

Hidrodinámica en el Mediterráneo Noroccidental

1.1.- Introducción

El Mediterráneo Noroccidental comprende la el Mar Ligur y el Golfo de León en la cuenca Liguro-Provenzal y el Mar Catalán (también conocido como Mar Balear) en la cuenca Balear. En esta parte del Mediterráneo, la plataforma continental es muy estrecha, normalmente de menos de 20Km de ancho. La única excepción es la extensa plataforma semicircular del Golfo de León (de hasta 100Km de ancho), en la cuenca Liguro-Provenzal. Tanto en el Golfo de León como en el Mar Catalán la plataforma presenta un borde exterior muy irregular debido a la presencia de numerosos cañones submarinos (figura 1). En el caso del Mar Catalán, la plataforma presenta dos fuertes intersecciones debido a la presencia de los cañones submarinos de Palamós y Blanes.

En el Golfo de León la presencia de fuertes vientos es frecuente a lo largo del año. Los vientos dominantes son los vientos de noroeste y surgen de la combinación del Mistral (NO) y la Tramontana (N) que soplan a lo largo del año siguiendo los valles entre los principales macizos montañosos de la zona: los Alpes, el Massif Central y los Pirineos. Estos vientos transportan masas de aire frío y son responsables del enfriamiento de las aguas superficiales y de la formación de aguas profundas en la zona [Millot, 1990]. Las velocidades medias son de 10-15 m/s en verano [Millot, 1990]. Por otro lado, las entradas de agua dulce en el Golfo de León provienen principalmente del río Ródano, caracterizado por un aporte medio de $1700\text{m}^3/\text{s}$ [Thill *et al.*, 2001], mientras que en el Mar Catalán el Ebro es el río más importante, con aportes alrededor de $400\text{ m}^3/\text{s}$ [Guillén & Palanques, 1997].

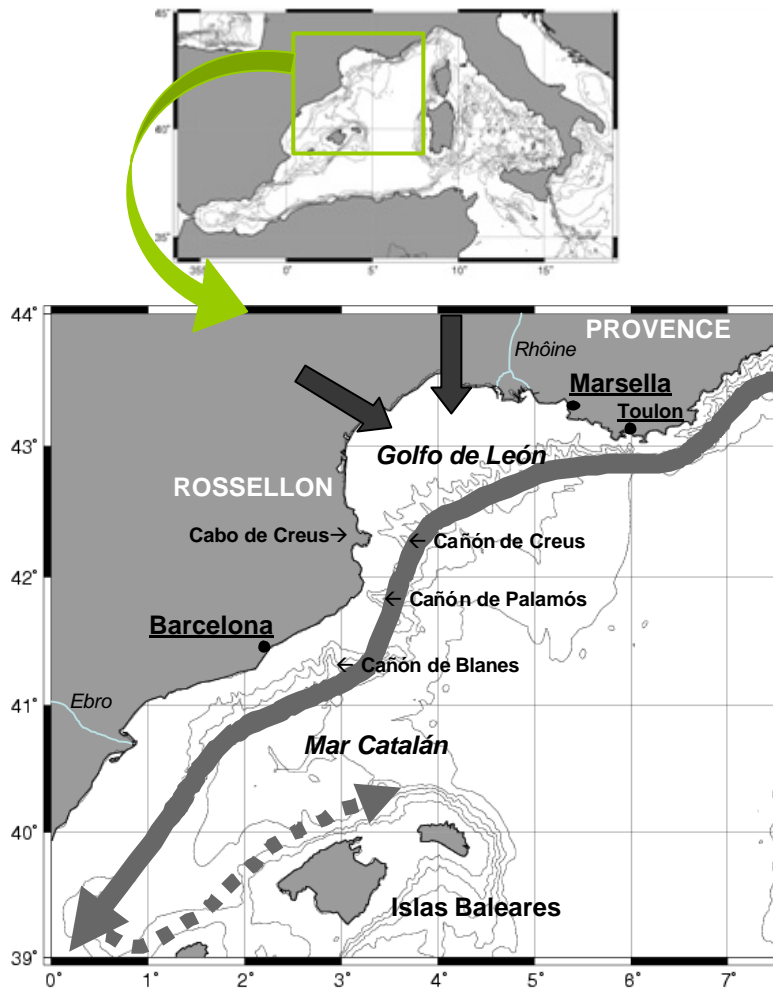


Figura 1.- Batimetría y principales características de la circulación general del Mediterráneo Noroccidental (isobatas 500, 1000, 1500, 2000 2500). En rojo y trazo continuo está representada la Corriente del Norte y en trazo discontinuo la Corriente Balear. Las flechas azules representan los vientos dominantes.

La principal característica de la circulación marina en esta zona es la presencia de una corriente intensa que bordea la irregular plataforma, dejando la costa a la derecha, desde el Mar Ligur hasta el Mar Catalán. Esta corriente es conocida como la Corriente del Norte, aunque también es denominada en ocasiones como Corriente Liguro-Provenzal o Corriente Catalana.

1.2.-La Corriente del Norte

1.2.1.- Características generales

La Corriente del Norte fluye sobre el talud continental del Mediterráneo Noroccidental, entre las isobatas de 1000 y 2000 metros, dejando la costa a la derecha y bordeando una irregular plataforma continental (figura 1). Esta corriente es de origen termohalino y forma parte de la circulación general ciclónica del Mediterráneo. La Corriente del Norte nace de la unión de las ramas este y oeste de la Corriente de Córcega, tiene una anchura de 30 a 50 Km y alcanza profundidades de 300-400 metros [Millot, 1999]. Las velocidades máximas, del orden de 30-50 cm/s, se dan en la capa superficial y en el centro de la corriente. Finalmente, la Corriente de Norte presenta un transporte asociado entre 1 y 2 Sv [Conan & Millot, 1995; Castellón et. al., 1990].

En el Golfo de León, la Corriente del Norte está reforzada por la presencia del frente de talud que separa las aguas de la plataforma (salinidades <37.5 p.s.u) influenciadas por las descargas continentales, de las aguas de mar abierto (salinidades >38 p.s.u). Además de este frente de densidades, en el Golfo de León el enfriamiento de las aguas superficiales producido por los vientos genera un frente superficial de temperaturas. Como consecuencia, en el extremo NE del Golfo de León, las aguas que transporta la Corriente del Norte desde el Mar Ligur, relativamente más cálidas, contrastan en superficie con las aguas de la plataforma, relativamente más frías.

Tras atravesar la zona del Golfo de León, la Corriente del Norte penetra en el Mar Catalán donde sigue en equilibrio geostrófico con el frente de talud, que en esta zona se denomina Frente Catalán. En superficie este frente se separa de la costa entre 28 y 55 Km y su base intersecta el talud a una profundidad de 400 m [Font et al., 1988]. Al entrar en Mar Catalán la Corriente de Norte transporta en superficie las aguas relativamente más frías y menos salinas del Golfo de León.

Aguas abajo, la Corriente del Norte fluye siguiendo el talud en dirección SO hasta llegar al norte del Canal de Ibiza, alrededor de 39°N. En este punto la corriente se bifurca, de modo que la rama principal continua hacia el SO, llevando aguas relativamente más frías y salinas hacia la Cuenca Algeriana, mientras que una rama secundaria gira en sentido ciclónico y vuelve hacia el NE, formando la Corriente Balear [Pinot et al., 2002].

La circulación en esta región del Mediterráneo engloba distintas masas de agua: AW (Atlantic Water) en superficie, WIW (Winter Intermediate Water) sólo si se ha llegado a formar en profundidades intermedias, LIW (Levantine Intermediate Water) a 600-700 metros y WMDW (Western Mediterranean Deep Water) desde 700 metros hasta el fondo [Millot, 1999].

1.2.2. - Variabilidad de mesoescala en la Corriente del Norte

El patrón descrito anteriormente refleja el promedio de una circulación que está modificada continuamente por una elevada variabilidad a diversas escalas. Estacionalmente, la Corriente del Norte presenta variaciones en intensidad, posición y estructura. En verano, la corriente es menos intensa, más ancha y menos profunda, mientras que en invierno la corriente se intensifica, alcanza mayores profundidades y se estrecha, fluyendo más cerca de la costa [Milot, 1999].

En general, la variabilidad estacional en la intensidad de la corriente parece ligada al carácter estacional de la circulación general en toda la cuenca del Mediterráneo NO [Font et al., 1995]. Por otro lado, las observaciones realizadas por Conan & Millot [1995] frente a la costa de Marsella sugieren que las variaciones estacionales en el transporte asociado a la Corriente del Norte están ligadas a los procesos de formación de aguas profundas en el Golfo de León.

Además de esta variación estacional de la Corriente del Norte, en el Golfo de León se desarrollan intensos meandros. Según las observaciones realizadas en la zona, estos meandros se caracterizan por una longitud de onda entre 10 y 100Km, una velocidad de fase de 10-20 Km/día y una amplitud del orden de unas pocas decenas de Km [Sammari *et al.* 1995]. Los meandros observados en la corriente están ligados a variaciones estacionales. En general, el meandreo disminuye en primavera-verano para volver a aumentar en otoño y presentar su máximo de actividad entrado el invierno [Sammari et al., 1995; Albérola et al., 1995 Conan & Millot, 1995]. El meandreo de la Corriente del Norte sobre el talud en la cuenca Liguro-Provenzal ha sido objeto de diversos estudios en Golfo de León, frente a las costas de Niza y Marsella.

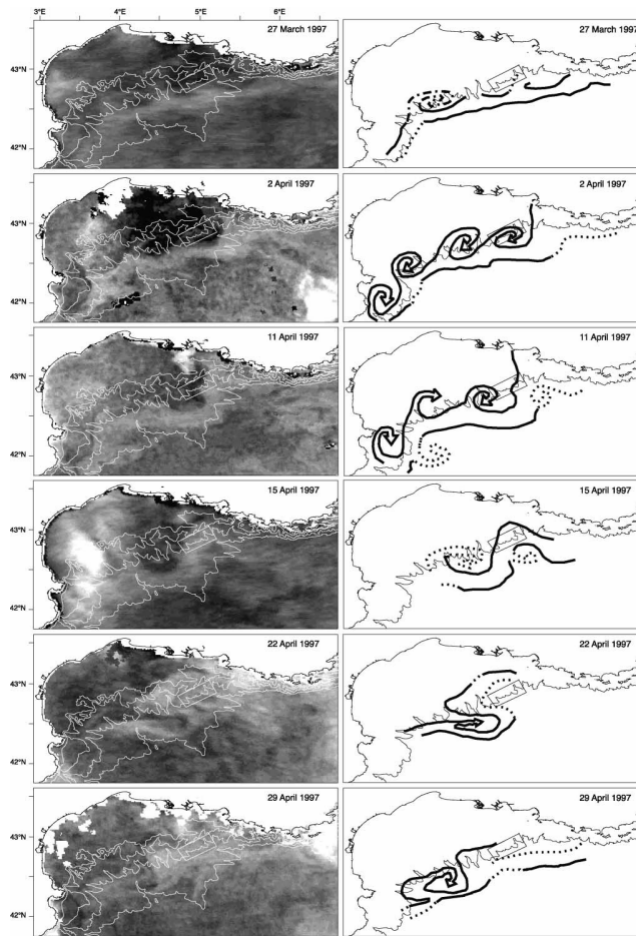


Figura 2.- Secuencia de imágenes AVHRR SST y diagramas interpretativos desde el 27 de Marzo al 29 de Abril del Golfo de León, mostrando la propagación hacia el oeste de un gran meandro sobre la parte este del Golfo de León. En las imágenes los tonos más claros corresponden a aguas más cálidas [extraído de Flexas et al., 2002]

La presencia de una elevada variabilidad en la Corriente del Norte a su entrada en el Golfo de León se ha asociado a partir de diferentes tipos de datos [Crépon et al., 1982; Gascard, 1978; Sammari et al. 1995] a procesos de inestabilidad baroclínica. Sin embargo, según Flexas *et al.* [2002] la inestabilidad baroclina explicaría sólo parte de la variabilidad que se observa en la corriente. Según los autores, mientras que la banda de 7 días (relacionada con los meandros mas largos) podría estar ligada a la inestabilidad baroclínica, la banda de 3.5 días quedaría fuera del rango de frecuencias dado por la teoría [Flexas *et al.* 2002]. Estudios más recientes, realizados a partir de un modelo de laboratorio por Flexas *et al.* [2005], sugieren que la variabilidad en la banda de 3.5 días está relacionada con procesos de inestabilidad barotrópica de la corriente que tienen lugar para determinados valores de flujo ($Ro \sim 0.15$). Como consecuencia, Flexas *et al.* [2005] proponen que variabilidad asociada a la

Corriente del Norte es el resultado de un proceso de inestabilidad mixta (barotrópica y baroclínica).

En el Mar Catalán, la variabilidad asociada a la corriente presenta las mismas características que en el Golfo de León, observándose un corto periodo de actividad intensa (noviembre a marzo) y un largo periodo de poca actividad [Font et al., 1995]. En esta zona, se observa la máxima variabilidad repartida en las bandas de 7.7 y 3 días, siendo la primera de ellas la dominante [Font et al., 1995]. De la comparación de datos de vientos y corrientes, se deduce que en esta zona, la actividad de mesoescala parece estar mucho más ligada a la evolución del frente de talud que a la variabilidad del viento local [Font, 1990].

1.3.-Circulación sobre la plataforma continental

Desde el punto de vista de la dinámica, la plataforma continental es una región muy compleja. En el caso del Golfo de León, fenómenos como la formación de aguas profundas, la variación estacional de la estratificación y procesos relacionados con golpes de viento como up- y downwellings costeros, corrientes oscilatorias y ondas inerciales internas son responsables de una alta variabilidad [Milot, 1999].

En esta zona, una gran parte de la variabilidad observada sobre la plataforma está relacionada con el efecto directo e indirecto de los vientos [Milot, 1990]. Como hemos explicado, los vientos de componente noroeste (combinación de vientos de Mistral y Tramontana) están presentes todo el año, provocando importantes desplazamientos de las aguas sobre la plataforma. A gran escala, los eventos de N-NO inducen un desplazamiento de las aguas superficiales de la parte NE hacia la parte SO de modo que se da una tendencia al afloramiento o upwelling en la primera zona, y a la subsidencia o downwelling en la segunda. A menor escala, se observa (figura 3) la aparición de puntos discretos de upwelling frente a las costas de Provence, Camargue y Langedoc y de downwelling frente a las costas de Rosellón [Milot, 1990].

Estos fenómenos de upwelling y downwelling presentan una variabilidad temporal elevada, dependiendo de las variaciones en intensidad del viento. Se ha observado que en los puntos de afloramiento, la temperatura decrece a una velocidad de 5°/día durante un golpe de viento y que el fenómeno desaparece días después de que éste haya cesado [Milot, 1990].

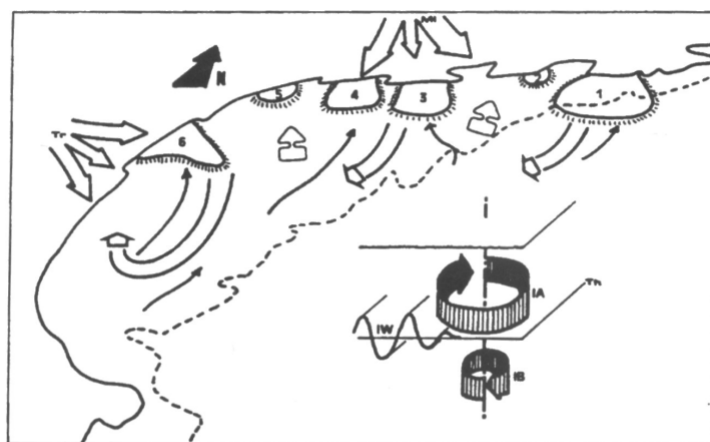


Fig. 2. Schematic representation of the phenomena induced by the winds (Mi, Mistral; Tr, Tramontane): the six upwelling zones (1-6), the horizontal circulations in the surface (obvious: \rightarrow , more or less hypothetical: \curvearrowright) and bottom (\uparrow) layers, the out of phase oscillatory currents in the layers above (IA) and below (IB) the thermocline (Th) and the internal waves (IW) at the inertial period.

Figura3.- Esquema de los fenómenos inducidos por el viento sobre la plataforma del Golfo de León, donde se representan las distintas zonas de upwelling [extraído de Millot, 1990]

El viento produce además circulaciones horizontales en superficie asociadas a los afloramientos. En la parte sudoeste del Golfo de León (Rosellón) se observan circulaciones anticiclónicas inducidas por la Tramontana, siendo probable que otras circulaciones anticiclónicas se produzcan entre las otras células de afloramiento costero [Millot, 1990]. Por otro lado, se ha observado a partir del análisis de imágenes SST el desarrollo de patrones anticiclónicos en las zonas de Rosellón y Languedoc, asociados a fenómenos de afloramiento costero tras un evento de Mistral [Arnau, 2000]. Según los resultados numéricos obtenidos por Estournel et al. [2003] en el Golfo de León, el rotacional del viento ligado a la orografía de la zona controla la dirección de las corrientes costeras, genera upwellings e induce la formación de vórtices sobre la plataforma.

Por otro lado, en el Mar Catalán la variabilidad en la plataforma (que, como hemos mencionado anteriormente es mucho más estrecha y está sometida a un régimen de vientos más suave) está principalmente ligada a la evolución del frente de plataforma/talud [Font *et al.*, 1990]. Este frente presenta una gran variabilidad y hay evidencias de que sufre migraciones horizontales y verticales [Masó et al. 1998]. Al norte del Mar Catalán, el frente está asociado a la pluma de agua fría y poco salina proveniente de la plataforma del Golfo de León. La extensión y localización de esta pluma es altamente variable a lo largo del año. En ocasiones, asociados a ésta se ha observado la formación de filamentos energéticos y remolinos de rápida evolución [La Violette et al. 1990].

Text extret del CAPITOL I de la Tesis Doctoral d'Anna Rubio Company: Remolinos de mesoescala en el mediterráneo noroccidental: Generación y evolución. 2006