

| | | | |
|------------|--------|--------------|----------------|
| Inv. Pesq. | 48 (3) | págs 469-493 | diciembre 1984 |
|------------|--------|--------------|----------------|

Notas acerca de la meteorología y la circulación local en la región del delta del Ebro (1980-1981) *

MARC A. GARCÍA y ANTONI BALLESTER

Instituto de Investigaciones Pesqueras. Paseo Nacional, s/n 08003 Barcelona.

Palabras clave: Meteorología, corrientes marinas, delta del Ebro, tensión de arrastre por viento, circulación inducida por viento.

Key words: Meteorology, marine currents, River Ebro region, wind stress, wind-induced circulation.

RESUMEN: Tras revisar brevemente el estado actual de los conocimientos acerca de la circulación marina en el Mediterráneo occidental, se describen en este trabajo los rasgos fundamentales de la meteorología y circulación locales en la región del delta del Ebro, así como de la interacción entre ambas, que han sido observados durante los dos primeros años de actividad del proyecto conjunto hispano-norteamericano «Estudio de la calidad de las aguas continentales y marítimas del delta del Ebro»

Se expone una primera cuantificación de los campos de tensión de arrastre por viento (*wind stress*) asociables a las situaciones meteorológicas más características en la zona estudiada y de los gradientes térmicos que definen el ciclo anual de estratificación de la columna de agua en la zona.

Finalmente, se resume la evolución del comportamiento de la corriente en los diferentes niveles observados, sugiriéndose algunas explicaciones para las singularidades del flujo más destacadas.

SUMMARY: METEOROLOGY AND MARINE CIRCULATION IN THE RIVER EBRO REGION. — After revising the state of art of scientific knowledge on marine dynamics of the Western Mediterranean sea briefly, the most outstanding patterns of both local meteorology and short-scale circulation in the River Ebro region are discussed facing meteo and current data collected during the first phase (1980-1981) of activities of the joint US-Spanish project «Estudio de la calidad de las aguas continentales y marítimas del delta del Ebro».

Preliminary calculations on hypothetical wind stress fields that reproduce the most common local meteorology situations are performed. The values of the temperature gradients which have been seen to define the summer stratification of water are commented on, as well.

The yearly evolution of the flow pattern at the observation sites and some explanations to certain peculiar features of the observed current fields are finally discussed.

INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos que se fijaron en el diseño del proyecto «Estudio de la calidad de las aguas continentales y marítimas del delta del Ebro» era la investigación de las características de la circulación marina en la región del Delta y de sus causas físicas principales. En este contexto, la Unidad de Ocea-

* Recibido el 17 de noviembre de 1983.

Trabajo realizado en el ámbito del proyecto conjunto hispano-norteamericano número 793028.

nografía del Instituto de Investigaciones Pesqueras de Barcelona impulsó la creación de un banco informático propio en el que se habrían de almacenar los datos que constituirían la base del análisis que conduciría a respuestas adecuadas a los interrogantes planteados: esto es, largas series temporales de datos de viento y corrientes en puntos adecuados (de situación definida por una estrategia preestablecida) y posibles (de emplazamiento no amenazado por actividades pesqueras y con accesibilidad suficiente).

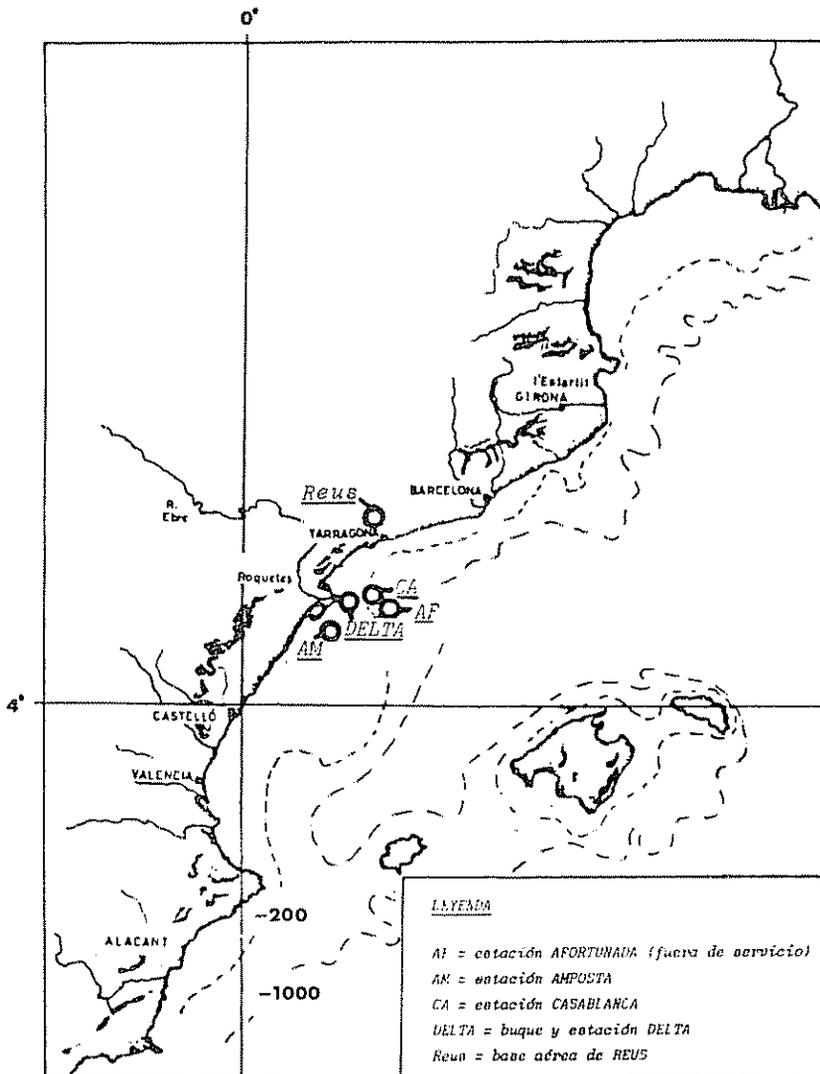


FIG. 1 — Red de registradores en funcionamiento desde 1980 en la región del delta del Ebro

La movilización de los recursos técnicos de la Unidad, así como los acuerdos de colaboración alcanzados con otras instituciones en el marco del proyecto, han hecho posible que hoy se disponga de las series de datos meteorológicos y oceanográficos que está suministrando desde 1980 una red relativamente densa de anemómetros y correntímetros implantada en la región del Delta y sus inmediaciones (fig 1) en un formato apto para su tratamiento numérico.

El objeto de este trabajo es exponer una síntesis de los rasgos fundamentales de la respuesta del sistema marino del Delta a la acción de los diversos agentes dinámicos que sobre él actúan, y muy en concreto, de la interacción entre viento y circulación local que se ha deducido a partir de un primer estudio de los datos obtenidos en las estaciones de la red de puntos de observación durante 1980 y 1981.

ANTECEDENTES

CLIMA DE VIENTOS EN EL DELTA DEL EBRO

La meteorología del Delta se caracteriza por la existencia de cuatro tipos de vientos dominantes que se superponen al régimen de brisas común al ambiente litoral: el NE o gregal, el E o levant, el SO o garbi y el NO o mestral. Los dos primeros están asociados a la existencia de anticiclones centroeuropeos o borrascas mediterráneas, presentándose en este último caso en forma de tormentas de duración moderada (varias horas) y elevadas velocidades de viento. Por corresponder su dirección de procedencia a la de «fetch» máximo, son estos vientos los que producen máxima altura de ola en el litoral catalán. Su ocurrencia como tales tormentas suele ser trimestral.

Los vientos del SO o garbins son vientos cálidos de ocurrencia típicamente estival; velocidades pequeñas y persistencias elevadas son sus principales características. En los meses calientes (junio a septiembre) son éstos los vientos que tienen la máxima persistencia, pero las máximas velocidades medias suelen estar asociadas a procedencias del este (NE o E) o del NO aun en tal época del año (GARCÍA, 1982).

Por último, hay que decir que el NO o mestral es el viento de mayor persistencia local en los meses fríos (octubre a mayo). Siendo un viento característicamente polar, debe catalogarse como viento catabático o de gravedad en relación a su origen próximo, que es el resultante de un enfriamiento de las capas bajas de aire en la cabecera del valle del Ebro al que sucede un rápido descenso de la masa de aire frío a lo largo de éste, debido al gradiente de presión horizontal existente entre la cabecera y el Delta. Presenta velocidades muy elevadas: la velocidad media durante 10 minutos a cota +10 m (lectura normalizada) puede superar los 100 km/h en el Delta más de una vez al año. Sus persistencias son muy dilatadas, y su duración excede las 24 horas en gran número de ocasiones.

CIRCULACIÓN GENERAL FRENTE AL DELTA

Es ampliamente conocido el hecho de que el Mediterráneo occidental está sometido a un régimen de circulación general de sentido ciclónico y naturaleza termohalina. Tiene ésta su origen en el intercambio hidráulico y salino que se verifica a través del estrecho de Gibraltar (RODRÍGUEZ, 1982). En regiones como el golfo de León, donde la plataforma continental es de gran anchura, los rasgos fundamentales de esta circulación general quedan alterados por la climatología local, y muy especialmente por el régimen de vientos dominante, que dota al Golfo de una dinámica local singular caracterizada por la existencia de una vasta área de afloramiento costero (MILLOI, 1979).

La plataforma continental que se extiende ante el delta del Ebro posee una morfología semejante a la del golfo de León en la zona de la desembocadura del Ródano (pendiente muy tendida, distancia entre la línea de costa y el inicio del talud continental notable —superior a 60 km—); pero la similitud entre ambas zonas se extiende también al hecho de que el régimen local de vientos interactúa con la circulación modificando localmente el campo de velocidades de corriente en todo el espesor de lámina de agua en que la tensión de arrastre por viento (*wind stress*) deja sentir su efecto (MILLOI y WALD, 1980).

La influencia de los regímenes característicos de viento sobre la circulación local ya fue puesta de manifiesto por DUBOUL-RAZAVEI en 1956 (MALDONADO, 1972), quien confirma la existencia de un flujo medio resultante paralelo a la costa y dirigido hacia el SO (en congruencia con lo que se conoce acerca de

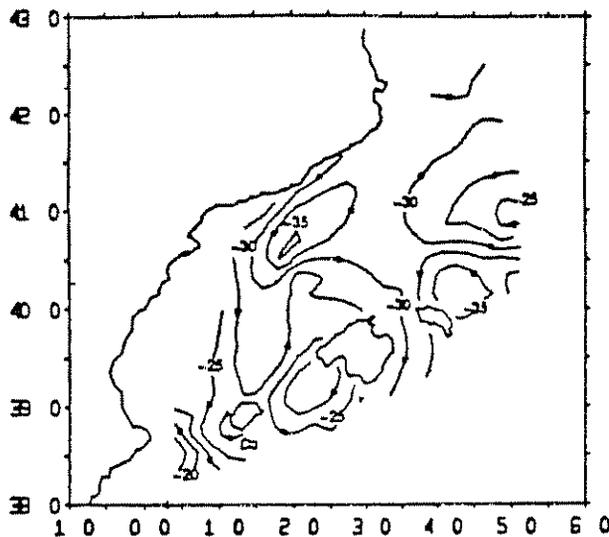


FIG. 2. — Topografías dinámicas (en cm din) y corrientes geostroficas a -50 m en el Mar Catalán. (Extraído de FONT y MIRALLES, 1978)

la circulación ciclónica mediterránea), sin excluir que éste incluya componentes parciales de sentido distinto e incluso opuesto. Acaso ha sido la extrapolación prematura de las conclusiones extraídas de la observación de tales derivas parciales a todo el litoral catalán, aun más allá de la plataforma continental, lo que condujo a autores como SCHMIDI (1913), PLATANIA (1923) y BOUGIS (1958) a teorizar acerca de una inversión estival estable de la circulación general mediterránea, tesis que hoy debe descartarse.

De la misma forma que el flujo resultante está dirigido hacia el SO ante las costas catalanas, debe admitirse que la circulación en el mar Catalán está caracterizada por un giro ciclónico (fig. 2) motivado por una corriente de retorno que discurre junto a las islas Baleares con velocidades en superficie notablemente superiores (40 a 50 cm/seg) a las características en la corriente litoral (20 a 30 cm/seg) (FONI y MIRALLES, 1978).

Por último, en lo que se refiere a los rasgos distintivos de la circulación sobre la plataforma continental en las inmediaciones del Delta, se ha descrito por BALLESIER y CASIELLVI (1980) una circulación superficial anticiclónica en el golfo de Sant Jordi, supeditada al régimen de vientos dominante. En cualquier caso, se han observado corrientes superficiales dirigidas hacia la costa con vientos del primer cuadrante en el extremo meridional del Golfo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se han utilizado en este trabajo los datos registrados en 1980 y 1981 por dos correntímetros Aanderaa RCM-4 situados junto a la plataforma petrolífera «Amposta» ($40^{\circ} 23' 32''$ N, $00^{\circ} 42' 32''$ E; sobre un fondo de 58 m) a -8 y -50 m, y por otros dos correntímetros del mismo tipo emplazados en la plataforma «Afortunada» ($40^{\circ} 40' 41''$ N, $01^{\circ} 21' 11''$ E; sobre un fondo de 115 m), localizados a -8 y -100 m.

Los datos del viento que han sido considerados proceden de la estación del buque «Delta» ($40^{\circ} 40' 07''$ N, $01^{\circ} 18' 03''$ E; cota de lectura = $+25$ m), de la cual se reciben datos horarios, cedidos por SHELL SPANIE N. V., que consisten en promedios del vector velocidad del viento durante 10 minutos normalizados a cota $+10$ m; de la estación «Afortunada» (emplazada en la plataforma del mismo nombre. Cota de lectura = $+65$ m), a razón de un registro cada 6 horas (estos datos fueron facilitados por ENIEPSA, compañía explotadora de esta plataforma, que está fuera de servicio en la actualidad); y del observatorio de la base aérea de Reus (cota de lectura = $+56$ m), del que se reciben datos en forma de synops, lo que supone aproximadamente promedios del vector velocidad durante 2 minutos cada 3 horas entre las 6 h y las 18 h de cada día.

Los datos de temperatura del agua han sido registrados por J. SANFELIU al este de las islas Medas, a un kilómetro de la costa, sobre un fondo de 65 m en 1970 y de 90 m en 1981.

Por último, para la elaboración de los vectores progresivos de vientos y corrientes se ha empleado un software específico desarrollado por M. MANRÍQUEZ y un soporte instrumental compuesto por un sistema IBM 1130 y un ordenador HP 85.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAMPO DE VIENTOS Y TENSIÓN DE ARRASIRE

Se ha realizado ya un extenso análisis de los datos de viento obtenidos durante dos años consecutivos (1980 y 1981) en las estaciones próximas al delta del Ebro que se han descrito en un apartado anterior. Dada la escala temporal propia de las fluctuaciones meteorológicas, se puede concluir que se ha trabajado sobre un volumen de información suficientemente representativo del clima de vientos en la zona, por lo que las conclusiones que se van a exponer van a ser de carácter extrapolable a otros períodos, sin perjuicio de que las observaciones vayan a proseguir en el futuro.

En primer lugar, se aprecia que el efecto de la topografía terrestre condiciona en gran medida la estructura espacial del campo de vientos en la zona. La acción canalizadora del valle del Ebro es doble: por un lado, provoca que la velocidad escalar de los vientos procedentes del cuarto cuadrante sea de módulo máximo ante el Delta y que decrezca a levante y a poniente del mismo a lo largo de la costa, así como que la dispersión de ángulos de procedencia de los vectores de velocidad en un instante dado para distintos puntos del área de estudio no sea demasiado grande (esto último debe ser verificado todavía con mayor rigor). Por otra parte, se ha observado que en el interior del valle la topografía local provoca una sombra prácticamente total de direcciones de procedencia que no coinciden con la orientación de éste (esto se ha constatado a partir de una primera inspección de los registros de viento obtenidos en el Observatorio del Ebro) (fig. 3).

No obstante, la comparación de los datos de viento obtenidos en el aeropuerto de Reus y en la estación marítima Delta durante el período señalado nos lleva a la conclusión de que el campo de vientos en el litoral deltaico presenta una distribución espacial mucho más uniforme de lo que en principio se esperaba (figs. 4 *a* y 4 *b*), como más adelante se razona.

Por lo que se refiere a la estacionalidad de los regímenes de viento, se observa que el ciclo anual es muy repetitivo año a año. En efecto, a la semejanza anual del ya conocido esquema de máximas velocidades y persistencias del NO en los meses fríos (octubre a mayo), sólo alterada por la ocurrencia de procesos del primer cuadrante —tormentas de levante—, debe añadirse la similitud en la distribución de las velocidades medias observadas. Esta circunstancia es la que provoca unos recorridos anuales virtuales del vector progresivo de vientos sensiblemente constantes (figs. 4 *a* y 4 *b*).

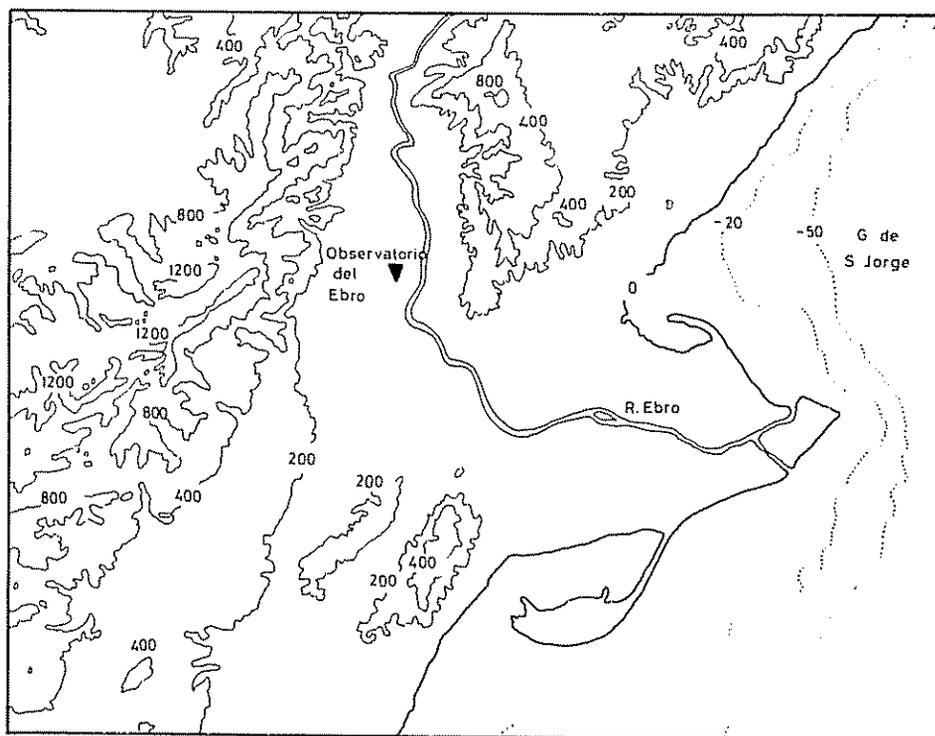


FIG. 3.— Topografía del valle del Ebro (cotas en metros)

La sorprendente similitud en orientación y recorrido virtual de los vectores progresivos de Reus y Delta para un mismo período entre sí, siendo las características del muestreo en ambas estaciones sustancialmente diferentes (lecturas horarias en Delta y synops en Reus —el sistema de muestreo por synops que practica el centro de Reus no incluye registros entre las 18 h y las 6 h del día siguiente—), hace pensar que el régimen de brisas al que el Delta está sometido posee un orden de velocidades muy inferior al de los regímenes dominantes de vientos asociados al movimiento de los sistemas de presión. Igualmente, dada la ubicación terrestre de la estación del Aeropuerto de Reus, fuera del valle del Ebro, y la situación exenta del buque Delta, se deduce que la distribución de las velocidades medias de viento en la región del Delta es de orientación angular prácticamente uniforme.

En cuanto a la distribución vertical de la velocidad del viento, el análisis conjunto de los datos de Afortunada y Delta parece revelar un comportamiento bastante ajustado a la teoría de EKMAN por lo que hace a la deriva de la procedencia con la altura (fig. 5). La diferencia en las magnitudes de los vectores progresivos de ambas estaciones en un período dado también puede

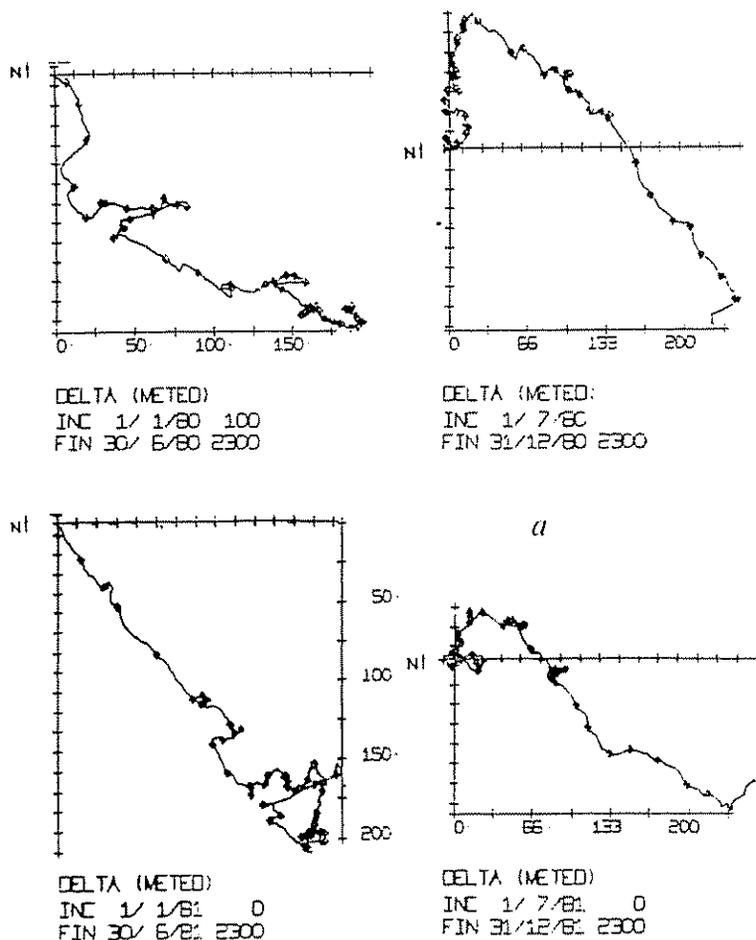


FIG. 4 a — Vectores progresivos de viento en Delta (1980-81) Recorridos en kilómetros

ser debida, además de a fenómenos friccionales, a que los intervalos de muestreo de ambas estaciones son distintos. Así, la interpolación de datos de viento tomados cada seis horas —es el caso de Afortunada— no sería suficientemente realista.

El objetivo del estudio minucioso de la estructura espacial y temporal del campo de vientos en la zona de interés que se está llevando a cabo es el de la obtención de una aproximación a un orden de magnitud de la tensión de arrastre por viento característica en la región del Delta desde la que se puedan estimar los espesores de lámina de agua afectados por la acción del flujo de aire sobre la superficie marina. El análisis realizado sugiere por ahora

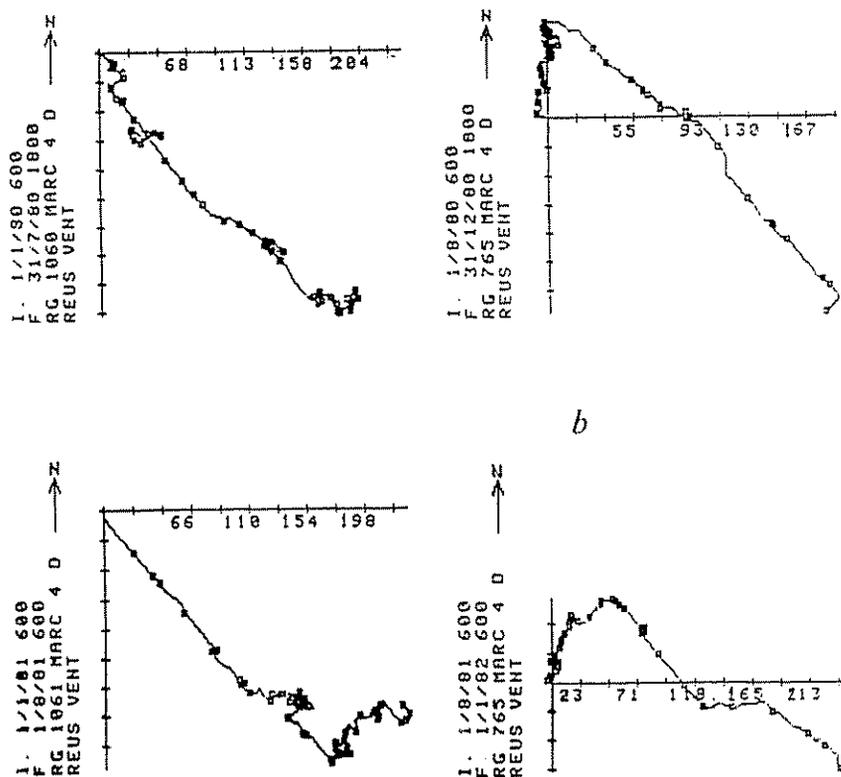


FIG 4 b — Vectores progresivos de viento en Reus (1980-81). Recorridos en kilómetros

que una distribución vectorial de procedencia NO uniforme y de módulo constante más allá de una distancia de 50 km a levante y a poniente del hipotético eje de simetría del Delta a lo largo de la costa, así como de módulo lineal o sinusoidalmente dependiente de la latitud —alcanzando un máximo ante el Delta— dentro del entorno de radio igual a 50 km a uno y otro lado del Delta, puede ser una aproximación representativa al campo medio de *wind stress* más significativo en la región. Esta conclusión ha sido empleada por HAN y KOHLER (1982) para formular una condición de contorno de un modelo de diagnóstico de circulación marina que ha sido ensayado en el golfo de Valencia.

Si se acepta la expresión:

$$\tau = \rho_a C_D W_{10}^2 \quad (\text{NEUMANN y PIERSON, 1966}),$$

donde τ es la tensión de arrastre o *wind stress*, ρ_a la densidad del aire (se escoge un valor medio de 1,3 kg/m³), C_D el coeficiente adimensional de arrastre (se considera de $1,4 \times 10^{-3}$) (POND y PICKARD, 1978), y W_{10} la velocidad escalar

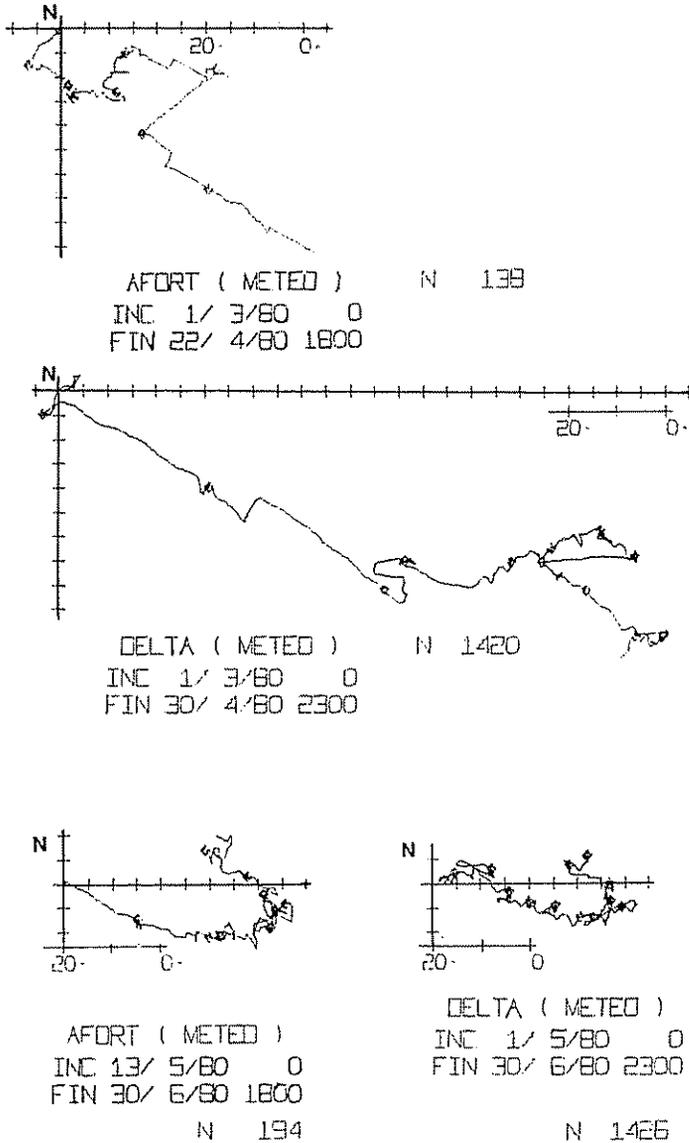


FIG 5. — Comparación de vectores progresivos de viento en Delta y Afortunada

del viento corregida a 10 m (todas las variables están expresadas en unidades MKS), se puede calcular una expresión numérica del campo medio de tensión de arrastre en la que el valor máximo de la distribución viene dado por los datos de Delta y el valor uniforme queda determinado por los registros de Reus. El orden de magnitud de los valores máximos del campo ha resultado ser de 0,3 Pa y 0,08 Pa en las estaciones fría y cálida, respectivamente. El orden de valores para la zona uniforme de la distribución ha sido estimado en 0,15 Pa y 0,06 Pa en las mismas épocas (fig. 6).

En base a relaciones empíricas (POND y PICKARD, 1978), puede suponerse entonces en primera aproximación que durante los meses fríos el viento del NO

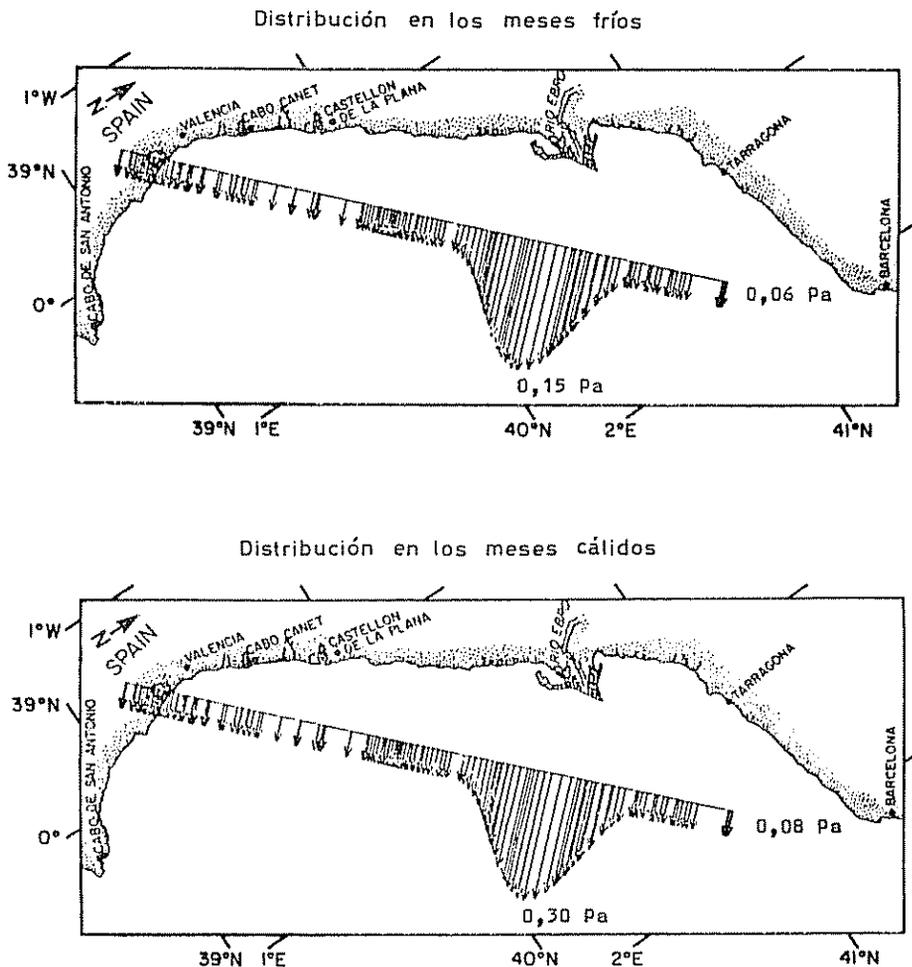


FIG 6 — Distribución de «wind stress» en el litoral levantino con vientos del NO.
(Modificado de HAN y KOHLER, 1982)

puede movilizar en el entorno del Delta un espesor de capa de agua de hasta 70 m, con velocidades de corriente en superficie de unos 20 cm/seg, siendo estos valores del orden de 35 m y 10 cm/seg en verano, respectivamente.

INTERACCIÓN VIENTO-CIRCULACIÓN. ESTRATIFICACIÓN

La primera conclusión que se desprende del estudio de la respuesta dinámica del mar en términos de corrientes sobre el área de la plataforma continental inmediata al Delta que está situada más allá de la zona de rompientes ante sollicitaciones de viento diversas es que una misma sollicitación produce efectos muy distintos según exista o no estratificación térmica (y por tanto, de densidades) en la columna de agua y según sea la intensidad de ésta.

La estratificación en la plataforma continental catalana resulta ser de nuevo un fenómeno estacional de gran repetitividad anual (fig. 7): a una situación

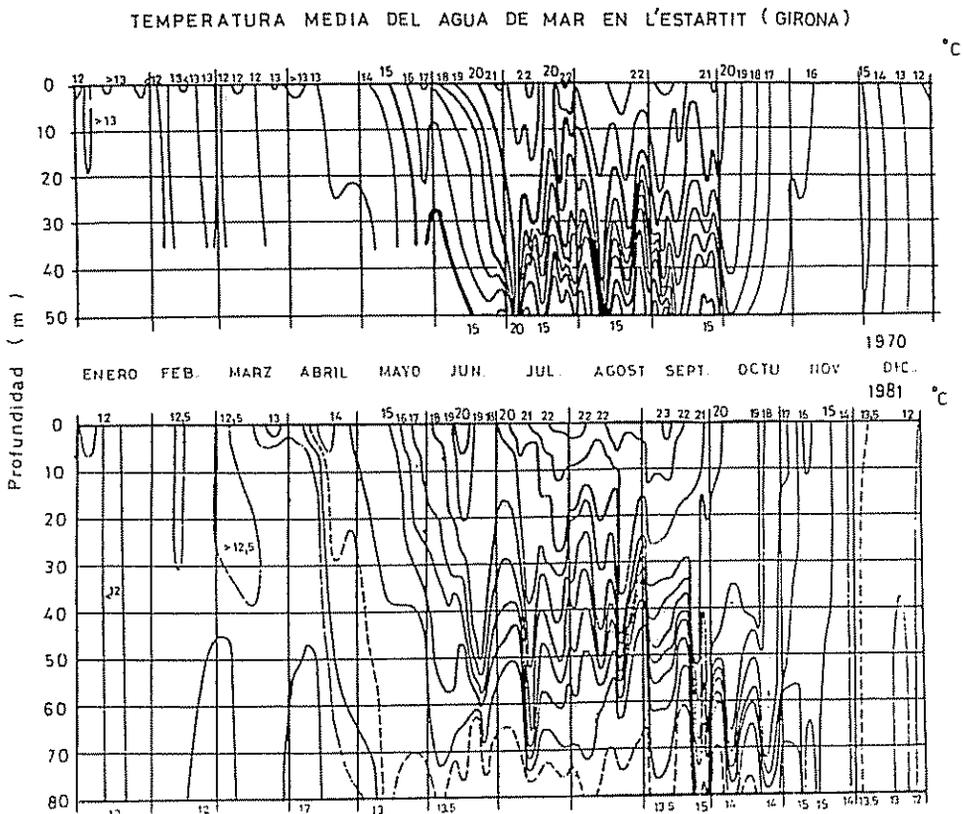


FIG. 7 — Distribución de temperaturas ante l'Estartit, años 1970 y 1981
(Fuente: J. SANFELIU)

invernal de homotermia (octubre a marzo) le sucede un estado transitorio en los meses de primavera en el que el aumento progresivo de la intensidad de la radiación solar absorbida provoca el establecimiento de una mesoclima (gradiente térmico vertical máximo inferior a $0,1^{\circ}\text{C}/\text{m}$, localizado en torno a los 30 m de profundidad), que evoluciona hasta convertirse en los meses calientes en una termoclina que impide el intercambio eficaz de momentum entre las aguas superficiales y las que están bajo aquélla (gradiente térmico en torno a $0,3^{\circ}\text{C}/\text{m}$ a profundidad de unos 40 m) y provoca un comportamiento independiente de ambas masas de agua, a tenor de lo que se ha observado. Parecen ser los vientos asociados a la primera tempestad del mes de octubre (o excepcionalmente noviembre) de intensidad suficiente el agente responsable de la rápida rotura de la estabilidad de la columna de agua, el mezclado vertical de ésta y la brusca desaparición de la termoclina, que no se volverá a recomponer hasta el año siguiente siguiendo un proceso análogo al descrito.

Se observa que la barrera que supone la termoclina frente al intercambio energético debe implicar que sólo los vientos de velocidad tal que la tensión de arrastre que induzcan sea de módulo mayor que $0,20 \div 0,25$ Pa aproximadamente son capaces de transferir energía a las masas de agua profundas y de modificar su perfil de velocidades de flujo. Ello va a ser objeto de un estudio más detenido en un futuro inmediato.

SITUACIÓN INVERNAL

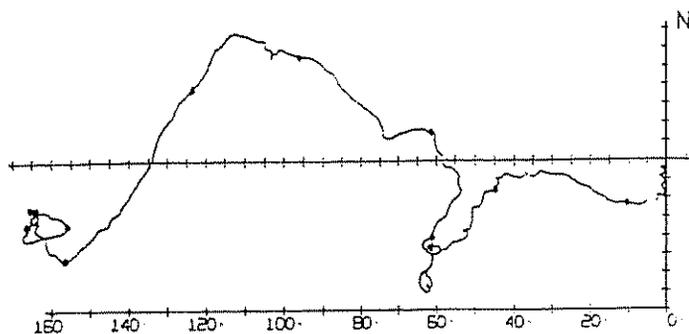
Como ya se ha indicado, el régimen invernal de vientos en el Delta se caracteriza por representar persistencias y velocidades medias máximas asociadas a procedencias del NO, salvo ocurrencias ocasionales de temporales del este. Dado que en la columna de agua no existe estratificación térmica, es de esperar que su respuesta dinámica a la acción del viento en situaciones en las que se verifiquen aproximadamente las hipótesis de primeras derivadas espaciales del campo de tensión de arrastre nulas (o al menos tales que el rotacional del mismo sea nulo) y gradiente horizontal de presiones despreciable sea semejante al perfil helicoidal de velocidades deducible de las ecuaciones de EKMAN.

Por ahora, las observaciones parecen indicar que un esquema tan simplificado como el mencionado puede resultar adecuado para explicar algunos de los rasgos más destacados que presenta la corriente en la plataforma Amposta. En octubre de 1980 * (fig. 8 a) se aprecia cómo la corriente en superficie se dirige hacia el SO con vientos del NO, existiendo ocurrencias ocasionales de flujo hacia el O-NO coincidentes con cambios en la procedencia de los vientos. Se observa que hasta el mes de noviembre la corriente en el fondo no posee unos recorridos virtuales del mismo orden que los del flujo en superficie. Tras la desaparición de la termoclina, que seguramente ha estado asociada

* No se obtuvieron datos en superficie durante octubre de 1981.

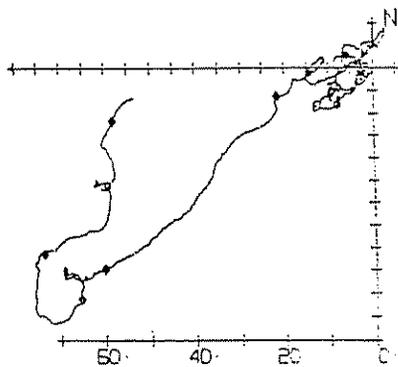
en 1980 y 1981 a situaciones del NO la primera quincena del mes, la corriente de fondo fluye en una dirección similar a la observada en superficie, acaso con una cierta deriva atribuible a la fricción de fondo (figs. 8 *a* y 8 *b*).

No obstante, si bien la inexistencia de estratificación y el orden de magnitud de la tensión de arrastre pueden explicar la homología que se observa entre los vectores progresivos de superficie y fondo en noviembre y diciembre (figs. 8 *a*, 8 *b*, 9 *a* y 9 *b*), el hecho de que la orientación resultante de los mismos sea en los dos años hacia el norte o noreste (habiéndose observado repetidas situaciones en que el flujo en superficie y fondo era hacia el NE con vientos del NO) debe atribuirse a la ocurrencia de distribuciones de la tensión de



AMPOSTA -8 M. N 2863
 INC 1/10/80 0
 FIN 30/11/80 2345

a



AMPOSTA -50 M. N 2915
 INC 1/10/80 0
 FIN 30/11/80 2340

FIG 8 *a*. — Vectores progresivos de corrientes en Ampostá, octubre-noviembre 1980
 Recorridos en kilómetros.

arrastré en la zona con valores del rotacional significativos, situación en la que no se verifican por tanto las hipótesis simplificativas antes enunciadas.

Dada la fecha de entrada en servicio de los correntímetros de la plataforma Amposta (abril de 1980), no se dispone de información de campo del primer trimestre del año 80. Sin embargo, sí se han obtenido datos de corrientes correspondientes a los primeros meses de 1981, en los que se ha apreciado una situación muy similar a la del final del año anterior, con vectores en fondo y en superficie sensiblemente homólogos entre sí (por efecto de la uniformidad de la columna de agua) orientados hacia el norte (fig. 10). Cabe destacar aquí la presencia de fluctuaciones periódicas de la velocidad de corriente en fondo y en superficie, que se han traducido en los vectores progresivos en forma de pequeñas rotaciones anticlónicas, que parecen estar asociadas a estados de transición entre regímenes de viento sucesivos de distinta procedencia, a semejanza de lo observado en el golfo de León (MILLOI y WALD, 1980; MILLOI y CREPON, 1981). Este fenómeno se ha observado en Amposta en otras épocas del año, aun existiendo estratificación, y se ha constatado que el período de fluctuación de máxima energía asociado al mismo coincide con el período inercial correspondiente a la latitud de la plataforma —18,4 horas—.

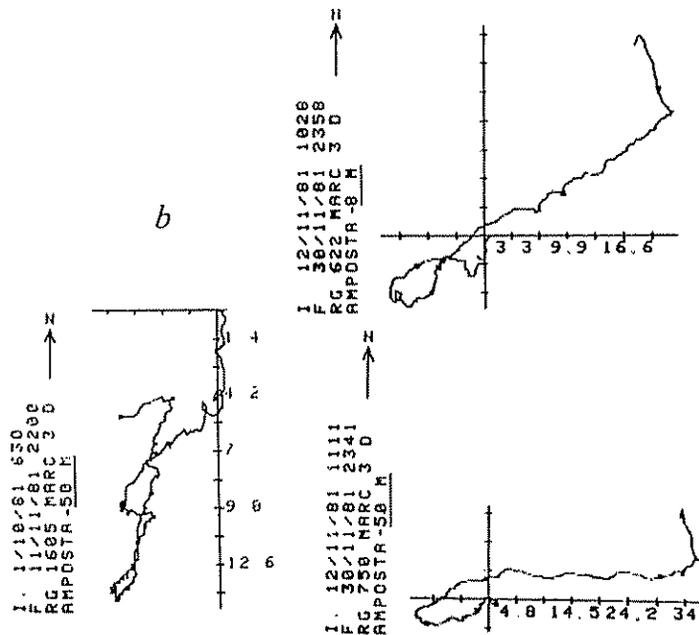


FIG 8 b. — Vectores progresivos de corrientes en Amposta, octubre-noviembre 1981 (No hubo datos de superficie en octubre) Recorridos en kilómetros

TRÁNSITO A LA ESTACIÓN CÁLIDA

Parece deducirse del análisis de series temporales de corrientes realizado hasta hoy que el establecimiento progresivo de la mesoclima no llega a romper la continuidad del perfil de velocidades observadas en Amposta antes de finalizar el mes de mayo en ninguno de los años estudiados.

En el año 1980 se obtuvieron registros de corrientes a -8 y -100 m en la plataforma Afortunada (está situada sobre un fondo de 115 m) durante los meses de abril a septiembre. En superficie se observa durante esta época un flujo que participa de algunas de las características dinámicas de la circulación general mediterránea occidental (está dirigido predominantemente hacia el sur en abril y mayo), aunque la existencia de fluctuaciones inerciales y de una inversión en la dirección de la corriente con la aparición en junio de vientos persistentes de procedencia S (fig. 11) hace pensar que la influencia del campo local de vientos es también aquí importante.

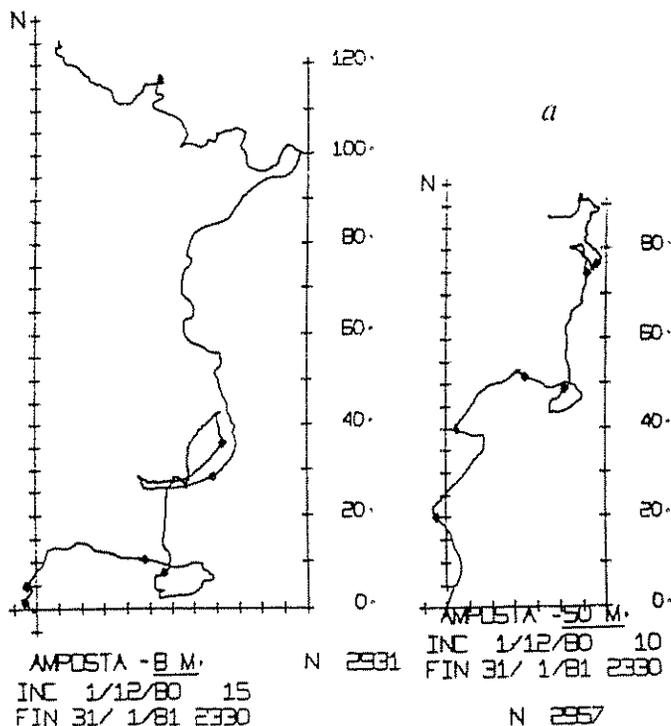
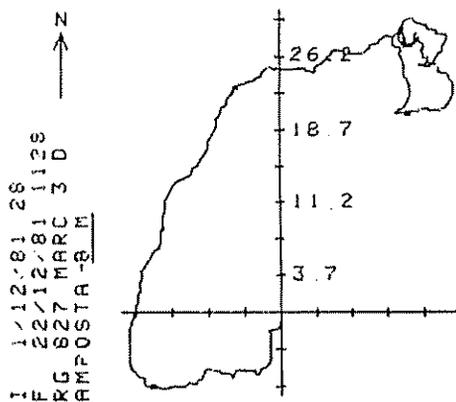


FIG. 9 a. — Vectores progresivos de corrientes en Amposta, diciembre de 1980 - enero de 1981. Recorridos en kilómetros

En abril y mayo de 1980 y 1981 se observa cómo las corrientes registradas en fondo y en superficie en Amposta tienden a dirigirse hacia el SO. Esto sería coherente con las máximas persistencias de viento del NO. Los recorridos virtuales de los vectores de fondo han resultado ser mucho menores que los de los vectores de superficie en todos los casos. Los cambios de dirección observados en diversos tramos de los vectores han estado asociados a variaciones en la procedencia de los vientos, y se han detectado nuevamente en tales ocasiones la presencia de giros anticiclónicos inerciales en ambos niveles y épocas (figs. 12 a y 12 b).



b

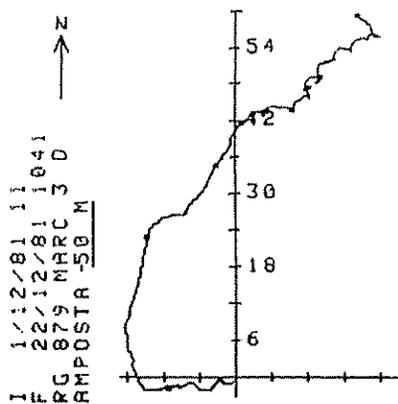


FIG. 9 b — Vectores progresivos de corrientes en Amposta, diciembre 1981
Recorridos en kilómetros

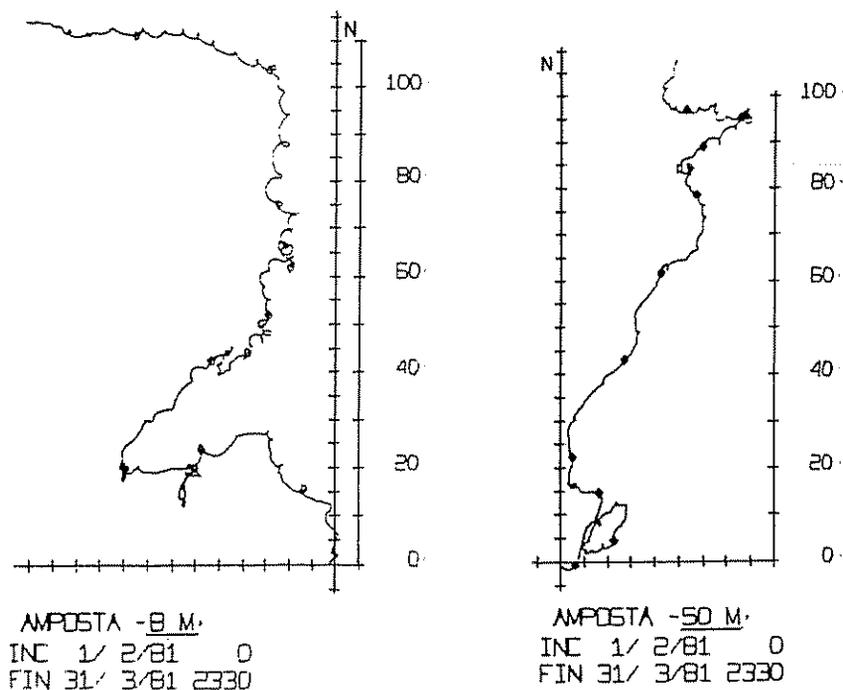


FIG 10. — Vectores progresivos de corrientes en Amposta, febrero-marzo 1981.
Recorridos en kilómetros

SITUACIÓN ESTIVAL

Los meses cálidos están caracterizados por ser los vientos del SO los de máxima persistencia. Dada la orientación de la costa, y de verificarse las hipótesis simplificativas para las que el modelo de EKMAN es una representación válida de la realidad, esta situación implicaría necesariamente la aparición de una divergencia ante el Delta, con los consiguientes flujos hacia alta mar, en superficie, y hacia la costa, en profundidad. Sin embargo, los datos obtenidos en Afortunada durante junio y julio de 1980 no parecen confirmar este extremo: en superficie, se observa un flujo neto hacia el norte que en julio rola hacia el NO, y en el fondo, la corriente registrada se desplaza hacia el NE para luego fluir hacia el S (fig. 13). Ello no debe ser ajeno al hecho de que en esos meses se registró una gran alternancia de procedencias de viento diversas (y por tanto de estados transitorios, lo que concuerda con el gran número de fluctuaciones inerciales que se aprecian en los vectores progresivos correspondientes a estos meses).

Las corrientes observadas en superficie y en fondo durante los meses cálidos en Amposta revelan un comportamiento bastante independiente de las aguas superficiales y profundas. Así, mientras en junio y julio de 1980 y 1981 predomina en superficie un flujo hacia el SO, se observa, en 1980, que la corriente a -50 m se dirige hacia el NE para rolar en julio al SO, y que en 1981 ésta se desplaza persistentemente hacia el SO, al igual que la de superficie (figs. 14 a y 14 b).

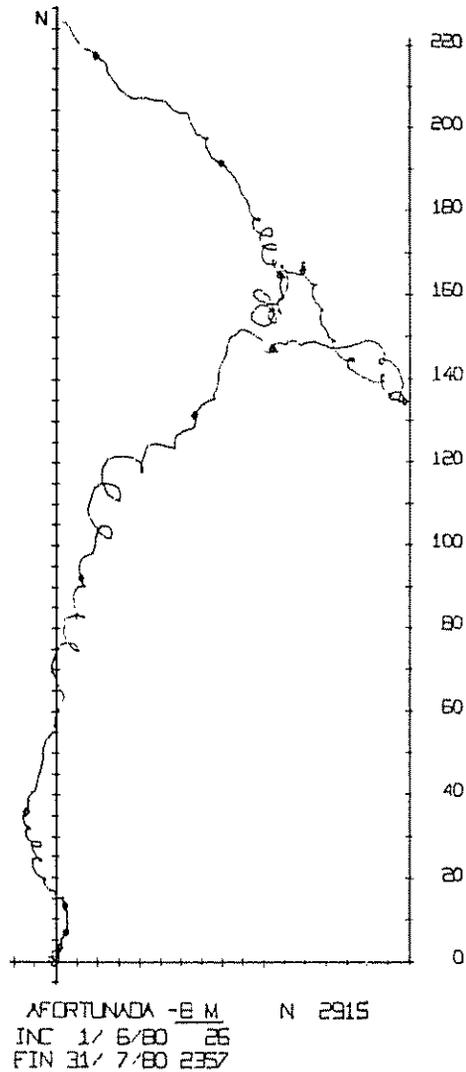
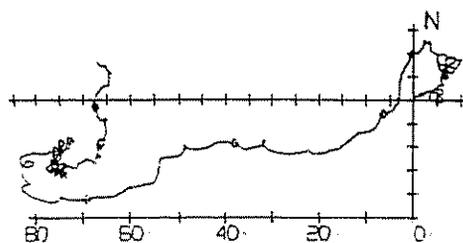


FIG. 11. — Vector progresivo de corriente en Afortunada (-8 m), abril-mayo 1981
Recorridos en kilómetros

En agosto de ambos años se mantiene la situación descrita, y en septiembre tiene lugar una evolución acorde con el cambio progresivo del régimen de vientos dominante a lo largo del mes que consiste en un giro en la dirección de la corriente observada, la cual tiende a fluir en profundidad hacia el norte en 1980 (no hubo registros de superficie en Amposta durante agosto y septiembre), y hacia el NE y NO a -50 y -8 m respectivamente en 1981 (en este último caso, con abundancia de fluctuaciones inerciales) (figs. 14 *b*, 15 *a* y 15 *b*). En octubre de 1980 la columna de agua se comporta inicialmente ante la sollicitación de los frecuentes vientos del NO como aún establemente estratificada. En idéntico mes de 1981 no hubo datos de superficie, pero suponemos que en la columna de agua persistía la estratificación.

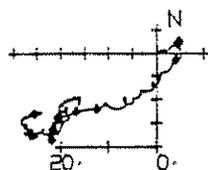
DATOS EN EL BORDE DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL

La obtención de datos de corrientes en la estación Afortunada debió ser cancelada cuando se eliminó la plataforma petrolífera que la sustentaba. Para poder continuar recogiendo una información similar de un punto situado ante el delta del Ebro y próximo al talud continental, se gestionó ante las



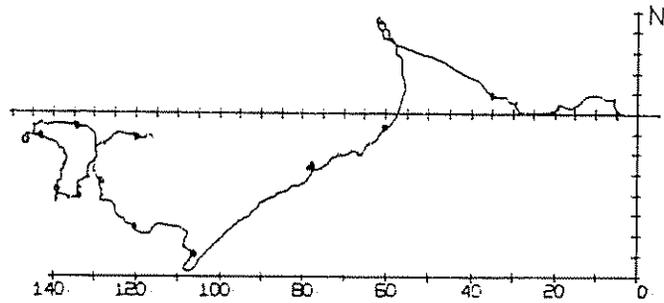
AMPOSTA -8 M.
 INC 2/ 4/80 590
 FIN 31/ 5/80 2330

a

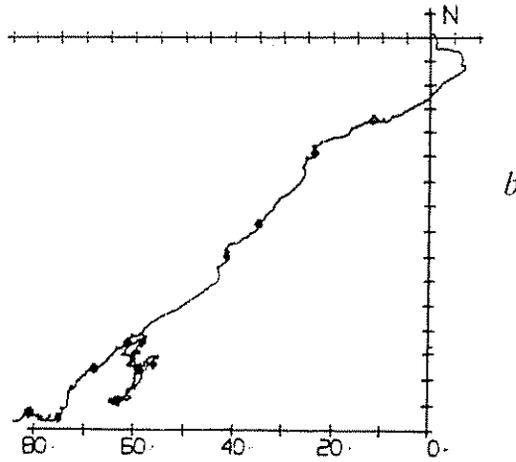


AMPOSTA -50 M.
 INC 1/ 4/80 0
 FIN 31/ 5/80 2355

FIG. 12 *a* — Vectores progresivos de corrientes en Amposta, abril-mayo 1980
 Recorridos en kilómetros.



AMPOSTA -8 M. N 2920
 INC 1/ 4/81 0
 FIN 31/ 5/81 2330



AMPOSTA -50 M. N 2923
 INC 1/ 4/81 0
 FIN 31/ 5/81 2330

FIG 12 b — Vectores progresivos de corrientes en Ampostá, abril-mayo 1981
 Recorridos en kilómetros.

compañías CHEVRON y ENIENSA la instalación de 3 correntímetros en la plataforma «Casablanca» ($40^{\circ} 43' 34''$ N, $01^{\circ} 21' 35''$ E; sobre un fondo de 165 m), en los niveles -8 , -50 y -100 m. Este dispositivo ha entrado en funcionamiento el 19 de octubre de 1982, y desde esta fecha se está procesando la información que de él se recibe periódicamente. Un análisis preliminar de los datos obtenidos permite señalar que el flujo que se observa en esta estación participa estrechamente de las características de la circulación general mediterránea occidental, dadas las persistentes direcciones que se registran y el orden de magnitud de las velocidades de corriente asociadas, superior al de las corrientes observadas en la plataforma Amposta.

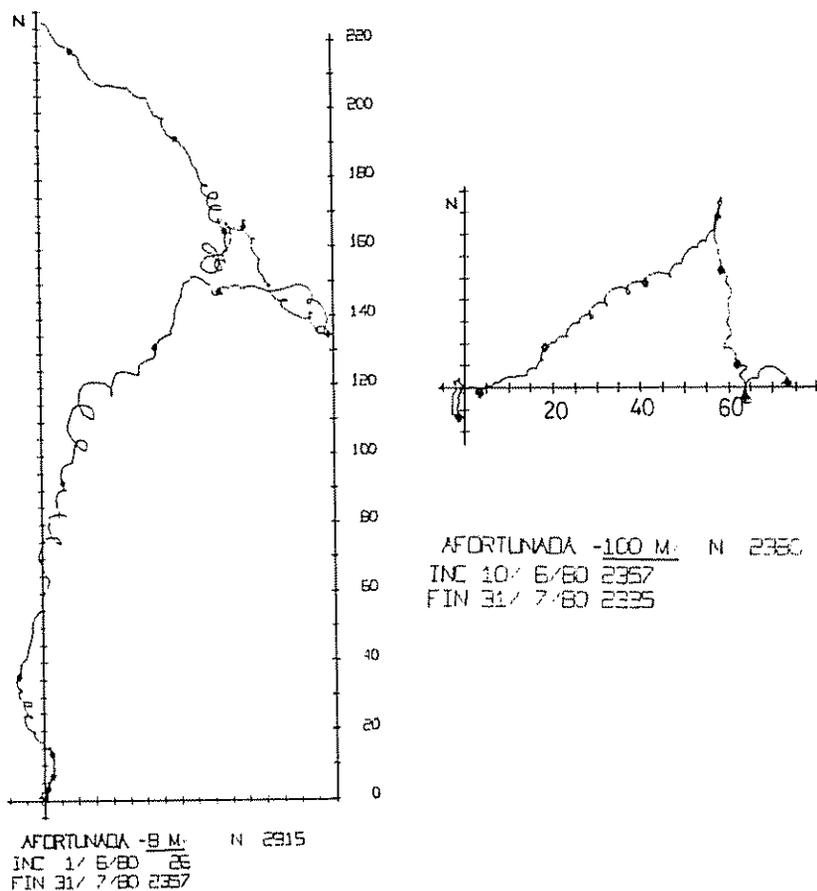


FIG. 13 — Vectores progresivos de corrientes en Afortunada, junio-julio 1980
 Recorridos en kilómetros

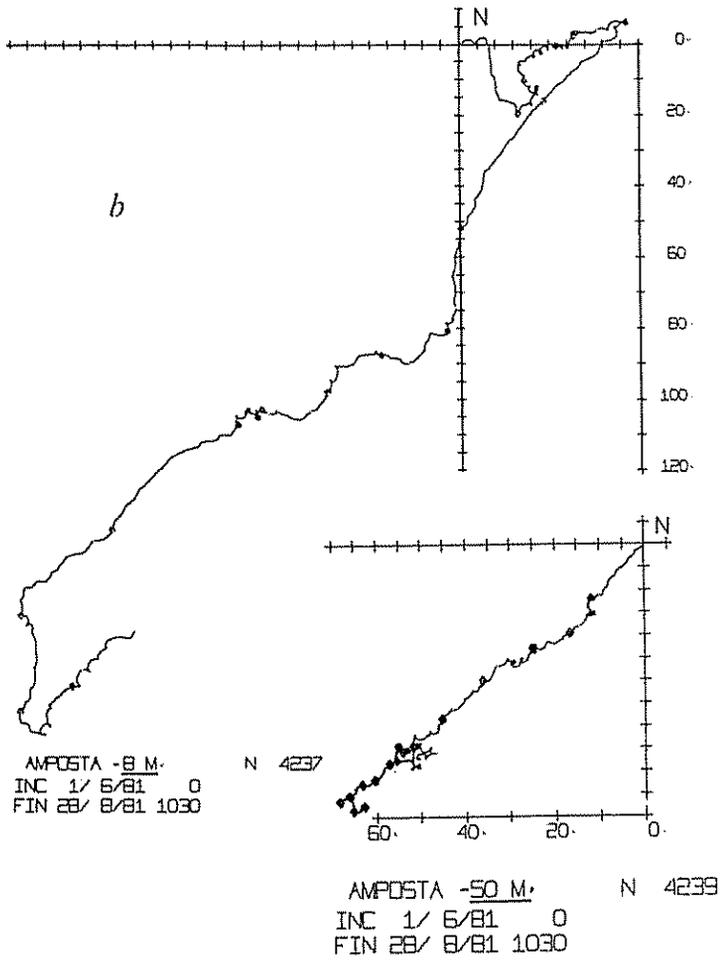
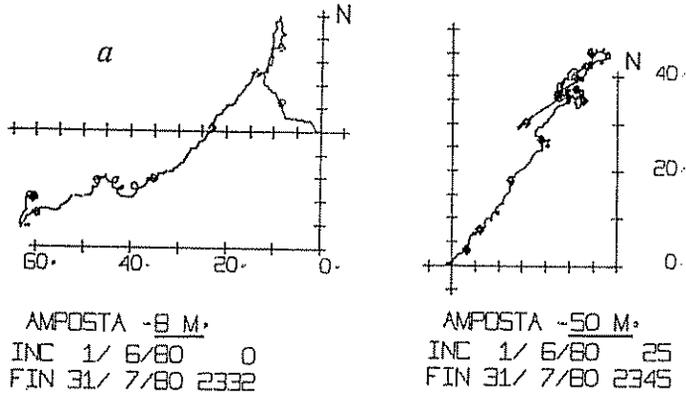


FIG. 14. — *a*, Vectores progresivos de corrientes en Amposta, junio-julio de 1980. Recorridos en kilómetros. *b*, Vectores progresivos de corrientes en Amposta, junio-agosto de 1981. Recorridos en kilómetros.

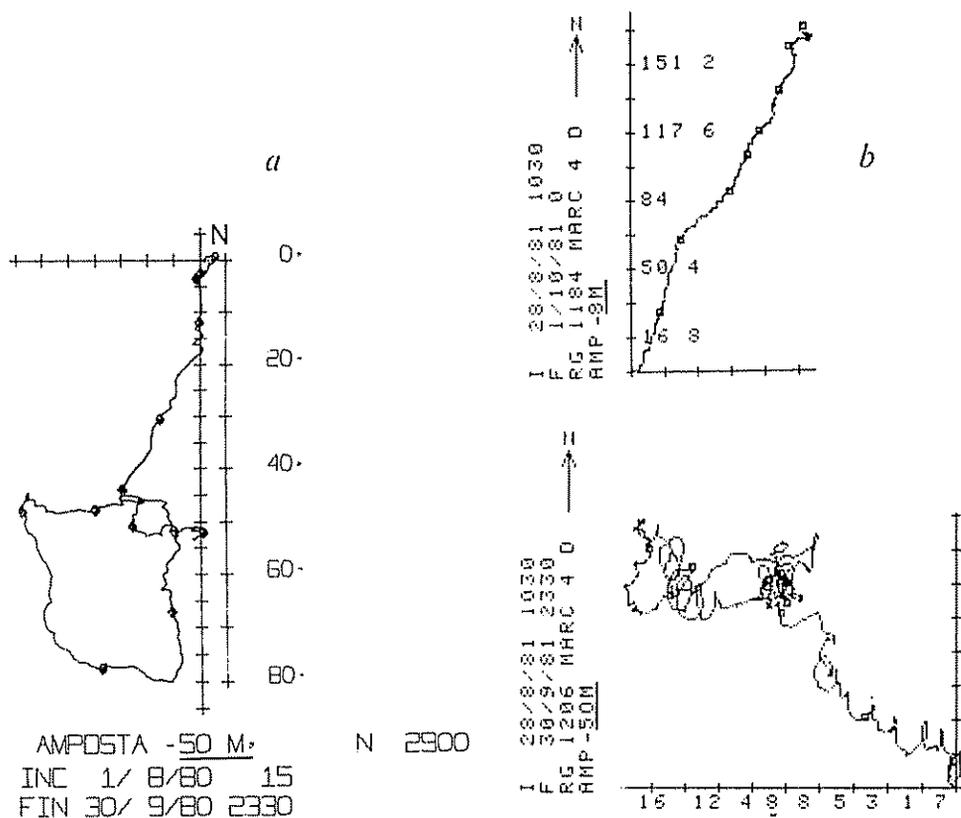


FIG. 15 — *a*, Vectores progresivos de corrientes en Amposta (-50 m), agosto-septiembre de 1980. Recorridos en kilómetros. *b*, Vectores progresivos de corrientes en Amposta, septiembre de 1981. Recorridos en kilómetros.

BIBLIOGRAFÍA

- BALLESTER, A. y J. CASTELLVÍ. — 1980. Estudio hidrográfico y biológico de las plataformas continentales españolas. I: Efectos de los efluentes de una planta de energía nuclear en el golfo de San Jorge (febrero 1975-octubre 1976). *Inf. Técni 11 P*, 76: 70 pp.
- FONT, J. y L. MIRALLES. — 1978. Circulación geostrofica en el mar Catalán. *Res. Exped. Cient*, 7: 155-162.
- 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. y K. KOHLER. — 1982. Observed and modelled circulation on the Spanish Continental Shelf near Río Ebro. *Technical Report NA82RA022*, Science Applications Inc., Miami.
- MALDONADO, A. — 1972. El Delta del Ebro: estudio sedimentológico y estratigráfico. Tesis doctoral. *Boletín de Estratigrafía*, 1 (vol. extraordinario): 1-447.

- MILLOT, C. — 1979. Wind induced upwellings in the Gulf of Lion *Oceanologica Acta*, 2 (3): 261-274.
- MILLOT, C. y M. CREPON. — 1981. Inertial oscillations on the continental shelf of the Gulf of Lion. Observations and theory. *Journ. Physical Ocean.*, 11 (5): 639-657
- MILLOT, C. y L. WALD — 1980. The effect of Mistral wind on the Ligurian current near Provence. *Oceanologica Acta*, 3 (4): 399-402
- NEUMANN, G. y W. J. PIERSON. — 1966. *Principles of Physical Oceanography*. Prentice Hall Englewood Cliffs, 545 pp.
- POND, S. y G. L. PICKARD — 1978. *Introductory Dynamic Oceanography* Pergamon. Oxford, 241 pp.
- RODRÍGUEZ, J. — 1982 *Oceanografía del Mar Mediterráneo*. Ed Pirámide Madrid, 174 pp.