

Res. Exp. Cient. B/O Cornide	7	Págs. 155-162	Noviembre 1978
---------------------------------	---	---------------	----------------

Circulación geostrófica en el mar Catalán *

por

J. FONT ** y L. MIRALLES **

INTRODUCCIÓN

El conocimiento real de las corrientes marinas sólo puede tenerse a base de medidas directas «in situ», ya sea instalando instrumentos en puntos fijos (medidas eulerianas) o bien siguiendo las masas de agua con boyas libres o flotadores (medidas lagrangianas). Pero es posible estimar de manera indirecta la componente geostrófica de la corriente, a partir de datos hidrográficos y aplicando el llamado método dinámico.

Se considera corriente geostrófica al movimiento que se produce en las masas de agua cuando se establece un equilibrio dinámico entre el efecto de la rotación de la tierra (fuerza de Coriolis) y el gradiente horizontal de presión, tanto el de origen interno (diferencias de densidad en el agua) como el de origen externo (inclinación de la superficie del mar debida a diferencias de presión atmosférica, efecto del viento, etc.). Está claro que la corriente geostrófica no es más que una componente de la velocidad total del agua, puesto que, sobre todo cerca de la superficie y en zonas costeras, predominan las componentes debidas a la fricción del viento, efecto del fondo y de la costa, oleaje, etc. Pero en el mar abierto y a una cierta profundidad se acerca mucho a la corriente real, y de todas maneras da una idea bastante clara de la circulación general a gran escala así como de las corrientes permanentes.

El método dinámico permite calcular la parte de corriente geostrófica debida al gradiente interno de presión, independientemente de lo que le ocurra a la superficie del mar, utilizando únicamente los valores

* Recibido el 14 de julio de 1978.

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

de salinidad y temperatura del agua (LACOMBE, 1965; NEUMANN y PIERSON, 1966). La componente así calculada es relativa, ya que el método toma la velocidad en la superficie igual a cero, cosa que muy raramente puede considerarse como cierta. Por tanto el primer resultado que se debe obtener es la profundidad a la cual puede considerarse que la velocidad es efectivamente nula (nivel de referencia), y a partir de este valor absoluto efectuar las correcciones en todos los niveles para pasar de velocidades relativas a absolutas.

Hasta ahora el único estudio global serio de corrientes en el mar Catalán que se conoce es el realizado por ALLAIN (1960) a partir de datos recogidos por una expedición francesa en junio de 1957. El objetivo del presente trabajo es obtener algunas conclusiones sobre la circulación en el mar Catalán a partir de los datos de las estaciones hidrográficas realizadas durante las campañas MEDITERRÁNEO I (octubre 1976) y MEDITERRÁNEO II (marzo 1977), así como de otros procedentes de estudios costeros frente a Barcelona (1975-76).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Existen varios criterios para determinar el nivel de referencia, pero su eficacia no es total y depende de cada caso concreto. Después de ensayar el criterio de profundidad máxima, mínimo oxígeno, menor variabilidad vertical de los parámetros y sobre todo el sugerido por DEFANT (constancia en las diferencias de anomalías dinámicas entre estaciones contiguas), se ha llegado a la conclusión de que la velocidad nula debería estar entre los 400 y 700 m de profundidad en toda la zona objeto de estudio. Finalmente se ha decidido adoptar el nivel de 500 m como referencia, el mismo que usó ALLAIN (1960) para sus cálculos geostroáficos abarcando una región algo más amplia.

CIRCULACIÓN GENERAL

Con esta referencia se han calculado las topografías dinámicas de distintos niveles, tanto para los datos de la campaña MEDITERRÁNEO I como MEDITERRÁNEO II (fig. 1), señalando el sentido de la corriente sobre las curvas de igual anomalía dinámica. Al interpretar estas topografías hay que tener en cuenta la falta de sinopticidad de las medidas ya que, especialmente en MEDITERRÁNEO I, las distintas zonas del área se recorrieron bajo condiciones meteorológicas diversas, lo que puede haber introducido algunos cambios locales en las distribuciones de las características del agua.

Observando la distribución de corriente en superficie de **MEDITERRÁNEO I** (fig. 2) se puede distinguir de inmediato el sentido de la circulación costera de NE a SW, coincidiendo con lo que afirman todos los autores al hablar de la circulación general en el Mediterráneo, así como una corriente paralela de retorno que produce un giro ciclónico (también observado por **ALLAIN**) centrado al norte de las islas Baleares y que llega a alcanzar velocidades de 40 cm/s entre Ibiza y Mallorca. En **MEDITERRÁNEO II** (fig. 3) la existencia del giro no se distingue tan claramente, pero se acentúa la velocidad de la corriente de retorno (50 cm/s). El sentido de la corriente geostrófica calculada da a entender que en el mar Catalán, a través de los canales existentes entre Ibiza y Mallorca y entre Mallorca y Menorca, está entrando en superficie agua de origen probablemente atlántico, característica que ya se observó durante la campaña **MEDITERRÁNEO I** al ver los datos hidrográficos (**SALAT**, en preparación). Asimismo la topografía dinámica de superficie muestra una entrada de agua por el norte cerca de la costa, que podría corresponder a aportes del Ródano, ya que también se detectó al sur del cabo de Creus la presencia de agua de salinidad notablemente baja.

En definitiva se puede pensar que en el mar Catalán, al final del verano, tenemos un agua de tipo mediterráneo girando ciclónicamente por el empuje de aguas menos densas que le llegan por el norte y por el flanco SE. El giro tiene tres depresiones situadas una hacia el paralelo 42° sobre el meridiano de Menorca, otra al sur de Barcelona a la altura del delta del Ebro y la tercera al norte de Ibiza sobre el paralelo 39° 30' (fig. 2). En **MEDITERRÁNEO II**, al final del invierno, no se observan claramente estos tres mínimos aunque, en niveles más profundos, se parecen más las situaciones de las dos campañas (figs. 6 y 7). La depresión meridional se ha desplazado hasta situarse frente a Valencia (figuras 5 y 7), en la misma posición que encontró **ALLAIN** (1960).

En el canal entre Ibiza y la península (fig. 2) se puede apreciar una salida de aguas hacia el sur que, en **MEDITERRÁNEO II** (fig. 3) y en mayores profundidades de **MEDITERRÁNEO I**, se puede identificar como el borde inferior del giro. Puede tratarse de una salida de agua densa por la parte occidental del canal y una entrada de agua menos densa (atlántica) por la parte oriental.

En los niveles profundos de **MEDITERRÁNEO I** se puede ver, a parte de que se mantiene el giro ciclónico, como el sentido de la corriente en el canal entre Mallorca y Menorca se invierte a partir de los 50 m (figs. 2, 4 y 6). Esto puede significar que mientras en esta latitud todavía hay aporte de agua atlántica en superficie, el agua mediterránea, más densa, fluye por el fondo en sentido contrario. Este fenómeno será menos detectable en los otros dos canales debido a su mucha mayor profundidad. En **MEDITERRÁNEO II** no parece haber intercambio a través de este canal (figuras 3, 5 y 7).

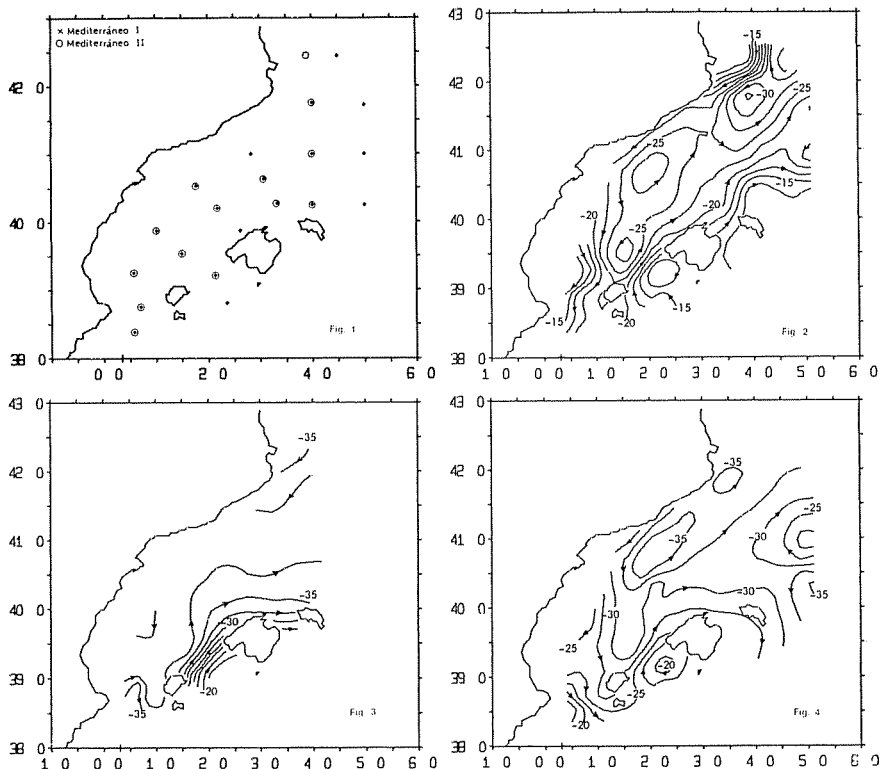


FIG. 1. Situación de las estaciones hidrográficas, con profundidad máxima superior a 500 m, visitadas durante las campañas Mediterráneo I y Mediterráneo II por el B/O «Cornide de Saavedra».

FIG. 2. Topografía dinámica, en cm din., y sentido de las corrientes en superficie con referencia a 500 m. Mediterráneo I.

FIG. 3. Topografía dinámica, en cm din., y sentido de las corrientes en superficie con referencia a 500 m. Mediterráneo II.

FIG. 4. Topografía dinámica, en cm din., y sentido de las corrientes en el nivel de 50 m con referencia a 500 m. Mediterráneo I.

También al observar los niveles profundos se puede ver la existencia de un máximo relativo (giro anticiclónico) en el extremo oriental de la zona sobre el paralelo 41° , con una divergencia que empuja las aguas hacia el sur (fig. 4 y 6). Este hecho no pudo confirmarse en MEDITERRÁNEO II ya que no se realizó esta radial oriental de estaciones, pero un giro de este tipo es señalado en una posición similar por ALLAIN y más o menos indicado por LACOMBE y TCHERNIA (1972) al hablar de la circulación superficial del Mediterráneo en verano.

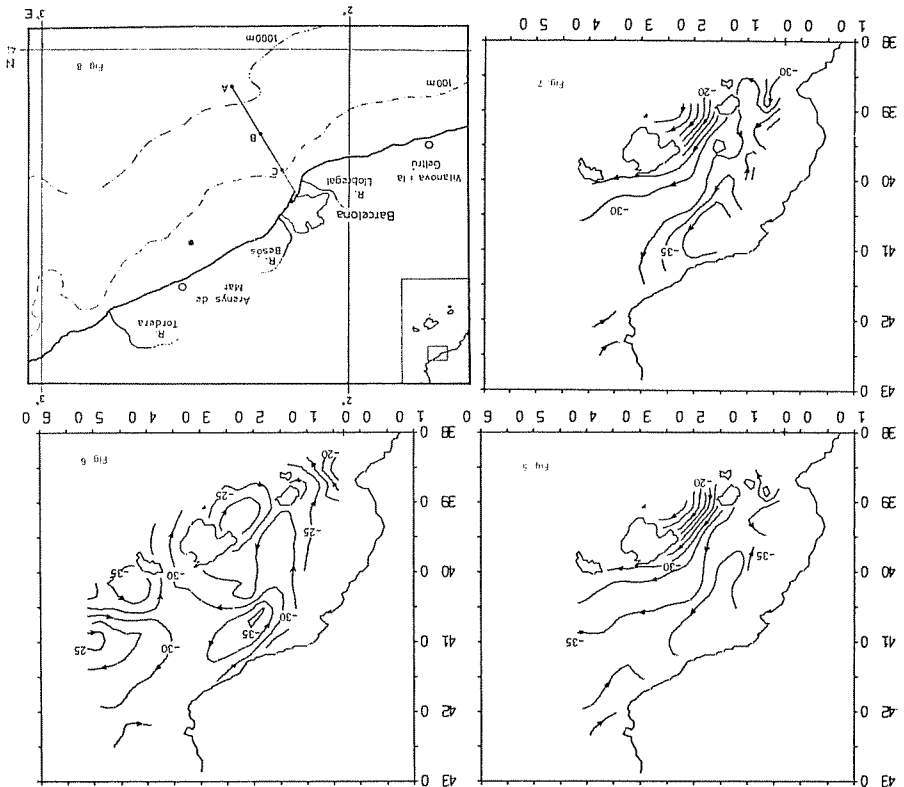


FIG. 5. Topografía dinámica, en cm din., y sentido de las corrientes en el nivel de 50 m con referencia a 500 m. Mediterráneo II.

FIG. 6. Topografía dinámica, en cm din., y sentido de las corrientes en el nivel de 100 m con referencia a 500 m. Mediterráneo I.

FIG. 7. Topografía dinámica, en cm din., y sentido de las corrientes en el nivel de 100 m con referencia a 500 m. Mediterráneo II.

FIG. 8. Situación de las tres estaciones hidrográficas A, B y C visitadas durante el proyecto «Maresme».

EVOLUCIÓN ANUAL

Con los datos del proyecto MARESME (junio 1975-noviembre 1976) se ha intentado completar la imagen de la circulación en el mar Catalán, ya que se trata de la evolución durante un año y medio de tres estaciones visitadas periódicamente y situadas en línea recta frente a Barcelona con tres profundidades máximas distintas (A 1.000 m, B 300 m y C 100 m). Con los datos hidrográficos de estas estaciones (SALAT, FONT y CRUZADO, 1978) se ha calculado la componente paralela a la costa de la velocidad geostrofica (fig. 8).

En este cálculo aparece un problema al pasar de velocidades relativas a absolutas, ya que sólo la estación A incluye el nivel de 500 m que se ha decidido tomar como referencia. Comparando A con B sólo es posible considerar niveles por encima de los 300 m, pero se ha comprobado que tomando velocidad cero en este nivel el error que representa, respecto a 500 m, es como mucho de 2 ó 3 cm/s para los valores de la velocidad en la superficie, lo cual es bastante aceptable. En el caso de las estaciones B y C, se ha seguido un sistema de extrapolación para prolongar los valores de los niveles entre 100 y 300 m de la sección A-B a la sección B-C, simplificando el método propuesto por GROEN (1948) para los casos en que las superficies isobáricas intersectan con el fondo.

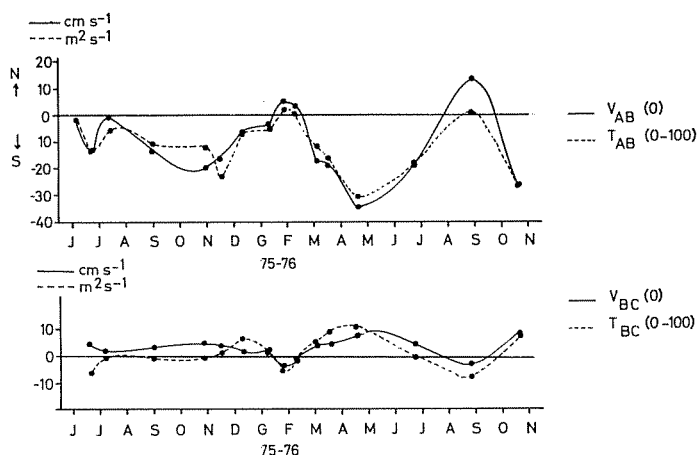


FIG. 9. Velocidad en superficie, en cm/s, y transporte en los primeros 100 m, en m²/s, para los pares de estaciones A-B y B-C desde junio de 1975 a noviembre de 1976.

Una vez calculadas las velocidades absolutas se han trazado gráficas de la variación temporal de la velocidad en superficie y del transporte de agua entre 0 y 100 m, tanto para el par de estaciones A-B como para B-C. Una primera observación de estas gráficas (fig. 9) muestra que la velocidad en el punto medio entre las estaciones A y B (aproximadamente a unos 25 km de la costa) está dirigida generalmente hacia el sur pero con unas fluctuaciones en la intensidad que parecen tener periodicidad estacional. La misma fluctuación, y casi de igual amplitud, se observa en el transporte. Entre las estaciones B y C (a unos 10 km de la costa) las velocidades son de menor intensidad y los sentidos parecen ser siempre los contrarios que en el caso anterior, con una ligera periodicidad

semestral. Este fenómeno de inversión de la dirección puede significar la existencia de un pequeño giro costero, importante por lo que significa de recirculación local, situado en el borde occidental del gran giro ciclónico del mar Catalán y ligado a las fluctuaciones de éste.

Una de las conclusiones que se deben sacar, teniendo en cuenta estos últimos resultados, es que la circulación general del mar Catalán sufre variaciones a lo largo del año. En este sentido sería interesante tomar medidas en todas las estaciones del año, y además en años sucesivos, para ver si la situación se repite de un año a otro y de qué manera las fluctuaciones están ligadas a la estación. Asimismo debería completarse la información con cálculos de la componente de la corriente debida a la acción directa del viento. Aunque en este caso las fluctuaciones van a ser mucho más rápidas e irregulares, el efecto puede ser muy importante sobre todo en épocas de vientos fuertes de dirección estable (invierno), que influirán decisivamente sobre el sistema de corrientes.

Finalmente todas estas componentes, y otras que puedan evaluarse, deberían ser validadas con medidas directas de la corriente. Estas medidas, efectuadas durante largos períodos de tiempo, son las únicas que pueden dar una imagen real de la circulación, aunque la dificultad de realizarlas hace deseable tener unas buenas determinaciones indirectas.

SUMMARY

GEOSTROPHIC CIRCULATION IN THE CATALAN SEA. — Geostrophic computations for the region limited by the Catalan coast, the Balearic Islands, meridian 5° E and parallel $42^{\circ} 30'$ N, covered by two cruises carried on in October 1976 and March 1977 on board the B/O «Cornide de Saavedra», are presented. Dynamic topographies for the surfaces of 0, 50 and 100 db, with reference level at 500 db, are given and some specific features of the circulation are commented, especially the general cyclonic gyre and the flow of Atlantic Surface Water through the channels between the islands and between them and the mainland.

In order to better understand the time variability of the circulation, the surface geostrophic velocity and the water transport computed between 0 and 100 m for two pairs of stations periodically visited during 18 months and located on a radial to the SE of Barcelona, are plotted against time, showing a dominance of the flow towards the N near the shore and the S off-shore with short term inversions of the sense of flow in February and September 1976.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLAIN, C. — 1960. Topographie dynamique et courants généraux dans le bassin occidental de la Méditerranée. *R. Trav. Inst. P. Mar.*, 24 (1): 121-145.
- ANÓNIMO. — 1978. Campaña oceanográfica Mediterráneo I. *Datos Inf. Inst. Inv. Pesq.* (en prensa).
- DEFANT, A. — 1941. Die absolute Topographie des physikalischen Meeresniveaus und der Druckflächen, sowie die Wasserbewegungen im Atlantischen Ozean. *Meteor-Werk*, 6 (2) 5: 191-260.
- GROEN, P. — 1948. Methods for estimating dynamic slopes and currents in shallow water. *J. Mar. Res.*, 7 (3): 313-316.
- LACOMBE, H. — 1965. *Cours d'Océanographie physique*, Gauthier-Villars, 392 pp.
- LACOMBE, H. et P. TCHERNIA. — 1972. Caractères hydrologiques et circulation des eaux en Méditerranée. En: *The Mediterranean Sea*. D. J. Stanley Ed.: 25-36.
- NEUMANN, G. and W. J. PIERSON. — 1966. *Principles of physical Oceanography*, Prentice-Hall Inc., 545 pp.
- SALAT, J., J. FONT y A. CRUZADO. — 1978. Datos oceanográficos frente a Barcelona. *Datos Inf. Inst. Inv. Pesq.*, 5: 1-73.
- SUAU, P. — 1978. Resultados de la campaña oceanográfica Mediterráneo II. *Ibidem* (en prensa).