scolymantha* que aparece durante el invierno, no ha sido observada durante el verano y en primavera ha resultado abundante aunque en forma de enjambres bien delimitados. Entre los foraminíferos *Globigerina sp* es frecuente pero no abundante. *Orbulina sp* (universa) únicamente ha sido observada en verano.

El grupo de las medusas ha resultado pobre en el Golfo de Valencia. Entre las polimedusas es frecuente el género *Obelia* que puede considerarse perenne en la zona aunque se presenta en cantidades bajas. Le sigue en importancia *Phialidium hemisphaericum*, relativamente frecuente en la época invernal. Dentro del grupo de las automedusas hallamos como especies

más abundantes *Aglaura hemistoma* y *Persa incolorata*. Generalmente se han observado individuos jóvenes durante el invierno. La segunda especie es típicamente invernal indicando zonas de máxima afluencia de aguas exteriores. *Aglaura*, por el contrario, es más común en la plataforma continental durante todo el año.

Los sifonóforos que han resultado relativamente abundantes en invierno para decrecer en primavera y verano, han estado representado en su mayoría por Difiidos siendo frecuentes *Muggiaea kochi*, *Chelophyes appendiculata* y, en menor grado, *Muggiaea atlantica*.

Entre los quetognatos cabe destacar *S. enflata* que es muy frecuente en las tres épocas del año estudiadas aunque resulta más abundante a finales de primavera y, sobre todo, en verano. *S. setosa* ha resultado frecuente en invierno y más abundante en primavera.

En trabajos anteriores, realizados en áreas cercanas a la plataforma valenciana, Massuti (1951) había descrito la alternancia que presentan a lo largo del año las dos especies más típicas de estas aguas: *Saggita bipunctata* (enero-mayo) y *S. enflata* durante los meses de junio a noviembre, siendo muy importantes los enjambres de *S. bipunctata* desde febrero a agosto.

Hay que señalar que *S. setosa*, señalada en estas aguas en trabajos posteriores, es de clasificación difícil por lo que aquí aparece con interrogación.

Los poliquetos tienen como una de las especies típicamente planctónicas a *Tomopteris helgolandica*. Ésta se ha presentado con gran escasez y sólo se ha encontrado en algunos puntos en la campaña de invierno.

Los cladóceros, que, en determinadas épocas, pueden llegar a formar parte del zooplancton son un grupo pobre en especies. *Podon intermedius* presenta un ciclo anual que se inicia con apariciones esporádicas desde comienzos de invierno, en primavera es más frecuente y desaparece del área en verano. Según Vives (1966), durante el verano y otoño se halla en pequeño número de individuos en los estratos próximos al fondo.

*Evadne spinifera* es especialmente abundante en primavera (apareciendo junto a *Podon*), durante el verano hace su aparición *Evadne tergestina*, pudiendo ser una especie importante.

De todas formas, la especie más abundante es *Penilia avirrostris*. Es una forma típica de verano y de aguas de salinidad más bien baja. Dentro de la campaña realizada en el mes de agosto, y correspondiendo a las características hidrográficas de esta época, *Penilia* es abundante en todas las estaciones muestreadas, alcanzando valores próximos al 25-30 % del total del zooplancton.

Dentro del grupo de los ostrácodos han aparecido dos especies: *Conchoecia haddoni* y *C. curta*. Según Vives (1966), la primera se halla prácticamente durante todo el año, sin embargo, al ser estos animales más frecuentes cerca del fondo, parece lógico que sus máximas manifestaciones en la columna de agua se den en los momentos de homotermia y afloramiento. En efecto, durante febrero ambas especies son muy frecuentes y

muestran su máxima abundancia. En mayo no se han detectado, pero en agosto han vuelto a aparecer aunque de forma esporádica.

Los anfípodos resultan siempre escasos en el plancton y únicamente, y, determinados géneros parecen ser más abundantes cuando se dan proliferaciones de sálpidos. Así, por ejemplo, *Vibilia armata*, iría asociada con *Thalia democratica*, existiendo entre ambas una relación de tipo parasitoide. Esta especie, junto con *Hyperia* han sido halladas en primavera y verano.

Los misidáceos constituyen, al igual que los anteriores, un grupo típicamente bentónico y sólo unas pocas especies aparecen en el plancton: *Lophogaster typicus*, detectado en una sola ocasión en mayo y *Leptomysis gracilis*, observado únicamente en mayo y en dos pescas de agosto. Vives (1966) lo cita de febrero a septiembre.

Las larvas de cirrípedos (*Balanus sp*) se han mostrado ausentes a pesar de que dos de las tres campañas realizadas coinciden con la época en que son más frecuentes (esto es lógico debido a la distancia de la costa en que están las estaciones). En agosto se ha capturado *Metanauplius pelagicus* en escaso número de individuos.

Las larvas *alima* (estomatópodos) han aparecido en pequeñas cantidades en mayo y agosto (de acuerdo con la época de puesta de *Squilla mantis*).

En cuanto a los eufausiáceos, hay que remarcar la pobreza de este grupo en el plancton de la plataforma valenciana. Son raros los ejemplares adultos incluso de la especie más frecuente en nuestras aguas: *Euphausia krohnii* de la que sólo se ha capturado algún individuo en las estaciones más septentrionales (3 y 4). Por lo general se han observado formas jóvenes que corresponden a la especie citada, a *E. brevis*, *Nematoscelis megalops*, *Thysanopoda aequalis* y *Stylocheiron submii*. En las pescas correspondientes al mes de agosto no se ha hallado apenas representación de este grupo.

Al no poder seguir la secuencia de las larvas de decápodos a lo largo del año, los análisis realizados no permiten más que breves comentarios sobre el desarrollo de las diversas especies determinadas. Después de valorar de forma relativa la presencia de *Macruros*, *Braquiuros* y *Anomuros*, únicamente hemos tenido en cuenta aquellas especies que, por su abundancia y frecuencia contribuyen de manera importante a la composición de estas poblaciones.

Por lo general los tres grupos se manifiestan plenamente en las tres campañas realizadas y, teniendo en cuenta la profundidad de las zonas en que se tomaron las pescas (70-80 m), no es de extrañar que los macruros se muestren en número relativamente mayor. Les siguen en importancia los braquiuros para, finalmente, hallar una representación, no muy completa de los anomuros. Dentro de los macruros y durante el invierno, se han observado las larvas típicas de sergéstidos (*protozoas* y *mastigopus*). Este género es batipelágico, por lo que la presencia de larvas en la zona nerítica, muestran la influencia de aguas alejadas de la costa. Otras especies y géneros observados han sido *Solenocera membranacea* (únicamente en invierno), *Penaeus sp* (febrero), *Alpheus glaber* (mayo y agosto), *Jaxea*

*nocturna* (poco abundante pero frecuente en mayo y agosto), lo mismo ocurre con otros macruros correspondientes a los géneros *Processa*, *Philoceras*, *Athanas*, etc.

Entre los anomuros aparecen de forma escasa y aislada *Anapagurus chiroacanthus* y *A. laevis*.

Los braquiuros también han sido raros lo que resulta natural por las razones que se han indicado anteriormente. A pesar de ello se han observado con cierta frecuencia las zonas de *Macropipus* y, en casos aislados, las de *Corystes cassivelaunus* e *Ilia nucleus*.

Las larvas de lamelibranquios y gasterópodos han sido observadas con escasez (lo que resulta lógico, en el primer caso, debido a su pequeño tamaño). Las larvas de gasterópodos únicamente han manifestado una cierta abundancia en mayo.

Entre los pterópodos los Cresseis han resultado muy frecuentes en las tres campañas dándose cantidades notables en agosto.

*Atlanta sp* ha aparecido en reducido número de individuos en el mes de agosto.

Las larvas de equinodermos han aparecido en forma aislada y no se han dado concentraciones importantes. Los *echinopluteus* han sido únicamente observados en febrero. En cambio, los *ophiopluteus* se han visto en las tres campañas.

Las larvas *tornaria* de estomocordados y enteropneustos han sido halladas únicamente durante el invierno y en pequeño número de individuos.

Dentro del grupo de los tunicados, los sálpidos (*Thalia democratica*), se han observado en notables números de individuos en mayo (lo que estaría de acuerdo con su ciclo biológico). De todas formas, no sería muy aventurado afirmar que estos animales se manifestaron en esta zona ya en marzo y que sus concentraciones fueron muy elevadas en abril pues en mayo, en cuatro de las cinco estaciones muestreadas, se halla una población en franca regresión.

Aunque los doliólidos pueden convivir con el grupo anterior, pueden establecerse competencias si aumentan las numerosidades. En este sentido, en aguas de Castellón (Vives, 1966), después del fuerte contingente de salpas registrado durante los meses de marzo y mayo, se presentó a partir de este último mes, una densa población de doliólidos (*Doliolum nationalis*) que continuó hasta julio y agosto.

Un fenómeno parecido, aunque algo desfasado en el tiempo, se ha registrado en Valencia encontrándose *Doliolum nationalis* con abundancia en agosto.

Los apendiculariáceos han estado representados principalmente por los géneros *Fritillaria* y *Oikopleura*, de los cuales, el primero ha sido observado en febrero en reducido número de individuos y, el segundo, se ha mostrado mucho más frecuente tanto en invierno como en primavera.

Finalmente, respecto a las larvas de peces y, en relación con las de las especies bentónicas, cabe citar principalmente a *Gadus capelanus* (mayo

y agosto). Dentro de las larvas de especies pelágicas encontramos a *Sardina pilchardus* (pequeñas cantidades en febrero) siendo más frecuentes, y sobre todo más abundantes, las larvas y huevos de anchoa (*Engraulis encrasicolus*).

### C) Aspectos generales del zooplancton, biovolúmenes y biomasas.

Considerando el conjunto de todas las muestras, se observa que los copépodos constituyen el 50 % del total del zooplancton. Este porcentaje puede mostrar variaciones considerables: desde algo más del 80 % hasta valores de poco más del 10 %. En este último caso, la mayor parte del zooplancton está constituida por cladóceros.

En el Golfo de Valencia y en el Mar de Alborán se ha visto que, a lo largo de las tres campañas, la abundancia relativa de cladóceros ha aumentado hacia la época cálida. Esta tendencia no se observa en la zona de Alicante aunque hay que decir que posiblemente haya ocurrido algo parecido. No hay que olvidar que, en esta zona las campañas se han escalonado en el tiempo de un modo diferente. Así la primera campaña coincide con el mes de abril (época en que ya pueden manifestarse los cladóceros, tal como se observa en las muestras), mientras que la última coincide con el mes de octubre (mes en que se inicia el proceso de inestabilización de las capas de agua y en el que puede empezar el aumento de los copépodos).

Teniendo en cuenta la abundancia absoluta de estos dos grupos, se ha podido ver que, en el caso de los copépodos, las mayores cantidades aparecen en el mar de Alborán, donde, en promedio, se registran alrededor de 1.500 individuos por metro cúbico, mientras que, en el Golfo de Valencia (por término medio, 926 ind/m<sup>3</sup>).

Entre los grupos que han aparecido de una manera más o menos regular en las tres zonas podemos citar al de las apendicularias, cuyos porcentajes se sitúan en promedio sobre el 10 % en la zona de Alicante y Alborán y en la campaña realizada en mayo en la zona de Valencia, en esta misma región las abundancias relativas resultan, en cambio, mucho más reducidas en las campañas realizadas en febrero y agosto.

Otros grupos taxonómicos han presentado fluctuaciones considerables (de acuerdo con las condiciones ambientales y las características de sus ciclos biológicos). En este sentido, los sálpidos han revestido importancia únicamente en el Golfo de Valencia (campaña de primavera). Los doliólidos han alcanzado ocasionalmente porcentajes notables, en algunos casos del orden del 30 %, especialmente en primavera y verano en Valencia y Alicante.

Los quetognatos, de distribución irregular y poco importante en Valencia, han alcanzado porcentajes notables (en ocasiones superiores al 15 %) en la zona de Alicante y en el mar de Alborán.

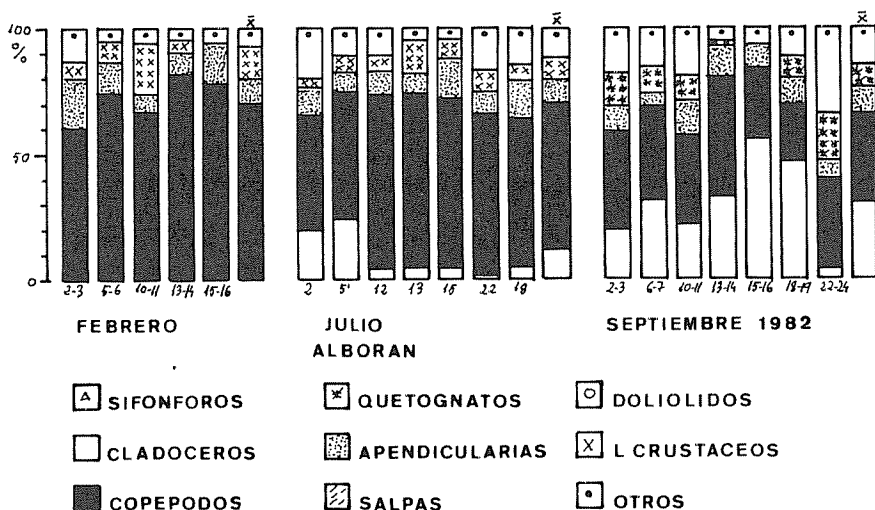


Fig. 1. Abundancia relativa de los principales grupos taxonómicos (mar de Alborán).

Hay que hacer notar la total ausencia de algunos grupos tales como los tcnóforos y la escasez de otros tales como las medusas.

Dentro de las formas larvarias cabe destacar especialmente, de acuerdo con su abundancia relativa, las larvas de crustáceos que presentan porcentajes medios del orden del 10 % en febrero y julio en Alboran y en abril en la zona de Alicante. Las numerosidades encontradas en Valencia son más reducidas.

Los restantes grupos taxonómicos tienen menor importancia cuantita-

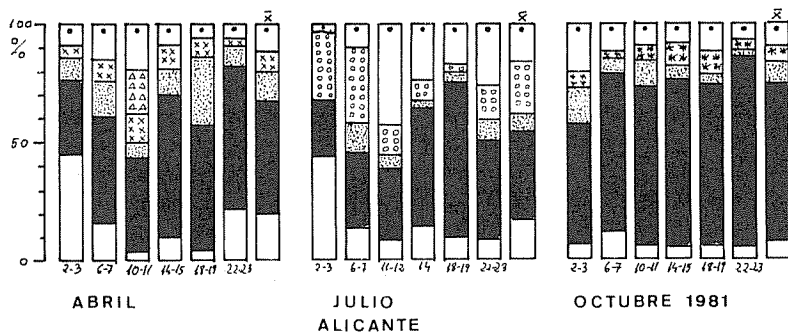


Fig. 2. Abundancia relativa de los principales grupos taxonómicos (zona de Alicante).



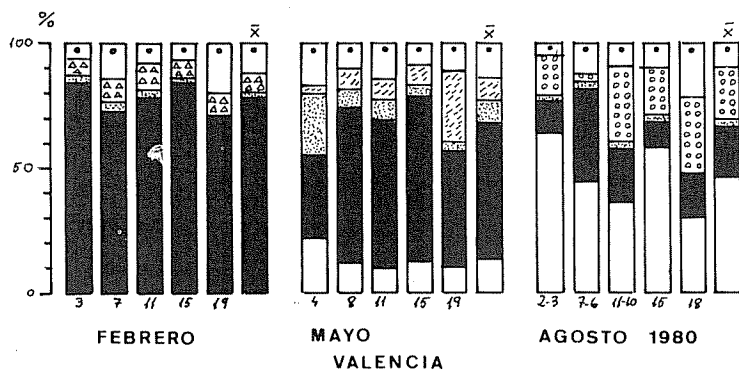


Fig. 3. Abundancia relativa de los principales grupos taxonómicos (Golfo de Valencia).

tiva, y no se consideran, por tanto, dentro de estos aspectos generales (figuras 1, 2 y 3).

Como se dijo en la introducción, en el presente estudio se realizaron mediciones de biovolúmenes (por sedimentación) en la zona del Golfo de Valencia y mediciones de biomasa (por peso seco) en todas las zonas.

Hay que hacer notar que las mediciones de las biomásas se han efectuado sobre muestras fijadas con formol. Ello implica, por tanto, una pérdida de peso aunque, en primera aproximación, podemos pensar que

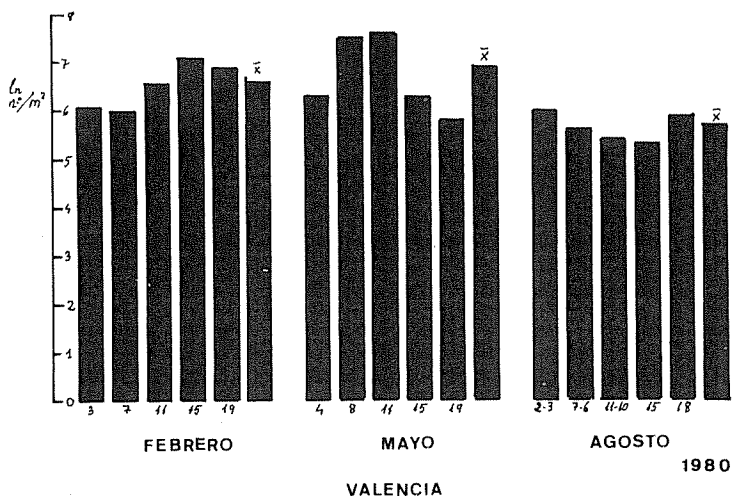


Fig. 4. Copépodos. Logaritmo neperiano del número por metro cúbico (Golfo de Valencia).

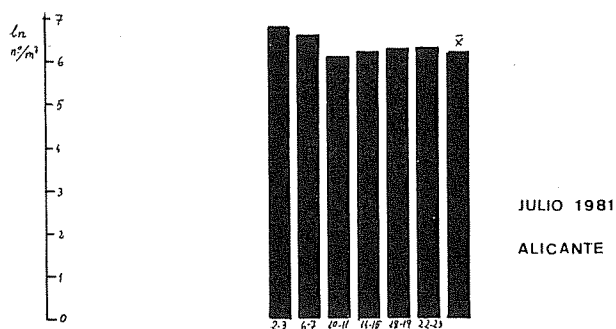


Fig. 5. Copépodos. Logaritmo neperiano del número por metro cúbico (zona de Alicante).

esta pérdida puede ser constante a lo largo de las muestras por lo que pueden compararse éstas entre sí.

En la zona del Golfo de Valencia, y en la campaña realizada en mayo, se procedió, antes del pocedimiento de pesada, a retirar todos los sálpidos presentes en la muestra a fin de no introducir un factor de error debido a la acumulación de sal (como se recordará los sálpidos tienen un gran porcentaje de agua y también pueden retener gran cantidad de agua en

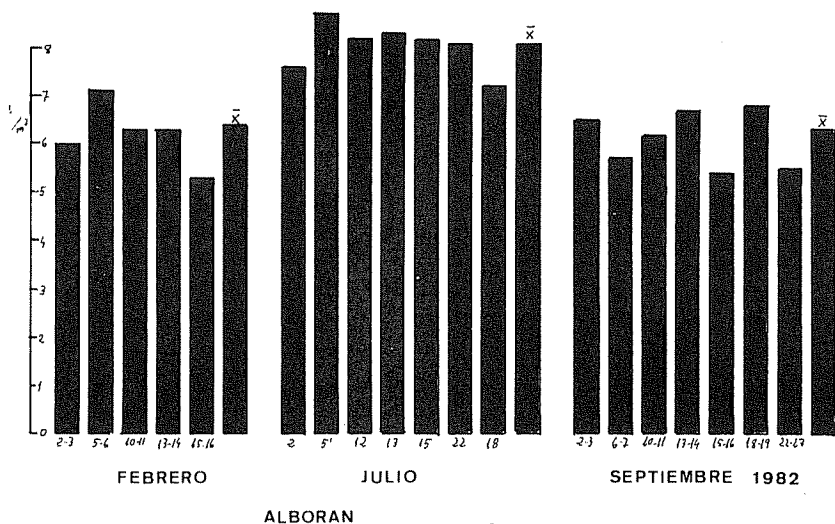


Fig. 6. Copépodos. Logaritmo neperiano del número por metro cúbico (zona de Alborán).

su cuerpo). Por la misma razón, en las otras campañas también se han retirado algunos ejemplares grandes (sifonóforos, medusas, etc.).

Es interesante destacar que, a pesar de haber retirado los sálpidos, existe, a grandes rasgos, un paralelismo entre los viovolúmenes y las biomasas. Ello puede comprobarse atendiendo los valores promedio. Así pues, en la campaña realizada en febrero es cuando se dan los viovolúmenes y biomasas más bajas, y en mayo, las más altas. Hay que tener en cuenta, por otra parte, que las diferencias son mucho mayores si se tienen en cuenta los biovolúmenes que si se consideran las biomasas. Ello resulta lógico ya que, en la medición de los volúmenes por sedimentación no se han separado las salpas. De todas formas, el paralelismo anteriormente apuntado, nos indica que, a pesar de la proliferación de salpas, el plancton «productivo» tenía una entidad notable.

Si bien no tiene por qué existir un paralelismo en detalle entre los valores de biomasa y los números de individuos del grupo taxonómico predominante (unos pocos ejemplares grandes pueden contribuir notablemente al aumento de la masa zooplanctónica), en líneas muy generales puede esperarse este paralelismo y, en efecto, si comparamos los valores promedio del número de copépodos por metro cúbico y las biomasas, el paralelismo es notable. Incluso en zonas tales como el mar de Alborán (campañas de febrero y julio) en las cuales el grupo predominante son los copépodos se observa un paralelismo que punto por punto, es casi perfecto.

En cuanto a la evolución en el tiempo, observamos que, en el Golfo de Valencia, la biomasa experimenta un aumento notable en primavera (campaña de mayo). Este aumento está hipotéticamente relacionado con una floración fitoplanctónica anterior. Floración que no ha podido ser detectada debido al lapso de tiempo transcurrido entre esta campaña y la anterior. Así pues, los valores de clorofila han sido más altos en invierno que en primavera y en verano. Debido a los desfases existentes entre los máximos fitoplanctónicos y zooplanctónicos, no es de extrañar encontrar valores bajos de clorofila junto con valores altos de biomasa (campaña de mayo).

En la zona del mar de Alborán también se observa un aumento de la biomasa en la campaña intemedía aunque ésta tiene lugar en julio. Ello hace pensar que, o bien la floración fitoplanctónica en esta zona ha sido muy potente y ha permitido el mantenimiento de cantidades notables de zooplancton durante un tiempo más prolongado, o bien que se ha producido en una época posterior a la que tuvo lugar en el Golfo de Valencia.

En el presente estudio no se observa una relación clara entre los valores de biomasa y las zonas de afloramiento. Aunque hay que decir que tampoco puede concluirse demasiado en este aspecto ya que los datos son demasiado puntuales.

Los mayores valores encontrados, tanto en el Golfo de Valencia como en el mar de Alborán son algo superiores a los  $50 \text{ mg/m}^3$ . Por término medio en las épocas de máxima riqueza, se obtienen cerca de  $30 \text{ mg/m}^3$

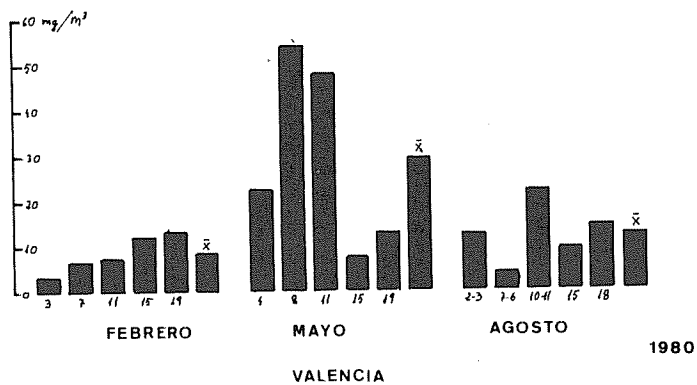


Fig. 7. Biomasa (peso seco). Zona del Golfo de Valencia.

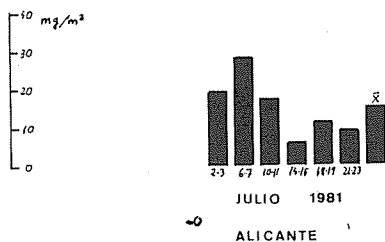


Fig. 8. Biomasa (peso seco). Zona de Alicante.

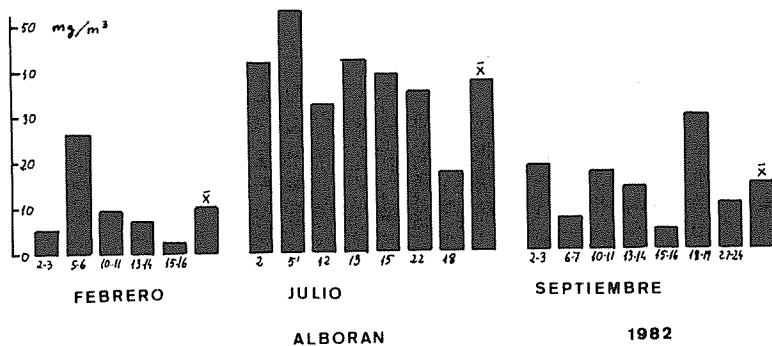


Fig. 9. Biomasa (peso seco). Mar de Alborán.

en Valencia y 47 en Alborán. Este último valor es inferior a los máximos encontrados por Caminas (1981) aunque hay que decir que las cantidades superiores a los  $60 \text{ mg/m}^3$  que este autor encuentra resultan muy localizadas pudiéndose considerar como valores más normales los comprendidos entre  $20$  y  $40 \text{ mg/m}^3$ .

Finalmente, en la zona de Alicante solamente disponemos de datos de biomasa en la primera campaña situándose éstos, en promedio sobre  $15 \text{ mg/m}^3$ .

En las figuras 1 a 10 se muestra la abundancia relativa de los principales grupos taxonómicos, cantidades de copépodos y valores de biomasa y biovolúmenes.

Agradecemos a D. Miguel Durán, responsable del subprograma de biología, la ayuda prestada en todo momento.

Agradecemos al Dr. F. Vives su colaboración en el estudio del zooplancton de la zona de Valencia.

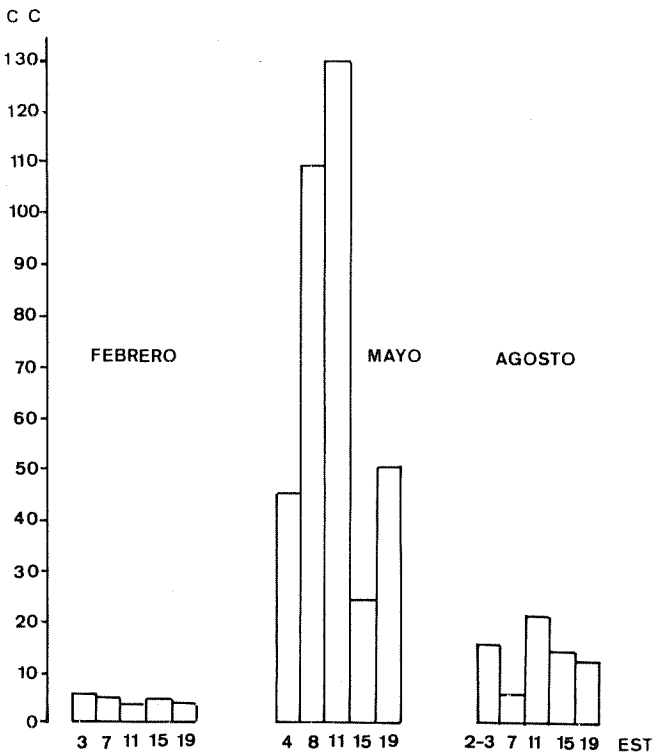


Fig. 10. Volúmenes de zooplancton (medidos por sedimentación) correspondientes a  $10 \text{ m}^3$  de agua filtrada (golfo de Valencia).

## BIBLIOGRAFÍA

- DURÁN, M., 1963. Nota sobre los copépodos planctónicos del Mediterráneo occidental y mar de Alborán. *Bol Inst Esp. Ocean.* 112.
- CAMIÑAS, J., 1981. Distribution spatiale et temporelle de la biomasse zooplanctonique superficielle dans le secteur nord-occidental de la mer d'Alboran. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.* 27 (7): 125-127.
- CASTELLVÍ, J. y BALLESTER, A., 1981. Aspectos microbiológicos del estudio oceanográfico de la plataforma continental II Hidrología y productividad primaria. *Investigación pesquera.* 45 (2).
- GRACIA, A.; RODRÍGUEZ, J.; CANO, N.; RODRÍGUEZ, V., 1981. Relations entre l'hydrographie et le zooplancton dans le secteur nord-occidental de la mer d'Alboran. I. Caractéristiques générales, copepodes et ichthyoplancton. *Rapp. comm. int. Mer Médit.* 27 (7): 133-135.
- RODRÍGUEZ, J., 1981. Cycle annuel et composition de la communauté zooplanctonique dans la baie de Malaga (mer d'Alborán). *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.* 27 (7): 129-131.
- RODRÍGUEZ, J.; GARCÍA, A. y RODRÍGUEZ, V., 1981. Relations entre l'hydrographie et le zooplancton dans le secteur nord-occidental de la mer d'Alborán. III. Analyse des communautés. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.* 27 (7): 139-141.
- VALERO, A.; CUEVAS, A. y RODRÍGUEZ, J., 1981. Relations entre l'hydrographie et le zooplancton dans le secteur nord-occidental de la mer d'Alboran. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.* 27 (7): 137-138.
- VIVES, F., 1963. Sur les copépodes néritiques (Calanoida) de la Méditerranée occidentale (côtes de Castellón, Espagne). *Comm. Int. Explor. Mer Médit. Rapp. et P. V.* 18 (2): 547-554.
- VIVES, F., 1966. Zooplancton nerítico de las aguas de Castellón (Mediterráneo occidental). *Inv. Pesq.* T. 30: 49-166.
- VIVES, F.; SANTAMARÍA, G., y TREPAT, I., 1975. El zooplancton de los alrededores del estrecho de Gibraltar en junio-julio de 1972. *Res. Exp. Cient. B/O «Cornide de Saavedra».*
- VIVES, F., 1978. Sobre la distribución de *Calanus helgolandicus* Claus (copepoda, Calanoda) en el Mediterráneo occidental. *Res. Exp. Cient. B/O «Cornide de Saavedra»:* 83-92.
- VIVES, F., 1978. Distribución de la población de copépodos en el Mediterráneo occidental. *Res. Exp. Cient. B/O «Cornide de Saavedra»:* 263-302.

# Microcontaminantes orgánicos en sedimentos de la plataforma continental mediterránea española

por

J. A. GARCÍA REGUEIRO \*, JOAN ROVIRA \* y J. SÁNCHEZ-PARDO \*

\* Instituto de Investigaciones Pesqueras. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Final Paseo Nacional, s/n. Barcelona-3.

## SUMMARY

This paper presents some results of a systematic analysis of organic pollutants in sediment samples from the Mediterranean Spanish Continental Shelf. Organochlorines and Aliphatic Hydrocarbons were determined. We include the analysis of plankton and mussels collected in the same areas of the shelf.

The sediment samples were obtained during the joint EOPC program cruises (1980, 1981 and 1982).

Sediments, mussels, plankton and water were studied. According the results, there is a moderate pollution in this area. Only near the industrial and urban zones we can detect a big increase of such pollution. Alicante, Alborán sea and Gibraltar Strait regions, showed lower levels of organic pollutants than Valencia and Tarragona zones.

## INTRODUCCIÓN

A consecuencia del uso de sustancias orgánicas en múltiples actividades humanas, éstas o sus derivados aparecen como contaminantes en los ecosistemas marinos (Jenkins, 1980). En este trabajo se estudian algunos contaminantes orgánicos presentes en la plataforma continental española. Las muestras son, principalmente, de sedimento aunque en la zona del Delta del Ebro también se han recogido moluscos, plancton y otros organismos presentes en la zona.

Los sedimentos ofrecen una información que permite interpretar los resultados fácilmente ya que actúan como acumuladores de los contaminantes que llegan hasta ellos a través de diversos procesos: deposición, precipitación, floculación y transporte por materiales absorbentes.

También otro tipo de muestras (mejillones, peces y plancton) actúan como magnificadores de la concentración de contaminantes.

Sin embargo, las muestras de organismos vivos, excepto las especies sedentarias, son de difícil adscripción a una zona determinada pues tienen una gran movilidad que hace difícil asignar con precisión los resultados obtenidos al ecosistema en que han sido muestreados.

Los sedimentos y los mejillones son las muestras más utilizadas en el estudio de la contaminación marina ya que reúnen características ideales para la interpretación de resultados tendentes a conocer la incidencia de la actividad humana en las zonas costeras. Distribución e identificación de contaminantes, evolución de éstos en el tiempo y efectos de las corrientes y otros procesos dinámicos en su distribución espacial, son aspectos de este tipo de investigación que se basan en el análisis de los sedimentos. Algunas sustancias analizadas poseen características peculiares que ofrecen información sobre el estado actual y pasado del ecosistema en estudio. Algunas de ellas no son metabolizables, mientras otras sí. Conociendo los niveles de metabolitos podremos conocer en cierta medida si la zona de estudio está sufriendo un aporte actual de contaminantes, y en qué medida, así como los aportes sufridos en el pasado. Los hidrocarburos alifáticos y los PAH's (que son productos derivados del petróleo y sus aplicaciones humanas así como del transporte de crudos) son las fuentes más importantes de este tipo de contaminación. Los hidrocarburos alifáticos, no ofrecen directamente una visión concluyente de los niveles de contaminación de una zona determinada debido a que algunos organismos marinos producen y transforman hidrocarburos alifáticos. Este hecho debe ser tenido en cuenta para evitar falsas interpretaciones al asignar un origen antropogénico o biogénico de estas sustancias. No obstante, la presencia de PAH's y de hidrocarburos alifáticos de número de átomos de carbono (ci) superior a 23 en algunas muestras sugiere la existencia de contaminación por crudos de petróleo. Los hidrocarburos halogenados de alto peso molecular son básicamente DDT's (pesticidas organoclorados) y PCB's (bifenilos policlorados). Estos compuestos, especialmente los PCB's y los pesticidas organoclorados del grupo de los ciclodienos, se metabolizan difícilmente. La familia más conocida de este tipo de sustancias es la de los DDT's de la cual hay extensos estudios en todos los mares del mundo. Esta familia ofrece la característica de que algunos productos de su metabolismo son fácilmente identificables y permiten, por tanto, llevar a cabo evaluaciones fiables de su dinámica en los ecosistemas marinos.



## MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de sedimentos se recogieron con tomatestigos de gravedad y dragas de cuchara. Las estaciones muestreadas pueden observarse en las figuras 1, 2, 3 y 4.

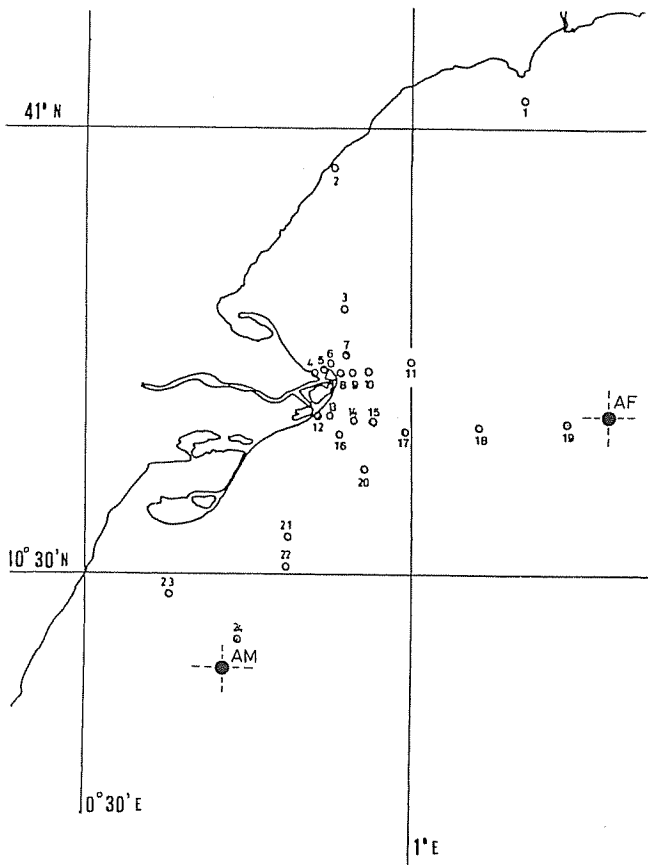


Fig. 1. Distribución de estaciones en el Delta del Ebro.

En la costa de Tarragona se tomaron muestras de mejillones y plancton y en la de Alicante (diversos transectos) se realizaron varias pescas de plancton.

Las muestras se conservaron en congelación ( $-10^{\circ}\text{C}$ ) hasta el momento de efectuar el análisis. El protocolo analítico consiste básicamente en: homogeneización, extracción, concentración, purificación (clean-up) y análisis de los extractos por CGL.

La homogeneización en el caso de muestras de sedimentos se lleva a cabo del siguiente modo: se seca en estufa entre  $40$  y  $50^{\circ}\text{C}$  durante  $10-12$  horas, se le añade una pequeña cantidad de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhidro y se tritura todo en un mortero de porcelana hasta obtener una mezcla homogénea de grano muy fino. Una alternativa a este método es el secado con sulfato sódico sin utilizar la estufa. Para las muestras de mejillones se sigue un procedimiento similar, si bien antes de introducir las muestras en la estufa se homogeneizan las partes blandas. Para las muestras de plan-

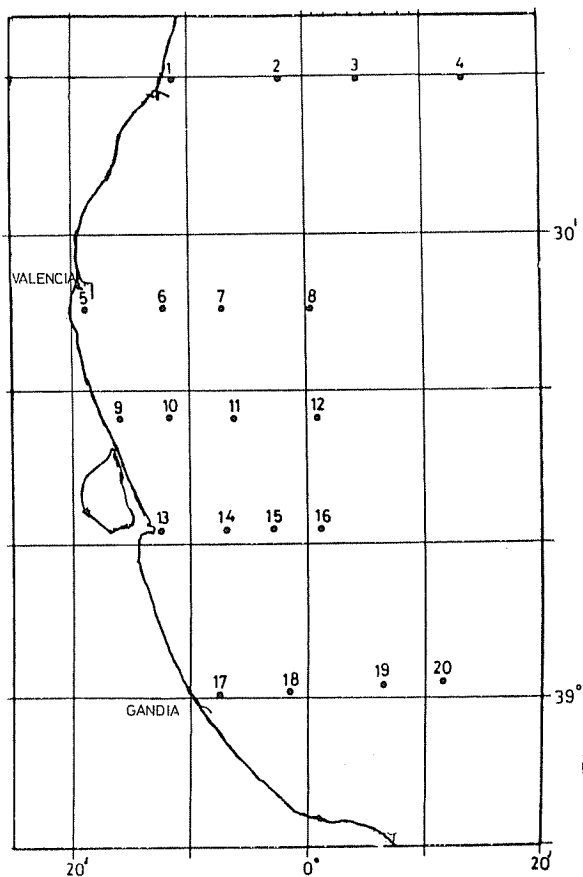
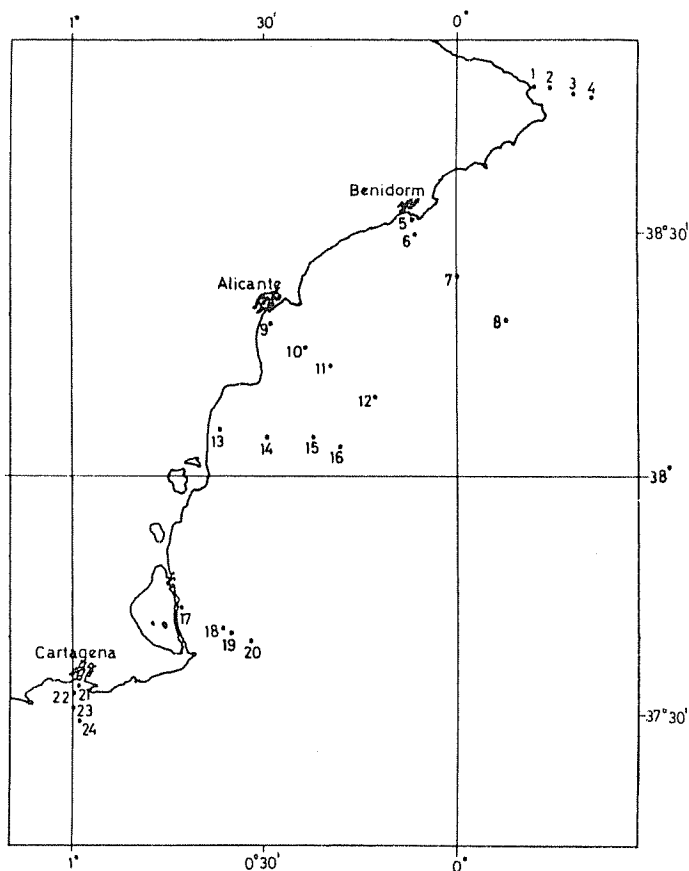


Fig. 2. Distribución de las estaciones en la zona de Valencia.

ton se separa el agua que contiene el recipiente en que se conservan y luego se sigue el protocolo común. La extracción se efectúa por distintos métodos según sea el tipo de muestras. En los sedimentos se aplican ultrasonidos y hexano:cloruro de metileno 1:1. En mejillones, soxhlet y hexano:



Distribución de estaciones en la zona de Alicante.

cloruro de metileno 1:1, 8 horas. El plancton se trata con cualquiera de los métodos anteriores. Los solventes deben ser de grado «pesticida».

Los extractos se concentran en «Rotavapor» hasta un volumen de 5-10 ml. Para poder introducir la muestra en el cromatógrafo de gases debe sufrir antes un pretratamiento purificador. Éste puede ser común a todos los tipos de muestras; los empleados en este trabajo han sido los siguientes:

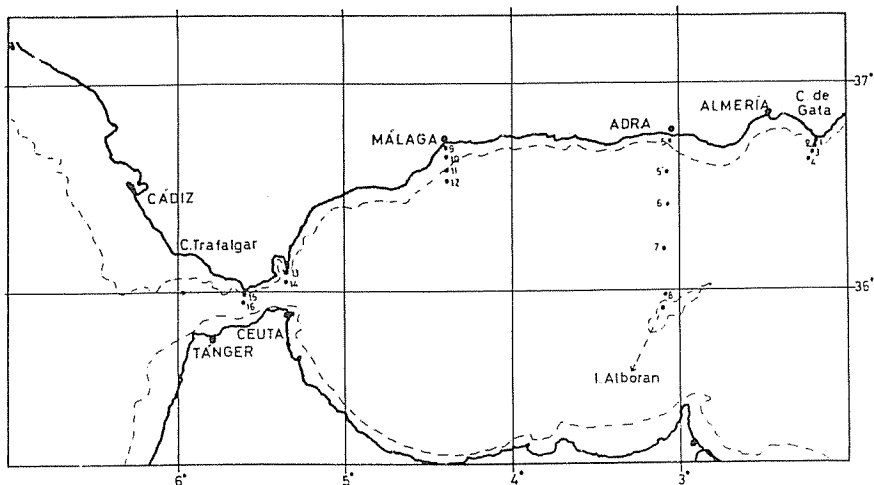


Fig. 4. Distribución de estaciones en la zona del Mar de Alborán.

1. *Ácido sulfúrico*: (Murphy, P.G. 1972) a 15-20 ml de extracto se les añaden 5 ml de ácido sulfúrico concentrado y se deja reposar la mezcla durante 24 horas. Una vez las dos fases se han separado, se toma de la orgánica 10-15 ml que se concentran pudiéndose efectuar la inyección; este método destruye ciertos pesticidas órganoclorados (Dieldrin, Endrin, Endosulfan, etc.) y los hidrocarburos aromáticos de peso molecular medio y elevado.
2. *Florisil*: (Risebrough., 1980). Este es el método de uso más extendido. Se basa en una cromatografía en columnas en la que el adsorbente es un silicato de magnesio denominado comercialmente *florisil*. La columna se prepara del siguiente modo: se activa el adsorbente a 130° C durante 24 h, se carga la columna (l = 30 cm, Ø<sub>o</sub> = 1 cm) en seco o con un eluyente apropiado (hexano), la desactivación se realiza antes del llenado con una adición de 3-5 % de agua. Los grupos eluidos son: a) Hexano 100 % Eluye PCB's, pp'-DDE, Heptachlor, parte de op'-DDT y Aldrin; b) Hexano:cloruro de metileno 1:1, 50 ml; eluye: pp'-DDD, pp'-DDT, Dieldrin, Endrin, HCH's, Endosulfan I y II, PAH's; y c) Acetona 100 %, 50 ml, eluye los productos más polares fundamentalmente los ácidos grasos. Este modo de utilizar el método del florisil es óptimo con sedimentos pero con plancton y mejillones debe ser modificado ya que el contenido en lípidos es más elevado en ese tipo de muestras. Básicamente las modificaciones consisten en: 1) la columna cromatográfica

es de diámetro interno mayor (2 cm), 2) los volúmenes de eluyentes son mayores (100-150 ml). Estos son: I) hexano 100 %, II) Hexano-cloruro de metileno 3:1 y III) hexano-cloruro de metileno 1:1.

3. *Acetonitrilo*: Se realiza sobre un extracto ya concentrado al que se le añade en un embudo de decantación  $\text{CH}_3\text{CN}/\text{H}_2\text{O}$  1:1. Se agita y luego se separan las fases; la fase orgánica se conserva y la acuosa se lava con hexano; la fase orgánica resultante del lavado se añade a la anterior. Se concentra y queda dispuesta la muestra para la inyección. Este método no destruye las sustancias orgánicas pero no puede utilizarse si las muestras contienen cantidades elevadas de lípidos, por lo que sólo se ha aplicado a muestras de sedimentos que, en general, contienen bajos niveles de estos compuestos.

Para la confirmación de los picos de pp'-DDT y pp'-DDD se usa un tratamiento con  $\text{KOH}/\text{EtOH}$  0.1 N. Se realiza sobre un extracto tratado con uno de los métodos de purificación ya descritos, añadiendo después de haberlo llevado a sequedad 1 ml de la solución anterior. Para obtener la fase orgánica inyectable se añade 1 ml de hexano, se dejan separar las fases y la fase no polar se inyecta. Los picos de HCH's, pp'-DDT y pp'-DDD se destruyen (estos dos últimos se convierten en pp'-DDE y pp'-DDMU) con lo que confirmamos su identidad y la cuantificación previa por no existir solapamiento con otras sustancias. A las muestras de sedimentos se les debe eliminar el S, pues éste interfiere el análisis con el detector de captura de electrones (ECD). La eliminación se lleva a cabo por adición de virutas de Cu, decapadas con  $\text{HNO}_3$ , sobre el extracto ya purificado antes de la inyección.

*Aparatos y reactivos*: Aparato de ultrasonidos: MEGASON PA-20-600, 20 KHz, 600W. Rotavapor Büchi. Homogeneizador Virtis S-23. Hexano para pesticidas, H-300. Cloruro de metileno, Merck n.º 6054, para pesticidas y Fisher, para pesticidas, D-142. Florisil, Merck n.º 12.518, mesh: 60-100. Ácido sulfúrico PA, PANREAC, Acetonitrilo Merck n.º 17, para pesticidas, Cu, virutas. Ácido nítrico Merck n.º 452, para análisis. KOH Merck n.º 5.038.

*Cromatógrafos y condiciones de trabajo*:

Cromatógrafo DANI 3900 y DANI 3800 HR.

Columnas empleadas: Capilares; vidrio: OV-1, 25 m  $\varnothing_0 = 0.2$  mm.TZ-30.

SE-52, 20 m  $\varnothing_0 = 0,3$  mm.TZ=28. Silice fundida: SE-52, 15 m,

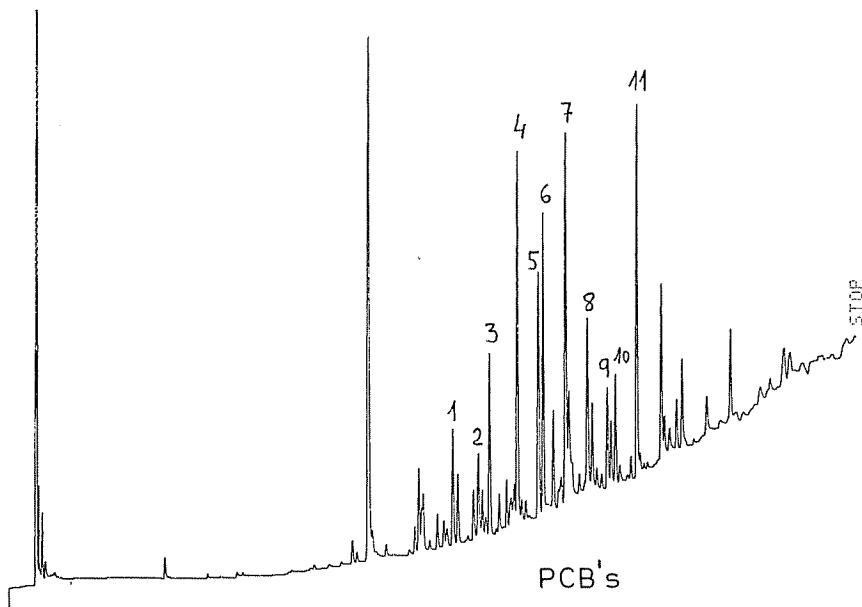


Fig. 5. Cromatogramas de patrones. Columna capilar. PCB's (mezcla A1254+A1260).

$\varnothing_o = 0.2$  mm. TZ-30. Relleno de las columnas de vidrio según Grob & Grob.

Sistemas de inyección: split, splitless y PTV.

Detectores ECD/FID. ECD:  $^{63}\text{Ni}$ , 10 mCi. en modulación de frecuencia.

Gases: Portador, He, 2-3 ml/min. Auxiliar;  $\text{N}_2$ (ECD), 40 ml/min.

Llama FID: Aire, 150 ml/min. Hidrógeno, 30 ml/min.

Temperaturas: Detector, 300° C (ECD) Inyector: 275° C.

Programas de temperatura:

Inyección split:

100°C-6°C/min-240°C y 140°C-4°C/min-240°C (SE-52, silice)

120°C-4°C/min-225°C (OV-1. vidrio)

130-3°C/min.-250°C (SE-52, vidrio)

Inyección splitless:

80°C-6°C/min-120°C-4°C/min-230°C (SE-52, silice)

80°C-4°C/min-250°C (SE-52-y OV-1, vidrio).

60°C-5°C/min-250°C (todas las columnas).

Tiempo de cierre de las válvulas de split y purga de septum en la inyección splitless: 45 segundos.

Registrador-integrador: Shimadzu CR1A.

Cromatógrafo de columnas de relleno: VARIAN SERIES 2700. Columnas 5 % QF-1 y OV-17 (1,5 %) + OV-210 (1,95 %) en Varapot.

Detector: ECD. Temperatura, 250°C (pulsos).  $^{63}\text{Ni}$ , 8 mCi.

Temperatura: Inyector: 275°C. Columnas: 5 % QF-1, 185°C; 1,5 % OV-17 + 1,95 % OV-210, 200°C.

En los análisis de los PCB's, se han usado patrones de Aroclor 1254 y 1260, suministrados por APPLIED SCIENCE. Los pesticidas organoclorados se han cuantificado con un patrón externo SUPELCO 4-8822 y los hidrocarburos alifáticos con patrones de C14 C21 y C30 (figuras 5 y 6).

La cuantificación de los PCB's es la que resulta más crítica al ser éstos una mezcla de varios isómeros y variar el número de picos y su contribución al espectro general según el contenido de Cl (expresado en % por las dos cifras finales de los distintos tipos de Aroclor).

Dado que las muestras presentan generalmente dos tipos de Aroclor, el 1254 y el 1260, se han identificado y cuantificado ambos. En algunos casos los resultados se expresan como Aroclor 1254. En otros como una mezcla de ambos tipos siendo este caso el que más se acerca a la realidad de las muestras (García-Regueiro, 1982).

En las figuras 5 y 6 se pueden observar los picos que se escoge para cuantificar los distintos tipos de Aroclor y los que ofrecen una indicación sobre la cuantía de cada tipo en la mezcla. Los picos 5 y 6 permiten calcular las proporciones de 1254 y 1260, dado que el pico 5 depende principalmente del Aroclor 1254 y el pico 6 contribuye con más del 75 % al Aroclor 1260. Además, el pico 11 solamente aparece en el Aroclor 1260, con lo que este pico confirma su presencia. Este tipo de análisis se puede hacer exclusivamente con columnas capilares pues las columnas de relleno no ofrecen suficiente resolución. El análisis de los pesticidas organoclorados se simplifica en gran medida usando columnas capilares por no existir solapamiento de picos que impide la identificación y cuantificación correcta de las sustancias sin aumentar las operaciones de purificación del extracto.

## DISCUSIÓN

### 1. *Resultados obtenidos en muestras del sector costero de Tarragona.*

En la figura 1 se muestran las estaciones estudiadas en este sector. Los sedimentos pertenecen a dos zonas diferentes: a) Exterior al Delta del Ebro (estaciones: 23, 21, 20, 17, 11, 3, 2 y 1) y b) costa del Delta y con-

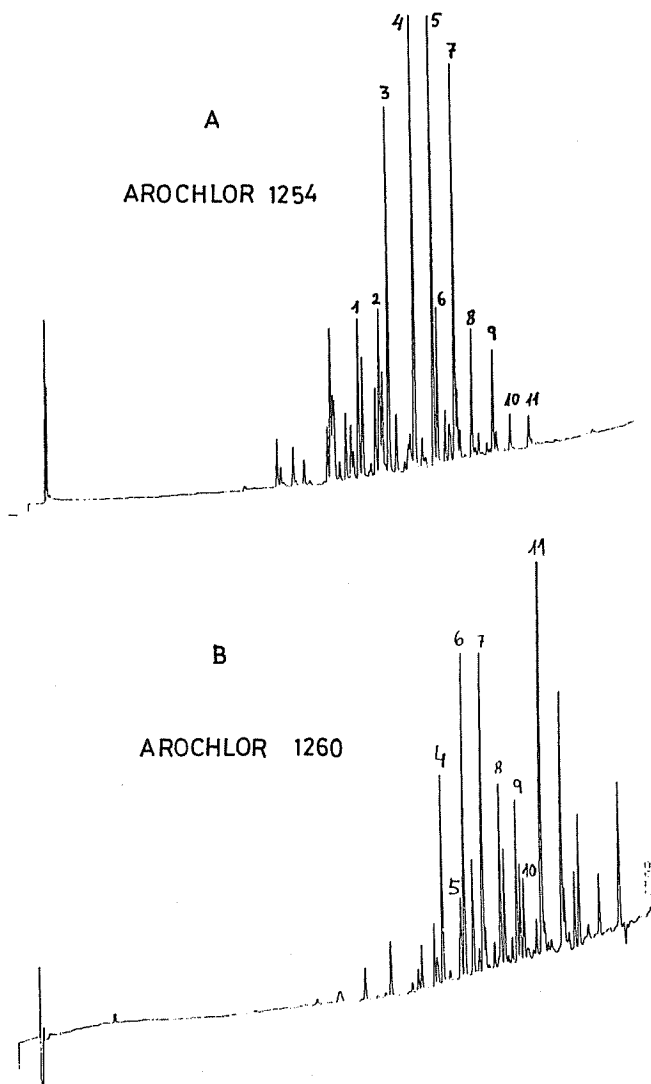


Fig. 6. Cromatogramas de Aroclor 1254 y Aroclor 1260.



tiguas a él. Los sedimentos exteriores están situados en la pluma del Delta (Estaciones: 20, 17 y 11) o en lugares a los que ésta no llega o su influencia es muy débil. Las muestras del plancton se recogieron en dos puntos (7 y 9) muy próximos a la desembocadura del río y otro en la proximidad de Vandellós (2). Los mejillones se recogieron en el Fangar, Ampolla, San Carlos de la Rápita y els Alfacs.

Los sedimentos que se encuentran bajo la influencia de la pluma del Delta muestran niveles más altos de contaminantes que los alejados de ella (Cuadro I). La estación 20 presenta los niveles más altos y las estaciones 21 y 23 los más bajos de la zona. La estación 11 es de cariz intermedio lo que está de acuerdo con su posición. Los niveles de PCB's en estos sedimentos son bajos (1,0 a 0,1 ppb's). Los sedimentos que contienen los niveles mínimos de DDT's son relativamente más ricos en los DDT's derivados producidos por biodegradación indicando un mayor tiempo de metabolización de los mismos. No obstante, debido a los múltiples factores que intervienen en la deposición y metabolización de este grupo de sustancias es difícil asignar únicamente a esta circunstancia el fenómeno descrito.

Los sedimentos de la periferia del Delta contienen más PCB's (16 ppb's, estación 4, Cuadro II) que los exteriores. Se observa que cuando nos alejamos del Delta disminuyen los niveles de hidrocarburos halogenados de alto peso molecular. La decisiva influencia del río queda de manifiesto cuando examinamos la estación 12, situada en una antigua desembocadura del Delta (boca de Llevant, hoy cerrada) que no posee contaminación apreciable y que muestra una granulometría totalmente distinta de la estación 4 situada en una zona de desembocadura activa del río. En el Cuadro III se observa que los núcleos urbanos contribuyen a un mayor nivel de PCB's. Los hidrocarburos alifáticos determinados en estos sedimentos ofrecen bajos niveles observándose una cierta contribución antropogénica en las proximidades del núcleo urbano correspondiente al puerto de Castellón (PII, 21, cuadro II).

#### DDT's Y SUS METABOLITOS

Estación	op'DDE	pp'DDE	op'DDD	pp'DDD	op'DDT	pp'DDT	TOTAL
23	2,10	1,38	2,62	Trz.	Trz.	2,03	8,13
21	0,10	1,10	2,53	1,95	0,22	5,51	10,41
20	0,18	2,58	1,65	1,08	4,75	15,38	25,62
17	0,34	2,63	2,85	4,26	1,62	12,44	24,14
11	4,99	4,99	1,83	2,40	0,50	8,38	18,40

Cuadro I. DDT's en estaciones del Delta del Ebro. Valores en ppb (peso seco).

Estación	$\alpha$ -HCH	$\gamma$ -HCH	pp'-DDE	pp'-DDD	pp'-DDT	PCB's
4 (Boca Norte)	—	—	—	—	—	16,00
Riomar	0,11	0,25	1,48	—	14,52	10,95
Boya O. P.	0,07	0,22	0,84	0,67	0,23	9,48
Cambrils	0,06	0,09	0,10	—	0,27	2,19
Delta D. S.	—	—	0,33	—	—	—
PII, 21	0,13	0,12	0,63	0,49	0,77	2,21
E12-E77	0,03	0,07	0,04	—	—	—
E13-E77	0,25	0,49	0,94	0,72	1,74	6,02

**A**

Estación	C <sub>15</sub> -C <sub>24</sub>	C <sub>17</sub>	Pristane	C <sub>18</sub>	Phytane	C <sub>17</sub> /Pris.	C <sub>18</sub> /Phyt.
E14E77	0,279	0,038	0,065	0,022	0,011	0,59	1,89
Cambrils	1,132	0,151	0,066	0,327	0,058	2,28	5,59
PII, 21	*	0,391	0,193	0,192	0,133	2,02	1,45

**B**

Cuadro II. A. Pesticidas organoclorados y PCB presentes en sedimentos periféricos del Delta del Ebro. — no detectado. PCB (Aroclor 1254 + Aroclor 1260). Concentraciones en ppb (peso seco). Muestra E12E77 tomada frente a C. B Vandellón. Muestra E13377 frente a La Ametlla de Mar. Muestra PII,21 frente al Grao de Castellón.

B. Hidrocarburos alifáticos presentes en sedimentos próximos al Delta del Ebro.

\* No cuantificado. Concentraciones en ppm (peso seco). Muestra E14E77 tomada frente a la Boca Norte.

Muestra	$\alpha$ -HCH	$\gamma$ HCH	op'DDD	pp'-DDE	pp'-DDD	pp' DDT	PCB's
El Fangar	0,7	1,7	21,2	46,1	65,7	8,1	100,1
Ampolla	1,0	3,0	40,7	68,4	99,1	76,0	649,4
S. Carlos de la Rápita	—	—	18,2	62,7	97,1	20,0	716,2

Cuadro III. PCB's DDT's y HCH's en muestras de mejillones de la costa de Tarragona. Los resultados se expresan en ppb (peso seco). PCB's cuantificados como mezcla de 1254 y 1260.

El plancton de las zonas próximas al Delta y a Vandellós contiene DDT's y PCB's en niveles muy similares, mientras que en los sedimentos estos niveles son muy distintos (la concentración de PCB's es de 10 a 20 veces superior a la de DDT's, Cuadro IV). Los mejillones analizados conjuntamente con el Bodega Marine Laboratory (Risebrough et al., 1982), contienen niveles de PCB's entre 1,0 a 0,1 ppm's. Los de San Carlos de la Rápita y Ampolla (1 ppm) están más contaminados que los del puerto del Fangar. Esta circunstancia refleja la circulación general en la zona (corrientes hacia el suroeste) y la notable influencia de la proximidad de núcleos de población importantes (Cuadro III). También otros mejillones analizados en zonas próximas a la plataforma Amposta (Ballester et al., 1982), muestran los mismos tipos de contaminación aunque en niveles inferiores dada su mayor lejanía del Delta y por tanto teniendo una menor acumulación de hidrocarburos halogenados de alto peso molecular.

Las concentraciones encontradas en todos los tipos de muestras concuerdan con las que se dan en otros trabajos realizados en el Mediterráneo (Puccetti, 1980, Elder, 1977).

## 2. Resultados obtenidos en muestras de la costa valenciana

En la Figura 2 se indican los puntos en que se tomaron muestras de sedimentos en esta zona. La distribución de los distintos contaminantes muestra una clara tendencia a aumentar las concentraciones en dirección sur-suroeste. Otra característica importante de la distribución consiste en que los pesticidas organoclorados muestran las concentraciones máximas en las estaciones intermedias de cada radial (Cuadro V, Figura 7). Los PCB's tienen en todas las radiales un tipo de distribución irregular que contrasta con las de los DDT's. En las estaciones situadas en las proximidades de Sagunto (10) y Valencia (3) se localizan los valores máximos de PCB's. Como puede observarse por los valores consignados en el Cuadro V, los metabolitos del DDT están distribuidos casi uniformemente en todas las estaciones y la relación: [metabolitos totales] / [pp'-DDT] es  $\geq 1$  excepto en las zonas medias de las radiales de Sagunto y Valencia situadas en las proximidades de importantes descargas urbanas e industriales.

Los hidrocarburos alifáticos (Cuadro VI) muestran tendencias similares a las de los pesticidas organoclorados con niveles de 1 a 2 ppm (C14-C21).

Las relaciones C17/Pristano y C18/Fitano indican que la metabolización en las estaciones intermedias es baja lo cual es coincidente con lo descrito para DDT's y PCB's aunque la interpretación en el caso de los hidrocarburos es más difícil dado que son frecuentes los aportes simultáneos de hidrocarburos biogénicos y antropogénicos.

## PLANCTON DELTA DEL EBRO

Estación	$\alpha$ -HCH	$\gamma$ -CHC	Hidrocarburos Halogenados (ppb's)					PCB's
			pp'-DDF	pp'-DDD	pp'-DDT	Dieldrin		
Delta D.	0,88	3,43	17,14	10,30	9,92	3,50	298,85	
C. Tortosa	1,07	4,25	18,40	11,14	13,31	—	237,07	
Vandellós	1,48	4,45	16,45	17,66	—	14,95	229,05	

Estación	Hidrocarburos Alifáticos (ppm's)						
	C <sub>17</sub>	Pristano	C <sub>18</sub>	Fitano	C <sub>15</sub> -C <sub>24</sub>	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>
Vandellós	6,53	33,05	5,90	0,708	68,98	0,20	8,3

Cuadro IV. Pesticidas organoclorados y PCB's en muestras de plancton del Delta del Ebro. Todos los resultados se refieren a peso seco ( $r_1 \equiv C_{17}$ /Pristano;  $r_2 \equiv C_{18}$ /Fitano).

Estación	pp'-DDE + pp'-DDD	pp'-DDE + pp'-DDD / pp'-DDT	PCB / DDT	pp' — DDE	pp' — DDD	pp' — DDT	PCB's (Aroclor 1254)	PCB's (T)
1	1,73	1,27	3,26	1,18	0,55	1,28	5,70	4,18
2	1,05	0,61	6,75	0,51	0,54	0,54	7,36	4,32
3	2,82	1,76	4,99	1,66	1,16	1,60	12,58	7,99
5	0,94	1,65	8,46	0,74	0,20	0,57	Nc	4,82
6	1,46	1,21	4,74	0,87	0,59	1,21	11,15	5,74
7	1,09	0,73	2,68	0,56	0,53	1,49	7,80	3,99
9	—	—	—	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
10	1,75	1,75	7,28	1,26	0,49	1,00	14,45	7,28
11	1,36	—	—	1,07	0,29	Nc	Nc	6,73
15	2,62	3,91	11,79	1,69	0,93	0,67	14,64	7,90
16	0,94	1,24	6,34	0,67	0,27	0,76	10,76	4,82

Cuadro V. PCB's y DDT's en muestras de sedimentos de la zona de Valencia. Los resultados se dan en ppb (peso seco).

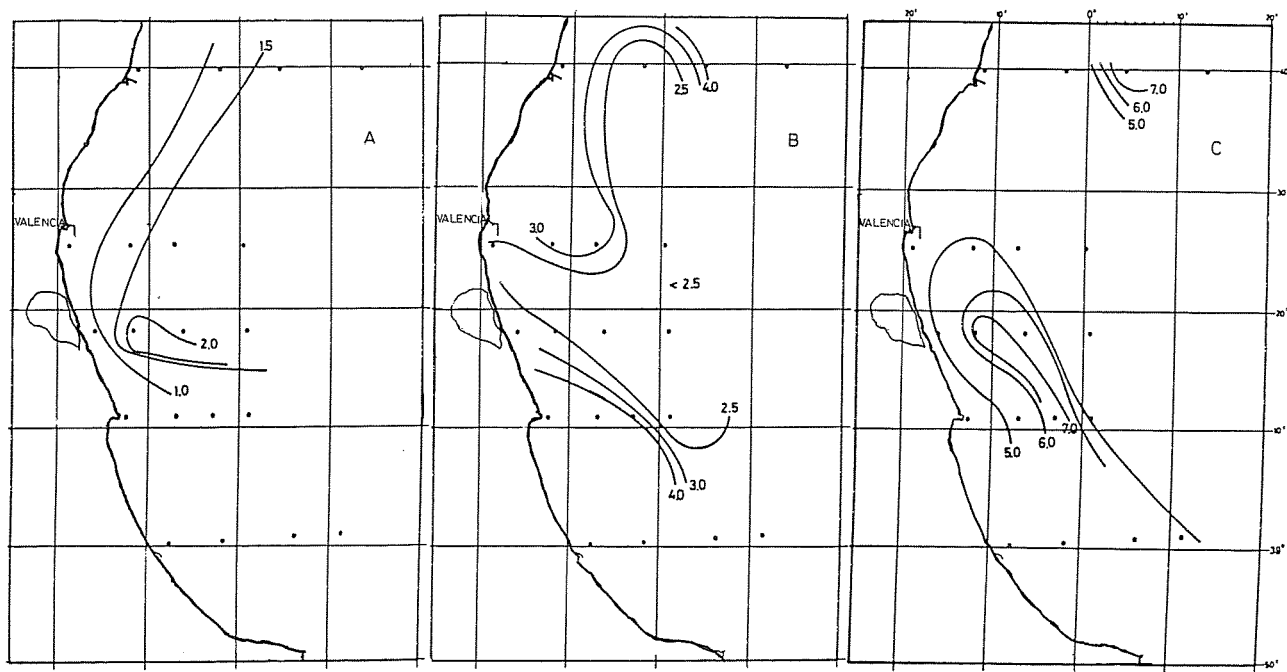


Fig. 7. Distribuciones de: A. Hidrocarburos alifáticos ( $C_{14}-C_{24}$ ) (ppm). B. DDT's (ppb). C. PCB's (ppb).

Todos estos resultados concuerdan con los estudios microbiológicos (Castellví, 1982) y con las características de las corrientes marinas en la zona (Anónimo, 1981). Las estaciones que tienen mayores niveles de contaminantes son las que muestran mayor actividad biológica y se alinean en la dirección predominante de las corrientes.

El  $\alpha$ -HCH se distribuye de manera parecida a los demás contaminantes pero con niveles inferiores a los de DDT's (Cuadro VI). En tres estaciones se determinó la concentración de Dieldrín mostrando valores más altos que los del  $\alpha$ -HCH en las mismas estaciones y similares a los de pp'-DDT y sus metabolitos. Esto indica un importante uso de este compuesto en las zonas agrícolas próximas. En esta zona se producen los dos tipos principales de influencia de las actividades humanas: agrícola e industrial. Ambas con una notable intensidad. Es de notar que los sedimentos correspondientes a niveles inferiores a —100 m de profundidad presentan valores muy bajos lo cual debe interpretarse como el resultado de la existencia de un límite en la influencia continental coincidente con las proximidades del borde de la plataforma continental.

### 3. *Resultados obtenidos en muestras de la costa de Alicante-Cartagena*

De acuerdo con las concentraciones de contaminantes que presentan las muestras correspondientes a la zona (niveles de concentración que muchas veces se acercan a los límites de detección) la contaminación es muy baja. No obstante, hay que tener en cuenta que los sedimentos marinos de este sector difieren de los de la zona de Valencia-Tarragona en cuanto a sus características granulométricas. Los sedimentos, aquí son de grano grueso, en general, siendo poco aptos para la retención de moléculas orgánicas y de metales pesados en forma iónica o de complejo orgánico.

De acuerdo con los datos obtenidos existen tres tipos de estaciones: radial 1-4 (estaciones de transición), radiales 5-8, 9-12, 13-16 y 17-20 y radial 21-24 (Figura 3).

Las estaciones del primer grupo tienen contenidos elevados de DDT's y PCB's que sobrepasan mucho los de las radiales centrales (estaciones 5-20) con la excepción de la estación 17 (Figura 8). Las estaciones del tercer grupo (21-24) corresponden al área de Cartagena y presentan los niveles más altos de contaminantes en toda la zona. Las actividades portuarias, la presencia de una refinería de petróleo en las proximidades y las intensas actividades mineras en las proximidades de la costa justifican plenamente los altos niveles encontrados para DDT's hidrocarburos y también metales pesados (Hg, Pb, Cd). Otra vez se observa una tendencia a encontrar los máximos de contaminantes en las terceras estaciones de los radiales (—75 m.) y los mínimos en las estaciones exteriores (—100 m o más). En el caso de los PCB's este tipo de distribución no es tan evidente. Tampoco los

Estación	C <sub>14</sub> - C <sub>20</sub>	Pristane	Phytane	C <sub>17</sub> /Pristane	C <sub>18</sub> /Phytane
1	0,59	0,038	0,023	1,80	1,41
2	1,36	0,053	0,040	2,55	1,32
3	1,71	0,142	0,067	1,16	1,30
6	1,43	0,093	0,065	2,18	1,45
7	1,55	0,080	0,049	2,22	1,96
10	2,33	0,113	0,058	2,30	1,82
11	1,91	0,070	0,039	2,69	2,11
15	1,31	0,088	0,054	2,44	1,38
16	1,54	0,079	0,045	2,19	2,17

Estación	$\alpha$ -HCH	Dieldrin
1	0,35	NA
2	0,29	1,48
3	1,06	NA
5	0,47	NA
6	1,15	NA
7	0,86	NA
9	0,06	NA
10	0,65	1,41
11	0,70	0,95
15	0,62	NA
16	0,79	NA

Cuadro VI. Hidrocarburos y HCH en sedimentos de la zona de Valencia. H. alifáticos en ppm y  $\alpha$ -HCH en ppb (peso seco).

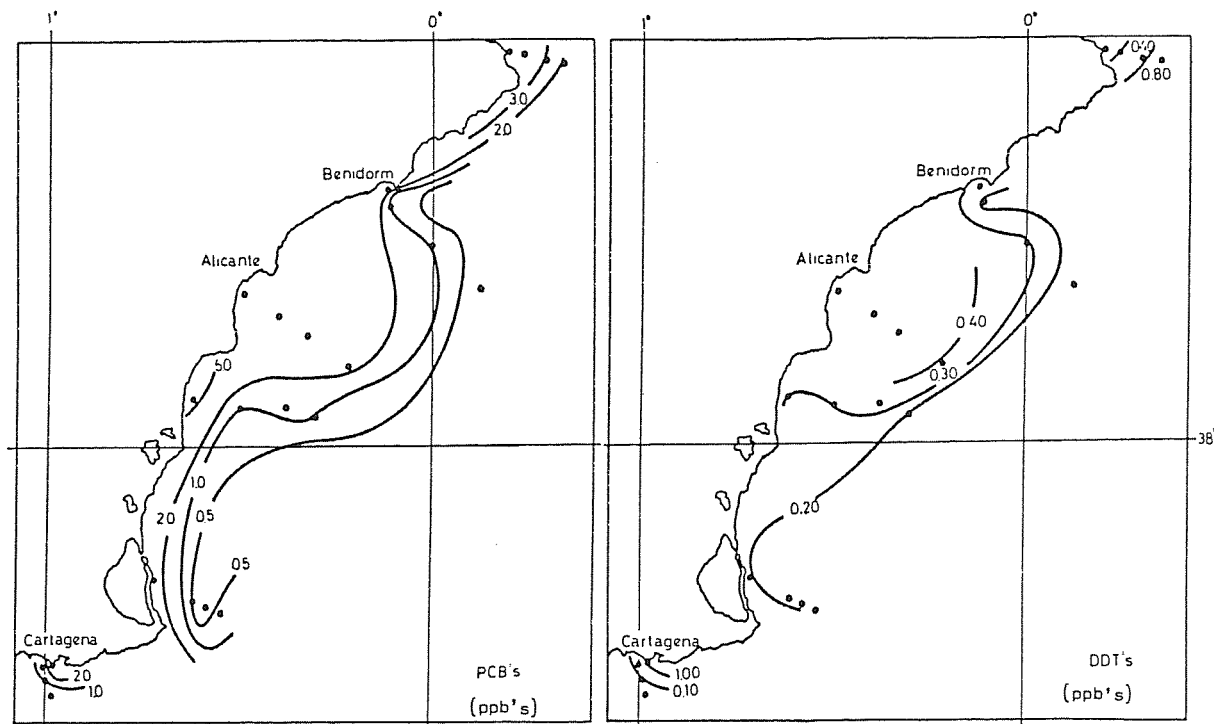


Fig. 8. Distribución de PCB's y DDT's en la zona de Alicante.



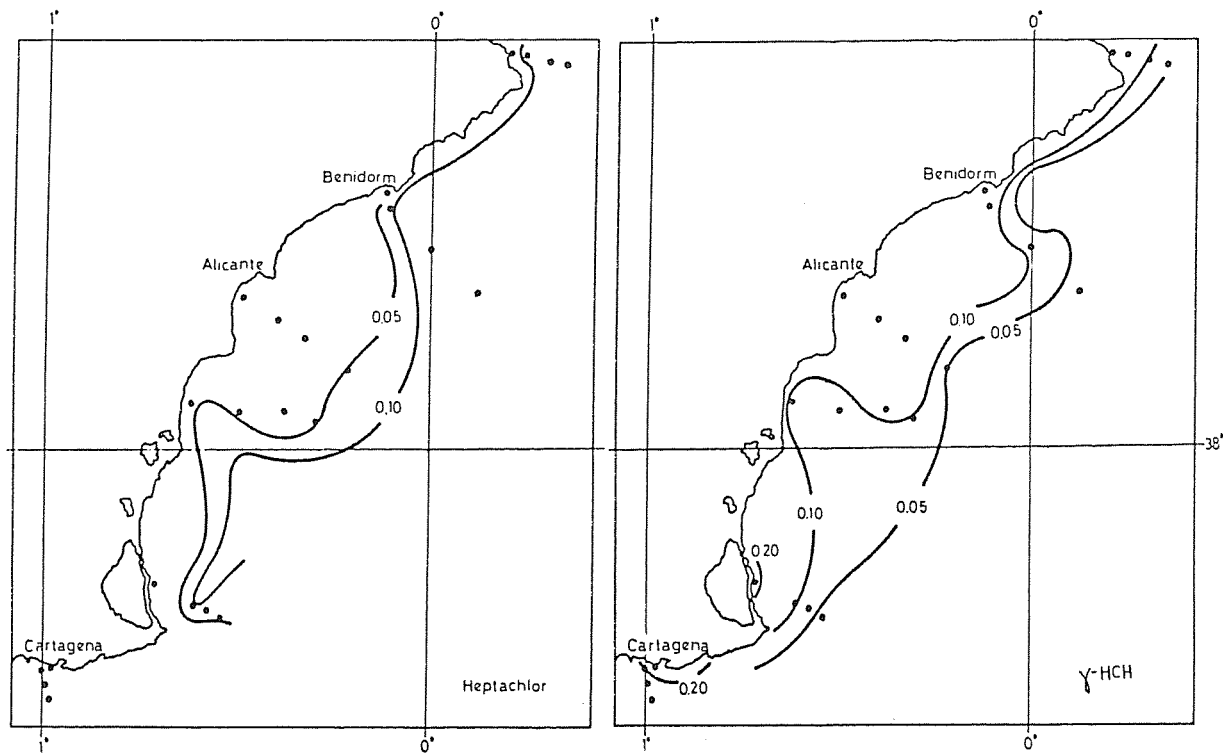


Fig. 9. Distribución de las concentraciones de Heptachlor y  $\gamma$ -HCH en la zona de Alicante.

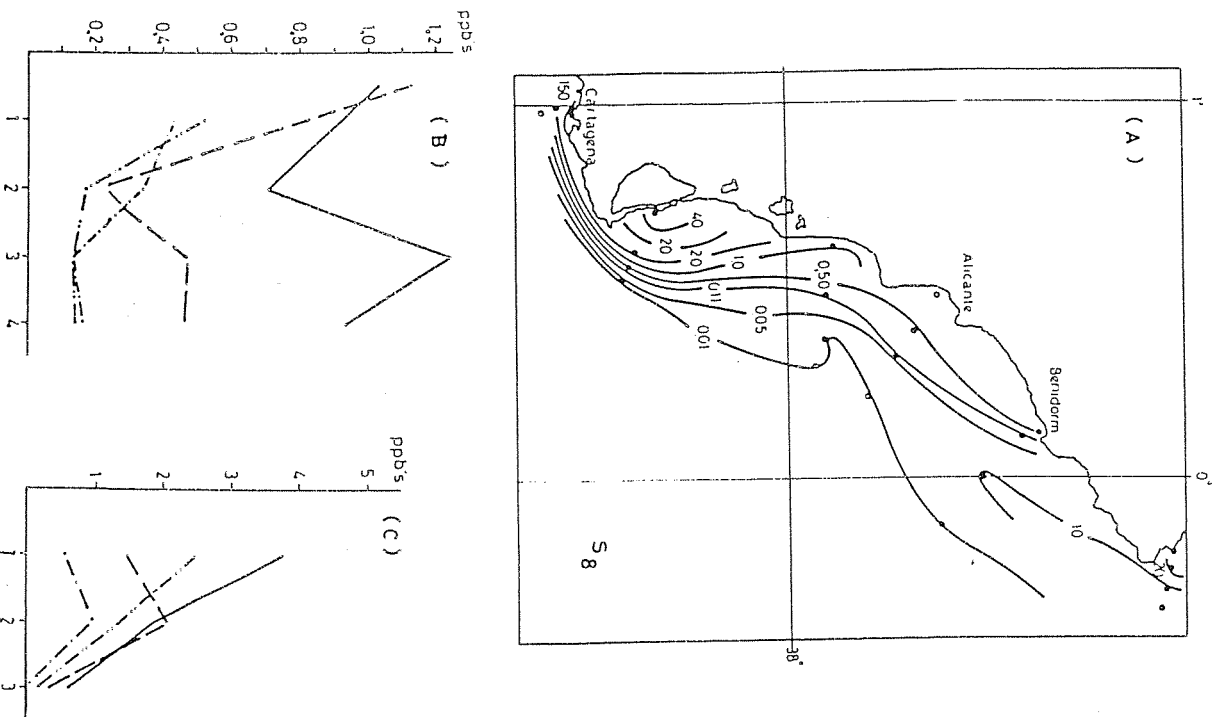


Fig. 10. A. S. en la zona de Alicante. (B) DDT's —; PCB's - - -; HCH - · - ·; dieldrin — · — en la zona de Alicante y (C) en el Mar de Alborán.

Estación	$\alpha$ -HCH	$\gamma$ -HCH	Heptachlor	Aldrin	Hept-Epóx.	$\alpha$ -Endos.	Dieldrin	Endrin	PCB's
1	0,10	0,22	0,10	ND	0,06	0,07	0,09	ND	3,15
3	0,11	0,30	0,20	ND	NC	NC	NC	NC	3,64
6	0,03	0,07	0,09	ND	ND	0,02	0,09	0,10	0,82
7	0,02	0,12	ND	ND	ND	ND	0,02	ND	1,08
12	0,02	0,06	0,04	0,007	0,03	0,025	0,10	0,03	2,66
13	0,04	0,12	0,04	ND	0,04	0,05	0,07	0,10	5,66
14	0,08	0,18	ND	0,06	ND	0,03	0,15	0,05	0,94
16	0,10	0,15	0,04	ND	0,04	0,02	0,06	ND	0,96
17	0,38	0,30	ND	ND	ND	ND	0,07	0,01	2,57
18	0,06	0,25	0,08	ND	NC	NC	NC	NC	0,37
20	0,05	0,03	0,03	ND	ND	0,06	0,04	ND	1,01
21	0,06	0,22	0,21	0,03	NC	NC	NC	NC	38,02
22	0,10	0,33	0,22	ND	NC	NC	NC	NC	19,20
23	ND	0,04	ND	ND	NC	NC	NC	NC	7,15

Cuadro VII. Pesticidas organoclorados en la zona de Alicante. Resultados en ppb (peso seco). ND, no detectado. NC, no cuantificado.

Estación	pp'-DDE	pp'-DDD	DDT's	pp'-DDE/pp'-DDD
1	0,27	0,22	0,49	1,23
3	0,46	0,40	0,86	1,15
6	0,11	0,03	0,14	3,67
7	0,26	0,13	0,39	2,00
12	0,27	0,22	0,49	1,23
13	0,12	0,22	0,34	0,54
14	0,23	0,14	0,37	1,64
16	0,15	0,12	0,27	1,25
17	0,10	0,10	0,20	1,00
18	0,11	0,08	0,19	1,37
20	0,12	0,06	0,18	2,00
21	0,80	1,73	2,53	0,46
22	0,48	0,94	1,42	0,51
23	0,23	ND	0,23	—

Cuadro VIII. DDT's en sedimentos de la zona de Alicante. Resultados en ppb (peso seco). El pp'-DDT no ha sido detectado (<0,05 ppb). DDT's = pp'-DDD + pp'-DDE.

HCH's y Dieldrín (Figura 9), tienen distribuciones particulares y, en todo caso, los valores son muy próximos al límite de detección, especialmente el Dieldrín (Figura 10). Heptachlor y Endrín (detectado en las estaciones 13 y 17) están presentes en concentraciones también muy bajas. Aldrín y  $\alpha$ -Endosulfan muestran valores inferiores a los de Dieldrin. Altos valores de PCB's se detectan en las estaciones 13, 17, 21 y 22 (Cuadro VII). Los niveles correspondientes a los metabolitos del pp'-DDT son similares en todas las estaciones con valores de pp'-DDT siempre muy bajos. La relación pp'-DDE/pp'-DDD oscila en torno a 1 en todos los puntos muestreados (Cuadro VIII). Las estaciones que presentan mayores diferencias son las 6, 13 y 20 en la zona central y 21 y 22 en la radial de Cartagena. Los hidrocarburos alifáticos estudiados están presentes en concentraciones próximas a 0,1 ppm. En la estación 21 se han encontrado valores máximos muy superiores al resto de los puntos muestreados (Cuadro IX-B). En este punto hemos atribuido la presencia de hidrocarburos a una contaminación antropogénica. En los restantes casos, es difícil definir su origen. En las muestras de plancton analizadas (Estaciones 9, 17 y 19) los niveles de PCB's encontrados son iguales a los de las muestras obtenidas a los de la zona del Delta del Ebro (0,1-0,2 ppm) si exceptua-

mos la muestra 9 (1,0 ppm) que debe reflejar, sin duda, la influencia del Puerto de Alicante (Cuadro IX-A).

Se analizó también el contenido de  $S_8$  en los sedimentos de la zona. La presencia de  $S_8$  es debida a la actividad bacteriana y se ha intentado encontrar una posible relación con los niveles de los contaminantes estudiados. La distribución de  $S_8$  confirma la división de las estaciones en tres grupos de características distintas. (Figura 10-A y Cuadro X). La estación 17 tiene valores muy altos de  $S_8$  adscribibles a la influencia del Mar Menor que alcanza la estación 18. Excepto en las estaciones 17 y 18, existe una relación entre niveles de contaminantes y  $S_8$  siendo ésta más evidente en la radial de Cartagena. La distribución de los valores de  $S_8$  no es sencilla. Así, mientras los valores máximos en este sector se encuentran siempre en el nivel —75 m (exceptuando la radial de Cartagena), en el sector de Valencia, la distribución detectada es muy diferente. De ahí que todo intento de correlacionar el  $S_8$  con los metales pesados o actividad sulfato-reductora de las bacterias presenta enormes dificultades.

#### 4. *Resultados obtenidos en muestras de la costa Almería-Gibraltar*

La situación de las estaciones estudiadas se ha representado en la Figura 4. Los niveles de pesticidas organoclorados y de PCB's en esta zona son muy bajos, inferiores siempre a los correspondientes a los anteriormente presentados (Figura 15, 16 y Cuadro XI). Los hidrocarburos alifáticos están presentes en niveles tan bajos que su cuantificación es difícil y la estimación de su origen, imposible. Como anteriormente se ha dicho, el tamaño de grano de los sedimentos condiciona decisivamente sus contenidos en contaminantes. Así, en las estaciones 1, 2, 3, 4 y 16 (de naturaleza arenosa) se encuentran los valores mínimos. Las estaciones 12, 5, 5A y 7, en cambio, tienen sedimentos de grano fino y los contenidos de contaminantes son más altos (Figura 16). Los valores mayores de DDT's se detectan en la estación 5' (pp'—DDT = 0,56 ppb). El sedimento de la estación 12 es de grano fino presentando los valores máximos de PCB's. Es probable que la influencia de la ciudad de Málaga sea la causa del alto nivel de contaminación específica. Los sedimentos de la zona de Gibraltar (Estación 16), son de naturaleza arenosa y muestran los valores más bajos de toda la zona. Las concentraciones de  $S_8$  en los sedimentos de los puntos 5 y 5' son superiores a las de varios puntos de la costa de Alicante y prácticamente iguales a muchos de los correspondientes a la zona de Valencia. Los HCH's, en el límite de detección, son difícilmente utilizables para hacer estudios comparativos.

## Muestras de plancton. PCB's y Pesticidas Organoclorados.

Estación	HCH	Aldrin	Dieldrin	pp'-DDE	pp'-DDD	PCB's
9	3,41	ND	40,26	42,25	69,80	1.164,
18	3,51	ND	3,68	11,45	NC	164,
19	4,00	ND	6,06	4,49	5,89	130,

Todos los resultados en ppb's (peso seco)

ND, no detectado

NC, no cuantificado

A

## Muestras de sedimentos. Hidrocarburos Alifáticos.

Estación	C <sub>14</sub> -C <sub>24</sub>	Pristane	Phytane	R1	R2
3	0,117	—	—	—	—
13	0,179	0,019	0,003	0,42	3,33
14	0,386	0,012	0,006	2,25	2,43
16	0,029	0,001	0,001	0,62	1,82
18	0,111	—	—	—	—
21	5,763	—	—	—	—
22	0,161	0,019	0,005	0,25	1,00
23	0,131	0,043	0,011	0,27	1,50

B

Todos los resultados en ppm's (peso seco)

—, No hay dato. R1: C<sub>17</sub>/Pristano. R2: C<sub>18</sub>/Fitano

Cuadro IX. A. Muestras de plancton de la zona de Alicante, pesticidas organoclorados y PCB's. B. Muestras de sedimentos, hidrocarburos alifáticos.

N.º	S <sub>8</sub> (ppm)	N.º	S <sub>8</sub> (ppm)
1	—	13	1,02
2	32,66	14	0,11
9	8,04	15	Trz
4	—	16	Trz
5	—	17	57,58
6	0,11	18	4,00
7	10,76	19	—
8	Trz	20	Trz
9	—	21	142,75
10	0,58	22	158,17
11	0,05	23	2,17
12	Trz	24	Trz

Cuadro X. S<sub>8</sub> en sedimentos de la plataforma continental de la zona de Alicante. Resultados en ppm (peso seco). Trz <0,01. — no hay muestra.

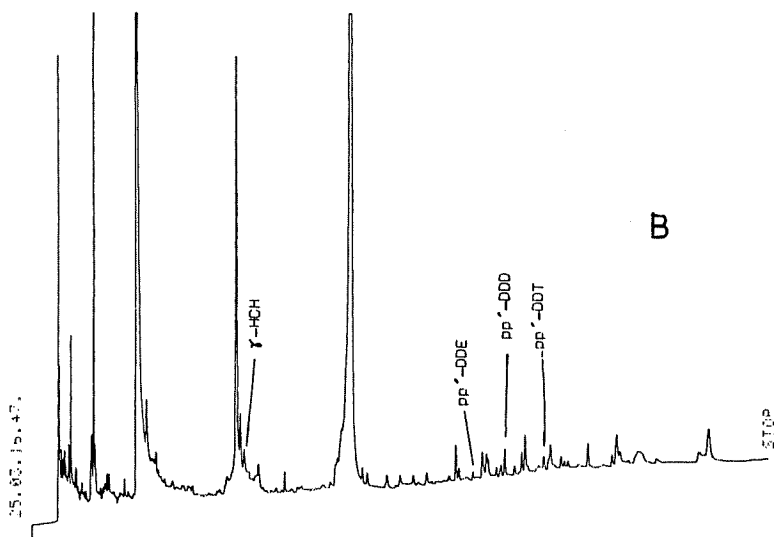
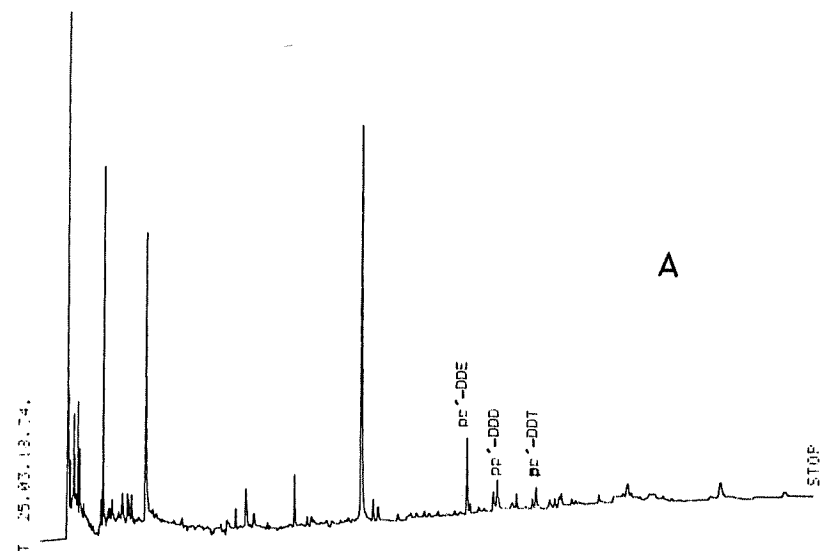


Fig. 11. Cromatogramas correspondientes a pesticidas organoclorados (A) y  $\gamma$ -HCH (B) de sedimentos del Mar de Alborán.

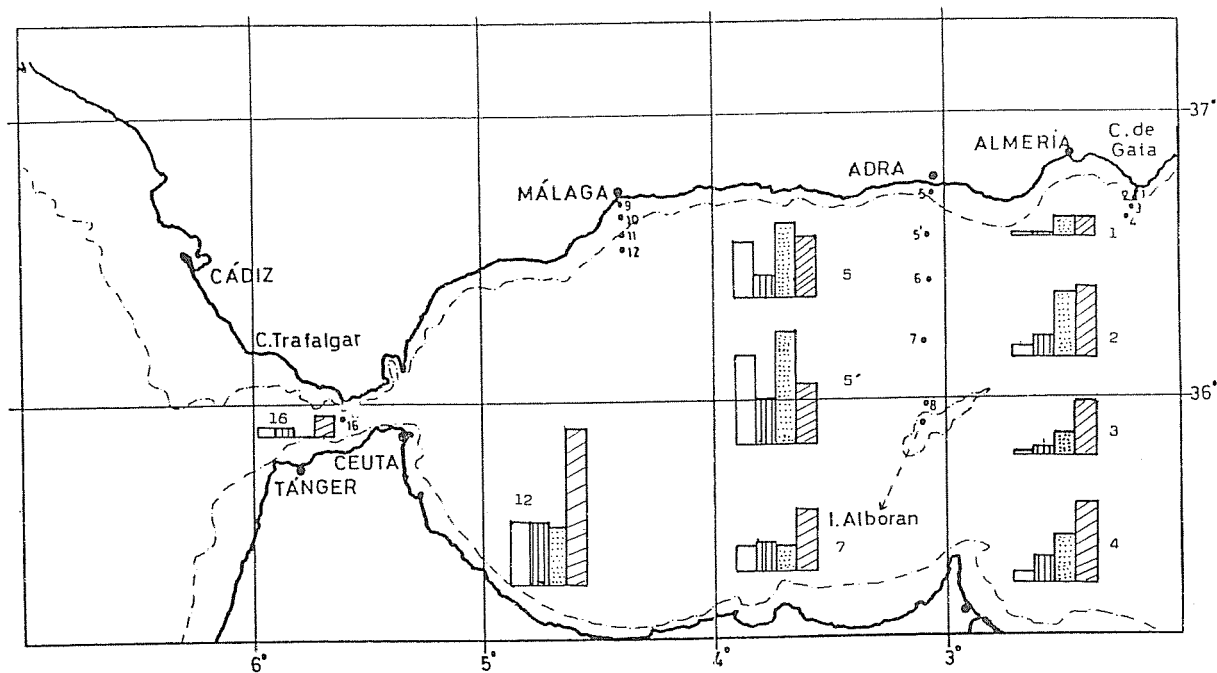


Fig. 12. Distribución de PCB's y DDT's en estaciones situadas en el sector de Alborán. Blanco, pp'-DDE; rayado vertical, pp'-DDD; punteado, pp'-DDT y rayado inclinado, PCB's.



## CONCLUSIONES

En todas las zonas estudiadas se han encontrado valores comparables a los descritos para otras zonas del Mediterráneo (Elder et al., 1977; Contardi, 1979), con niveles similares. Destacan por su mayor contenido en contaminantes la zona del Delta del Ebro y el Golfo de Valencia. Como era de esperar, los sedimentos con mayor contenido de contaminantes orgánicos son los correspondientes a zonas influenciadas por la descarga del río Ebro y especialmente los situados en las proximidades de la boca norte (descarga principal) o en la pluma de la descarga. El régimen de corrientes marinas contribuye de una manera muy intensa en el patrón de distribución de los contaminantes.

La zona del Golfo de Valencia sufre la influencia de las intensas actividades industriales y agrícolas de las poblaciones situadas en la costa. Los niveles de PCB's son iguales y a veces superiores a los encontrados en el Delta del Ebro. La Zona de Alicante (exceptuando la radial de Cartagena y la de Almería-Gibraltar) tienen los valores mínimos.

Estación	pp'-DDE	pp'-DDD	pp'-DDT	PCB's
1	0,01	0,01	0,10	0,10
2	0,06	0,10	0,32	0,35
3	0,01	0,04	0,11	0,27
4	0,05	0,13	0,24	0,40
5	0,27	0,10	0,37	0,30
5A	0,44	0,23	0,56	0,30
7	0,12	0,14	0,12	0,32
12	0,31	0,31	0,29	0,76
16	0,04	0,05	ND	<0,10

Estación	$\alpha$ -HCH	$\gamma$ -HCH
1	0,01	0,02
2	0,03	0,05
3	0,02	0,04
4	—	—
5	0,01	0,02
5A	0,01	0,03
7	0,03	0,05
12	0,03	—
16	<0,01	<0,01

Cuadro XI. Pesticidas organoclorados en sedimentos de la zona de Alborán. Todos los resultados en ppb (peso seco). PCB's como Aroclor 1254. ND, no detectado.

En muchas radiales, sobre todo en la zona de Valencia y, en cierta medida la de Alicante, los valores máximos no se sitúan en las estaciones más próximas a la costa sino en las intermedias y, especialmente, en las de —75 m de profundidad lo mismo ocurre con la distribución de metales pesados y la actividad microbiológica en los sedimentos. No ha sido posible establecer correlación alguna entre las concentraciones de contaminantes y las de S<sub>8</sub>. Esto es debido, probablemente, a que los procesos de bioacumulación siguen caminos distintos.

Las muestras de plancton tienen niveles de concentración de los contaminantes muy uniformes si exceptuamos la estación 9 (Zona de Alicante). Esta uniformidad es menos evidente en el caso de los PCB's y del  $\gamma$ —HCH (Lindano).

Los mejillones tienen una actividad bioacumuladora muy alta, entre 5 y 10 veces superior a la del plancton y entre 10 y 100 veces superior a la de los sedimentos.

La influencia, por otra parte absolutamente lógica, de las actividades urbana e industrial se ha puesto de manifiesto en el presente estudio que comprende sectores del litoral mediterráneo español de características tan dispares como pueden ser la zona fuertemente industrializada de la costa catalan y la costa andaluza correspondiente al Mar de Alborán.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANÓNIMO, 1981. Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental. Informe Científico. II.
- BALLESTER, A.; SÁNCHEZ-PARDO, J.; GARCÍA REGUEIRO, J. A.; MODAMIO, J.; JULIA, A., 1982. Estudio de microcontaminantes en la zona de la plataforma petrolífera «Amposta» (Delta del Ebro). *Thalassia Yugoslavica* (en prensa).
- CASTELLVÍ, J.; AMENGUAL, P.; CANO, M., 1981. Aspectos microbiológicos del estudio oceanográfico de la Plataforma Continental. III. Demanda biológica de oxígeno y amonificación. *Inv. Pesquera* 45 (2): 391-413.
- CONTARDI, N.; CAPELLI, R., 1979. PCB's and chlorinated pesticides in organisms from the Ligurian sea. *Mar. Poll. Bull.* 10 (10): 307-310.
- ELDER, D., 1976. PCB's in NW Mediterranean coastal waters. *Mar Poll. Bull.* 7 (4): 65-69.
- ELDER, D.; VILEUNEVE, J. P., 1977. Polychlorinated biphenyls in the Mediterranean sea. *Mar Poll. Bull.* 8 (1): 19-22.
- GARCÍA-REGUEIRO, J. A., 1982. Cuantificación de PCB's en HRGC. XIX Bienal de la Soc. Esp. de Fis. y Química. Santander.
- JENKINS, S. H., 1980. Coastal Pollution of the Mediterranean. *Mar. Poll. Bull.* 11 (1): 6-10.
- MEN, J. J., 1980. Contemporary frontiers in chemical pesticide research. *J. Agric. Food Chem.* 28: 2-8.
- MURPHY, P. G., 1972. Sulfuric acid for the clean-up of animal tissues for analysis of acid-stable chlorinated hydrocarbon residues. *Journal of the AOAC* 55 (6): 1360-1362.
- PUCCETTI, G.; LEONI, V., 1980. PCB and HOB in the sediments and waters of the Tiber estuary. *Mar. Poll. Bull.* 11 (1): 22-25.
- STIMEC, R. M., 1979. Rapid Florisil clean-up method for analysis of chlorinated pesticide residues. *Journal of the AOAC* 62 (1): 85-88.

# Aportes de hidrocarburos alóctonos y autóctonos a la plataforma continental mediterránea

por

J. M. BAYONA \*, J. GRIMALT \* y J. ALBAIGÉS \*

\* Instituto de Química Bio-Orgánica. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Jorge Girona Salgado, s/n. Barcelona-34.

## SUMMARY

The results of analyses for saturated and aromatic hydrocarbons in surface sediments of the Mediterranean Continental Shelf of Spain are presented. Special emphasis is placed on the determination of origins and in particular on the relative magnitude of continental inputs. Characterization of inputs was made on the basis of the molecular parameters of several components of which separate fractions were analysed by GC-MS-COM.

The analysis of hydrocarbons in the dissolved and suspended phases, as well as in sediments of different grain sizes, indicated a dependence of the transport pathways on the physicochemical state.

Concentrations measured ranged from 1-25  $\mu\text{g/g}$  and 2-66  $\mu\text{g/g}$  of dry weight for the saturated and aromatic hydrocarbons, respectively. These values indicated that contamination levels in this area are low.

## INTRODUCCIÓN

La investigación de los aportes de hidrocarburos y especialmente los de origen continental a las zonas litorales puede llevarse a cabo analizando las aguas, el material particulado en suspensión, los sedimentos o los organismos del medio.

Las determinaciones de hidrocarburos disueltos y particulados no son en muchos casos concluyentes aunque se efectúen durante largos periodos, por los cambios puntuales o estacionales de las descargas, las variaciones en

el predominio de unas fuentes sobre otras o la existencia de emisiones locales irregulares. En este sentido, por ejemplo, se han observado oscilaciones de hasta dos y tres órdenes de magnitud en las medidas de hidrocarburos realizadas en la costa de Barcelona a lo largo de un año (Solanas y otros, 1982).

Un punto que resulta crítico en programas de vigilancia o reconocimiento de tan larga duración es la manipulación e interpretación de la gran cantidad de datos generados. Como se afirma recientemente en las conclusiones de un Seminario Internacional sobre Química y Análisis de Hidrocarburos Ambientales (Albaigés, J. y Frei, R. W., 1983), la vigilancia ambiental no consiste simplemente en un ejercicio de acumulación de datos, sino en un intento de comprensión de los problemas para darles adecuada solución.

La aplicación del concepto de que los sedimentos y organismos bentónicos actúan como acumuladores de numerosos compuestos (naturales y contaminantes) y entre ellos de los hidrocarburos, permite obviar el mayor inconveniente del planteamiento anterior, porque ambos proporcionan una imagen integrada en el tiempo de los distintos aportes (Goldberg y otros, 1980). La principal ventaja de la utilización de la bío o geoacumulación de los aportes para su seguimiento es que, dentro de ciertos límites, suministran información sobre su distribución geográfica e histórica.

Por otra parte, la determinación de parámetros moleculares, estructurales o estereoquímicos, series homólogas, abundancias relativas, etc., permite caracterizar las distintas fuentes de hidrocarburos (Brassell y Eglinton, 1980). Estudios de este tipo se han llevado a cabo en los últimos años en diversas regiones costeras del Atlántico Norte y del Pacífico (Gearing y otros, 1976; Farrington y Tripp, 1977; Keizer y otros, 1978; etc.). Sin embargo, esta es la primera vez que se llevan a cabo en el Mediterráneo Occidental, en concreto en las costas españolas.

En el presente trabajo se muestran los resultados del análisis de veinte muestras de sedimentos superficiales, recogidas en dicha zona, con el objeto de determinar la importancia de los aportes autóctonos (productividad primaria) y alóctonos (aportes continentales, naturales y contaminantes). Al mismo tiempo, algunos datos preliminares sobre hidrocarburos disueltos y particulados en la columna de agua, así como en sedimentos de distinto tamaño de grano y en testigos, aportan una primera información sobre la forma como el ecosistema acumula o disipa tales compuestos.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Los sedimentos se colectaron con draga y se almacenaron en botes de vidrio previamente lavados. a  $-20^{\circ}\text{C}$ , hasta el análisis. Antes de éste, las muestras se liofilizaron y tamizaron a través de  $250\ \mu\text{m}$ . Entonces, 20 g. del sedimento se extrajeron mediante ultrasonidos con cloruro de metileno-metanol (2:1) (Cuberes y otros, 1983) y los extractos, una vez

evaporados, se saponificaron con 10 ml. de KOH al 6 % en metanol, durante la noche.

La fracción neutra se extrajo con hexano ( $3 \times 15$  ml.) y una vez eliminado el azufre mediante cobre recientemente activado, se introdujo en una columna ( $35 \times 0,9$  cm) rellena sucesivamente con 8 g de sílica y 8 g. de alúmina, ambas desactivadas con 5 % de agua (Farrington y Tripp, 1977). Se recogieron tres fracciones, eluidas con hexano, 10 % de cloruro de metileno en hexano y 20 % de cloruro de metileno en hexano, correspondientes a los hidrocarburos saturados, aromáticos mono y dicíclicos y aromáticos policíclicos, respectivamente (Cuberes y otros, 1983).

Cada fracción se analizó por cromatografía de gases de alta resolución ( $20$  m.  $\times$   $0,25$  mm. d.i.; SE-52) y CG-EM-ORD. Las fracciones aromáticas se analizaron también por cromatografía líquida de alta resolución ( $25$  cm  $\times$   $4,8$  mm d.i.; ODS) y espectroscopia de fluorescencia ultravioleta (Bayona y Albaigés, 1982; Grimalt y Albaigés, 1982).

Los hidrocarburos particulados y disueltos se colectaron por bombeo del agua a través de sendos filtros de fibra de vidrio ( $0,3 \mu\text{m}$ ) y de espuma de poliuretano (DeLappe y otros, 1982). Ambos filtros fueron extraídos exhaustivamente con acetona y hexano y los extractos analizados como se ha indicado antes.

## DISCUSIÓN

### Estaciones de muestreo.

La localización de las estaciones se indica en la figura 1. Estas se seleccionaron para obtener datos preliminares sobre la importancia de los distintos aportes, especialmente continentales, existentes en la zona. Así, las estaciones 2 y 7 se situaron en las desembocaduras de ríos, afectados en mayor o menor intensidad por aportes industriales y urbanos. El Delta del Ebro (estación 2) se incluye como referencia dada su importancia, si bien su estudio completo se describe en otra parte (Grimalt, 1983). Las estaciones 1, 4 y 6 corresponden a zonas de influencia urbana, la última con fuertes variaciones estacionales en la población por tratarse de un importante centro turístico. Las estaciones 1 y 3 se encuentran frente a grandes núcleos industriales, el primero típicamente petrolero (producción y refino). Finalmente, se ha tomado un testigo recogido a 1.000 m. de profundidad de agua, como muestra de referencia para el transporte lejano de los hidrocarburos. De este testigo (estación 7) se han analizado las secciones de 0-5 cm. y 30-35 cm.

### Análisis cuantitativo.

El análisis cromatográfico de una muestra representativa se presenta en la figura 2 y, aunque sus características se discuten con mayor detalle en otra parte (Albaigés y otros, 1983) aquí se comentan los aspectos más significativos.

El perfil cromatográfico de la fracción de hidrocarburos saturados presenta una serie de picos resueltos de los cuales los mayoritarios corresponden a los n-alcenos de 15 a 35 átomos de carbono, dispuestos sobre una envolvente de hidrocarburos no resueltos (HNR). Los homólogos de las series superiores a 24 átomos de carbono, con un fuerte predominio de los impares sobre los pares (índice de preferencia de carbono, IPC > 1),

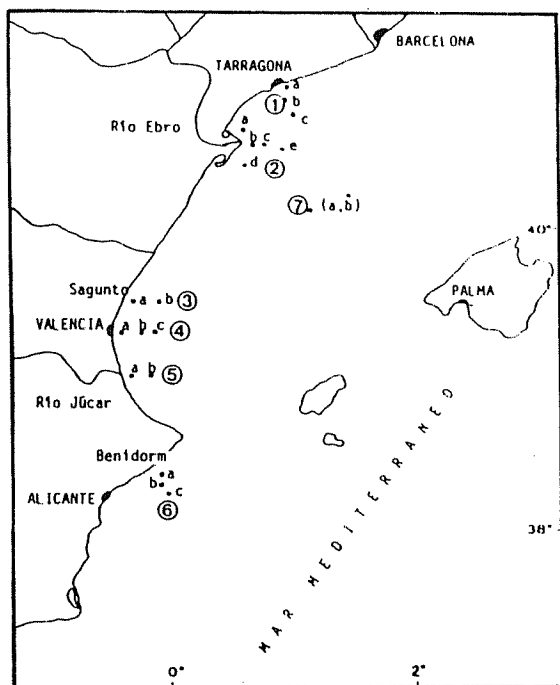


Fig. 1. Situación de las estaciones de muestreo.

reflejan el aporte de los materiales alóctonos, en concreto de las ceras cuticulares de las plantas continentales, mientras que los inferiores consisten en detritus de los productores primarios marinos o en residuos de su alteración microbiológica (Simoneit, 1981).

Los dos hidrocarburos isoprenoides, pristano (I) y fitano (II), aparecen también resueltos en el cromatograma y su relación se ha tomado como una medida de la proporción relativa de aportes biogénicos y petrogénicos (Keizer y otros, 1978; Crisp y otros, 1979). En efecto, mientras el pristano es el isoprenoide predominante en el plancton (Blumer, 1963), en los hidrocarburos fósiles se encuentran ambos, pristano y fitano, en pro-

porciones similares, fruto de la degradación catagenética de la materia orgánica (Tissot y Welte, 1979). Como resultado de ésta aparece también la mezcla de HNR, que cuando se encuentra en sedimentos recientes constituye una fuerte evidencia de aportes antropogénicos (Farrington y Tripp, 1977).

El origen petrolífero de la mezcla de hidrocarburos no resueltos puede confirmarse fácilmente por la presencia en ella de componentes tales como la serie de 17  $\delta$  H, 21  $\beta$  H-hopanos (III) y mezclas complejas de esteranos (IV) y esteranos transpuestos (V), que son indicadores fósiles (fossil

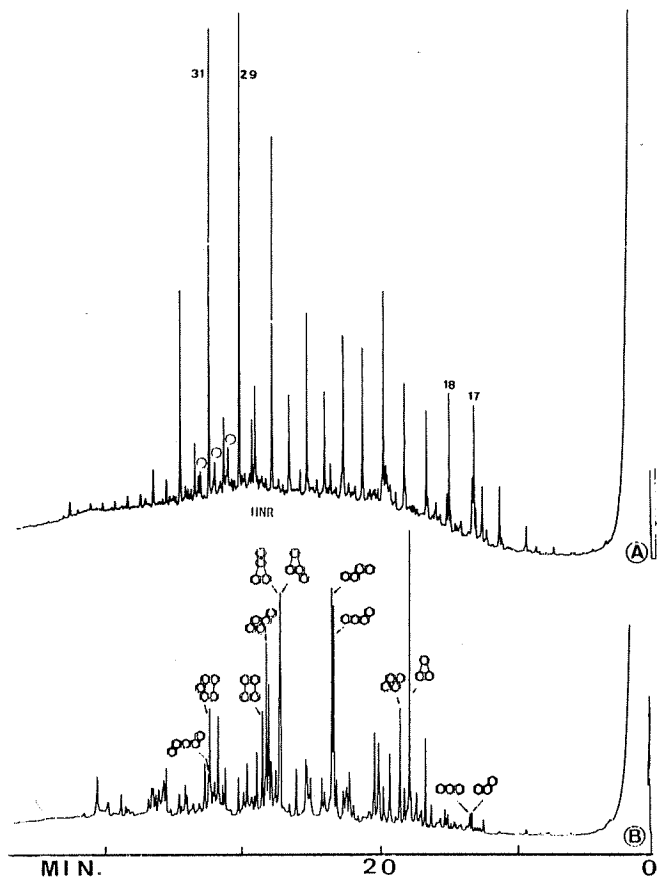


Fig. 2a. Perfiles cromatográficos de las fracciones de hidrocarburos saturados (A) y aromáticos policíclicos (B) del sedimento de la estación 4a. Los números indican el n.º de átomos de C de la serie n-alcenos. Los picos señalados con un círculo corresponden a los compuestos hopánicos de la Fig. 2b.

markers). Sin embargo, por su carácter minoritario sólo pueden hacerse evidentes por fragmentografía de masas. La selección de los correspondientes iones diagnóstico (Albaigés y Albrecht, 1979), que se indican en la Figura 2, permite obtener los perfiles de cada serie. Este es un buen ejemplo de como los parámetros estructurales y estereoquímicos moleculares son capaces de aportar información decisiva sobre el origen de los aportes orgánicos al medio marino.

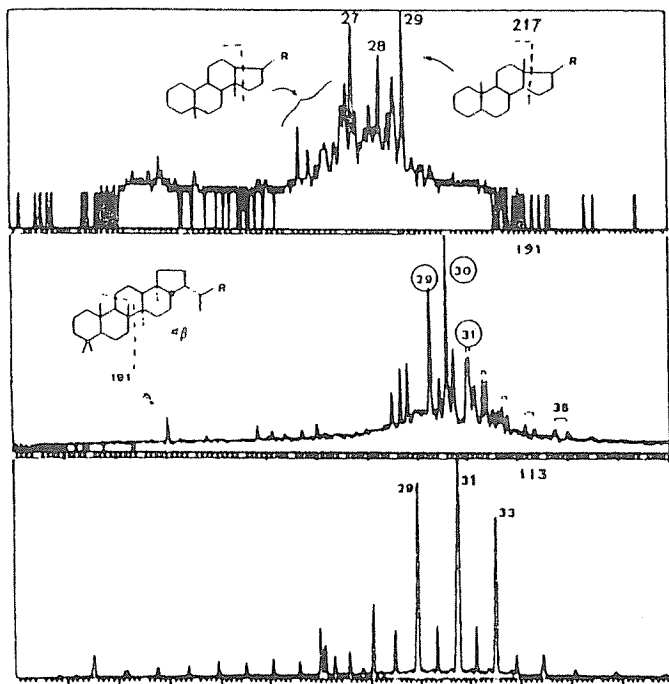


Fig. 2b. Fragmentograma correspondiente a la fracción de hidrocarburos saturados de la Fig. 2a.

Las fracciones de hidrocarburos aromáticos presentan también perfiles sumamente complejos (Figura 2) y que son reflejo de diversas fuentes. Como regla general, cuando el aporte es de tipo petrolífero, el perfil cromatográfico muestra de nuevo la envolvente de HNR y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) ofrecen distribuciones con predominio de los componentes alquilados (Youngblood y Blumer, 1975). Si la fuente de HAP es la deposición de los residuos de la combustión de la materia



orgánica (p. ej., material particulado atmosférico), la mezcla se caracteriza por el predominio de las especies no alquiladas (LaFlamme y Hites, 1978; Wakeham y otros, 1980 a). Finalmente, si preceden de la aromatización diagenética de otros compuestos naturales (como los triterpenoides vegetales), la mezcla es menos compleja y está formada por hidrocarburos estructuralmente relacionados con sus precursores (Wakeham y otros, 1980 b; LaFlamme y Hites, 1979).

La composición de las fracciones de HAP encontradas en los sedimentos superficiales de la plataforma mediterránea española es similar a la de otras zonas oceánicas (Lake y otros, 1979; Venkatessan y otros, 1980) y, en particular, a la descrita recientemente para sedimentos de la costa francesa (Mille y otros, 1982). Es decir, una presencia generalizada de HAP de tipo pirólitico en todas las muestras, con una mayor ocurrencia de aportes petrolíferos (HNR) en zonas afectadas por las descargas fluviales y urbano-industriales.

En todas las muestras tan sólo se han encontrado trazas de hidrocarburos de origen geoquímico (reteno, VI y otros derivados naftalénicos y fenantrénicos, VII). En la mayoría de ellos, en cambio, ha aparecido escualeno (VIII), un hidrocarburo isoprenoide poliinsaturado de origen microbológico (Tornabene y otros, 1979).

### *Análisis cuantitativo*

Los resultados de este análisis se encuentran en el Cuadro I y los parámetros que se relacionan fueron seleccionados con el fin de ilustrar las distintas fuentes de hidrocarburos.

Las concentraciones de n-alcenos oscilan entre 0,4 y 1,6  $\mu\text{g/g}$ , con un claro predominio de los de origen continental (véase la relación  $\text{>C}_{24}/\text{<C}_{24}$ ). La naturaleza biogénica de estos alcanos es consistente con los IPC, que presentan valores comprendidos entre 3,2 y 6,8, similares a los que presentan otras zonas donde la contaminación petrolífera es de escasa importancia (Keizer y otros, 1978; Venkatessan y otros, 1980; entre otros).

Keizer y otros (1978) encontraron en sedimentos superficiales de la plataforma de Nova Scotia concentraciones de 0,008 - 2,298  $\mu\text{g/g}$  de n-alcenos. Valores comprendidos entre 1,9 y 7,6  $\mu\text{g/g}$  se han descrito para la California Bight (Venkatessan y otros, 1980) y entre 2,6 y 8,0 para la Narragausett Bay (Wade y Quinn, 1979). En el Beaufort Sea las concentraciones son superiores, oscilando entre 6 y 23  $\mu\text{g/g}$  (Wong y otros, 1976), en cambio en la costa francesa los valores son similares a los nuestros (0,6 - 1,2  $\mu\text{g/g}$ ) (Ho y Saliot, 1982).

Considerando la mezcla de HNR y la relación pristano/fitano como los indicadores de aportes petrolíferos antropogénicos, de los valores del Cuadro I se desprende que únicamente se ven seriamente afectados por ese tipo de aportes la desembocadura del Ebro (12,9  $\mu\text{g/g}$ ) y, en menor ex-

Cuadro I. Concentraciones de hidrocarburos en sedimentos de la plataforma mediterránea (en  $\mu\text{g/g}$  de sedimento seco).

Muestra	Profundidad (m. de agua)	n-alcános		Pristano			Aromáticos		
		total	$>C_{24}/<C_{24}$	IPC	Fitano	HNR	Mono	+ Di	Policíclicos
1. Tarragona	(a)	17	1,4	3,4	1,6	0,9	5,9	42	24
	(b)	50	1,0	5,7	2,8	3,0	3,0	7	11
	(c)	95	0,9	5,6	2,9	2,2	0,5	3	4
2. Delta del Ebro	(a)	10	2,1	3,2	3,3	3,2	12,9	9	6,2
	(b)	10	0,4	1,5	1,8	1,1	1,3	0,4	0,2
	(c)	50	3,2	7,1	4,6	3,8	7,2	3,1	6,5
	(d)	50	1,6	1,7	2,1	3,6	1,9	1,6	2,7
	(e)	100	1,3	4,0	2,9	3,3	2,3	—	—
3. Sagunto	(a)	10	1,3	1,7	3,1	1,6	0,9	23	17
	(b)	100	0,8	2,2	2,4	1,4	0,4	1,4	3,1
4. Valencia	(a)	10	1,0	4,8	3,5	1,2	1,2	39	40
	(b)	50	1,0	5,0	3,7	3,0	0,4	6,9	20
	(c)	75	1,3	5,1	3,1	2,9	0,4	8,7	1,1
5. Cullera	(a)	10	0,4	3,2	2,6	1,7	0,4	3,9	19
	(b)	50	1,0	3,4	3,4	2,4	0,8	14	22
6. Benidorm	(a)	10	0,8	4,3	3,0	2,2	0,4	4,0	1,5
	(b)	50	1,4	4,2	3,3	1,5	0,4	2,9	1,1
	(c)	100	0,9	6,5	3,7	1,7	0,2	1,4	1,4
7. Mar abierto	(a)	1.000	0,3	6,6	2,4	—	0,2	1,1	1,2
	(b)	1.000	0,2	6,0	1,5	—	0,1	0,1	0,5

ensión, las proximidades de Tarragona (5,9 µg/g). La distribución de estos hidrocarburos en el medio no sólo depende de la proximidad de la fuente contaminante y de las corrientes prevalecientes en la región, sino también de las características fisicoquímicas del soporte (el sedimento en este caso). Efectivamente, en el río Ebro las concentraciones de HNR decrecen de norte a sur, sin embargo, existe un ligero aumento en el transecto frente a la boca, en contra de lo que cabría esperar. Este fenómeno se repite frente a la boca del Júcar (estación 5) y ello se debe al hecho de que los contaminantes petrolíferos están asociados predominantemente a las partículas más finas del sedimento (arcillas y limos) (Thompson y Eglinton, 1975), pudiéndose trasladar de esta forma hasta las zonas más alejadas de la fuente contaminante.

En el cuadro II se dan las distribuciones de hidrocarburos en las fracciones de arenas (>0,66 µm) y arcillas + limos (<0,66 µm) de una muestra de sedimentos del Delta del Ebro. Nótese que la relación HNR/n-alcanos aumenta de 3,2 a 6,6 para dichas fracciones, indicando el enriquecimiento de la segunda en contaminantes petrolíferos. Es evidente que de esta forma dichos contaminantes serán más accesibles a los organismos pelágicos, como hemos observado en el estudio de muestras recogidas en esta región (Albargés y otros, 1983).

Por otra parte, un detallado muestreo de la columna de agua puso en evidencia el desdoblamiento de los hidrocarburos entre las fases disuelta y particulada. De acuerdo con otros estudios llevados a cabo en el Mediterráneo (Burns y Villeneuve, 1982; Ho y Saliot, 1982) y en el Atlántico (Boehm, 1980), los hidrocarburos biogénicos se encuentran básicamente en la fase disuelta (cuadro II). Estas concentraciones son consistentes con los valores encontrados para el sedimento subyacente (estación 2c).

Los niveles de fondo de los hidrocarburos saturados en esta región parecen estar situados entre 0,1 - 0,3 µg/g, a tenor del descenso que se observa en las concentraciones a medida que las muestras se alejan de la costa.

Muestra	n-alcanos			Pristano	HNR
	total	>C <sub>21</sub> / $\leq$ C <sub>21</sub>	IPC	Fitano	
<u>Sedimento</u>					
(µg/g)					
>0,66 µm	0,26	1,5	1,5	2,0	0,8
<0,66 µm	3,60	1,3	1,4	1,1	23,3
<u>Agua</u>					
(µg/l)					
Disueltos	22,8	0,6	1,2	1,2	44,8
Particulados	17,3	0,7	3,7	6,6	4,8

Cuadro II. Distribución de hidrocarburos en la desembocadura del Ebro.

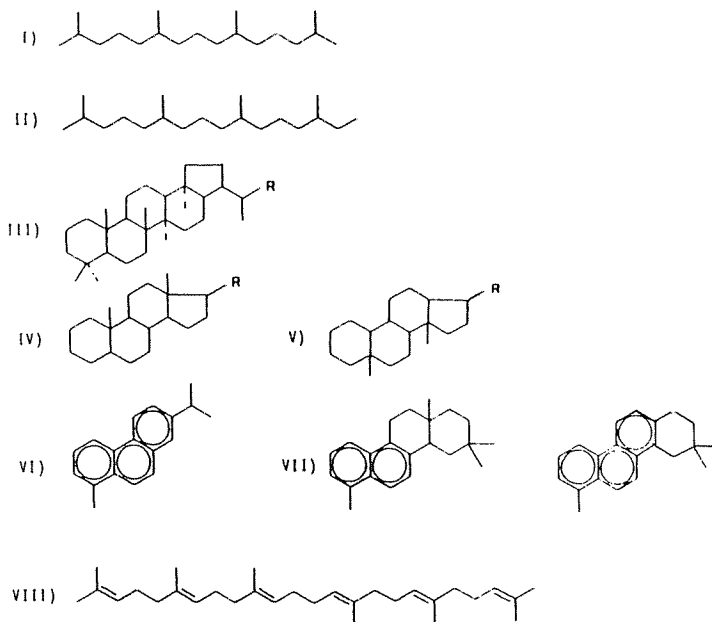
En el estudio de un testigo recogido en la región abisal, a 1.000 m de profundidad (estación 7) y en la sección de 60 - 65 cm (muestra 7b), el contenido de HNR es de 0,1  $\mu\text{g/g}$ .

Todos estos valores son inferiores a los encontrados en otras zonas moderadamente contaminadas. Así, Farrington y Tripp (1977) publican 2-1200  $\mu\text{g}$  de hidrocarburos saturados/g de sedimento en New York Bight, mientras que se dan valores de 42-232  $\mu\text{g/g}$  en el Golfo de Méjico (Gearing y otros, 1976), 45-730  $\mu\text{g/g}$  en California Bight (Venkatessan y otros, 1980) y 4-350  $\mu\text{g/g}$  en Puget Sound (Barrick y otros, 1980).

La situación es similar para las fracciones de hidrocarburos aromáticos, si bien en este caso la comparación con datos de la literatura se hace más problemática por la diversidad de métodos empleados para la cuantificación.

Las estaciones de Tarragona, Sagunto y Valencia son las que presentan un mayor índice de contaminación, situándose los valores de fondo en 0,1-0,5  $\mu\text{g/g}$ .

Los resultados presentados constituyen una primera información de base para la evaluación de los aportes continentales a esta zona del Mediterráneo Occidental. Su comparación con otros de la bibliografía permite concluir que este área está débilmente contaminada por hidrocarburos salvo zonas restringidas, que reciben aportes fluviales, urbanos o industriales.



## BIBLIOGRAFÍA

- ALBAIGÉS, J.; ALBRECH, P., 1979. *Internat. J. Environ. Anal. Chem.* 6, 171-190.
- ALBAIGÉS, J.; FREI, R. W., 1982. En *Chemistry and analysis of Environmental Hydrocarbons*. Gordon and Breach.
- ALBAIGÉS, J.; BAYONA, J. M.; GEIMALT, J., 1983. *Internat. J. Environ. Anal. Chem.* (en prensa).
- ALBAIGÉS, J.; GALLIFA, A.; GRIMALT, J.; SOLER, M., 1983. *ICSEM Raports* (en prensa).
- BARRICK, R. C.; HEDGES, J. I.; PATERSON, M. L., 1980. *Geochim. Cosmochim. Acta* 44: 1.349-1.362.
- BAYONA, J. M.; ALBAIGÉS, J., 1982. *Chromatographia* 16: 271-274.
- BLUMER, M.; MULHIN, M. M.; THOMAS, D. W., 1963. *Science* 140: 974.
- BOEHM, P. D., 1980. *Mar. Chem.* 9: 255-281.
- BOEHM, P. D.; QUINN, J. G., 1978. *Est. Coastal Mar. Sci.* 6: 471-494.
- BRASSELL, S. C.; EGLINTON, G., 1980. En *Analytical Techniques in Environmental Chemistry* (Ed. J. Albaigés). Pergamon 1-20.
- BURNS, K. A.; VILLENUEVE, J. P., 1982. *J. Toxicol. Environ. Chem.* 5: 195-203.
- CRISP, P. T.; BRENNER, S.; VENKATESAN, M. I.; RUTH, E.; KAPLAN, I. R., 1979. *Geochim. Cosmochim. Acta* 43: 1.979-1.801.
- CUBERES, M. R.; GRIMALT, J.; ALBAIGÉS, J., 1983. *Afinidad* (en prensa).
- DELAPPE, B. W.; RISEBROUGH, R. W.; WALKER II, W., 1982. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* (en prensa).
- FARRINGTON, J. W.; TRIPP, B. W., 1977. *Geochim. Cosmochim. Acta* 41: 1.627-1.641.
- GEARING, P.; GEARING, J. N.; LYTLE, T. F.; LYTLE, J. S., 1976. *Geochim. Cosmochim. Acta* 40: 1.005-1.017.
- GOLDBERG, E. D., et al., 1980. *The International Mussel Watch*, Nat. Acad. Sci., Washington D. C.
- GOUTX, M.; SALIOT, A., 1980. *Mar. Chem.* 8: 299-318.
- GRIMALT, J., 1983. *Tesis Doctoral*. Univ. Autóna de Barcelona.
- GRIMALT, J.; ALBAIGÉS, J., 1982. *Chomatog. News*. 10: 8-11.
- HO, R.; SALIOT, A., 1982. *Internat. J. Environ. Anal. Chem.* 12: 81-98.
- KEIZER, P. D.; DAK, J.; GORDON, D. C., 1978. *Geochim. Cosmochim. Acta* 42: 165-172.
- LAFLAMME, R. E.; HITES, R. A., 1978. *Geochim. Cosmochim. Acta* 42: 289-303.
- LAFLAMME, R. E.; HITES, R. A., 1979. *Geochim. Cosmochim. Acta* 43: 1.687-1.691.
- MILLE, G.; CHEN, J. Y.; DOU, H. J. M., 1982. *Internat. J. Environ. Anal. Chem.* (en prensa).
- SIMONEIT, B. R. T., 1981. «*Alfred Treibs*» *Symposium* (Ed. A. Prasnows). Verlag Chemie.
- SOLANAS, A. M.; PARÉS, R.; MARFIL, C.; ALBAIGÉS, J., 1982. *Internat. J. Environ. Anal. Chem.* 12: 141-150.
- THOMPSON, S.; EGLINTON, G., 1978. *Geochim. Cosmochim. Acta* 42: 199-207.
- TISSOT, B. P.; WELTE, D. H., 1978. «*Petroleum Formation and Occurrence*». Springer Verlag.
- TORNABENE, T. G.; LANWORTHY, T. A.; HOLZER, G.; ORO, J., 1979. *J. Mol. Evol.* 13: 73-83.
- VENKATESAN, M. J.; BRENNER, S.; RUTH, E.; BONILLA, J.; KAPLAN, I. R., 1980. *Geochim. Cosmochim. Acta* 44: 789-802.
- WADE, T. G.; QUINN, J. G., 1979. *Org. Geochem.* 1: 157-167.
- WAKEHAM, S. G.; SCHAFFNER, C.; GIGER, W., 1980 a. *Geochim. Cosmochim. Acta* 44: 415-429.
- WAKEHAM, S. G.; SCHAFFNER, C.; GIGER, W., 1980 b. *Geochim. Cosmochim. Acta* 44: 403-413.
- YOUNGBLOOD, W. W.; BLUMER, M., 1975. *Geochim. Cosmochim. Acta* 39: 1303-1314.

# Contaminación por metales pesados en los sedimentos marinos de la plataforma costera mediterránea

por

XAVIER MODAMIO \*

\* Instituto de Investigaciones Pesqueras. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Paseo Nacional, s/n. Barcelona-3.

## SUMMARY

Heavy metals concentration (Hg, Pb, Cd, V and Ni) in sediments from the spanish mediterranean continental shelf was analyzed. Relative low levels of these microcontaminants were found in all studied zones, but some areas showed high values (Besós, Llobregat, Ebro, Valencia and Cartagena). A clear correlation exists between the use of the river basin and the levels of heavy metals present in sediments. It is also important the influence of general dynamics of the ecosystem in spill-zones of contaminants. Maximum levels of metals were: Hg 3,34 ppm (B1E4D), Pb 327,8 ppm (P10E21D), Cd 4,66 ppm (13C Llobregat); V 56,3 ppm (P1E10D) and Ni 53,3 ppm (B1E3D).

## INTRODUCCIÓN

Los metales pesados han sido ampliamente estudiados en función de su toxicidad frente a los seres vivos. Es suficientemente conocida la intoxicación por metilmercurio ocurrida en la bahía de Minamata y la intoxicación de Itai-Itai, producida por la presencia de cadmio en los alimentos de la zona afectada.

La alta toxicidad de estos metales es debida a la gran capacidad de complejamiento con los grupos tiol de las proteínas, que al unirse a dichos grupos provocan la inhibición de la proteína afectada.

De hecho la toxicidad de los metales pesados no es sólo atribuible al elemento en sí, sino que las diferentes formas químicas que presenta producen niveles de toxicidad claramente distintos. Así, cabe señalar que las formas alquílicas suelen ser las más tóxicas (Mono y dimetil-mercurio, tetraetil plomo, etc.), y, además, que la distinta solubilidad de los diferentes compuestos también afecta a su toxicidad, siendo ésta función de la disponibilidad del elemento para el organismo en estudio.

De los anteriores comentarios se desprende que, al evaluar la posible toxicidad de un contaminante metálico, interesa conocer los niveles totales presentes y la forma química en que se encuentra siendo este estudio bastante más complejo que el primero.

En el supuesto de poder acceder al conocimiento de las distintas formas químicas del metal, se presenta aún una nueva dificultad: los fenómenos de metilación y desmetilación por parte de los microorganismos presentes. Es bien conocido el fenómeno de la metilación del mercurio en sedimentos anaerobios por parte de distintas cepas bacterianas (Jensen and Jernelöv, 1969; Wood et al., 1968). Asimismo, es también conocida la desmetilación del mercurio por parte de ciertas cepas de *Pseudomonas* en condiciones aerobias (Tonomura et al., 1972). Toda vez que se establecen una serie de equilibrios dinámicos entre las distintas formas químicas del metal, en un estudio de impacto ambiental es tan importante el nivel de contaminantes presentes como las velocidades de formación y descomposición de dichas formas orgánicas.

Debido a las dificultades que entraña evaluar las distintas formas químicas presentes y los procesos con ellas relacionados, los estudios ambientales suelen limitarse al conocimiento de los niveles totales presentes, siendo a partir de éstos que se establece el posible impacto de estos microcontaminantes sobre el ecosistema en estudio.

En el caso de los ecosistemas marinos, los compartimentos más estudiados con el fin de evaluar el posible impacto de los metales pesados, son aquellos donde existe una mayor acumulación de los mismos. Esta puede ser debida a procesos de bioacumulación o de sedimentación.

Los procesos de bioacumulación son debidos básicamente a la imposibilidad, por parte del organismo afectado, de mantener los niveles necesarios de excreción del contaminante, por lo que, dicho contaminante sufre una retención en el interior del organismo. El proceso se agrava a lo largo de las cadenas tróficas, debido a que los niveles de incorporación sufren un fuerte incremento a lo largo de dichas cadenas. Es por ello que en los eslabones superiores es donde se hallan los mayores niveles de contaminantes, siendo los organismos pertenecientes a dichos eslabones los mejores indicadores de la presencia de microcontaminantes en el medio.

El aporte de metales al ecosistema marino entraña también la formación de ciertos complejos organometálicos y sales insolubles que se depositan en los fondos oceánicos. Debido a ello, los sedimentos marinos suelen ser el depósito final de la casi totalidad de microcontaminantes metálicos.

Por los anteriores comentarios se comprende que los estudios encaminados a evaluar el impacto de la contaminación por iones metálicos, se centren básicamente en la determinación de los niveles presentes tanto en sedimentos marinos, como en organismos pertenecientes a niveles tróficos altos.

En el presente trabajo se estudian los niveles de metales pesados existentes en los sedimentos marinos de la plataforma continental mediterránea española.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Las muestras de sedimentos fueron tomadas mediante draga, siendo congeladas inmediatamente a  $-20^{\circ}\text{C}$  y mantenidas en este estado hasta su manipulación en el laboratorio. Una vez en el laboratorio fueron descongeladas y secadas a  $60^{\circ}\text{C}$  durante un mínimo de 24 horas. Luego se trituraron a fin de obtener el mínimo tamaño de grano posible. Seguidamente, 0,5 gramos de sedimento fueron introducidos en un digestor a presión con 5 ml de ácido nítrico manteniéndose a  $120^{\circ}\text{C}$  durante 3 horas. Posteriormente se procedió a la filtración de las muestras a través de filtros de fibra de vidrio (Whatman GF/C) y el filtrado se enrasó a 25 ml con agua destilada.

El análisis de las muestras se llevó a cabo mediante espectrofotometría de absorción atómica, usando para ello un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer Mod. 503 equipado con una cámara de grafito HGA-74, corrector de fondo de arco de deuterio y sistema generador de vapor frío para el análisis de mercurio.

Las condiciones analíticas de cada metal fueron las siguientes:

*Plomo* primer secado a  $90^{\circ}\text{C}$  durante 15 segundos, segundo secado a  $100^{\circ}\text{C}$  durante 10 segundos, carbonizado en rampa hasta  $300^{\circ}\text{C}$ , atomización a  $2.100^{\circ}\text{C}$  durante 10 segundos. Se usaron  $20\ \mu\text{l}$  de muestra.

*Cadmio* primer secado a  $90^{\circ}\text{C}$  durante 10 segundos; segundo secado a  $100^{\circ}\text{C}$  durante 10 segundos; carbonizado en rampa hasta  $300^{\circ}\text{C}$ , atomización a  $1.960^{\circ}\text{C}$  durante 10 segundos. Se usaron  $20\ \mu\text{l}$  de muestra.

*Vanadio* primer secado a  $90^{\circ}\text{C}$  durante 15 segundos; segundo secado a  $100^{\circ}\text{C}$  durante 10 segundos; carbonizado en rampa hasta  $1.460^{\circ}\text{C}$ ; atomizado a  $2.700^{\circ}\text{C}$  durante 15 segundos. Se usaron  $20\ \mu\text{l}$  de muestra.

*Niquel* primer secado a  $90^{\circ}\text{C}$  durante 15 segundos; segundo secado a  $100^{\circ}\text{C}$  durante 10 segundos; carbonizado en rampa hasta  $700^{\circ}\text{C}$ ; atomización a  $2.660^{\circ}\text{C}$  durante 10 segundos. Se usaron  $20\ \mu\text{l}$  de muestra.

En la determinación de níquel, cadmio y plomo fue utilizada la lámpara de deuterio, a fin de eliminar la absorción de la matriz.



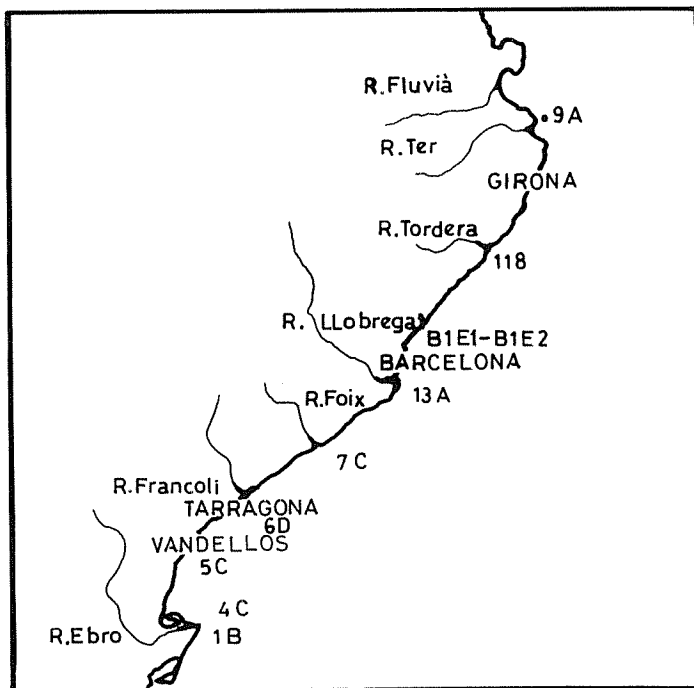


Fig. 1. Situación de las estaciones de muestreo de los deltas catalanes.

## DISCUSIÓN

Para una mejor comprensión de los resultados, estudiaremos las distintas zonas de muestreo agrupándolas desde un punto de vista geográfico.

### *Deltas catalanes (excepto Ebro) (Figura 1 y Cuadro I)*

Presentan unos niveles ligeramente altos en todos los puntos de muestreo, oscilando su concentración desde no detectable (en el delta del Tordera) hasta 3,34 ppm (en el delta del Besós). Cabe señalar una clara coincidencia con la distribución de los distintos focos de contaminación química, resaltando los altos valores encontrados en la desembocadura del Besós, a consecuencia de los grandes aportes de contaminantes químicos que recibe dicho río.

Es preciso resaltar una cierta correlación entre muestras que presentan bajos niveles de contaminantes y su granulometría, siendo las que presentan una textura más arenosa.

Muestra	Procedencia	Hg (ppm)	Cd (pmm)	Pb (ppm)	Ni (ppm)	V (ppm)
9A	Ter	0,32	1,25	25,8	42,4	28,7
11B	Tordera	N.D.	1,12	5,7	6,2	17,1
B1E1	Besós	0,72	0,95	22,4	16,5	15,7
B1E2	Besós	1,69	1,20	48,2	31,5	35,3
B1E3	Besós	3,11	3,67	188,3	53,3	47,0
B1E4	Besós	3,34	2,79	205,2	36,9	40,0
13A	Llobregat	1,48	3,96	62,4	36,7	33,0
13B	Llobregat	0,83	2,19	24,0	32,5	21,8
13C	Llobregat	0,96	4,66	59,8	35,5	21,1
7C	Foix	0,24	1,44	19,7	16,0	15,8
7D	Foix	0,26	1,41	20,9	28,3	25,3
6D	Francolí	0,26	1,76	15,9	23,3	34,5
5B	Vandellós	0,18	2,17	14,6	17,5	28,6
5C	Vandellós	0,07	0,71	5,6	6,7	19,3
D81E3	Vandellós	0,04	0,64	6,0	—	18,3
Llob.67	Llobregat	0,17	3,62	12,6	24,9	17,0
Llob.78	Llobregat	0,47	0,98	58,1	26,7	41,8
Beb.13	Besós	0,59	1,29	13,7	24,7	18,9
Beb.12	Besós	0,60	1,26	18,2	24,5	18,6
Llob.31	Llobregat	0,06	1,14	11,2	18,9	12,1
Tarragona	Tarragona	0,37	1,69	17,1	15,3	19,2
Cambrils	Cambrils	0,07	1,77	7,0	9,0	21,0

Cuadro I. Concentración de metales pesados en sedimentos marinos. (Deltas catalanes excepto Ebro).

### *Delta del Ebro* (Cuadro II)

En general los valores hallados son inferiores a los presentes en la totalidad de los deltas catalanes, en respuesta a la menor densidad de industria química sobre su cuenca. De hecho, el carácter eminentemente agrícola de esta zona se confirma por la relación DDT/PCB superior a 1, hallada en los sedimentos de la zona (Ballester et al., 1983).

Los niveles de mercurio oscilan desde no detectable (Delta Boca Sur, muestra 12) hasta 0,506 pmm (1B 36, muestra 9); hallándose las concentraciones mayores confinadas a la zona más cercana a la desemboca-

Muestra	Hg (ppm)	Pb (ppm)	Cd (ppm)	V (ppm)	Ni (ppm)
1	0,31	16,28	1,43	26,75	—
2	0,04	6,08	0,65	18,26	—
3	0,26	18,60	3,55	27,22	40,15
4	0,04	6,24	4,58	11,87	12,72
5	0,08	16,23	1,48	26,06	18,27
6	0,13	7,51	2,11	13,30	11,21
7	0,29	11,92	0,57	26,20	—
8	0,12	8,93	0,42	36,41	23,70
9	0,50	14,79	0,64	24,80	31,53
10	0,46	15,09	0,96	44,47	28,89
11	0,34	20,16	1,41	22,65	38,05
12	N.D.	6,22	2,88	14,54	15,44
13	0,31	12,56	0,98	35,10	30,54
14	0,06	9,95	2,66	19,99	34,91
15	0,18	17,27	1,14	23,66	39,75
16	0,29	9,45	1,23	22,23	19,47
17	0,37	13,95	2,37	35,04	29,30
18	0,15	14,32	3,56	38,92	32,17
19	0,04	8,11	0,77	31,20	23,35
20	0,37	22,83	3,19	29,49	39,19
21	0,23	12,30	1,45	38,73	25,16
22	0,28	17,16	1,85	27,08	33,58
23	0,15	11,43	0,48	31,73	—
24	0,13	12,02	0,48	42,28	34,74

Cuadro II. Metales pesados hallados en sedimentos del Delta del Ebro.

dura, mostrando una clara tendencia a depositar en dirección sur-oeste (Figura 2), siguiendo la orientación general de las corrientes marinas predominantes en la zona.

Es interesante observar la distribución de vanadio en la zona de estudio. En ella (Figura 3) se observa un cierto incremento en las cercanías de las plataformas petrolíferas «Amposta» y «Afortunada»; mientras que el resto de la zona estudiada mantiene unos niveles «normales» en los sedimentos marinos.

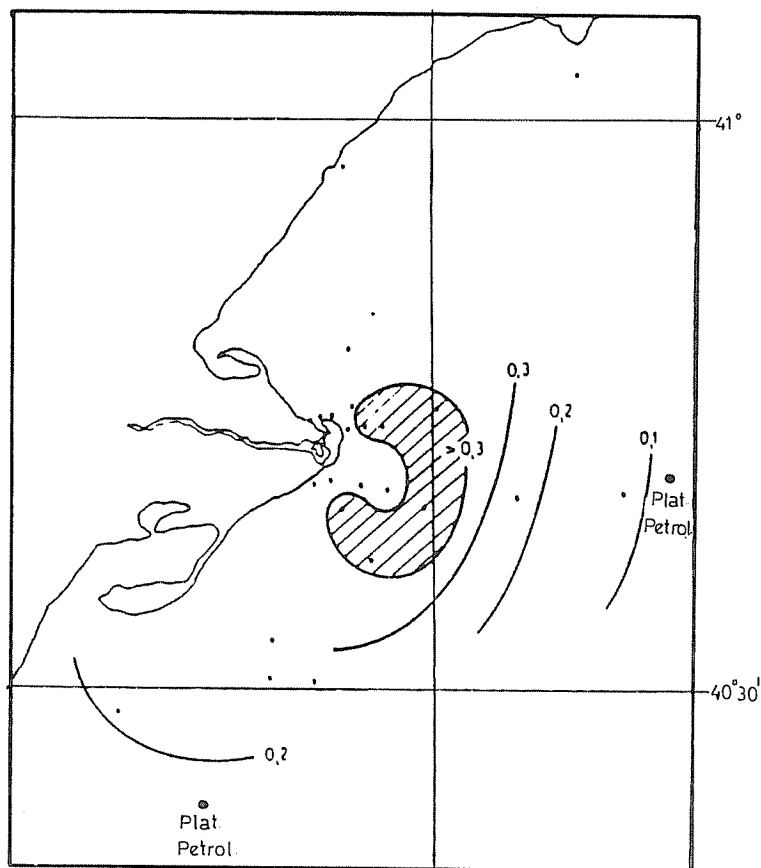


Fig. 2. Distribución de mercurio en la zona del Delta del Ebro.

#### *Delta del Ebro - Cabo San Antonio* (Cuadro III)

Los niveles de metales pesados hallados en esta zona son, en general, significativamente menores a los presentes en las zonas anteriormente citadas. Así, a excepción de algunos puntos muy concretos (junto a Sagunto y la estación 12) los niveles medios de mercurio en el sedimento se hallan alrededor de 0,07 ppm, manteniéndose los demás contaminantes en valores también significativamente menores.

*Mercurio.* Como anteriormente se ha citado, los niveles medios oscilan alrededor de 0,07 ppm, estando su rango de concentraciones compren-

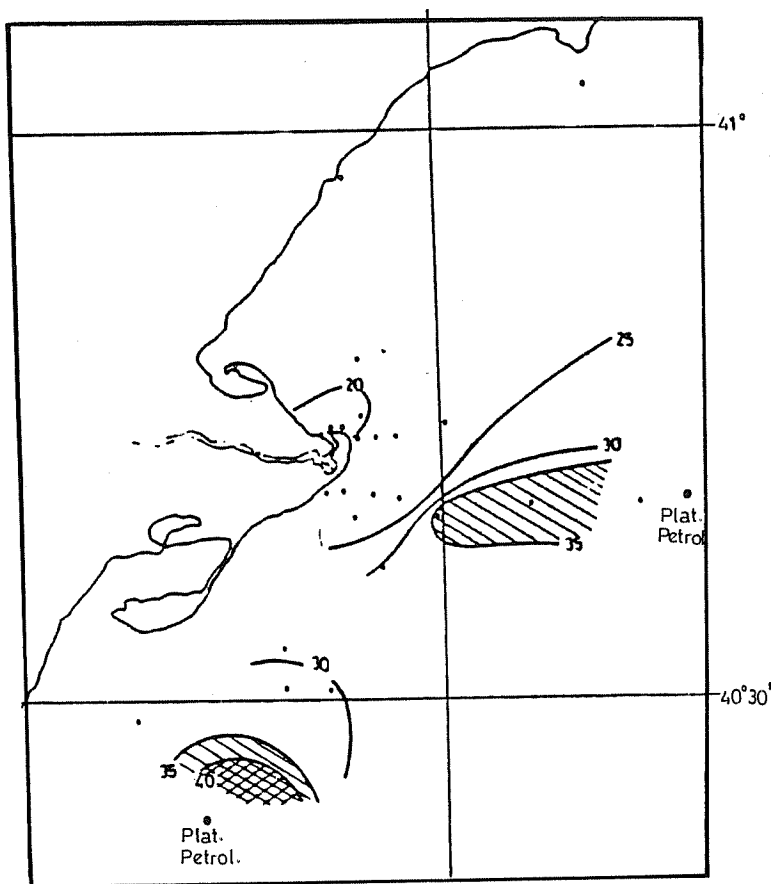


Fig. 3. Distribución de vanadio en el Delta del Ebro.

dido entre no detectable (estación 10) y 1,12 ppm (estación 12) (ver Cuadro III). Según puede apreciarse en el cuadro, los niveles máximos de contaminación por este metal se hallan confinados a la zona contigua a Sagunto (estación 1, 0,59 ppm) y al sureste de Valencia (estación 12: 1,12 ppm). Cabe señalar que los bajos valores hallados en las estaciones 9 y 10 (frente a la Albufera de Valencia) pueden estar influenciados por la textura arenosa del sedimento.

*Plomo.* Al igual que en el caso del mercurio, posee unos valores medios bajos (alrededor de 15 ppm, ver Cuadro III) existiendo, no obstante,

unos máximos muy localizados (26 y 39,7 ppm) ubicados también en la zona de Sagunto y en la estación 12. Los valores oscilan entre 6,1 ppm (estación 9) y 39,7 ppm (estación 12). Al igual que en el caso anterior los valores menores se encuentran en la radial frente a Cullera (Fig. 4).

*Cadmio.* Sus concentraciones son igualmente menores a las halladas en los deltas catalanes, oscilando desde 0,24 ppm (estación 10) hasta 1,37 ppm (estación 12). Es detectable una cierta tendencia a disminuir en dirección Sur, exceptuando la estación 12.

Muestra	Procedencia	(ppm) Hg	(ppm) Cd	(ppm) Pb	(ppm) Ni	(ppm) V
E. Sagunto 10 m.	Sagunto	—	4,67	26,0	25,9	35,6
P1E1D	Sagunto	0,59	0,91	24,0	20,9	28,6
P1E2D	Sagunto	0,08	1,21	10,5	15,3	35,4
P1E3D	Sagunto	0,11	1,24	9,5	13,3	33,7
P1E4D	Sagunto	0,06	0,74	11,0	14,5	31,0
P1E5D	Valencia	0,13	0,94	9,7	8,6	22,2
P1E6D	Valencia	0,10	0,88	13,4	20,5	26,1
P1E7D	Valencia	0,08	0,62	9,3	21,7	23,6
P1E8D	Valencia	0,05	0,80	10,2	19,1	22,3
P1E9D	Albufera	0,05	1,07	6,1	3,7	14,0
P1E10D	Albufera	N.D.	0,24	12,7	23,0	56,3
P1E11D	Albufera	0,04	0,50	8,2	23,0	44,6
P1E12D	Albufera	1,12	1,37	39,7	21,3	37,3
P1E14D	Cullera	0,05	0,42	6,8	9,3	20,9
P1E16D	Cullera	0,05	0,26	7,5	24,2	38,0
P1E18D	Gandía	0,06	0,54	12,9	18,3	26,4
P1E19D	Gandía	0,04	0,31	16,0	21,4	29,5

Cuadro III. Concentración de metales pesados en sedimentos marinos. Del Delta del Ebro a Cabo San Antonio.

*Vanadio.* Los niveles de vanadio se hallan comprendidos entre 14 ppm (estación 9) y 56,3 ppm (estación 10). Cabe señalar la dirección sureste de la distribución del mismo, hallándose el máximo en la estación situada al sureste de Valencia y más próxima a ella. Por otro lado es de destacar que la distribución de hidrocarburos en la zona sigue una pauta muy similar a la del vanadio (García-Regueiro, 1983).

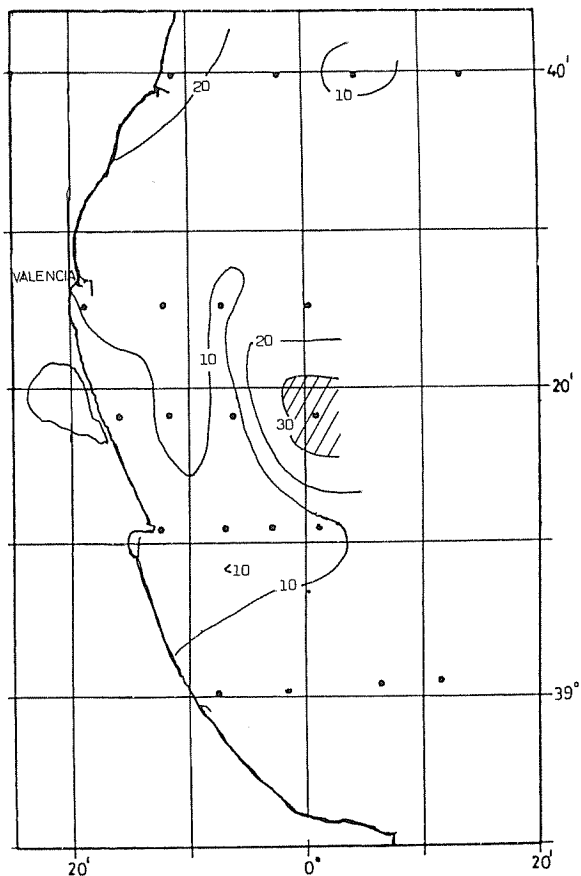


Fig. 4. Distribución de plomo en el Golfo de Valencia.

*Niquel.* Al igual que el vanadio, presenta una distribución claramente orientada hacia el sureste, hallándose los valores máximos al sureste de Valencia. Sus concentraciones oscilan entre 3,7 ppm (estación 9) y 24,2 ppm (estación 16). Es destacable un valor alto frente a Sagunto, con tendencia a disminuir aguas afuera.

A modo de resumen, diremos que en la zona comprendida entre Sagunto y Cabo San Antonio, se observan unos niveles de metales pesados ligeramente altos; hallándose los valores mayores confinados a zonas muy concretas (estaciones 1 y 12). Por otro lado se vislumbra la posible influen-

cia del transporte general de la zona, el cual tiende a distribuir los microcontaminantes en dirección sureste, siendo sus efectos más patentes en el caso del vanadio, plomo y níquel.

*Cabo San Antonio - Cartagena* (Cuadro IV)

*Mercurio.* Cabe señalar los valores relativamente bajos hallados entre el Cabo San Antonio y Cabo de Palos (estaciones 1-20) mientras que en Cartagena se obtienen niveles muy altos (estaciones 21 a 24) manifestándose en esta zona una clara tendencia a decrecer hacia alta mar (Fig. 5 y 6).

*Plomo.* Su comportamiento es muy parecido al del mercurio. Entre Cabo San Antonio y Cabo Palos presenta unos valores relativamente uniformes, oscilando alrededor de 18 ppm, con una cierta tendencia a aumentar en alta mar. En la zona de Cartagena aparece también una concentración muy alta, registrándose un valor máximo de 327,8 ppm en la estación 21. Así-

Muestra	Procedencia	Hg (ppm)	Cd (ppm)	Pb (ppm)	Ni (ppm)	V (ppm)
P8E1D	Javea	0,09	2,67	9,3	—	23,4
P8E2D	Javea	0,12	1,96	13,6	—	20,0
P8E3D	Javea	0,09	0,34	8,39	—	23,7
P10E1D	Javea	0,14	1,70	12,6	5,1	11,5
P10E2D	Javea	0,11	0,70	14,7	17,1	14,8
P10E3D	Javea	0,13	1,10	16,0	14,9	18,0
P10E4D	Javea	0,13	1,10	18,3	19,1	19,6
P8E6D	Benidorm	0,06	0,62	8,4	—	24,7
P8E7D	Benidorm	0,07	0,43	12,1	—	12,1
P8E8D	Benidorm	0,06	0,38	11,3	—	24,5
P10E5D	Benidorm	0,14	0,22	12,5	5,2	10,7
P10E6D	Benidorm	0,10	0,68	16,9	16,7	14,5
P10E7D	Benidorm	0,10	1,54	19,2	22,1	18,4
P10E8D	Benidorm	0,09	1,97	20,0	22,9	21,8
P8E9D	Alicante	0,05	0,69	11,5	6,8	20,1
P8E10D	Alicante	0,05	0,38	8,0	—	20,5
P8E11D	Alicante	0,05	2,25	13,5	—	25,4
P8E12D	Alicante	0,11	0,34	11,2	—	31,6
P10E9D	Alicante	0,27	1,39	8,2	23,0	5,4
P10E10D	Alicante	0,14	0,65	12,1	14,0	11,3
P10E11D	Alicante	0,09	0,84	18,6	16,1	18,4
P10E12D	Alicante	0,08	2,28	17,2	16,3	25,7
P8E13D	Torreveja	0,07	0,54	12,6	—	17,6

Cuadro IV. Concentración de metales pesados en sedimentos marinos. Desde Cabo S. Antonio a Cartagena.



Muestra	Procedencia	Hg (ppm)	Cd (ppm)	Pb (ppm)	Ni (ppm)	V (ppm)
P8E14D	Torrevieja	0,06	0,11	10,9	—	16,7
P8E15D	Torrevieja	0,06	0,26	11,0	—	28,8
P8E16D	Torrevieja	0,05	1,96	12,2	—	39,1
P10E13D	Torrevieja	0,06	0,96	4,4	0,95	5,6
P10E14D	Torrevieja	0,09	2,21	20,8	16,6	16,6
P10E15D	Torrevieja	0,07	0,25	15,6	8,2	10,0
P10E16D	Torrevieja	0,08	0,48	15,3	16,7	13,2
P8E18D	Mar Menor	0,06	2,69	14,0	—	19,6
P8E20D	Mar Menor	0,05	0,30	12,7	—	38,1
P10E17D	Mar Menor	0,06	0,31	14,6	tra.	3,3
P10E18D	Mar Menor	0,08	0,24	21,0	0,9	6,9
P10E19D	Mar Menor	0,13	0,43	27,0	7,0	11,0
P10E20D	Mar Menor	0,13	1,75	19,6	11,6	20,0
P8E21D	Cartagena	0,96	0,75	195,0	—	23,3
P8E22D	Cartagena	—	1,04	273,4	—	36,3
P8E23D	Cartagena	—	0,43	47,2	—	26,0
P8E24D	Cartagena	—	0,70	34,9	—	26,2
P10E21D	Cartagena	1,41	1,71	327,8	16,8	29,0
P10E22D	Cartagena	0,63	1,96	233,0	11,4	27,3
P10E23D	Cartagena	0,13	0,77	60,7	8,0	14,8
P10E24D	Cartagena	0,13	0,36	69,5	14,5	20,2

Cuadro IV. Continuación.

mismo, es de señalar una marcada tendencia a disminuir aguas afuera (Figuras 7 y 8).

*Cadmio.* La distribución de este metal difiere ampliamente de las dos anteriores. En la zona comprendida entre Cabo de San Antonio y Cabo Palos aparece una cierta tendencia a incrementar su concentración aguas afuera, hallándose su valor máximo (2,28 ppm) en la estación 12. En la zona de Cartagena se mantiene una cierta tendencia a disminuir aguas afuera, aunque de forma menos marcada que en los casos anteriores (Figura 9).

*Vanadio.* Presenta una distribución muy similar a la del Cd, manifestándose también un cierto incremento aguas afuera. Cabe señalar que el valor máximo corresponde a la estación 21 (Cartagena) con 29,0 ppm, apareciendo en esta zona una ligera tendencia a disminuir mar adentro.

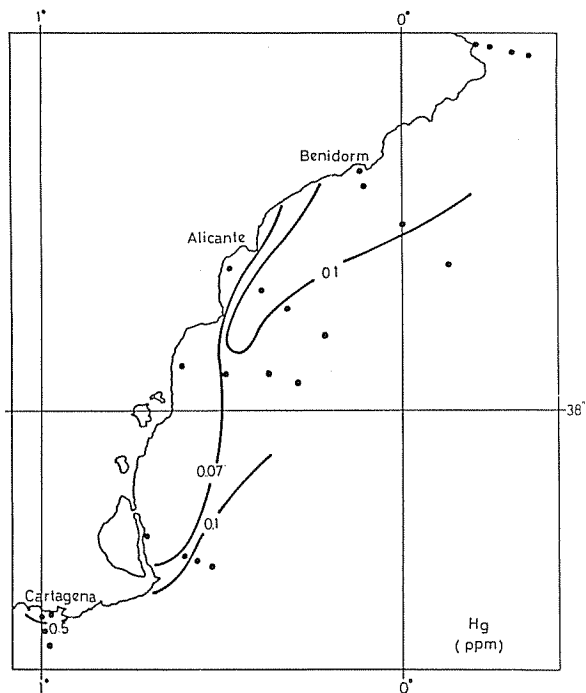


Fig. 5. Distribución de mercurio en la zona comprendida entre Cabo S. Antonio y Cabo Palos.

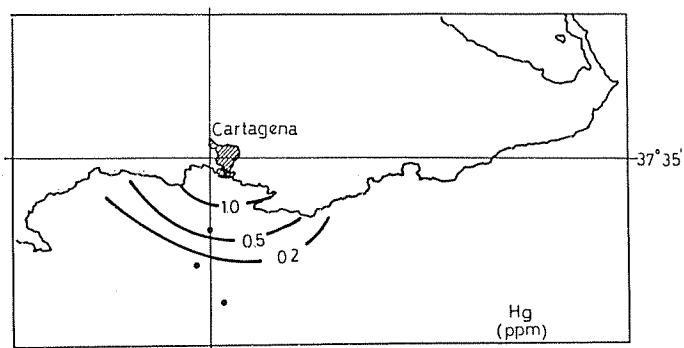


Fig. 6. Distribución de mercurio frente a Cartagena.

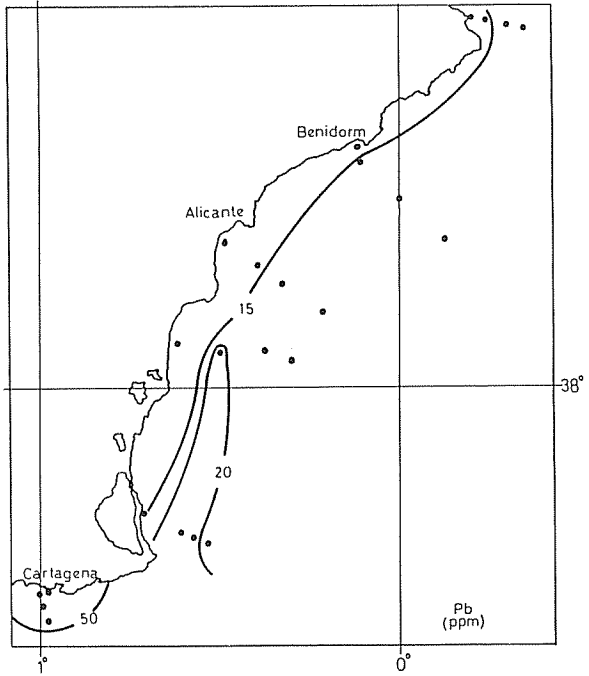


Fig. 7. Distribución de Pb entre C. San Antonio y Cabo Palos.

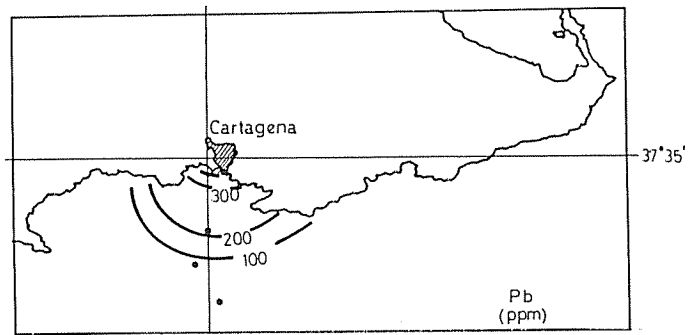


Fig. 8. Distribución de plomo frente a Cartagena.

*Niquel.* Su distribución es claramente coincidente con las dos anteriores, existiendo un cierto incremento en las concentraciones mar afuera a lo largo de toda la zona de estudio, a excepción de la zona de Cartagena. El valor máximo se sitúa en la estación 8, con 22,9 ppm.

A la vista de los resultados obtenidos, podemos establecer la existencia de dos zonas claramente diferenciadas a lo largo de la plataforma continental estudiada. Por una parte, hay una zona comprendida entre las esta-

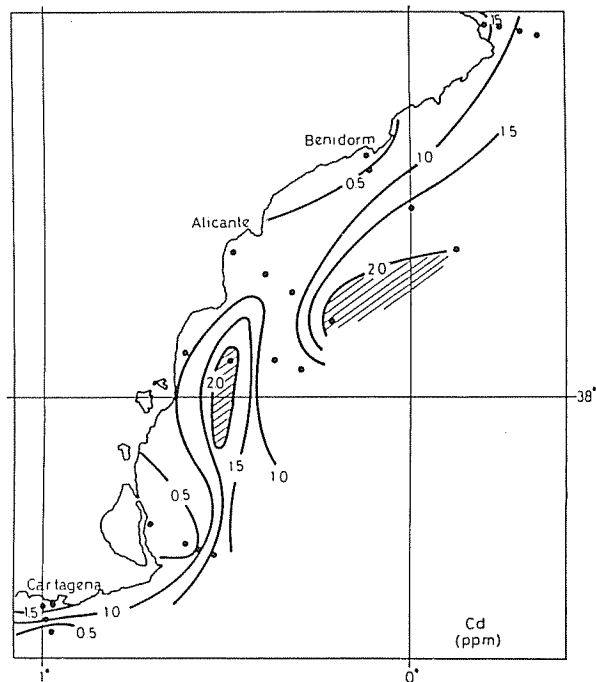


Fig. 9. Distribución de Cd entre C. San Antonio y Cartagena.

ciones 1 y 20 en la cual las concentraciones de los distintos metales son más bien bajas, manifestando casi todos ellos una cierta tendencia a aumentar aguas afuera. Por otro lado, apreciamos en la zona de Cartagena (estaciones 21-24) una conducta muy distinta. En ella hay valores significativamente elevados de mercurio y plomo (1,41 y 327,8 ppm respectivamente) con clara tendencia a disminuir mar adentro.

La explicación de este fenómeno podría surgir del hecho que ambas zonas están sometidas a una explotación marcadamente distinta. Mien-

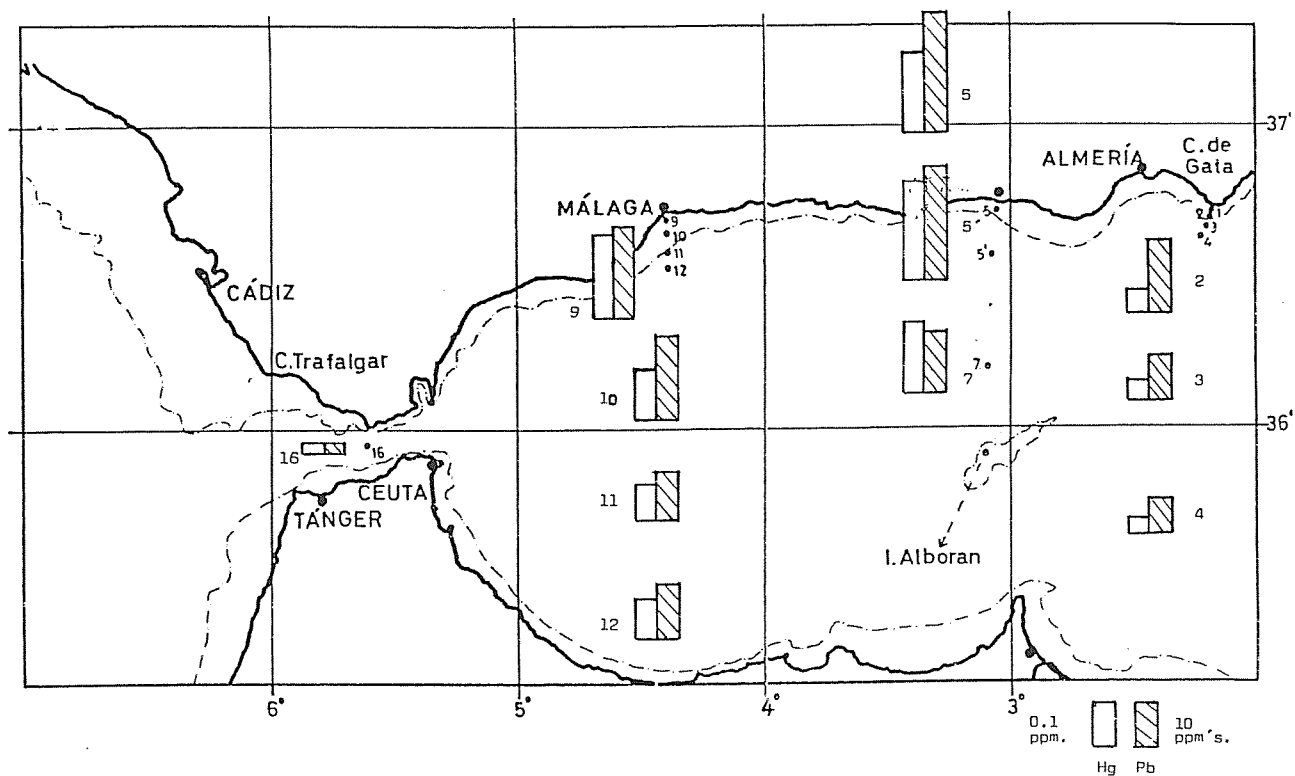


Fig. 10. Distribución de mercurio y plomo en la costa española del Mar de Alborán.

tras Cartagena sufre la contaminación derivada de ser un puerto de gran tráfico, junto a la presencia de una gran refinería de petróleo y una cierta actividad minera; sobre la otra zona no se aprecian grandes aportes de metales, probablemente debido a la escasa industrialización de la misma.

Es de destacar el hecho de que la mayoría de los metales estudiados manifiestan una clara tendencia a incrementar su concentración mar adentro, siendo los más representativos el Ni, V y Cd. La explicación de este fenómeno, en principio sorprendente, podría estar ligada a la distribución de las corrientes en la zona. Cabe recordar que al estudiar la zona de Valencia, ya se ponía de manifiesto algún fenómeno parecido: la distribución de algunos pesticidas, PCB's, hidrocarburos y metales, presentaban una distribución claramente influenciada por las corrientes reinantes.

#### *Cabo de Gata - Estrecho de Gibraltar (Cuadro V)*

*Mercurio.* En las estaciones de esta zona presenta valores relativamente bajos, oscilando entre 0,02 y 0,23 ppm. Los valores superiores corresponden a la radial situada frente a Adra (estaciones 5, 5' y 7), mientras que el mínimo se sitúa en el Estrecho de Gibraltar, frente a Tarifa. Asimismo, se observa una clara influencia del puerto de Málaga, apareciendo un fuerte gradiente negativo mar adentro.

*Plomo.* Presenta una distribución marcadamente coincidente con la del mercurio, siendo los niveles igualmente bajos. Las concentraciones ha-

Muestra	Procedencia	Hg (ppm)	Cd (ppm)	Pb (ppm)	Ni (ppm)	V (ppm)
P12E2D	Cabo de Gata	0,06	0,36	17,2	17,4	25,4
P12E3D	Cabo de Gata	0,05	0,78	10,6	3,4	18,2
P12E4D	Cabo de Gata	0,04	0,42	8,2	2,8	18,0
P12E5D	Adra	0,18	0,34	27,6	26,5	21,1
P12E5'D	Adra	0,23	0,99	27,0	24,3	17,9
P12E7D	Adra	0,16	2,16	14,2	22,9	17,3
P12E9D	Málaga	0,20	0,38	21,7	35,1	28,6
P12E10D	Málaga	0,12	0,14	19,6	54,2	21,7
P12E11D	Málaga	0,08	0,17	11,1	23,7	19,0
P12E12D	Málaga	0,09	0,45	10,3	34,6	21,3
P12E16D	Gibraltar	0,02	0,05	2,5	2,9	12,1

Cuadro V. Concentración de metales pesados en sedimentos marinos. Desde C. Gata a Estrecho de Gibraltar.

lladas oscilan entre 2,5 ppm (estación 16) y 27,6 ppm (estación 5). De forma similar al metal anteriormente comentado, los valores mayores se localizan en la radial de Adra mientras que los menores están en Tarifa. Cabe destacar que en las tres radiales que se han estudiado aparecen unos marcados gradientes negativos aguas afuera, siendo el más pronunciado el correspondiente a la radial de Adra.

*Cadmio.* Los niveles de Cadmio presentes son igualmente bajos, oscilando entre 0,05 ppm (estación 16) y 2,16 ppm (estación 7). Al igual que en los metales anteriores, los niveles mayores se hallan localizados en la radial frente a Adra, apareciendo en ella un marcado gradiente positivo mar adentro. Asimismo, en las demás radiales aparecen unos gradientes más o menos definidos en los que el valor máximo no corresponde nunca a la estación más próxima a la costa (ver Cuadro V).

*Vanadio.* Las concentraciones presentes oscilan entre 12,1 ppm (estación 16) y 28,6 (estación 9). Es destacable la presencia de ciertos gradientes negativos en las tres radiales estudiadas, apareciendo el valor máximo junto a la costa. A diferencia de los anteriores metales, la radial de máximas concentraciones se halla situada frente al puerto de Málaga.

*Niquel.* La distribución de este metal sigue una pauta similar a la del vanadio apareciendo, no obstante, ciertas diferencias. Sus concentraciones oscilan entre 2,8 ppm (estación 4) y 54,2 ppm (estación 10). Las radiales correspondientes a Cabo de Gata y Adra manifiestan un gradiente claramente negativo, siendo muy aparente en la primera. En la zona de Málaga aparecen unas variaciones poco regulares, mostrándose el máximo de concentración en una estación algo alejada de la costa.

A modo de resumen diremos que los niveles de metales pesados hallados en las muestras estudiadas son bajos, apareciendo ciertos gradientes de distribución más o menos importantes. La radial de mayor concentración de estos microcontaminantes es la situada frente a Adra, exceptuando para el níquel y vanadio en los que se aprecia la influencia del puerto de Málaga. Los valores bajos de la estación 16 pueden ser atribuidos a la textura arenosa del sedimento.

## CONCLUSIONES

1. Los niveles presentes son bajos a excepción de zonas muy localizadas que sufren grandes aportes de estos contaminantes (desembocadura del Besós, Llobregat, Ebro y Cartagena).
2. La distribución de los metales aparece claramente influenciada por la dinámica general de la zona, siendo su distribución dependiente de las corrientes dominantes.

3. Aparece una cierta correlación negativa entre las concentraciones halladas y el tamaño del grano de sedimento, siendo interesante establecer en estudios posteriores factores de corrección de los resultados obtenidos.

## BIBLIOGRAFÍA

- BALLESTER, A.; ALBAIGES, J.; SÁNCHEZ-PARDO, J.; MODAMIO, X.; GRIMALT, J., 1983. Estudio comparativo de los principales contaminantes presentes en los deltas catalanes en relación con el delta del Ebro. Ponencia presentada al Seminario «El sistema Integrado del Ebro, cuenca, delta, medio marino» celebrado en Barcelona. En prensa.
- HATCH, W. R.; OTT, W. L., 1968. Determination of sub-microgram quantities of mercury by atomic absorption spectrophotometry. *Anal. Chem.* 40: 2085-2087.
- JENSEN, S.; JERNELOV, A., 1969. Biological methylation of mercury in aquatic organisms. *Nature* 223: 753-754.
- TONOMURA, K.; FURUKAWA, K.; YAMADA, M., 1972. Microbial conversion of mercury compounds. *Environmental Toxicology of Pesticides* 115-134. Acad. Pres.