

## **SISTEMAS FRONTALES COSTEROS DEL GOLFO DE VIZCAYA DETECTADOS MEDIANTE RADIOMETRIA INFRARROJA (NOAA)**

**Javier URRUTIA y Carlos GARCIA-SOTO**  
Instituto para la Ciencia y Tecnología de la Oceanografía, Pesca y Alimentación (AZTI-SIO). Avda. Satrustegui, 8. 20008 SAN SEBASTIAN

### **RESUMEN**

El estudio de una serie de diez años (1980-1989) de imágenes infrarrojas AVHRR ha permitido observar la presencia y evolución de algunos eventos oceanográficos del Golfo de Vizcaya. Se analizan en este trabajo aquéllos de carácter costero que se constituyen en un fenómeno persistente y reiterativo anualmente: el frente costero Cantábrico y el frente costero francés.

Se presentan asimismo los mecanismos que participan en su formación y la correspondencia entre la imagen infrarroja con su estructura oceánica subsuperficial, a partir de una revisión de diversos trabajos de oceanografía clásica.

**Palabras clave:** AVHRR-NOAA, Frentes costeros, Golfo de Vizcaya, Variabilidad temporal.

### **ABSTRACT**

The study of a ten year series (1980-1989) of infrared AVHRR images allows the observation of the presence and evolution of some oceanographic features in the Bay of Biscay. In this work those coastal features which constitute a yearly persistent and repetitive event have been analyzed: the Cantabrian coastal front and the French coastal front.

The mechanism which contribute to their development as well as the correspondence between the remote infrared image and its subsurface oceanic structure, based on different classic oceanographic work, are also mentioned.

**Key words:** AVHRR-NOAA, Coastal fronts, Bay of Biscay, Temporal variability.

## **1. INTRODUCCION**

Las observaciones proporcionadas de forma continuada por el sensor AVHRR de la serie NOAA constituyen una estimable, aunque aún breve, serie temporal que se han comparado en dos trabajos con los resultados conocidos a través de la oceanografía tradicional. En un primer trabajo (Urrutia y García Soto, en este mismo volumen), se analizaron los eventos de carácter más oceánico y se presentó una pequeña introducción sobre aspectos relevantes de geomorfología, corrientes y ciclo hidrográfico anual del Golfo de Vizcaya. A este trabajo nos remitimos también en este estudio, centrado en los eventos costeros.

## **2. MATERIAL Y METODOS**

Se ha utilizado dos diferentes series históricas de información radiométrica, ambas producidas a partir del sensor AVHRR de la serie NOAA. Por un lado los extractos de temperaturas superficiales y frentes térmicos del período 1980-1989 que mensualmente facilita la estación de meteorología espacial de Lannion (Francia). La segunda fuente son imágenes de primera generación procesadas por la Universidad de Dundee (Escocia) durante los años 1987-1989. La información oceanográfica corresponde a diversas campañas realizadas en las áreas y épocas en las que se ha dispuesto de información de satélite todas ellas referenciadas en la Bibliografía.

### 3. EVENTOS COSTEROS MAS DESTACABLES

La figura 3 del trabajo de Urrutia y García Soto (en este mismo volumen), expone la evolución de los fenómenos tanto oceánicos como costeros durante el año 1987 y se presenta a modo de resumen generalizado de la serie.

#### 3.1. FRENTE COSTERO CANTABRICO

Durante los meses de invierno, cuando las aguas superficiales se encuentran homogeneizadas, la radiometría de satélite manifiesta la presencia de un frente no intenso en la costa Cantábrica, cuya característica consiste en situar las aguas más cálidas próximas a la costa (figura 4). La persistencia y alcance del frente es muy variable: en el año 1989, por ejemplo, el frente llegaba desde Galicia a Asturias, en enero, mientras en febrero se extendía hasta Santander y en marzo alcanzaba todo el Cantábrico. Cuando no existe el frente las aguas se encuentran homogeneizadas hasta el mes de julio.

Durante los meses de verano y principios del otoño se observa la formación de una banda fría de intensidad y extensión variable a lo largo de la costa Cantábrica. Por lo general, se extiende desde Cabo Peñas hasta Galicia, pudiendo originarse también desde Santander o Vizcaya (figura 5). Otras veces, se presente en forma de manchas o penachos, generalmente asociados a los cabos más notables, en un mecanismo de afloramiento de obstrucción (Kennett, 1982). Es de destacar la notable asociación de esta banda fría con vientos del Este, comprobando la relación de la frecuencia de los vientos con el gradiente térmico (de hasta 3°C en 5 km) y por consiguiente con una circulación general del agua de Este a Oeste. Este proceso desarrolla un mecanismo complementario de transporte perpendicular a la costa que dispersa las aguas frías del frente mediante el desarrollo de remolinos que derivan hacia el centro del Golfo. Aparentemente el conjunto de mecanismos observados presenta una elevada similitud al de los afloramientos. Pueden compararse con lo expuesto para el afloramiento sahariano de la corriente de Canarias, (Hernández Guerra et al., en este mismo volumen).

Este afloramiento se identificó a través de estudios hidrográficos realizados en el entorno de Cabo Peñas, Asturias (Botas et al., 1990). La figura 4 manifiesta la presencia de un mecanismo de afloramiento que genera la elevación de la termoclina a la superficie y su ocasional ruptura, con la consiguiente formación de un frente costero. Las aguas costeras más frías presentan una elevación de la concentración de los nutrientes hasta la capa bien iluminada, lo cual ocasiona un notable incremento de la clorofila. Contrasta esta explosión de los productores primarios en las aguas cercanas a la costa con la escasez fitoplanctónica de las aguas más oceánicas debido a la regular disminución de nutrientes en la capa fótica.

Fraga y colaboradores (1987) también han descrito la presencia de una franja costera de dimensiones equivalentes a las del frente detectado por el sensor AVHRR con elevada concentración de clorofila en las aguas superficiales, desde Cabo Peñas hasta Galicia (figura 7).

Así como la presencia del frente frío costero es una constante para la época de fin de verano y principio de otoño, en los meses posteriores existe una marcada variabilidad interanual, observándose la persistencia de dicho frente, más o menos extendido, así como su extinción total o la formación del frente similar de gradiente inverso que permanecerá parte del invierno.

#### 3.2. FRENTE COSTERO FRANCES

La radiometría mediante satélite ha revelado la presencia de un frente térmico superficial que evoluciona con un ritmo estacional relativamente regular. Las isotermas se disponen paralelas a la costa durante los meses de invierno y perpendiculares a ella en los meses de verano y otoño (Hemery y Wald, 1986). Como consecuencia de ello, en los meses invernales se presenta en aguas de la plataforma continental una banda fría cercana a la costa que se expande lateralmente en su sección Norte, siguiendo la morfología de la plataforma. El gradiente llega a ser intenso, de 3°C en 5 km (figura 3).

El frente, en sus fases más destacadas se encuentra asociado a un descenso en la salinidad (Morín et al., 1985). Esta consideración junto con la disposición geográfica de los aportes fluviales más relevantes, el Loira y la Gironde, nos permite considerar con relativa certeza que los vertidos continentales constituyen una componente importante del frente costero francés.

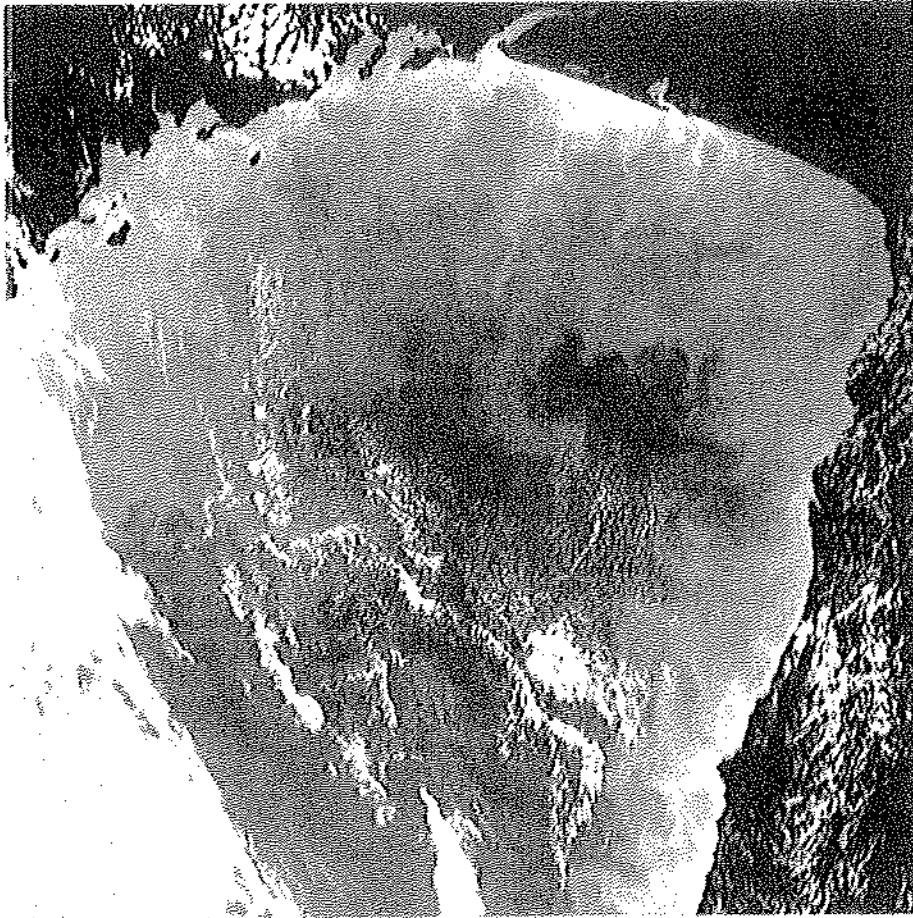


Figura 5.— 12 de Octubre de 1989. AVHRR-NOAA 11. (Estación de satélites, Universidad de Dundee). Afloramiento cantábrico y Frente costero francés.



Figura 4.— 28 de Diciembre de 1989. AVHRR-NOAA 10. (Estación de satélites, Universidad de Dundee). Frente costero cantábrico invertido.

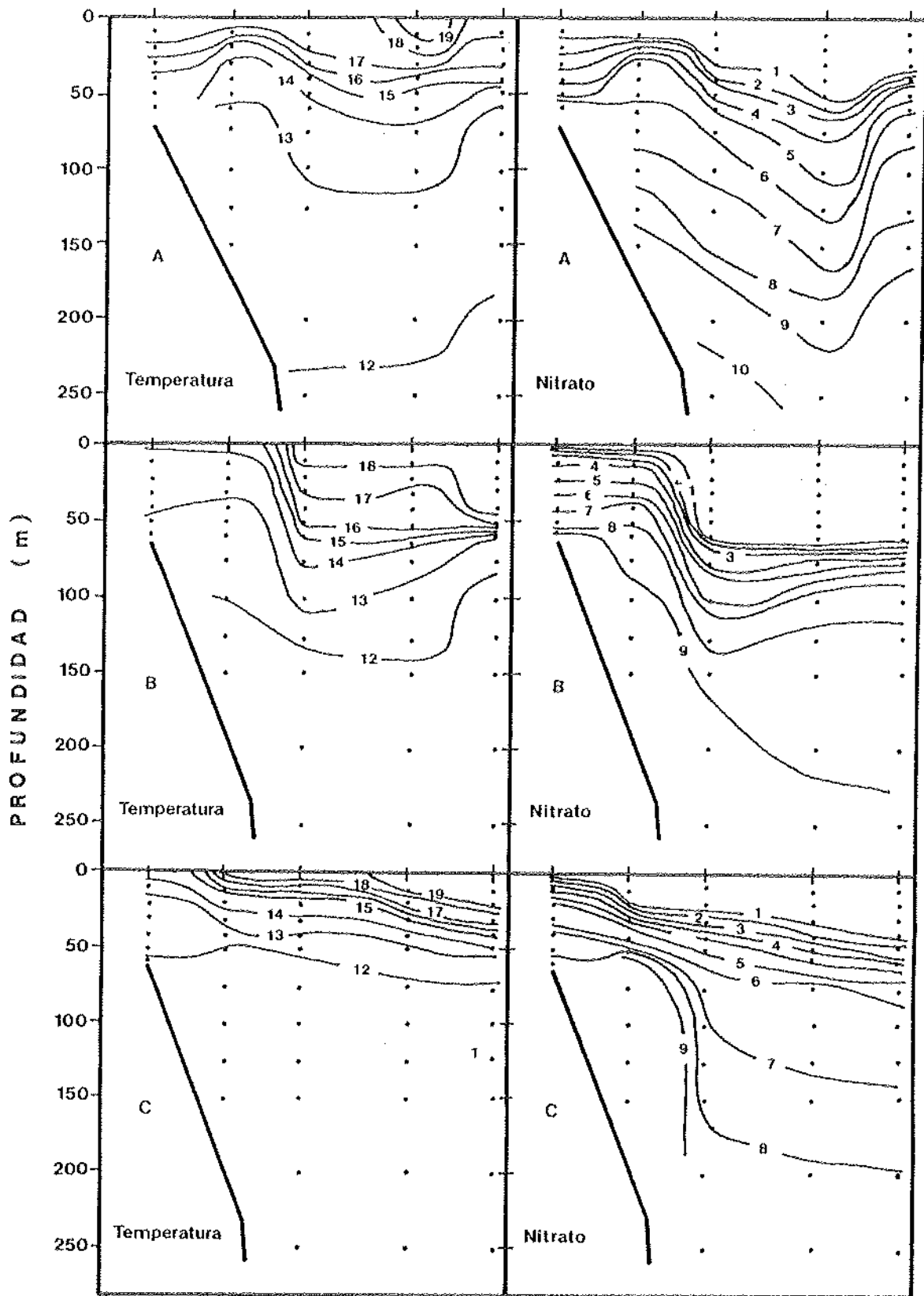


Figura 6.— Perfil vertical de temperatura y nitrato frente a: (A) Ría de Pontevedra; (B) Cabo Prior; (C) Cabo Vido, en Septiembre de 1986. (Fraga et al., 1987).

El mes de abril representa un cambio en la estructura del frente: en la parte más meridional de la Plataforma continental se inicia un calentamiento que da como consecuencia la formación de una franja cálida que se puede extender hasta una latitud por encima de la desembocadura de la Gironde. Este proceso comienza ya en el mes de abril, en los años 1985 y 1988 y persiste en junio de 1985.

La inversión del frente en su sector sur durante el mes de mayo, es una constante en toda la serie analizada, observando una coincidencia en el área y el momento de máxima puesta de huevos de anchoa (figura 8).

A partir de junio y hasta septiembre, se produce un calentamiento general de las aguas más interiores del Golfo por lo que el frente frío se fragmenta, permaneciendo penachos y restos pegados a la costa, fundamentalmente en la desembocadura de los ríos ya mencionados y en las costas de Bretaña. Esta última sección del frente se encuentra íntimamente asociada, durante todo el año, al frente de Ushant, o frente de marea del Canal de la Mancha.

A partir del mes de octubre se empieza a reconstituir el frente, con distinta intensidad y extensión cada año: generalmente se establece desde el Norte hacia el Sur. Por esta época, el frente es continuo hasta la desembocadura del Garona. Llegando, en noviembre, al nivel de Arcachón y hasta el límite sur en diciembre. En esta última situación suele enlazar con el frente Cantábrico, produciéndose una franja fría continua en todo el margen continental del Golfo de Vizcaya (figura 5). La evolución del frente en la época otoñal es muy variable interanualmente, debido, sobre todo, a la notable influencia de los vientos locales en su sector meridional. Como consecuencia se producen fenómenos de borde entre el frente frío recién constituido y la masa cálida que se extingue con la ruptura de la termoclina. De ello resulta la intrusión de una lengua de agua fría en la masa cálida residual o un frente invertido, cálido en proximidad a la costa y frío hacia el mar.

Los estudios oceanográficos realizados en aguas del frente de Bretaña revelan algunos mecanismos que se pueden entender como básicos en relación con la evolución del frente, tal como lo observa el satélite.

En primer lugar se constata la importancia de las corrientes de marea, cuya intensidad llega a ser un factor relevante en la estructura de la columna de agua y su variación en el ciclo anual (Le Fevre, 1986). Donde la energía de disipación es elevada prevalecen los mecanismos de mezcla y homogeneización, frente a factores de estratificación como el calentamiento estival superficial y los vertidos fluviales. Lo contrario acontece con las corrientes de marea débiles ya que dan pie al establecimiento de gradientes verticales térmicos o halinos (Le Magueresse, 1974).

En segundo lugar, la estructura general del frente se ha de mantener como consecuencia de una doble circulación: una longitudinal, paralela a la costa, situada al exterior del frente en aguas térmicamente estratificadas y otra transversal, cercana a la costa, en aguas homogeneizadas y más frías. El frente se constituye así en una superficie de convergencia, mientras que, regularmente, en el área bien mezclada se establece una divergencia (Simpson, 1981 según Le Fevre, 1986). Es frecuente encontrar en la superficie de convergencia acumulaciones de flotantes como plancton, huevos de peces (Grall, 1971) y objetos a la deriva. Su estructura en profundidad está íntimamente ligada a la dinámica anual de la hidrografía, como se menciona anteriormente.

El tercer elemento de referencia se define por el asentamiento de un burlete (denominado "bourrelet" en francés) en aguas de 30 a 100 m de profundidad bajo una temprana termoclina, el cual queda aislado de posibles intercambios verticales hasta la homogeneización térmica invernal (Vincent y Kurc, 1969a y 1969b; Le Cann, 1982).

Se encuentra íntimamente relacionado con aguas del mar Célico, aunque se extiende todo a lo largo de la plataforma hasta la costa landesa, manteniendo sus características (Vincent, y Kurc, 1969a) con un núcleo próximo a los 11°C. La sección Este o costera del burlete presenta un gradiente más acusado que la oceánica. Este gradiente costero es la semejanza más permanente entre la estructura de superficie y de fondo.

En los meses de invierno las aguas están totalmente mezcladas por lo que la estructura superficial que revela el satélite se ve correspondida con bastante exactitud en toda la columna de agua (Kurc, 1969; Vincent y Kurc, 1969 a, 1969b). Por consiguiente, el frente superficial muestra un gradiente térmico creciente hacia el mar semejante al del fondo, aunque más drástico por la influencia fluvial. El resto del año, el gradiente de fondo es positivo del talud hacia la costa. Las aguas próximas al talud permanecen entre 11° y 12°C, mientras que las más costeras sufren más mezcla vertical y varían desde 12° ó 13°C, en primavera, hasta 16°C, en otoño. No existe una analogía con la capa superficial en la que, en general, el frente frío manifiesta un gradiente positivo hacia mar abierto, con las siguientes excepciones: la sección más meridional, en mayo y otoño, manifiesta un frente cálido costero cuyo gradiente decrece hacia mar abierto.

En otoño de 1967 y 1968 se revela una estructura que comprende desde la superficie al fondo: una lengua de agua cálida avanza próxima a la costa, desde el Sur hasta la costa Bretona, (Vincent y Kurc, 1969b). Esta mezcla vertical contrasta con la presencia del burlete en aguas de profundidad media 100 m que sigue reteniendo las condiciones de Invierno (figura 10).

Según manifiestan algunos autores (Le Fevre et al., 1983; Lode y Platt, 1985; Pingree, 1975; Morín et al., 1985), el burlete actúa manteniendo las características invernales, reteniendo elevadas concentraciones de nutrientes. Los procesos de mareas vivas-muertas parece revelarse como un mecanismo por el que se liberan nutrientes desde el burlete hacia el borde del sistema frontal superficial, lo cual evidencia notables repercusiones biológicas (Le Fevre, 1983).

Por consiguiente, existen algunas analogías entre la estructura superficial y de fondo, pero además, se detecta como estructura fundamental de fondo el burlete que permanece la mayor parte del año y que no revela ninguna expresión térmica en superficie. Le Cann (1982) identifica las óptimas condiciones para la génesis y persistencia de este burlete correspondiendo a áreas con máximos valores de estratificación, donde la termoclina estacional se desarrolla tempranamente resguardando el agua de fondo de los intercambios verticales. Por otro lado, en las áreas adyacentes se produce una fuerte mezcla vertical y el calentamiento primaveral afecta a toda la columna de agua que se manifiesta en las imágenes del satélite.

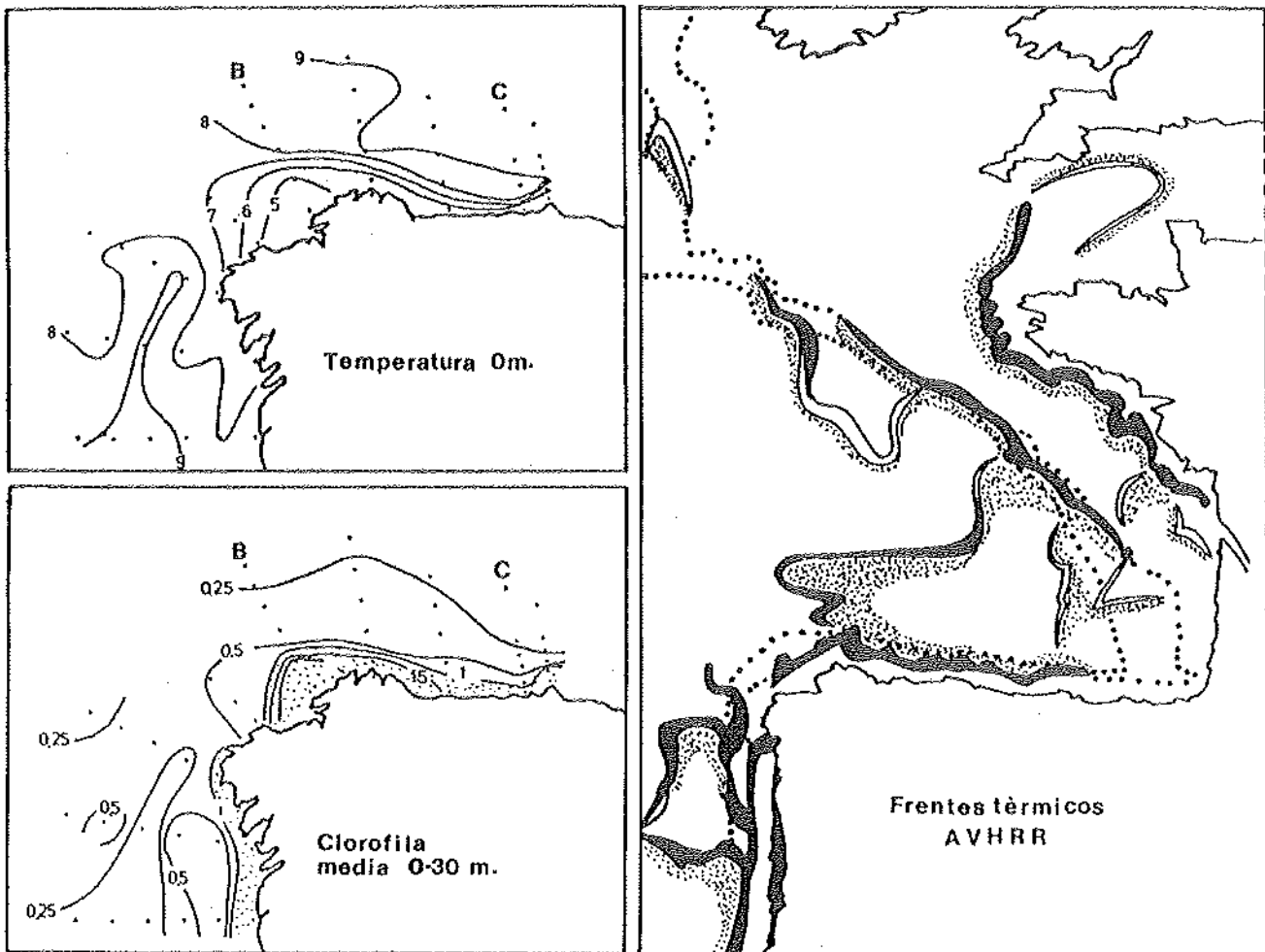


Figura 7.— a) Concentración de clorofila y temperatura superficial en el afloramiento cantábrico en septiembre de 1986. B: Cabo Prior; C: Cabo Vidio. (Fraga, et al 1987).  
 b) Frentes térmicos del Golfo en septiembre de 1986. (Elaborado a partir de SATMER).

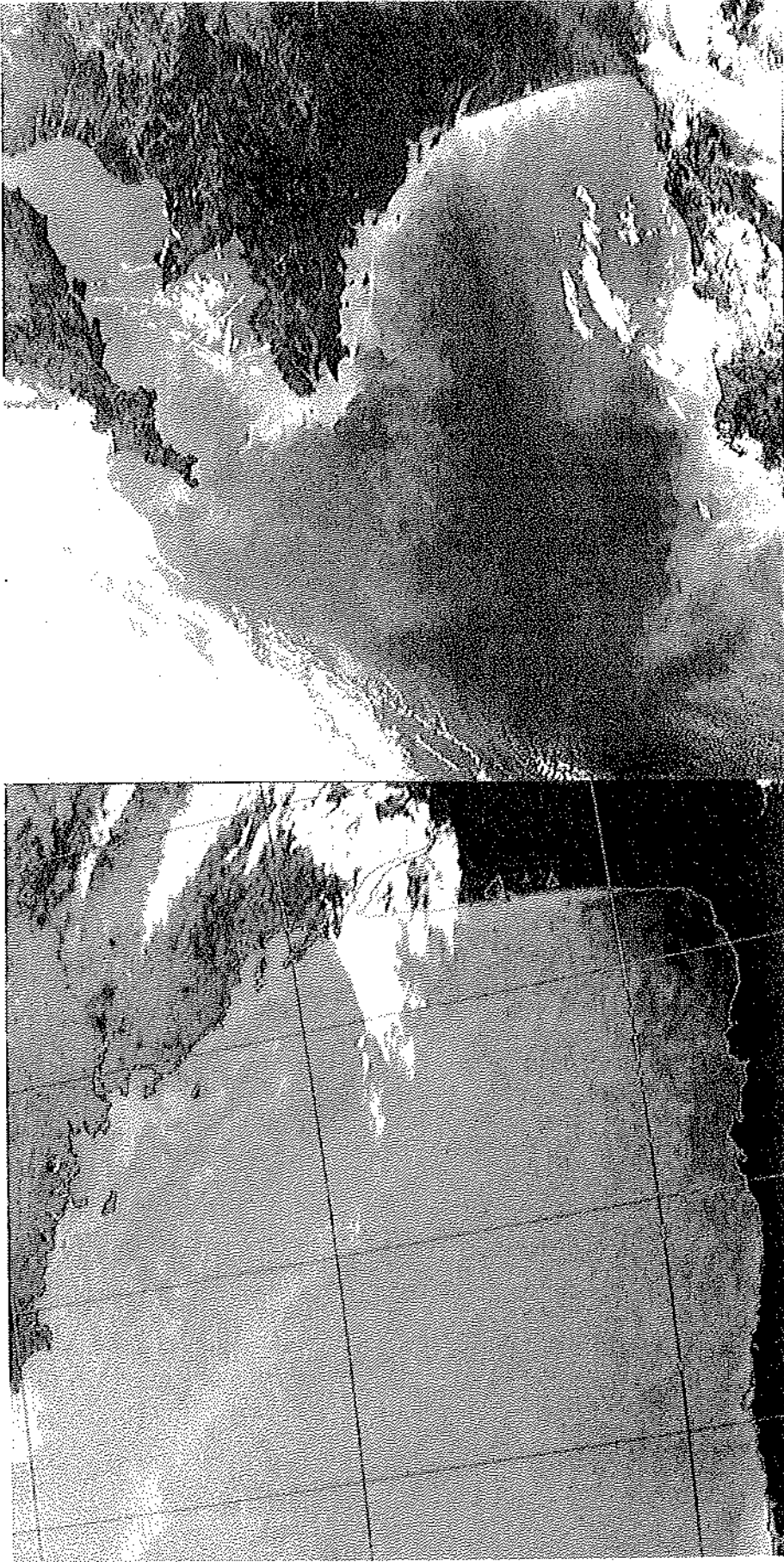


Figura 8.— 7 de Mayo de 1989. AVHRR-NOAA.10. (Estación de satélites, Universidad de Dundee). Comienzo de la inversión del frente costero francés en el sector SO del Golfo.

Figura 9.— 7 de Septiembre de 1989. AVHRR-NOAA.10. (Estación de satélites, Universidad de Dundee). Frente al NO de Galicia.





## BIBLIOGRAFIA

- Botas, J.A., et al. 1990. A persistent upwelling of the Central Cantabrian coast (Bay of Biscay). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. 30.
- Fraga, F. et al., 1987. Campaña Galicia IX Oceánica, datos básicos. **Datos informativos del Instituto de Investigaciones Marinas**. 20: 1-148.
- Grall, J.R. Le Févre-Lehoërff, G. y Le Févre, J. 1971. Observations sur la distribution du plancton à proximité d'Ouessant en Juin 1969 et ses relations avec le milieu physique. **Cahiers Océanographiques**. 23: 145-170.
- Hemery, G. y Wald, L. 1986. Etude des fronts de marée et des déplacements des masses d'eau sur les côtes atlantiques françaises et en Manche occidentale. **Rapport final de Convention. C.R.B.P.O./M.E.R.** n° 82. 2040. Paris. 17.
- Kennet, J.1982. **Marine Geology**. Ed. Prentice Hall. New York. 813 pp.
- Kurk, G. 1969. La biologie et la pêche des sardines en relation avec l'hydrologie. **Science et Pêche**. 178: 1-14.
- Le Cann, B. 1982. **Evolution annuelle de la structure hydrologique du plateau continental au Sud de la Bretagne: Modélisation numérique**. Thèse de Docteur Ingenieur. Université de Bretagne Occidentale. Brest.
- Le Févre, J. et al. 1983. The pelagic ecosystem in frontal zones and other environments off the west coast of Brittany. **Proceedings of the 17th European Marine Biology Symposium**. pp. 125-129.
- Le Févre, J. 1986. Aspects of the biology of frontal systems. **Advances in Marine Biology** 23: 163-299.
- Le Magueresse, A. 1974. **La structure thermique sur le plateau continental dans le secteur Ouest-Bretagne, son évolution annuelle et quelques aspects de sa variabilité dans une zone frontale**. Thèse de Doctorat de Spécialité. Université de Bretagne Occidentale. Brest.
- Loder, J.W. y Platt, T. 1985. Physical controls on phytoplankton production at tidal fronts. **Proceedings of the 19th European Marine Biology Symposium**. pp. 3-21.
- Morin, P., Le Corre, P y Le Févre, J. 1985. Assimilation and regeneration of nutrients off the West Coast of Brittany. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**. 65: 677-695.
- Vincent, A. y Kurk, G. 1969a. Hidrologie: variations saisonnières de la situation thermique du Golfe de Gascogne en 1967. **Revue des Travaux de l'Institut des Pêches maritimes**. 33: 76-96.
- Vincent, A. y Kurk, G. 1969b. Les variations de la situation thermique dans Le Golfe de Gascogne et leur incidence sur la pêche de la sardine en 1968. **Revue des Travaux de l'Institut des Pêches maritimes** 33: 203-212.

