

Inv. Pesq	51 (4)	págs 517-548	Diciembre 1987
-----------	--------	--------------	----------------

Fitoplancton de las bahías del delta del Ebro*

M. DELGADO

Instituto de Ciencias del Mar P^o Nacional, s/n 08003 Barcelona

Palabras clave. Delta del Ebro, Alfacs, Fangar, estuarios, fitoplancton.

Key words. Ebro Delta, Alfacs, Fangar, estuaries, phytoplankton

RESUMEN. Se ha estudiado la abundancia y composición del fitoplancton de las bahías del Fangar y els Alfacs a diferentes escalas espaciales y temporales, a partir de diversas campañas realizadas entre 1982 y 1986. La concentración media anual de clorofila *a* en el agua de las bahías (3,20 mg/m³ en Alfacs y 3,44 mg/m³ en el Fangar) fue un orden de magnitud mayor que en el mar abierto próximo. Hubo grandes diferencias en la abundancia y composición del fitoplancton entre las dos bahías; en els Alfacs se apreció una mayor «estacionalidad» que en el Fangar. El fitoplancton mostró una pauta de distribución horizontal bien aparente en els Alfacs; el gradiente de variación ocurrió preferentemente en la dirección transversal de la bahía, en respuesta al vertido de nutrientes via agua dulce procedente de los canales. No se apreciaron diferencias taxonómicas importantes en la composición del fitoplancton entre las bahías y el Mediterráneo occidental, a excepción de la presencia casual de especies de agua dulce y de una superior abundancia de diatomeas bentónicas en las bahías. Las variaciones temporales observadas en el fitoplancton de las bahías del delta del Ebro se pueden resumir como una respuesta al ciclo estacional y al vertido de agua dulce (de abril a diciembre) a los cuales se superponen variaciones espaciales importantes. Estas últimas dependen de la ocurrencia de factores físicos aperiódicos (vientos principalmente) y de las características dimensionales de las bahías.

SUMMARY: PHYTOPLANKTON OF THE EBRO DELTA BAYS. The phytoplankton abundance and composition of Alfacs and Fangar bays was studied at different spatial and temporal scales in several cruises carried out between 1982 and 1986. The mean annual chlorophyll *a* concentration in the water of the bays (3.20 mg/m³ in Alfacs and 3.44 mg/m³ in Fangar) was an order of magnitude higher than in the neighbouring open sea. There were great differences between the two bays in phytoplankton abundance and composition. In Alfacs there was more «seasonality» than in Fangar. An horizontal phytoplankton distribution pattern was apparent in Alfacs; the main gradient occurred in the transverse direction of the bay as a response to the nutrient input through fresh water discharge. Taxonomic differences in the phytoplankton composition between the bays and the Western Mediterranean were not apparent, with the exception of the casual presence of fresh water species and a greater abundance of benthic diatoms in the bays. The observed phytoplankton temporal variations in the Ebro Delta Bays can be summarized as a response to the seasonal cycle and to the fresh water discharge (from April to December) on which important spatial variations are superimposed. The latter depend on the occurrence of aperiodical physical factors (winds principally) and on the dimensional characteristics of the bays.

* Recibido el 13 de julio de 1987. Aceptado el 10 de noviembre de 1987
Trabajo financiado por la CAICYT y el CSIC AC-16/84

INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene como objetivo principal exponer la información que se posee en relación con el fitoplancton de las bahías del Fangar y de els Alfacs e interpretar los sucesos que ocurren en sus aguas.

El único estudio anterior del fitoplancton en las bahías del que se tiene referencia es el realizado por Margalef en la bahía del Fangar, que es descrito en LÓPEZ y ARTÉ (1973), y estuvo restringido a la superficie del agua. Tal estudio mostró tres períodos anuales: invernal (pobre), primavera-verano (abundancia de flagelados pequeños) y otoñal (abundancia de diatomeas y peridíneas), con una presencia notable de especies de agua dulce.

Las pretensiones iniciales estaban limitadas a describir la abundancia del fitoplancton a manera de ciclo anual y realizar una estima de la producción primaria de las aguas con la finalidad de aportar información para la maricultura y la pesca. A medida que fue obteniéndose la información inicial se amplió el estudio en un intento de acceder a la comprensión del funcionamiento integral del sistema, labor que se prosigue en la actualidad.

Las bahías se asemejan a estuarios en cuña salina, con un predominio del vertido de agua dulce sobre la evaporación. El Fangar está situada al norte del Delta, tiene una extensión de unos 10 km^2 , una profundidad máxima de 4 m y una capacidad de $16 \times 10^6 \text{ m}^3$. Els Alfacs está situada al sur del Delta, tiene una extensión de 50 km^2 , una profundidad máxima de 6 m y una capacidad de unos $191 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Las características hidrográficas se hallan descritas en CAMP y DELGADO (1987). Generalmente hay una estratificación bien definida de las aguas (térmica y salina), si bien, ocasionalmente, han sido detectadas situaciones de mezcla (asociadas con fuertes temporales y que se dan preferentemente en el invierno). La oscilación térmica es mayor que la del mar adyacente y la salinidad (valores medios en torno a 35) es, en general, inferior a la del Mediterráneo. La diferencia hidrográfica más notable entre las bahías es que el Fangar presenta oscilaciones de temperatura y salinidad de período corto (1-2 días) mientras que en els Alfacs los cambios apreciables suelen darse en períodos de 10-20 días, salvo los debidos a fuertes temporales (CAMP y DELGADO, 1987).

La información sobre los nutrientes inorgánicos disueltos se halla en el trabajo de DELGADO y CAMP (1987). Las concentraciones más altas estuvieron asociadas al agua de menor salinidad y su origen son las aguas dulces vertidas a través de canales de desagüe. El aporte a la bahía de els Alfacs vía canales de desagüe de compuestos inorgánicos de nitrógeno y fósforo disueltos explica sólo una parte, inferior al 25 %, de la producción primaria estimada para esta bahía, por lo que ha de haber otras fuentes de tales elementos cuantitativamente más importantes; entre ellas se apunta la remineralización de la materia orgánica acumulada en los sedimentos, actualmente en proceso de evaluación.

El estudio del fitoplancton se inició con un ciclo anual, que puso de manifiesto, en general, una gran variabilidad de los parámetros, atribuible a cambios hidrográficos importantes que afectaron de manera diferente a las dos bahías. A raíz de ello se planteó la necesidad de estudiar de manera más detallada las variaciones a diversas escalas espacio-temporales, para lo cual se diseñaron dos tipos de campañas (denominadas «DS» y «DP-B»), que son explicadas en la sección de material y métodos.

La distribución espacio-temporal de las aguas de salinidad más baja y de los nutrientes inorgánicos asociados a ellas, importantes en el desarrollo y la distribución del fitoplancton, depende de la concurrencia de determinados factores físicos. Entre los que se consideran como más importantes, reunidos según su temporalidad:

PERIÓDICOS

Régimen de brisas. — La energía asociada es baja, pero su efecto sobre la mezcla y redistribución de la capa de agua superficial puede considerarse importante. La acción de la brisa llega posiblemente a resuspender el sedimento de las plataformas someras.

Régimen de mareas. — Es de escasa importancia, ya que la variación del nivel de las aguas que provoca es generalmente inferior a 20 cm.

APERIÓDICOS

Vientos. — Son especialmente importantes (GARCÍA y BALLESTER, 1984) los procedentes del N, del NO y del E. Los dos primeros son más fríos y secos, con un efecto de evaporación es muy alto, mientras que los últimos se caracterizan por velocidades elevadas. Una acción importante de los vientos es mezclar la columna de agua.

Dinámica marina. — Se engloba aquí el efecto combinado de vientos y circulación marina. Si bien la dirección dominante de la corriente marina, en la plataforma continental, es de NE a SO, hay importantes inversiones y cambios en general que pueden dar lugar a la entrada de agua de mar diluida con la procedente del río Ebro por las bocas de las bahías. Al efecto combinado de vientos de levante con circulación marina puede atribuirse la entrada del mar en las bahías, tras superar las barras de arena o penínsulas que las protegen.

MATERIAL Y MÉTODOS

CAMPAÑAS REALIZADAS

En un intento de aproximación a los sucesos que ocurren en el agua de las bahías del delta del Ebro se proyectó inicialmente un ciclo anual en el Fan-

gar y en els Alfacs. El muestreo se realizó en superficie y a 4 m de profundidad, para diferenciar las aguas superficiales de menor salinidad de las de niveles inferiores y más saladas. Entre los parámetros medidos se contaron la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, clorofila *a*, recuentos de organismos y, por primera vez en el área de estudio, se evaluó la penetración de la luz en la columna de agua y la concentración de nutrientes inorgánicos disueltos. Este ciclo anual se realizó desde noviembre de 1982 hasta febrero de 1984 con periodicidad de muestreo aproximadamente mensual, en 3 estaciones de la bahía de els Alfacs y 2 del Fangar (fig. 1). Una estación de cada bahía se situó en la boca de comunicación con el mar, con el fin de contrastar los parámetros fuera y dentro del recinto.

En una de las últimas campañas del ciclo se incluyó un transecto en els Alfacs (estaciones *a*, *b*, *c* y *d*, campaña D-IX, fig. 1), situado en la dirección transversal de la bahía. El análisis del fitoplancton de aquellas muestras informó de la posible ocurrencia en esta dirección de un gradiente de variación preferencial, más tarde comprobado. Con este dato y las oscilaciones espaciales y temporales observadas en el ciclo, se planeó un segundo tipo de campañas (DS, realizadas el 7 de junio, 22 de junio, 3 de julio, 2 de agosto y 16 de octubre de 1984; fig. 2). En ellas se incluyó un mayor número de puntos de muestreo, distribuidos en todo el espacio de la bahía de els Alfacs y en los canales de desagüe que vierten sus aguas en esta bahía. Fue evaluada la con-

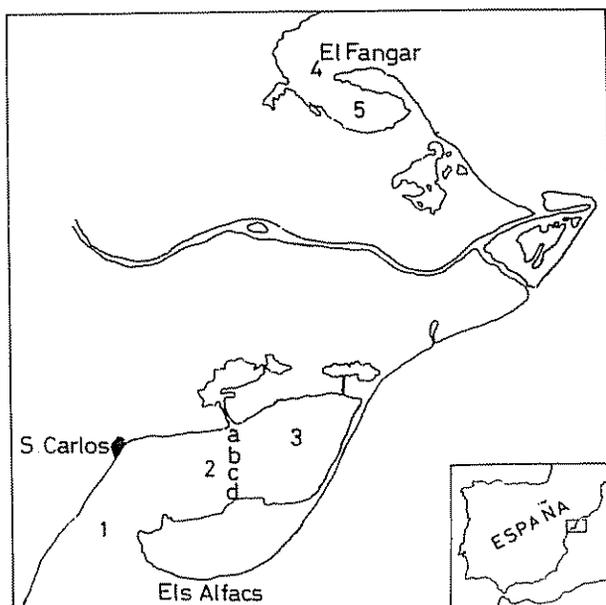


FIG 1 — Disposición de las estaciones de muestreo en el ciclo anual, realizado entre noviembre de 1982 y febrero de 1984

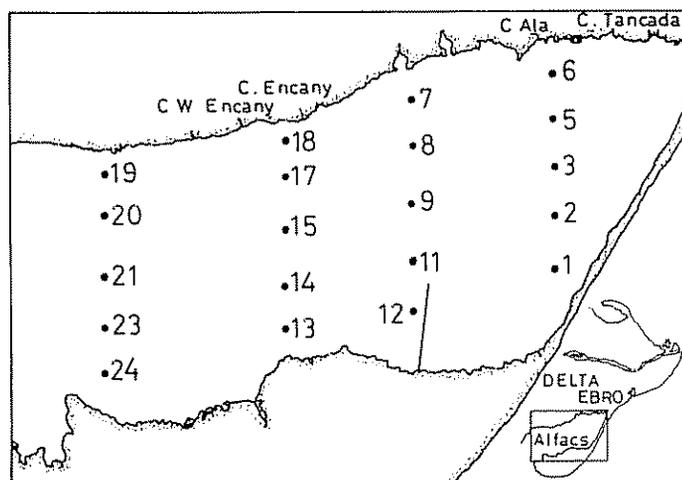


FIG 2 — Disposición de las estaciones de muestreo en las campañas DS, realizadas entre junio y octubre de 1984

centración de clorofila *a*, nutrientes inorgánicos, salinidad y temperatura de las aguas a diferentes niveles (perfiles verticales con un metro de intervalo) y se obtuvieron muestras para el recuento del fitoplancton.

La confirmación de la existencia de un gradiente de variación preferencial en la dirección transversal de la bahía llevó a realizar un tercer tipo de campañas (DP-B, del 21 al 24 de setiembre de 1985), con disposición de las estaciones en forma de transecto siguiendo la dirección N-S en el centro de els Alfacs (fig. 3), de manera que incluyera las variaciones más importantes en el conjunto de la bahía.

MUESTREO

Los muestreos fueron realizados mediante una embarcación Zodiac y la toma de agua para las diferentes determinaciones se efectuó con una botella Niskin de 5 litros de capacidad. La disponibilidad de un sensor de conductividad y temperatura (Mark X, Martek Instruments) permitió el trazado de perfiles hidrográficos verticales, con un metro de intervalo, en los puntos de muestreo y en otros puntos suplementarios.

MEDIDAS DE ENERGÍA LUMINOSA

Se efectuaron medidas de la penetración de la radiación fotosintéticamente activa con un aparato Li-Cor (Lambda Instruments) y, en ocasiones, se determinó la profundidad de visión del disco de Secchi.

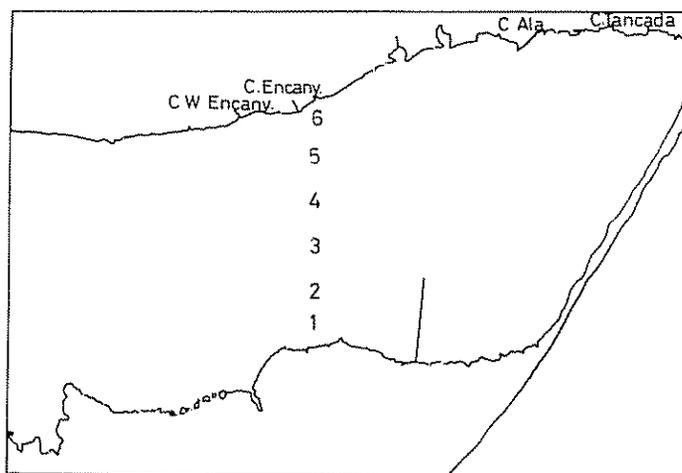


FIG 3. — Disposición de las estaciones de muestreo en la campaña DP-B, realizada del 21 al 24 de setiembre de 1985.

ANÁLISIS DE PIGMENTOS FOTOSINTETIZADORES

Se filtraron entre 1 y 4 litros de agua (según la cantidad de materia particulada) a través de filtros de fibra de vidrio de 5,5 cm de diámetro (Whatman GF/C), en un soporte de acero inoxidable, y se procedió según el método descrito en STRICKLAND y PARSONS (1972). Los filtros, introducidos en un vial con acetona al 90 % (Panreac), se guardaron a oscuras y refrigerados hasta el momento del análisis (1-2 días) y se trituraron en un homogenizador de vidrio con pistón de teflón. Tras la centrifugación del homogenizado, se leyeron las absorbancias del extracto en un espectrofotómetro Shimadzu, modelo UV-240, a las longitudes de onda de 430, 630, 647 y 664 nm, contra blanco de acetona y corrigiendo la línea de base para la turbidez a 750 nm. Posteriormente, se acidificó la muestra con una gota de HCl 10 % y volvió a leerse la absorbancia a 664 nm, para calcular la proporción de feopigmentos (LORENZEN, 1967). En muchas ocasiones fueron registrados los espectros completos entre 350 y 750 nm.

Para los cálculos de la concentración de clorofila *a* se utilizaron las ecuaciones de JEFFREY y HUMPHREY (1975), o sea:

$$\text{Clorofila } a \text{ (mg/m}^3\text{)} = (11,85 D_{664}) - (1,54 D_{647}) - (0,08 D_{630}) S/V$$

donde *D* son las absorbancias a las longitudes de onda que se indican, *V* el volumen de agua filtrada (litros) y *S* el volumen del extracto acetónico resultante (ml).

Para calcular la proporción de feopigmentos (respecto del total de clorofi-

la *a* + feopigmentos) se aceptó un $Fe = 1,75$ (cociente entre las absorbancias a 664 nm, antes y después de acidificar para clorofila *a* pura, que, en este caso particular, se calculó con clorofila *a* cristalina Fluka).

En ocasiones (campañas DS) la clorofila fue evaluada por fluorescencia (YENTSCH y MENZEL, 1963). El procedimiento consistió en filtrar un volumen adecuado de agua a través de filtros Whatman GF/C de 2,5 cm de diámetro, que se guardaban a oscuras y refrigerados en viales de vidrio con acetona al 90 %. En el laboratorio se trituraron los filtros y, previa centrifugación del extracto, se midieron las unidades de fluorescencia en un aparato Turner. La conversión de unidades relativas de fluorescencia en unidades de clorofila *a* fue realizada a partir de un banco de dilución de pigmentos del mismo lugar, evaluados previamente por espectrofotometría.

RECUENTOS DEL FITOPLANCTON

El recuento del número de células de los diversos taxones fue efectuado en muestras sedimentadas (1 día) y fijadas con lugol. Con la ayuda de un microscopio invertido dotado de contraste de fases, se contaron, a 100 aumentos, las células de microplancton presentes en la base de una cubeta de 10 ml y, a 400 aumentos, las de nanoplancton presentes en un transecto diametral de la cubeta. En ocasiones de gran abundancia celular se recorrieron, a 100 aumentos, varios transectos diametrales para las especies más frecuentes.

En el ciclo anual se tomaron muestras de fitoplancton, en la superficie de las estaciones, con una red bicónica de nylon, de una luz de malla de 45 micras, con la finalidad de completar la lista de especies. Estas muestras se fijaron con formol al 4 % y, posteriormente, fueron tratadas con ácidos para limpiar los frústulos de diatomeas.

MONTAJE DE PREPARACIONES PERMANENTES DE DIATOMEAS

Algunas muestras de fitoplancton obtenidas con red fueron colocadas en viales de vidrio Pyrex de 10 ml de capacidad y centrifugadas a continuación. Se añadieron 2 ml de ácido nítrico concentrado (Panreac) al sedimento resultante y se mantuvieron durante 2 horas en una estufa a 60 °C. Una vez finalizada la digestión del material orgánico los frústulos se lavaron con agua destilada (y filtrada a través de Millipore HAWP), por centrifugaciones sucesivas (3, con cambio de agua), en el mismo vial de digestión. El agua sobrenadante fue eliminada con una pipeta de punta fina accionada por un émbolo de cremallera, cuidando de no resuspender lo sedimentado. Una vez lavados, los frústulos se colocaron en portaobjetos de vidrio y se eliminó el agua calentando ligeramente las preparaciones en un mechero de alcohol. Las muestras para observación a microscopía electrónica de barrido se metalizaron tras este paso. A los portaobjetos para observación con microscopio óptico se

les añadió una gota de resina sintética Naphrax (N.S.B. Laboratories) y se calentaron hasta la ebullición. Inmediatamente (1-2 segundos) se colocaron los cubreobjetos y se dejaron enfriar en una superficie cerámica. Una ligera presión del cubreobjetos con una varilla de madera ayudó a eliminar las burbujas de aire de la preparación.

ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

De las especies (o grupos de ellas) de fitoplancton cuantificadas se seleccionó una parte para el análisis, basado en la presencia de los taxones en un número elevado de muestras. Los datos originales se transformaron logarítmicamente

$$x = \ln(x + 1) \quad \text{siendo } x \text{ el n.º de células en 10 ml}$$

con la finalidad de normalizar la distribución y disminuir la proporción de la varianza atribuible a diferencias en biomasa. El análisis de componentes principales (CUADRAS, 1981) fue efectuado sobre la matriz de correlaciones entre pares de especies. Los programas de ordenador empleados fueron tomados del IMB SSP (IBM, 1969).

CORRELACIONES ENTRE MUESTRAS DE FITOPLANCTON

Se calculó el coeficiente de correlación lineal entre pares de muestras, incluyendo todas las especies cuantificadas y presentes en una u otra de las muestras sedimentadas. Las correlaciones se efectuaron sobre los datos de concentración celular transformados logarítmicamente

$$x = \log(x + 1)$$

donde x es la abundancia de células de un taxón concreto en 10 ml.

CONSIDERACIONES SOBRE LOS PARÁMETROS DEL FITOPLANCTON

La información sobre el fitoplancton proviene del análisis de pigmentos fotosintetizadores y de recuentos celulares, que se complementan en buena parte.

Los datos procedentes de los recuentos celulares son utilizados de varias maneras. Una parte de la información consiste en el número total de células, que, debido a su tamaño variable, es un indicativo poco correcto de la biomasa, y en la abundancia de los grandes grupos del fitoplancton (diatomeas, dinoflagelados, nanoflagelados, cocolitoforales). Otra información útil se obtiene con los cálculos de correlaciones entre pares de muestras y con los análisis de componentes principales de datos de abundancia celular de las diversas especies.

La información procedente del cálculo de las correlaciones se emplea

para comparar las diferencias en la composición del fitoplancton con las de salinidad de las aguas entre los niveles de superficie y de 4 m de profundidad y para resumir las diferencias en la composición del fitoplancton entre las bahías de els Alfacs y del Fangar.

El análisis de componentes principales se emplea en el estudio de las distribuciones espaciales y temporales del fitoplancton.

RESULTADOS

PENETRACIÓN DE LA LUZ EN LA COLUMNA DE AGUA

La profundidad de las bahías del delta del Ebro es escasa (máxima de 4 m en el Fangar y 6 m en els Alfacs), pero en las aguas hay una cantidad considerable de fitoplancton y de materia particulada muerta (orgánica o inorgánica) en suspensión. El resultado es una reducción importante en la penetración de la luz.

Los datos que se poseen vienen resumidos en el cuadro I; muestran una mayor absorción de la energía luminosa en el primer metro de agua (entre el 24 y el 80 % de la recibida en la superficie del agua), lo cual es obvio dado el carácter exponencial de los perfiles de luz. Hubo ocasiones en que la absorción en los tres primeros metros fue mayor del 90 % (p. ej., en el Fangar fue del 99 % en febrero de 1984).

El coeficiente de extinción de la luz «*K*» (RAYMONI, 1980), definido como:

$$K = \frac{2,3 (\log I_1 - \log I_2)}{d_1 - d_2}$$

donde I_1 e I_2 es la energía luminosa ($\mu\text{Einsteins/m}^2/\text{seg}$) en las profundidades d_1 y d_2 (metros), estuvo comprendido desde el otoño de 1983 al verano de 1984 entre 0,30 y 0,44 en el centro de els Alfacs. En el Fangar estuvo entre 0,47 y 1,53, valores claramente superiores a aquéllos.

La relación $K \times D$ entre el coeficiente de extinción (K) y la profundidad a la cual desaparece el disco de Secchi (D , cuadro II) adquirió en las bahías, en noviembre de 1983, un valor medio de 1,56 ($SD = 1,56$, 5 datos), sensiblemente inferior al del mar abierto, donde generalmente se acepta que es de 1,7.

PIGMENTOS FOTOSINTETIZADORES

Las concentraciones de clorofila *a* (Cl *a*), dentro de las bahías, fueron elevadas en comparación con las del mar abierto y presentaron grandes oscilaciones a lo largo del ciclo anual estudiado. La evolución anual de estas concentraciones en las bahías (fig. 4), fue la siguiente:

En febrero de 1983, estuvo comprendida entre 1 y 2 mg/m^3 ; el mes siguiente aumentaron sensiblemente los valores (entre 1,6 y 3,7 mg/m^3), sobre

CUADRO I

Medidas de radiación fotosintéticamente activa ($\mu\text{Einstein}/\text{m}^2/\text{seg}$) en la columna de agua de las bahías del delta del Ebro. La posición de las estaciones se indica en la figura 1 E, estación; P, profundidad en metros.

Fecha	1982			1983			1984		
	3 Nov.	5 Oct.	15 Nov.	1 Feb.	27 Marzo	22 Junio	5 Julio	2 Ago.	
E-P									
1-0	1250	950	350						
-1	830	660	220						
-2	650	450	155						
-3	530	350	130						
-4	420	265	95						
-5	350	130	78						
-6	255	67	23						
2-0	450	970	1250	650	2100	2100	1300	1800	
-1	300	580	850	450	1600	1600	830	1500	
-2	280	390	460	340	1050	1100	550	1000	
-3	160	250	330	240	640	870	380	650	
-4	130	160	235	170	410	670	240	490	
-5	100	105	175	120	270	530	180	300	
-6	—	—	100	93	160	340	120	220	
3-0	800	1450	1200	1000					
-1	600	1050	760	640					
-2	430	570	440	450					
-3	310	380	310	300					
-4	212	240	195	210					
-5	160	—	140	145					
4-0	1300	1200	420	1500					
-1	900	770	130	1000					
-2	650	490	45	750					
-3	500	330	26	540					
-4	350	255	20	380					
-5	240	195	16	270					
-6	185	145	13	190					
5-0	1300	1420	625	1500					
-1	670	750	143	300					
-2	350	460	63	65					
-3	285	350	44	15					

todo en els Alfacs. En mayo se apreció una ligera caída, de la que se exceptuó la estación 3. Durante los meses de junio y julio se produjeron máximos, con valores entre 3,5 y 11 mg Cl a/m^3 ; el momento en que se presentaron fue diferente en los distintos puntos de muestreo; en els Alfacs ocurrió a primeros de junio en la estación 3 y a finales de junio en las estaciones 1 y 2, y en el Fangar hubo una gran variabilidad, con picos entre primeros de junio y finales de julio.

CUADRO II

Profundidad de vision del disco de Secchi (metros) en el agua de las bahías, de noviembre de 1982 a setiembre de 1983

Estación	Fecha							
	3 Nov	3 Feb	8 Marzo	4 Mayo	1 Junio	21 Junio	20 Julio	7 Sept
1	5.0	4.0	5.0	2.5	2.8	2.5	3.5	3.7
2	5.3	4.5	5.0	2.5	2.0	2.5	3.8	4.0
3	5.2	5.0	5.2	2.5	2.0	2.5	3.0	3.5
4	4.5	2.0	7.5	—	3.5	3.5	3.0	8.0
5	3.5	3.0	+4.0	+4.0	3.5	3.5	3.5	3.2

En otoño de 1983 presentó otro máximo anual en las concentraciones de *Cl a* (campañas de setiembre y octubre), con valores que oscilaron entre 1 y 25 mg/m³, seguido de una disminución importante en noviembre, común a todas las estaciones.

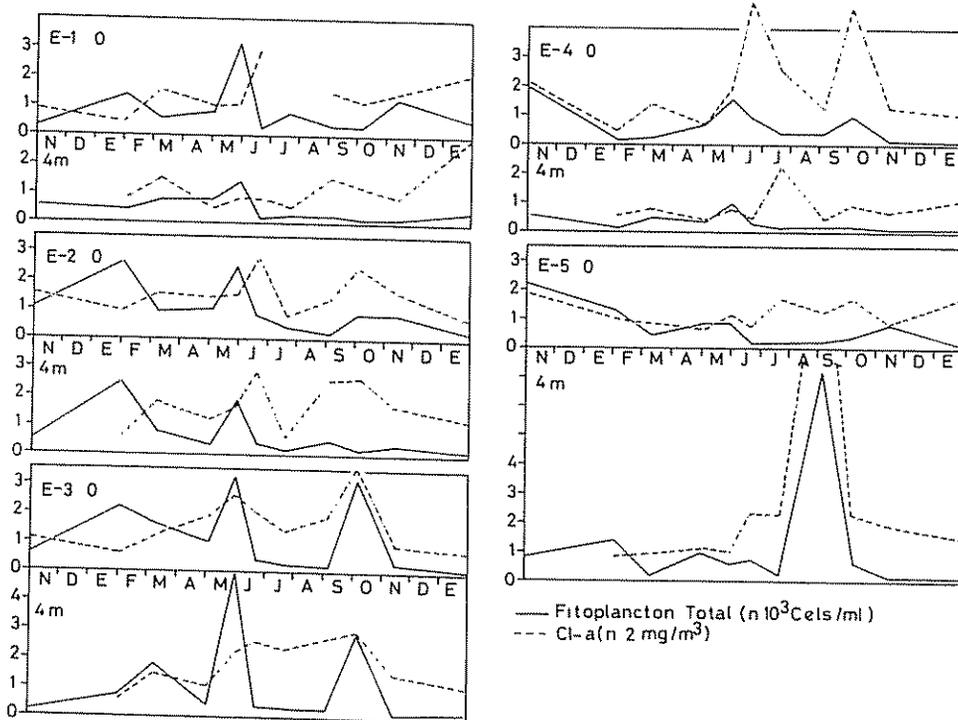


Fig. 4 — Variación de la concentración de clorofila-a (mg/m³) y del número total de células de fitoplancton (miles de células/ml) en la superficie del agua y a 4 m de profundidad en els Alfacs (estaciones 1, 2 y 3) y en el Fangar (estaciones 4 y 5), de noviembre de 1982 a febrero de 1984

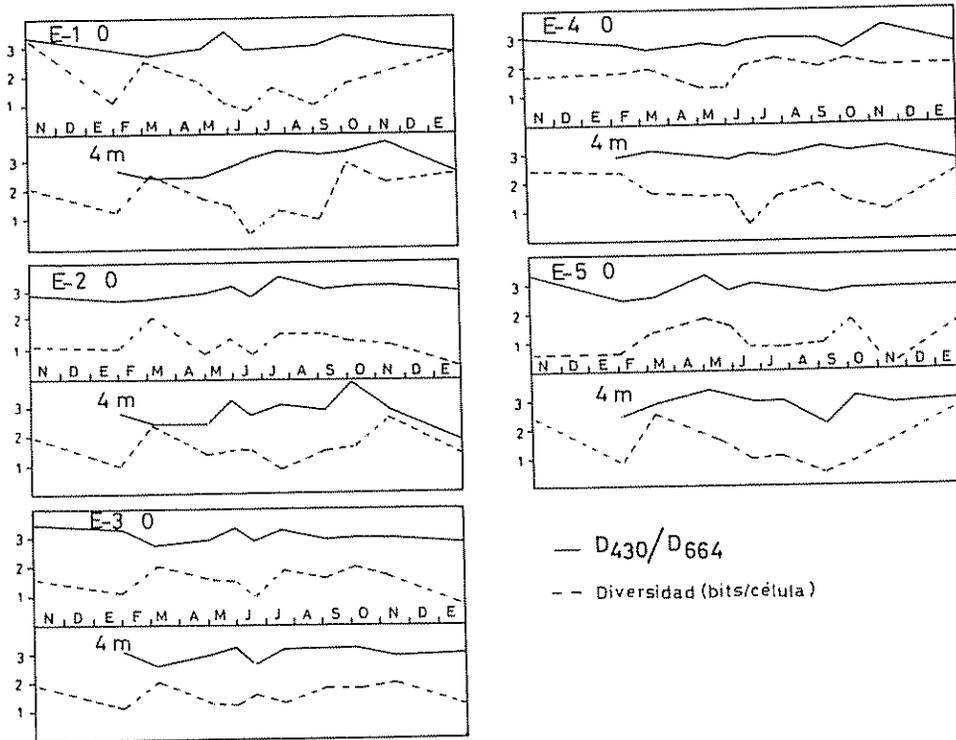


FIG 5 — Variación del índice pigmentario D_{430}/D_{664} y de la diversidad del fitoplancton (bits/célula) en la superficie del agua y a 4 m de profundidad en els Alfacs (estaciones 1, 2 y 3) y en el Fangar (estaciones 4 y 5), de noviembre de 1982 a febrero de 1984.

La etapa invernal fue diferente en los años 1983 y 1984; mientras que, en febrero de 1983, se observaron valores mínimos anuales (entre 1 y 2 mg Cl a/m^3), por las mismas fechas de 1984, hubo concentraciones altas (entre 1,5 y 5,8 mg/m³), acompañadas de los valores de oxígeno disuelto más altos del ciclo.

El índice pigmentario (D_{430}/D_{664}), a lo largo de 1983 (fig. 5), presentó un mínimo en el mes de marzo, con valores inferiores a 3 en todos los puntos, un ligero aumento en el mes de mayo (excepto en la estación 1) y una caída a finales de junio. En julio aumentó ligeramente en els Alfacs y en setiembre hubo una disminución en las dos bahías. En el otoño los valores fueron altos. Este índice pone de manifiesto, junto con los parámetros de fitoplancton que se presentan más atrás, importantes diferencias entre puntos de muestreo y entre bahías en una misma campaña. En cuanto a los puntos de muestreo, la mayor diferencia es la que existe en el nivel profundo (4 m) de la estación 1 y el resto de los puntos de la bahía de els Alfacs; el ciclo anual fue diferente en aquel nivel. En cuanto a las bahías, el índice pigmentario refleja una mayor

irregularidad de los acontecimientos del fitoplancton en el Fangar. La característica más destacable del índice pigmentario en las bahías, en comparación con el mar abierto, es la moderación de las oscilaciones a escala anual: en general, los valores son inferiores en las bahías y el «envejecimiento del fitoplancton» (marcado por valores altos del índice), que se da en el verano en el mar abierto, no ocurrió en las bahías.

La proporción de feopigmentos mostró cambios importantes a lo largo del ciclo anual. Las mayores proporciones ocurrieron en invierno y primavera, con valores frecuentes entre 20 y 40 %, y las menores en verano y principios de otoño, con cifras generalmente inferiores al 10 %.

ABUNDANCIA DEL FITOPLANCTON

En els Alfacs hubo tres épocas de alta abundancia celular (ver fig. 4): a finales de invierno a principios de junio y en otoño. En esta época, la mayor concentración celular se localizó, preferentemente, en la superficie de las estaciones y estuvo asociada con aguas de salinidad baja (generalmente inferior a 35). Es interesante señalar que los máximos de células, en la etapa invierno-primavera de 1983, fueron anteriores a los de clorofila; las mayores abundancias celulares se produjeron en las campañas de febrero y a principios de junio, en tanto que los máximos de *Cl a* ocurrieron en marzo y a finales de junio. En otoño coincidieron los máximos, aunque no en todos los puntos.

En el Fangar hubo mayor irregularidad, sin que pudiera diferenciarse con claridad una pauta anual.

Se observó menor abundancia de fitoplancton (tanto en los valores de *Cl a* como en el número de células) en las aguas subsuperficiales de las estaciones 1 y 4 (nivel de 4 m), situadas en las bocas que comunican las bahías con el mar. Ello se relaciona con la mayor influencia marina en aquellos puntos, puesta de manifiesto por valores de salinidad del agua superiores a 37, acompañada de concentraciones muy bajas de sales nutritivas.

La mayor diferencia entre los niveles de superficie y de 4 m de profundidad se produjo en setiembre de 1983 en el Fangar, tanto en el número de células (250 y 7200 céls./ml, en 0 y 4 m respectivamente) como en los valores de *Cl a* (2,59 y 25,33 mg *Cl a*/m³, en 0 y 4 m respectivamente).

En el número de células se apreció una diferencia importante entre febrero de 1984 (media = 228 céls./ml, *SD* = 180, 10 datos) y febrero de 1983 (media = 1275 céls./ml, *SD* = 944, 10 datos).

COMPOSICIÓN DEL FITOPLANCTON

La variación anual se describe independientemente para cada bahía, debido a las notables diferencias de composición que hubo. La evolución anual de los grandes grupos se presenta en la figura 6.

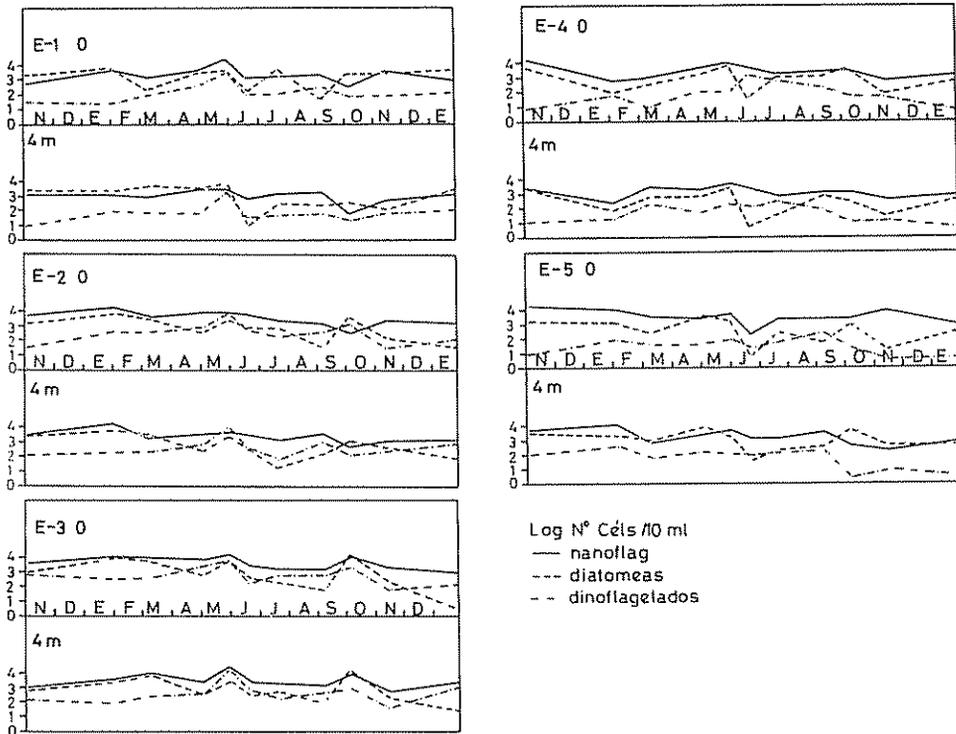


FIG 6. — Variación en los grandes grupos de fitoplancton en la superficie del agua y a 4 m de profundidad en els Alfacs (estaciones 1, 2 y 3) y en el Fangar (estaciones 4 y 5), de noviembre de 1982 a febrero de 1984

Alfacs

De febrero a mayo de 1983 ocurrió una etapa, común a las tres estaciones situadas en esta bahía, en la que se apreció un cambio importante en las poblaciones. Comenzó con el desarrollo de nanoflagelados (grupo donde se engloban diversos organismos flagelados de tamaño inferior a unos $15 \mu\text{m}$) y de una especie de *Thalassiosira* en febrero, seguido de varias especies de diatomeas en marzo, tales como *Chaetoceros* spp., *Leptocylindrus danicus*, *L. minimus*, *Nitzschia pungens*, *Rhizosolenia fragilissima* y *Rh. imbricata*, que fueron sustituidas, a lo largo de dos campañas realizadas en mayo, por dinoflagelados tales como *Gymnodinium* spp., *Amphidinium* spp., *Protoperidinium* spp. de pequeño tamaño, *Ceratium furca*, *Protoperidinium diabolus* y *Prorocentrum micans*. En la campaña de finales de mayo se reconoció la presencia de diatomeas, pero en estado de degradación (frústulos vacíos).

En junio, julio y setiembre se apreció otra etapa, diferenciada de la anterior por la participación conjunta de nanoflagelados, diatomeas (*Chaetoceros*

spp., *Pleurosigma* sp. y *Thalassiosira* spp.) y dinoflagelados (*Gymnodinium splendens*, *Prorocentrum* spp, *Oxytoxum longiceps*, *Ceratium furca* y diversas especies de pequeño tamaño).

— Los máximos otoñales (campañas de octubre y noviembre de 1983) se caracterizaron por la presencia de elevadas concentraciones de diatomeas, entre las cuales fueron especialmente numerosas *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiothrix mediterranea*, *Nitzschia closterium*, *N. pungens* y algunas especies de *Rhizosolenia*.

Fangar

Una de las diferencias con respecto a els Alfacs fue la mayor variabilidad en la composición del fitoplancton entre los distintos puntos de muestreo, lo cual dificulta la descripción de la secuencia anual.

La etapa de febrero a mayo de 1983 descrita para els Alfacs se repitió parcialmente en el Fangar, pero con algunas puntualizaciones:

— Si bien en febrero ocurrió un desarrollo de nanoflagelados, éste se limitó a la estación 5, acompañado de una especie de *Chaetoceros* de pequeño tamaño; particularmente abundante en aquel punto fue también *Minuscula bipes* (= *Protoperidinium bipes*).

— Hubo un retraso en el desarrollo de diatomeas respecto a els Alfacs. En mayo fueron abundantes en el Fangar *Chaetoceros* spp., *Leptocylindrus danicus*, *L. minimus*, *Nitzschia delicatula*, *N. closterium* y *N. fraudulenta*.

En el verano de 1983 se apreció una irregularidad muy grande, con el desarrollo masivo, en puntos aislados, de algunas especies, tales como *Prorocentrum micans* (E5-Om, 22 junio), *Phaeodactylum tricornutum* (E5-4m, 22 junio) y un organismo similar a *Olisthodiscus* (E5-4m, setiembre).

En el otoño de 1983 (5 octubre) destacó la ocurrencia de muchas diatomeas (*Chaetoceros* spp., *Leptocylindrus danicus*, *L. minimus*, *Nitzschia closterium*, *N. pungens*, *Rhizosolenia fragilissima*, *Rh. stolterfothii*) pero hubo escasez de las especies *Thalassionema nitzschioides* y *Thalassiothrix mediterranea*, abundantes en els Alfacs por la misma época.

CORRELACIONES ENTRE MUESTRAS

Las mayores correlaciones entre las abundancias de las especies de fitoplancton en las muestras de superficie y de 4 m de profundidad de cada estación (fig. 7) correspondieron a los meses de invierno, lo cual se explica por la mayor mezcla de las aguas. Las menores correlaciones ocurrieron en verano y estuvieron en relación con una mayor estratificación de la columna de agua.

En el cuadro III se puede apreciar que, a grandes rasgos, las correlaciones fueron mayores en la bahía de els Alfacs que en la del Fangar, tanto en el plano

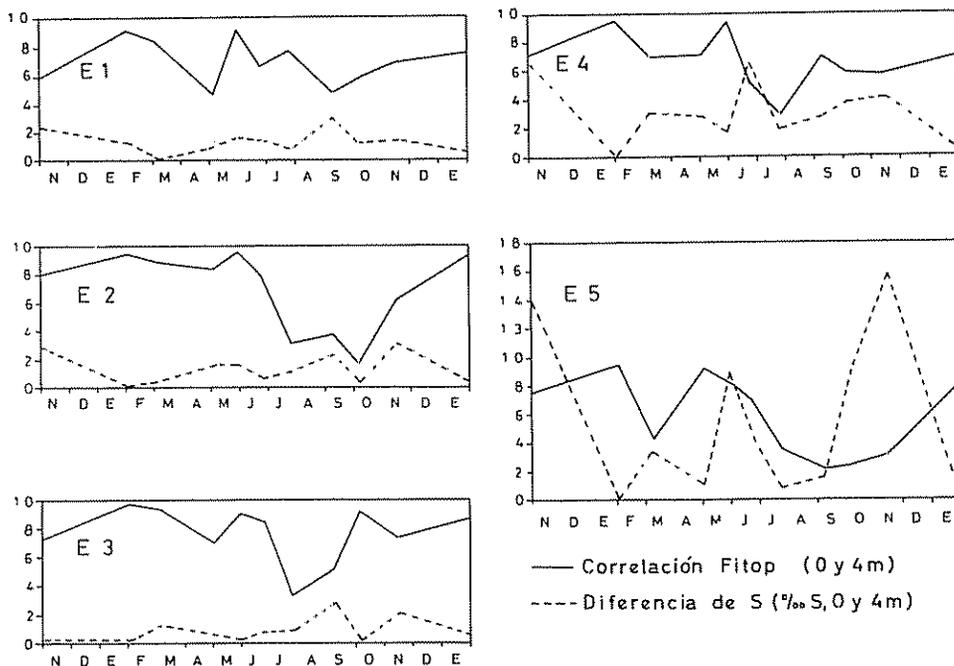


Fig 7 — Correlaciones entre las muestras de superficie y de 4 m de profundidad, basadas en las abundancias de las especies de fitoplancton, en comparación con la diferencia de salinidad entre dichos niveles para els Alfacs (estaciones 1, 2 y 3) y para el Fangar (estaciones 4 y 5), de noviembre 1982 a febrero de 1984

horizontal como en el vertical. La correlación entre estaciones situadas en diferentes bahías fue muy baja (generalmente menor de 0,4), lo cual indica diferencias acusadas en la composición del fitoplancton.

ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES

En este análisis se incluyeron datos de 110 muestras procedentes del estudio del ciclo anual del fitoplancton. Se seleccionaron 25 taxones de fitoplancton, teniendo en cuenta su frecuencia de aparición (más de 10 observaciones).

El componente principal 1 (C.P.1) separa diatomeas de dinoflagelados (fig. 8), las primeras con valores preferentemente negativos y los segundos con valores positivos; explica el 20 % de la varianza de los datos. Presenta una marcada relación con la estacionalidad; los valores positivos se dan en invierno, primavera y verano, y los negativos a finales de invierno y en otoño (fig. 9).

El componente principal 2 (C.P.2, figs. 8 y 10) explica un 13 % de la varianza de los datos y muestra una relación con el cambio temporal en la

CUADRO III

Correlaciones entre muestras de fitoplancton (coeficiente de correlación lineal del logaritmo del número de células en 10 ml. basado en presencias)

	Pares de muestras	\bar{r}	SD
Entre niveles (0 y 4 m)			
Alfacs	33	0,73	0,22
Fangar	22	0,64	0,24
Total	55	0,69	0,23
Entre estaciones (0 m)			
Alfacs	22	0,74	0,19
Fangar	11	0,61	0,16
Alfacs - Fangar	11	0,28	0,17

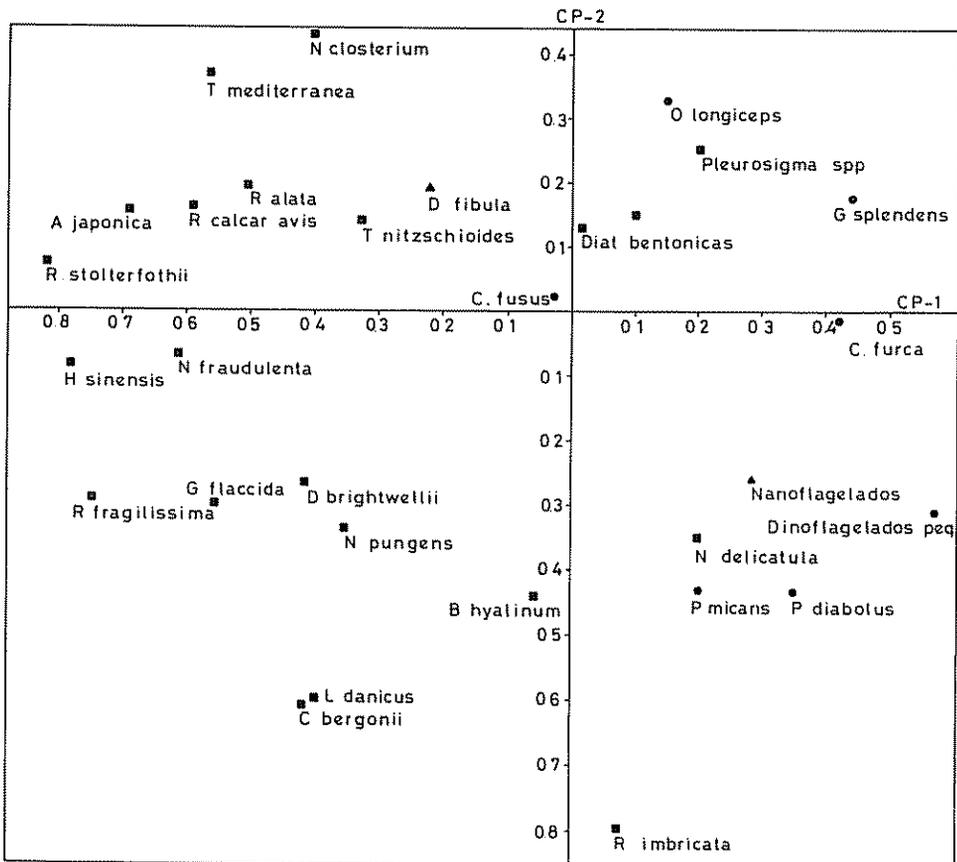


FIG. 8 — Representación de los taxones de fitoplancton más frecuentes en el plano definido por los dos primeros componentes principales. Cuadrados, diatomeas; redondos, dinoflagelados. Datos procedentes del recuento de células sedimentadas en muestras obtenidas en el ciclo anual de las bahías del delta del Ebro, entre noviembre de 1982 y febrero de 1984.

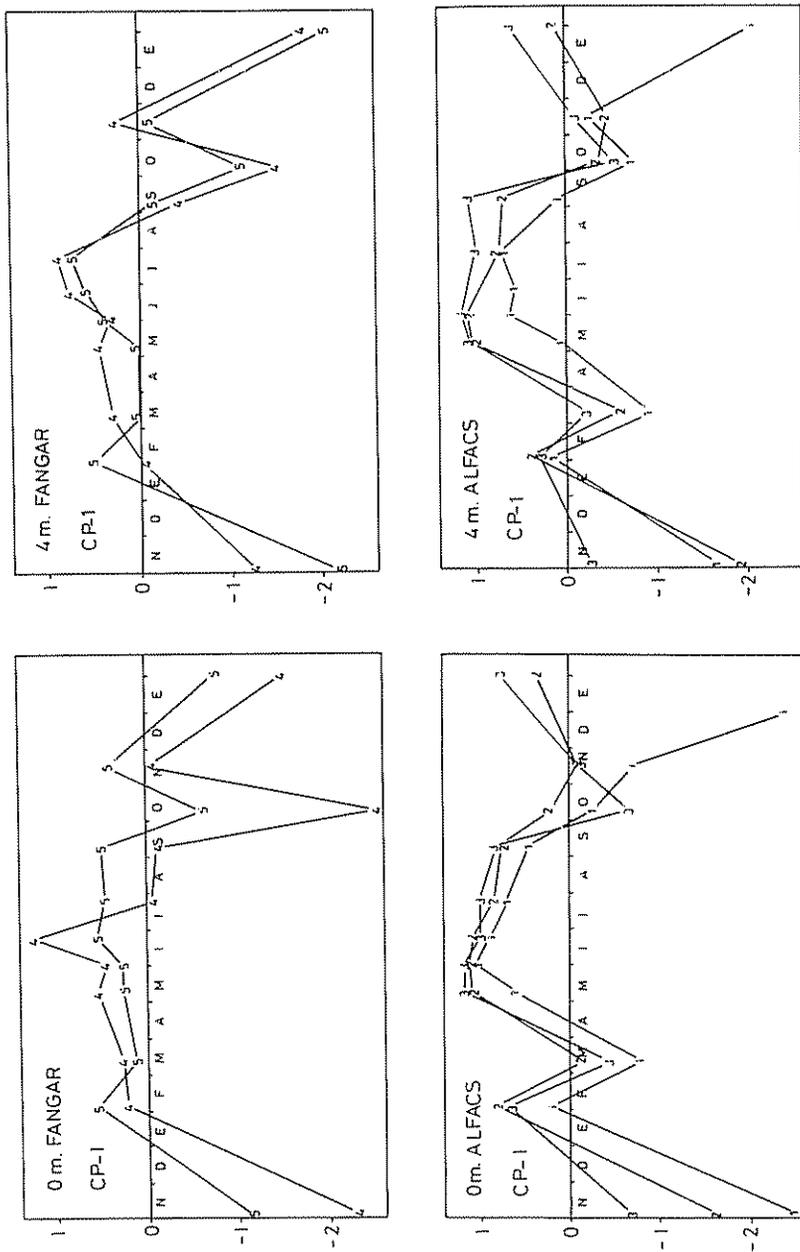


FIG. 9. — Valores del componente principal 1 para las muestras de fitoplancton tomadas en las bahías del delta del Ebro a lo largo del ciclo anual realizado entre noviembre de 1982 y febrero de 1984.

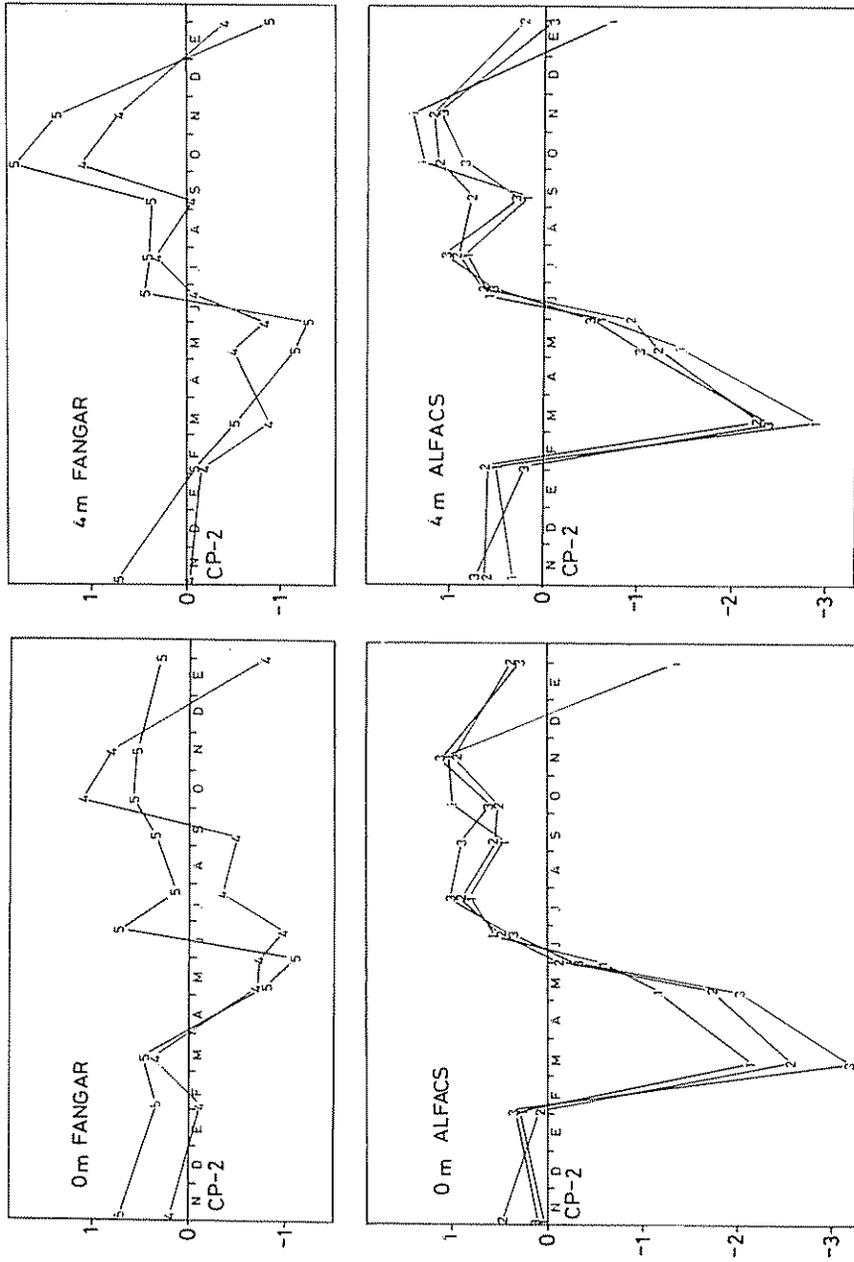


Fig. 10. — Valores del componente principal 2 para las muestras de fitoplancton tomadas en las bahías del delta del Ebro a lo largo del ciclo anual realizado entre noviembre de 1982 y febrero de 1984.

composición del fitoplancton: los valores positivos ocurren en las muestras de verano y de otoño, y los negativos destacan una serie de muestras pertenecientes al florecimiento de invierno-primavera.

En las figuras citadas arriba puede verse que tanto el C.P.1 como el C.P.2 presentan una tendencia diferente en las dos bahías. Els Alfacs muestra una mayor estacionalidad y se observa una separación más clara entre las etapas de primavera y verano. En el Fangar resaltan, en primer lugar, las diferencias acusadas en el valor de los componentes entre los distintos puntos de muestreo.

DISTRIBUCIÓN A PEQUEÑA ESCALA ESPACIAL, DE LA CLOROFILA *a* EN LA BAHÍA DE ELS ALFACS (CAMPAÑAS DS)

Los resultados que aquí se presentan corresponden a las 5 campañas DS, realizadas entre junio y octubre de 1984.

La concentración de clorofila-*a* en las distintas muestras fue muy variable (entre 0,5 y 6 mg Cl.*a*/m³ a primeros de junio, entre 2 y 15 a finales de junio, entre 2 y 36 en julio, entre 4 y 26 en agosto y entre 3 y 7 en octubre). Esta variabilidad se produjo principalmente en la superficie del agua; las muestras de 4 m de profundidad mostraron generalmente valores intermedios y con poca variación.

En la figura 11 puede apreciarse la distribución de Cl.*a* en la superficie de la bahía. Los valores más altos correspondieron a muestras procedentes de la orilla norte y los más bajos a la orilla sur. Ello permitió establecer un esquema de zonación por franjas a lo largo de una línea en la dirección longitudinal de la bahía; hubo, sin embargo, algunas situaciones en las que la concentración de Cl.*a* en el centro de la bahía fue alta, pero ello coincidió con la presencia de aguas de baja salinidad en estos puntos (agua de la bahía mezclada con agua dulce procedente de los canales de desagüe).

DISTRIBUCIÓN A PEQUEÑA ESCALA TEMPORAL DEL FITOPLANCTON DE ELS ALFACS (CAMPAÑAS DP-B)

Utilizando la información obtenida en las campañas anteriores se planteó un muestreo en 16 puntos, a lo largo de un transecto, que fueron visitados repetidamente durante 4 días consecutivos (del 21 al 24 de setiembre de 1985).

En la parte central de la bahía abundaron las diatomeas *Thalassionema nitzschioides*, *Nitzschia pungens*, *Thalassiothrix mediterranea*, *Nitzschia longissima* y algunas especies del género *Chaetoceros*. Fueron numerosos también los dinoflagelados de pequeño tamaño pertenecientes a los géneros *Amphidinium*, *Gymnodinium* y *Protoperidinium* y más escasos *Ceratium furcatus*, *C. falcatum* y *Prorocentrum micans*. Entre las cocolitoforales, únicamente se reconoció la presencia de *Syracosphaera pulchra*. En la superficie de la

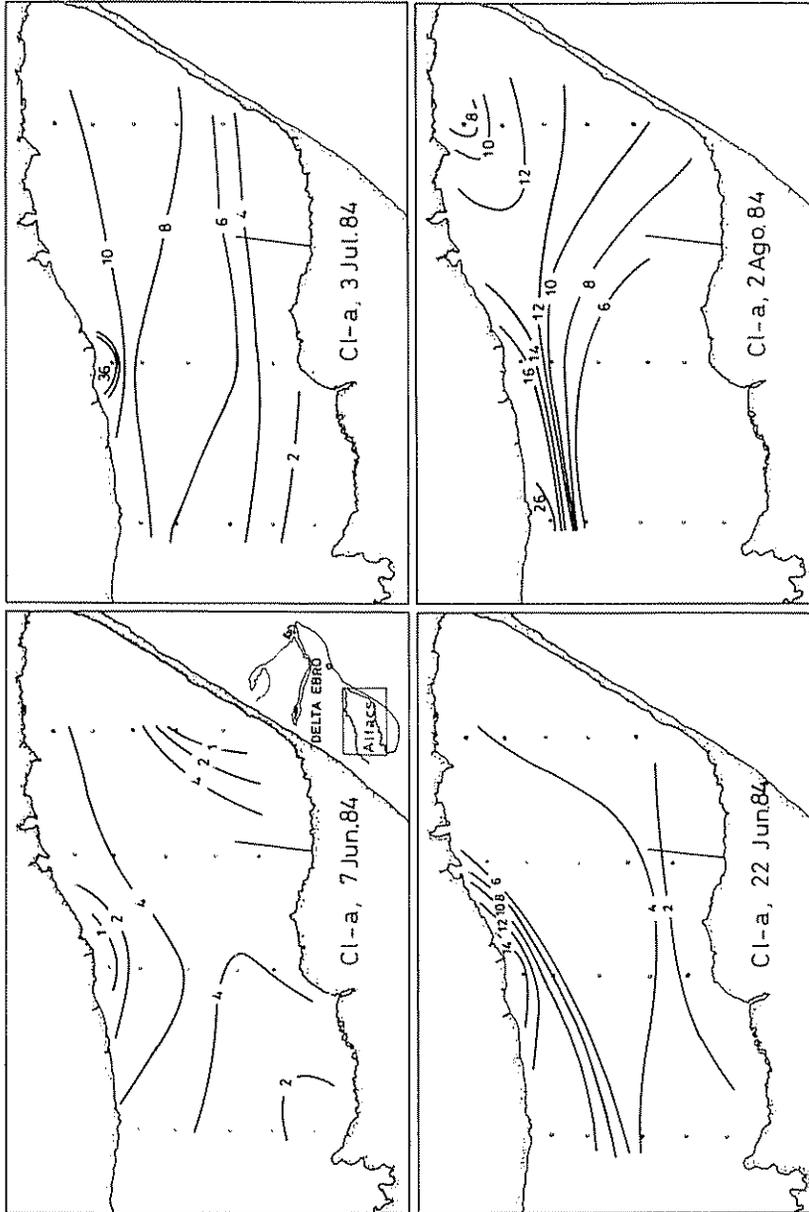


FIG. 11. — Distribución de la clorofila-a (mg/m³) en la superficie de la bahía de els Alfacs en cuatro campañas (DS).

bahía se observaron cianofíceas filamentosas, pero su importancia numérica fue escasa. Los nanoflagelados, abundantes en otras campañas, no superaron las 500 cels/ml en la mayoría de las muestras.

Las muestras de agua de la bahía tomadas en la proximidad de los canales de desagüe de los campos de cultivo presentaron unos valores de salinidad muy bajos (entre 2,7 y 15). La influencia del agua dulce se extendía irregularmente por la superficie (en la parte central fueron frecuentes valores de salinidad entre 30 y 34) llegando incluso a la orilla sur. Al agua de baja salinidad estuvieron asociadas numerosas especies de agua dulce, como *Closterium* spp., *Scenedesmus* spp., *Staurastrum* sp. y *Pediastrum* spp.

A los datos procedentes del recuento de las células del fitoplancton se les aplicó un análisis de las componentes principales, incluyendo todos los taxones identificados. El componente principal 1 explicó el 19 % de la varianza de los datos y estuvo relacionado positivamente con las poblaciones del fitoplancton marino autóctono (*Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiothrix mediterranea*, *Nitzschia pungens* y dinoflagelados pequeños). Acerca de la composición general del fitoplancton fue el C.P.1 el que más información ofreció. Los valores más altos del componente correspondieron a nuestras procedentes de niveles intermedios (2 y 4 m de profundidad) del centro de la bahía, con salinidad entre 35 y 37. Los valores más bajos corresponden a muestras procedentes de la orilla norte, influenciados por el fitoplancton del agua dulce vertida a través de los canales de desagüe.

Si se compara la representación gráfica de los valores del C.P.1 en el transecto (fig. 12) con las representaciones de la salinidad del agua (fig. 13) se pueden explicar los cambios espaciales en el valor del componente por cambios en la distribución del agua en la bahía; en relación, por un lado, con la situación de las manchas de agua de baja salinidad en la superficie del agua y, por otro, con la intromisión, que pareció ser progresiva, de una lengua de agua marina (salinidad entre 37 y 38) por el fondo de la bahía.

DISCUSIÓN

Debido a que, en el ciclo anual, las estaciones se dispusieron siguiendo la dirección longitudinal de las bahías y a que el gradiente de variación ocurría en la dirección perpendicular a aquella, se hizo difícil apreciar lo que ocurría en el sistema. Los niveles de muestreo (en superficie y a 4 m de profundidad) correspondían, en la planificación inicial, a dos capas de agua diferentes, una superior de agua salobre y una inferior de agua marina, pero en la realidad no estuvieron bien caracterizadas. En las campañas realizadas hubo una amplia gama de situaciones, desde agua homogénea en toda la columna (por ejemplo, en febrero de 1984, en el centro de els Alfacs, la salinidad en superficie y a 4 m de profundidad fue 32) hasta aguas muy diferentes, perfec-

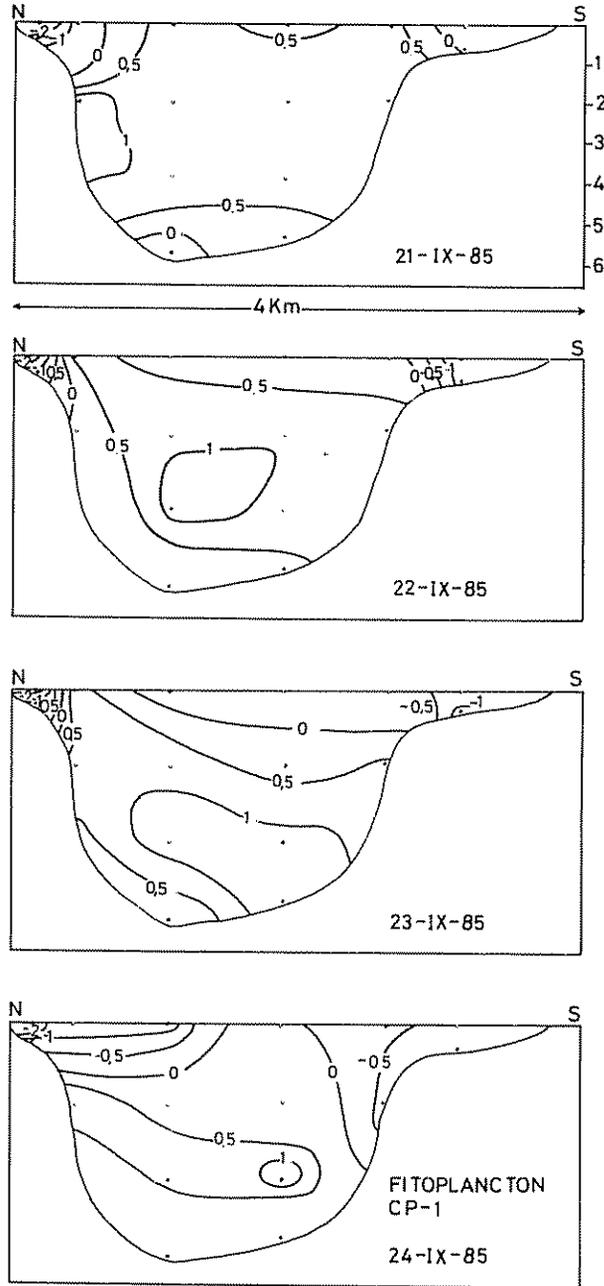


FIG. 12. — Representación de los valores del componente principal 1 en muestras de fitoplancton obtenidas en forma de transecto en la bahía de els Alfacs, durante 4 días consecutivos (del 21 al 24 de setiembre de 1985, campaña DP-B)

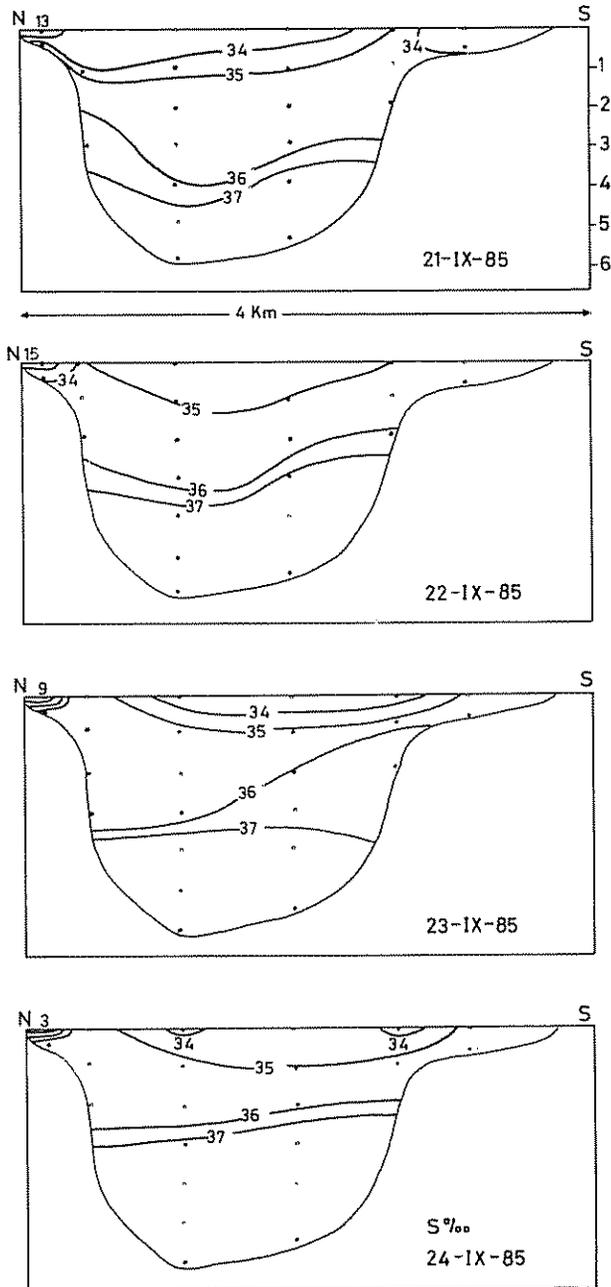


FIG. 13 — Representación de la salinidad del agua en la campaña DP-B, durante 4 días consecutivos (del 21 al 24 de setiembre de 1985)

tamente estratificadas (por ejemplo, en noviembre de 1982, en el centro del Fangar, la salinidad en superficie fue 22 y a 4 m 36). Los considerables cambios en la salinidad de las aguas que hubo, entre campañas sucesivas, en los planos vertical y horizontal, hacen que, en el estudio del fitoplancton, se deba dar a las campañas realizadas un valor puntual, correspondiente a situaciones concretas.

No obstante, el ciclo anual aportó una cantidad importante de información, que se resume en los siguientes puntos:

a) La concentración del fitoplancton fue mayor en las bahías que en el mar adyacente. Ello se puso de manifiesto por los niveles de 4 m de las estaciones 1 y 4, situadas en las bocas que comunican a las bahías con el mar abierto; en estos puntos de muestreo hubo generalmente menor abundancia de fitoplancton (tanto concentración de *Cl. a* como n.º de células) que en el resto. En la superficie de las estaciones 1 y 4 hubo una biomasa de fitoplancton similar a la de los otros puntos situados dentro de las bahías, lo que se explica por la salida de aguas de salinidad y densidad bajas hacia el mar por la superficie.

b) El fitoplancton de las bahías se caracteriza por el dominio de poblaciones de nanoflagelados, diatomeas y dinoflagelados de pequeño tamaño, en orden de abundancia numérica, durante la mayor parte del año. Los bajos valores del índice pigmentario (D_{430}/D_{664}) sugieren una tasa de crecimiento importante de las poblaciones de fitoplancton. Los valores del índice pigmentario se relacionaron bastante bien con la secuencia de sucesión de las poblaciones de fitoplancton en las bahías; así, en la etapa que va desde finales de invierno al verano de 1983, cabe diferenciar dos fases en el desarrollo (o pulsos) del fitoplancton en la bahía de els Alfacs.

c) Los máximos de *Cl. a* no coincidieron en ocasiones con los del número total de células; generalmente fueron posteriores a éstos. Ello se atribuye a la existencia de diferentes fases en el desarrollo de la sucesión de fitoplancton. Los máximos de *Cl. a* coincidieron con elevadas concentraciones de diatomeas de un tamaño considerable o bien, en ocasiones, con dinoflagelados pequeños, pertenecientes más bien a fases de sucesión relativamente avanzadas. En las primeras fases dominaron numéricamente organismos de pequeño tamaño (y por lo tanto con poca concentración de *Cl. a*/célula), como nanoflagelados, *Nitzschia closterium*, *Thalassiosira* spp. y *Chaetoceros* spp. pequeños.

d) En el Fangar hubo gran variabilidad en los parámetros hidrográficos y en la abundancia del fitoplancton; ello da lugar a que se considere muy limitada la aplicación del término «ciclo anual», puesto que los sucesos detectados no pueden considerarse periódicos. En els Alfacs se apreció una mayor estacionalidad, que se puede resumir en la ocurrencia de tres máximos —en invierno, primavera y otoño—, seguidos de otras etapas de menor abundancia. Se quiere expresar con ello que una parte importante de la variación de los datos, en relación con la composición y abundancia del fitoplancton, fue atribuible a la época del año.

e) Las diferencias en la composición del fitoplancton entre los niveles de superficie y 4 m dependieron en modo importante del grado de estratificación de las aguas.

f) Un fenómeno excepcional en el fitoplancton de las bahías fue el desarrollo, en setiembre de 1983, de un organismo, similar a *Olisthodiscus*, localizado en el nivel de 4 m en el Fangar sin que apareciera en la superficie del agua; la *Cl a* alcanzó allí una concentración de 25 mg/m³. El mes siguiente hubo una baja considerable de oxígeno disuelto en aquellas aguas (2,75 ml/l), la que puede relacionarse hipotéticamente con la degradación del material orgánico acumulado en el florecimiento anterior.

INTERPRETACIÓN DE LOS SUCESOS

Una de las características principales de la hidrografía de las bahías fue la variabilidad de situaciones observadas. La rapidez con que se produjeron cambios acusados en los parámetros físico-químicos del agua (principalmente en la salinidad y los nutrientes inorgánicos disueltos) destruyó en cierta manera la continuidad entre campañas sucesivas.

Cuando se abordó el estudio de la variabilidad espacial y temporal a diversas escalas (Campañas DS, DP-B y PP), mejoró la comprensión de los sucesos que ocurren en el agua. Se pudo deducir que:

a) La concentración de nutrientes inorgánicos en el agua marina es baja, sobre todo en el caso de compuestos de nitrógeno. Sin embargo, las concentraciones fueron altas en el agua «dulce» vertida por los canales y en la desembocadura de éstos en la bahía. Es notoria la existencia de un gradiente de variación preferentemente en la dirección transversal de la bahía de els Alfacs, que permitió establecer un patrón de tres franjas: mayor abundancia de nutrientes en la plataforma somera por donde desembocan los canales, valores intermedios en el centro y mínimos en la plataforma sur.

b) La distribución horizontal de *Cl a* en el agua se superpuso, a grandes rasgos, al esquema citado para los nutrientes (DELGADO y CAMP, 1987). Por el hecho de que los valores de producción primaria (DELGADO, 1986) también fueran máximos en la cercanía de los desagües, intermedios en la superficie del centro de la bahía (asociados a aguas de salinidad entorno a 34) y mínimos en la orilla sur y en los niveles profundos, cabe considerar una localización espacial importante en el desarrollo del fitoplancton.

c) La composición del fitoplancton en cuatro días consecutivos mostró una pauta clara de distribución espacial (campañas DP-B). En el análisis de componentes principales se apreciaron en els Alfacs diferencias notorias en el valor del C.P.1 entre los puntos de muestreo. Las mayores diferencias ocurrieron entre las orillas norte y sur y entre éstas y los niveles subsuperficiales del centro de la bahía.

Los puntos anteriores indicaron una relación entre la hidrografía y el fitoplancton, al poderse asociar la composición y la abundancia del fitoplancton

con la localización espacial del agua y las características de ésta (salinidad y nutrientes). Se ha de señalar que la campaña DP-B coincidió con una estratificación importante de la columna de agua y hubo ausencia de temporales, lo cual permitió estudiar una estructura prácticamente estable.

COMENTARIOS SOBRE LA COMPOSICIÓN DEL FITOPLANCTON DE LAS BAHÍAS DEL DELTA DEL EBRO

Entre las características más generales, destaca en la composición florística que no hay diferencias importantes respecto al Mediterráneo occidental (cuadro IV), a excepción de la presencia casual de especies de agua dulce, tales como *Asterionella formosa*, *Scenedesmus* spp., *Pediastrum* spp. y *Staurastrum* spp., y la abundancia considerable de diatomeas bentónicas. La ocurrencia de especies dulceacuícolas está en relación con la presencia de agua dulce vertida a través de los canales que riegan el Delta; a partir de una salinidad en torno a 15 son muy escasas. Las especies marinas presentan un amplio margen de tolerancia a la salinidad y crecen bien en agua de salinidades entre 15 y 40, aunque tienen un óptimo particular; incluso es característica importante la máxima tasa de división a salinidades en torno a 20, que muestran algunas especies: *Ceratium fusus*, *C. tripos*, *C. furca*, *C. lineatum* (PERKINS, 1974).

Un carácter de las bahías del delta del Ebro es la variabilidad de la biomasa fitoplanctónica, lo cual es común en estuarios (SMAYDA, 1983). Se presentan importantes fluctuaciones en la abundancia y la composición del fitoplancton en las mismas fechas de diferentes años. Cabe citar, por ejemplo, las diferencias entre los inviernos y veranos de 1983 y 1984. La regularidad más destacable que se apreció en el composición del fitoplancton fue el desarrollo otoñal de las diatomeas *Thalassionema nitzschioides* y *Thalassiothrix mediterranea*, que tuvo lugar en els Alfacs durante 4 años consecutivos (campañas D-I, 3 noviembre de 1982; D-IX, 5 octubre de 1983; PP-3, 17 octubre de 1984 y DP-B, 21-24 setiembre 1985).

En comparación con algunos estuarios, representativos de diversos ambientes (cuadro V, a nivel de ejemplo) lo más característico de las bahías del delta del Ebro quizás sea la considerable estabilidad de la salinidad media del agua a lo largo del año (en torno a 35), la escasa amplitud de las mareas que es particular de esta zona del Mediterráneo (generalmente inferior a 15 cm), la complejidad de los fenómenos hidrográficos (muy variables en el tiempo) que da lugar a una dificultad en la catalogación como estuarios mezclados o estratificados, si bien predomina lo último, y el hecho de que el vertido de agua dulce se realice por un lado, a través de una red de canales, en vez de por un extremo.

Sorprende particularmente la escasez de la diatomea *Skeletonema costatum*, que tanto en el estudio realizado por MARGALEF en el Fangar de 1968 a 1971 (LÓPEZ y ARTÉ, 1973) como en este trabajo (de 1982 a 1986) no alcanzó,

CUADRO IV

Listado general de taxones determinados en las muestras de fitoplancton de las bahías del delta del Ebro D = de aguas dulces, * = diatomeas bentónicas

DINOFLAGELADOS

Amphidinium spp.
Ceratium buceros Zacharias
C. candelabrum (Ehrenberg) Stein
C. declinatum Cleve
C. extensum (Gourret) Cleve
C. falcatum (Kofoid) Jørgensen
C. furca (Ehrenberg) Claparède et Lachman
C. fusus (Ehrenberg) Dujardin
C. gibberum Gourret
C. macroceros (Ehrenberg) Cleve
C. pentagonum Gourret
C. trichoceros (Ehrenberg) Kofoid
C. tripos (O.F. Müller) Nitzsch
Dinophysis acuminata Claparède et Lachmann
D. acuta Ehrenberg
D. caudata Saville-Kent
D. sacculus Stein
D. tripos Gourret
Dinophysis spp.
Goniaulax polyedra Stein
G. polygramma Stein
G. spinifera (Claparède et Lachmann) Diesing
Gymnodinium catenatum Graham
G. splendens Lebour
Gymnodinium spp.
Gyrodinium spp. Kofoid et Swezy
Miniscula bipes Lebour
Noctiluca scintillans (Mc Cartney) Kofoid et Swezy
Ornithocercus magnificus Stein
Oxyrhis marina Dujardin
Oxytoxum longiceps Schiller
O. scolopax Stein
Oxytoxum spp.
Peridinium conicum (Gran) Ostenfeld et Schmidt
P. depressum Bailey
P. diabolus Cleve
P. oceanicum Vanhøffen
P. pyriforme Paulsen
P. steinii Jørgensen
Peridinium spp.
Podolampas bipes Stein
P. palmipes Stein
P. spinifer Okamura
Polikrikos kofoidii Chatton
Pselodinium vaubanii
Prorocentrum micans Ehrenberg
P. triestinum Schiller
Prorocentrum spp. (= *Exuviaella* spp.)
Warnowia spp.

DIATOMEAS

* *Achnanthes* spp.
 * *Amphiprora alata* (Ehrenberg) Kützing
 * *Amphora coffaiformis* Agardh
 * *Amphora* spp.
 D * *Asterionella formosa* Hassal
A. japonica Cleve et Möller ex Gran
Asteromphalus flabellatus (Brébisson) Grevillard)
 * *Bacillaria paxillifer* (O. F. Müller) Hendey
Bacteriastrum hyalinum Lauder
Bacteriastrum spp.
Biddulphia mobilensis Bailey
Biddulphia spp.
Cerataulina bergonii H. Peragallo
Chaetoceros curvisetus Cleve
Ch. decipiens Cleve
Ch. didymus Ehrenberg
Ch. lauderi Ralfs
Ch. lorenzianus Grunow
Ch. peruvianus Brightwell
Ch. pseudocurvisetus Mangin
Ch. rostratus Lauder
Ch. wighami Brightwell?
Chaetoceros spp. grandes
Chaetoceros spp. pequeños
 * *Cocconeis placentula* Ehrenberg
 * *C. scutellum* Ehrenberg
Coscinodiscus gigas Ehrenberg
C. granii Gough
Coscinodiscus spp.
Cyclotella meneghiniana Kützing
 D * *Cymbella* spp.
Dactyliosolen mediterraneus H. Peragallo
 * *Diploneis chersonensis* (Grunow) Cleve
 * *D. splendida* (Gregory) Cleve
 * *Diploneis* spp.
Ditylum brightwellii (West) Grunow
Eucampia cornuta (Cleve) Grunow
E. zodiacus Ehrenberg
 * *Gyrosigma wansbeckii* (Donkin) Cleve
 * *Gyrosigma* spp.
 * *Grammatophora marina* (Lyngbye) Kützing
Guinardia flaccida (Castracane) H. Peragallo
Hemiaulus membranaceus Cleve
H. sinensis Grevillard
Lauderia borealis Gran
Leptocylindrus danicus Cleve
L. minimus Gran
 * *Licmophora renulus* Grunow
 * *Licmophora* spp.
 * *Mastogloia* sp.
Melosira granulata (Ehrenberg) Ralfs

CUADRO IV (Continuación)

<i>M. moniliformis</i> Agardh	* <i>Swirella</i> spp.
* <i>Navicula humerosa</i> Brébisson	* <i>Synedra tabulata</i> (Agardh) Kützing
* <i>N. lyra</i> Enrenberg	* <i>S. undulata</i> (Bailey) Gégory
* <i>Navicula</i> spp	<i>Thalassionema nitzschioides</i> Hustedt
<i>Nitzschia closterium</i> (Ehrenberg)	<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i> Grunow
W. Smith	<i>T. mediterranea</i> Pavillard
<i>N. delicatula</i> Hasle	<i>Thalassiosira</i> spp
* <i>N. distans</i> Gregory	* <i>Toxonidea insignis</i> Donkin
<i>N. fraudulenta</i> Cleve	
<i>N. longissima</i> Brébisson	
<i>N. migrans</i> Cleve	COCOLITOFORALES
* <i>N. palea</i> (Kützing) W. Smith	<i>Calciosolenia murrayi</i> Gran
* <i>N. panduriformis</i> Gregory	<i>Discosphaera tubifer</i> (Murr. et Blackm.)
<i>N. pungens</i> Grunow	Ostenfeld
* <i>N. romana</i> Grunow	<i>Emiliana huxleyi</i> (Lohmann) Hay et
* <i>N. scalaris</i> (Ehrenberg) W. Smith	Mohler
D * <i>N. vernicularis</i> (Kützing) Grunow	<i>Pontosphaera discopora</i> Schiller
<i>Nitzschia</i> spp	<i>Rhabdosphaera clavigera</i> Murr
<i>Phaeodactylum</i> sp ?	<i>Syracosphaera pulchra</i> Lohmann
* <i>Pleurosigma cuspidatum</i> Cleve	
* <i>Pleurosigma</i> spp.	OIROS GRUPOS
<i>Rhizosolenia alata</i> Brightwell	<i>Anabaena</i> sp
<i>R. calcar avis</i> Schultze	Cianoficeas N.I.
<i>R. delicatula</i> Cleve	Ciliados grandes
<i>R. fragilissima</i> Bergon	Ciliados pequeños
<i>R. imbricata</i> Brightwell	<i>Chroococcus</i> spp.
<i>R. robusta</i> Norman ex Pritchard	<i>Dictyocha fibula</i> (Haeck. & Peters) Lemm
<i>R. setigera</i> Brightwell	<i>Eutreptiella</i> sp
<i>R. stouterfothii</i> H. Peragallo	Nanoflagelados
<i>Schoröderella delicatula</i> (Peragallo)	<i>Olisthodiscus</i> sp
Pavillard	<i>Oscillatoria</i> spp
<i>Skeletonema costatum</i> (Grevillard) Cleve	D * <i>Pediastrum</i> spp
* <i>Stauroneis decipiens</i> Hustedt	D * <i>Scenedesmus</i> spp
* <i>Striatella unipunctata</i> (Lyngbye) Agardh	<i>Spirulina</i> spp.

en ningún momento, la concentración de 10 células/ml y se presentaron en ocasiones aisladas. La citada especie es frecuente en las costas mediterráneas y suele ser muy abundante cuando hay elevadas concentraciones de nutrientes, cosa que ocurre algunas veces y en algunos lugares de las bahías del delta del Ebro; es una especie cosmopolita que domina el fitoplancton en diversos estuarios de diferente naturaleza y localización geográfica (por ejemplo, ver cuadro V).

FACTORES DETERMINANTES DE LAS VARIACIONES ESPACIO-TEMPORALES

El reparto del agua dulce condiciona una parte importante de las variaciones espaciales del fitoplancton; más confuso es cómo afecta a las variaciones temporales. A pesar de la continuidad del aporte de agua dulce (desde abril a noviembre), el fitoplancton, durante este período, presentó oscilaciones (máximos que fueron seguidos de mínimos) con cambios importantes de

CUADRO V

Características de algunos estuarios en relación con el fitoplancton. Los nutrientes inorgánicos se expresan en $\mu\text{g-at/l}$. Las especies señaladas con asterisco son las más abundantes.

Estuario	Dimensiones	Caract. físicas	Nutrientes	Producción P., Cl-a	Fitoplancton	Organismos
Hardangerfjord (Noruega) (BRAARUD, 1974; SAELEN, 1962)	100 Km longitud 900 m prof. max. Umbral de 120 m	Estratificado en verano, mezcla en invierno. S: 34-35 ‰ todo el año o más de 200 m, 5-34 ‰ de 0 a 20 m en verano. T: 2-16 °C	NH ₄ : 0.6-39 NO ₃ : 0.1-12 PO ₄ : 0.3-10 Mín. verano Máx. invierno	60 g C/m ² /año	Mínimo invernal. Máximo a finales de invierno. Blooms otoñal. Mucha variación interanual.	*S. costatum en v.o.i. Dinoflag. en p. E. Ituley en o.
Golfo de Kiel (Alemania) (SMAYDA, 1983)	17 Km longitud 15 m prof. media	Bien estratificado Mezcla vertical l. S: 10-30 ‰ T: -1 a 20 °C	NH ₄ : 0-15 NO ₃ : 0-13 PO ₄ : 0-3	308 g C/m ² /año 15-31 μ Cl-a/l en máximos fitoplancton.	Blooms de Feb. a Oct. regulados por nutrientes.	*S. costatum D. confervacea Thalassiosira sp. L. danicus L. minutus C. pelagica A. japonica
Narragansett Bay (Costa E. USA) (SMAYDA, 1983)	460 Km ² 9 m prof. media	Estuario bien mezclado por marea. S: mayor de 24 ‰ en el fondo y 12-32 ‰ en la superficie. T: 2-25 °C	NO ₃ : 2 PO ₄ : <1 NO ₃ : 40 max. PO ₄ : 1-3 max.	124 g C/m ² /año 5-15 $\mu\text{g Cl-a/l}$ en máximos fitoplancton.	Bloom principal en la etapa húmeda.	*S. costatum et. húmeda Dinoflag. en etapa seca: P. micans C. furca Cianofíceas
Cochin Backwater (India) (SMAYDA, 1983)	500 Km ² Someras: 2-5 m Profundas: 5-15 m	Etapa húmeda; estuario estratif. S: 0 m = 2-10 ‰ Etapa seca: estuario mezclado S: 0 m = 31-33 ‰ T: 25-32 °C	NO ₃ : 0,1-4 PO ₄ : 0,1-2 SiO ₄ : 4-14	80 g C/m ² /año 3-7 $\mu\text{g Cl-a/l}$ en máximos fitopl.	Mínimo invernal. Máximos primavera y otoño.	* Nanoflagelados Dino. peq. Chaetoceros spp. N. pungens R. fragilissima T. nitzschoides L. danicus
Els Alfaes (delta Ebro)	50 Km ² 3 m prof. media	Estratificado S: 0 m = 34 ‰ S: Fondo = 37 ‰ T: 8-30 °C				

un año a otro; parte de estas fluctuaciones pueden ser debidas a variaciones espaciales de pequeña escala (heterogeneidad espacial) no resueltas por la estrategia de muestreo utilizada.

Una aproximación a lo que ocurre globalmente en las bahías puede obtenerse del cálculo de los valores medios de las variables a partir de una red de muestreo con un número elevado de puntos distribuidos en todo el espacio. La concentración media de clorofila-a en la bahía de els Alfacs (campañas DS, realizadas entre junio y octubre de 1984) aumentó durante junio y julio, con un máximo en el mes de agosto, y disminuyó de nuevo en la campaña de octubre, aunque ésta quedó demasiado distanciada. Durante ese tiempo, considerando los valores medios de $Cl.a$, pareció existir un proceso único de desarrollo del fitoplancton, limitado en las dos últimas campañas por la escasez de nutrientes inorgánicos, a diferencia de lo que sucedió en el ciclo anual en el que ocurrieron varios máximos y mínimos.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, las variaciones observadas en el fitoplancton de las bahías del delta del Ebro se resumen como una respuesta al vertido de agua dulce, que es un suceso periódico (se repite cada año desde abril a diciembre) al que se superponen variaciones espaciales, que dependen de la ocurrencia de factores físicos entre los que destacan, básicamente, los vientos y la circulación marina. La mezcla de poblaciones desarrolladas en aguas diferentes contribuye posiblemente a crear una confusión notable en el estudio del fitoplancton de estos sistemas.

Por último, la acción de los factores físicos, puesta de manifiesto por las diferencias hidrográficas observadas entre las bahías, tiene mucho que ver con su situación, capacidad y profundidad. Destaca, en el Fangar, la menor protección del mar (atribuible a su más reciente formación) y su menor profundidad, lo que facilita la mezcla de la columna de agua y da lugar a una mayor interacción entre el agua y el sedimento que en els Alfacs. Dada su situación, el Fangar también está más afectado por los vientos del N y del NO.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la ayuda prestada por J. Camp en las distintas fases del desarrollo del trabajo. Con X. Fusté se compartió el muestreo en el ciclo anual. A. Cruz y M. Vélez confeccionaron las figuras.

Este trabajo se ha desarrollado dentro de los proyectos de investigación «Estudio ecológico de las lagunas y bahías del delta del Ebro para el desarrollo de la maricultura y de la pesca» y «Estudio integrado del delta del Ebro. Factores determinantes de la producción biológica» subvencionados por la CAICYT y el CSIC.

BIBLIOGRAFÍA

- BRAARUD, T — 1974. The natural history of the Hardangerfjord. 10 The phytoplankton cycle in the fjord waters and in the offshore coastal waters. *Sarsia*, 35: 63-98
- CAMP, J y M. DELGADO — 1987 Hidrografía de las bahías del delta del Ebro *Inv. Pesq.* 51(3): 351-369.
- CUADRAS, C. M. — 1981. *Métodos de análisis Multivariante*. Eunibar, Barcelona. 639 pp
- DELGADO, M. — 1986. *Ecología de diatomeas costeras Relación plánton-bentos* Tesis doctoral, Universidad de Barcelona. 261 pp
- DELGADO, M. y J. CAMP — 1987 Abundancia y distribución de nutrientes inorgánicos disueltos en las bahías del delta del Ebro. *Inv. Pesq.* 51(3): 427-441
- GARCÍA, M. A. y A. BALLESTER — 1984 Notas acerca de la meteorología y la circulación local en la región del delta del Ebro *Ibidem*, 43 (3): 469-493
- IBM — 1969. 1130 Scientific Subroutine Package (1130-CM-02X) Programmer's Manual. IBM Corporation. 191 pp
- JEFFREY, S. W. y G. F. HUMPHREY — 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a*, *b*, *c*, and *c*₂ in higher plants, algae and natural phytoplankton *Biochem. Physiol. Pflanz*, 167: 191-194.
- LOPEZ, J. y P. ARTÉ. — 1973. Hidrografía y fitoplancton del puerto del Fangar (Delta del Ebro) *Inv. Pesq.*, 37 (1): 17-56
- LONRENZEN, C. J. — 1967. Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations *Limnol. & Oceanogr.* 12: 343-346.
- PERKINS, E. J. — 1974 *The biology of estuaries and coastal waters* Academic Press London, 678 pp.
- RAYMONT, J. E. G. — 1980. *Plankton and Productivity in the Oceans*. 2nd edition Vol. 1. Phytoplankton Pergamon Press. Oxford 498 pp.
- SAELEN, O. H. — 1962. The natural history of the Hardangerfjord. 3 The hydrological observations 1955-1956 Tables of observations and longitudinal sections *Sarsia*, 6: 1-25.
- SMAYDA, T. J. — 1983. The phytoplankton of estuaries In: *Estuaries and Enclosed Seas*. B. H. Ketchum ed. Elsevier, Amsterdam, p: 65-101
- STRICKLAND, J. D. H. y T. R. PARSONS. — 1972. *A practical Handbook of Seawater Analysis*. 2nd edition Fish. Res. Board of Canada; Bull. 167, Ottawa, 310 pp
- YENTSCH, C. S. y D. W. MENZEL — 1963 A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence *Deep Sea Res.* 10: 221-231