

Afloramientos de agua fría (*upwelling*) en el Cantábrico y su relación con la dinámica atmosférica

DOMINGO RASILLA (*); FELIPE FERNÁNDEZ (*)

RESUMEN La relación entre la dinámica marina y la atmosférica es difícil de analizar a causa de su diferente variabilidad espacial y temporal. Uno de los ejemplos mejor conocidos son los afloramientos de aguas procedentes del fondo del mar (*upwelling*), asociados a circulaciones atmosféricas paralelas a la costa. Mediante la teledetección y el análisis de las variables meteorológicas de observatorios ubicados en el litoral cantábrico se estudia la aparición y evolución de uno de estos afloramientos en la costa septentrional de la Península Ibérica, cuyas condiciones climáticas estivales dependen estrechamente de la temperatura del mar.

UPWELLING PHENOMENA OF THE CANTABRIC SEA AND ITS RELATIONSHIP WITH THE ATMOSPHERIC DYNAMIC

ABSTRACT *The relationship between marine and atmospheric dynamics is difficult to analyze because their different spatial and temporal variability. One of the best known examples is the rising of cold water from the bottom of the sea (upwelling), related to atmospheric circulations parallel to the coast. Remote sensing combined with the analysis of the evolution of daily climatic variables in several meteorological observatories along the cantabric seaboard has permitted to follow the development and evolution of one of such phenomenon in the northern coast of the Iberian Peninsula, whose summertime climate is strongly dependent of the sea surface temperatures.*

Palabras clave: Afloramiento de aguas marinas; Teledetección; Mar Cantábrico.

1. INTRODUCCIÓN

El clima del litoral Cantábrico presenta una serie de rasgos característicos, especialmente durante el verano, como cambios de la temperatura del mar acompañados de nieblas litorales de advección, y precipitaciones intensas de carácter tormentoso. Una de estas situaciones tuvo lugar en agosto de 1995, fecha en la que los bañistas asturianos percibieron un brusco enfriamiento del mar, y algunas playas, como la de S. Lorenzo, en Gijón, aparecieron cubiertas por una espesa capa de algas.

En las notas que siguen estudiamos este episodio a partir del análisis de datos meteorológicos de observatorios de la zona y de imágenes procedentes del satélite NOAA 13. Con ello pretendemos evaluar la interrelación existente entre la dinámica atmosférica y la marina a escala regional y sus modificaciones a escala local.

2. LA DINÁMICA DEL MAR CANTÁBRICO

Aunque dependiente de la dinámica de las corrientes marinas en el Atlántico N (es bien conocida la templanza de las costas europeas con relación a sus homólogas en Canadá o EEUU), el litoral Cantábrico es relativamente autónomo, con la particularidad de mostrar en

invierno una circulación del W y otra del E en verano. La Corriente del Golfo se escinde cerca del litoral irlandés en varios brazos, uno de los cuales, el "Ramal de Rennell", pone rumbo hacia latitudes meridionales, y al llegar al NW de Galicia se fragmenta de nuevo: mientras un tramo bordea la costa occidental de la Península Ibérica, otro se desvía hacia el E y continúa a lo largo de la costa hasta el Golfo de Vizcaya; vira luego hacia el N y remonta la costa francesa. En su recorrido la corriente discurre con bastante regularidad y claro rumbo W-E desde los cabos Busto y Torres (Asturias), pero a partir del Oriente de Asturias se fragmenta en torbellinos de menor tamaño (ARTECHE, 1991; VALLE, 1992). Estos torbellinos se convierten ocasionalmente en auténticas contracorrientes si las condiciones atmosféricas son propicias a la acumulación de agua por el impulso de los vientos, como ocurre fundamentalmente en verano, dada la alta frecuencia de vientos de componente E y NE en la mitad occidental del Cantábrico (fig. 1). El ascenso latitudinal de la circulación subtropical desplaza al anticiclón de las Azores hacia los 40-45° N de latitud y, como consecuencia de la estabilidad aerológica, las diferencias térmicas tierra-mar adquieren su máxima intensidad, generando circulaciones locales que dirigen aire marítimo hacia el interior (brisas marinas), aunque la dirección predominante es variable: en el País Vasco se confunden con las circulaciones sinópticas (4º cuadrante), chocando frontalmente con los relieves de la divisoria, mientras en Asturias y Cantabria pertenecen al 1º ó 2º,

(*) Departamento de Geografía. Universidad Autónoma de Madrid.

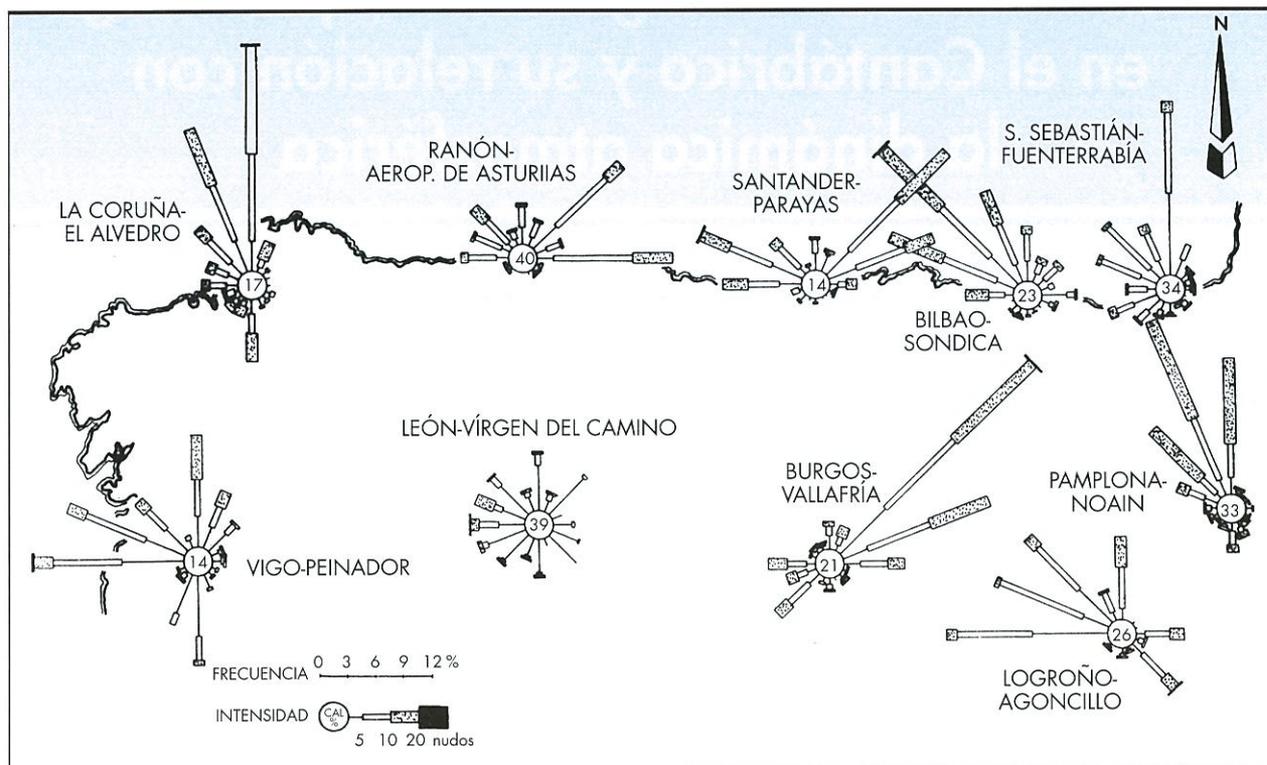


FIGURA 1. Frecuencia y dirección del viento. Julio.

soplando paralelas al litoral (FERNÁNDEZ GARCÍA y RASILLA, 1992).

Consecuencia de lo anterior es la formación de dos áreas térmicamente diferenciadas en la superficie del Cantábrico: una fría frente a las costas gallegas y otra cálida en el golfo de Vizcaya.

2.1. EL ASCENSO DE AGUAS FRÍAS (UPWELLING) FRENTE A LA COSTA GALLEGA

Las bajas temperaturas relativas del mar en el litoral gallego es una manifestación del conocido fenómeno de "upwelling", utilizado internacionalmente para denominar las ascendencias de agua fría cerca de las costas. Es típico de las fachadas occidentales de las áreas subtropicales, ligado a los anticiclones semipermanentes que cubren estos sectores, aunque en otras áreas, especialmente en torno al Ecuador, se manifiesta el mismo proceso mar adentro. Se ha intentado explicar mediante diversas teorías que hacen intervenir al viento, la topografía del fondo marino o cierto tipo de ondas internas. La más aceptada es la de Svedrup, según la cual las corrientes marinas se ven sometidas a un movimiento equivalente al de la "espiral de Eckmann" cuando son arrastradas por vientos constantes y desviadas unos 30° hacia la derecha de su trayectoria, mar adentro; su lugar es ocupado por aguas frías procedentes del fondo del mar (MARZOL, 1987).

Los mecanismos son bastante complejos dado que son los vientos los que inician el proceso, pero queda por establecer la relación entre su fuerza y persistencia con la intensidad del afloramiento. Además, algunos fenómenos climáticos a escala hemisférica tienen gran repercusión en costas con presencia de "upwelling"; el más cono-

cido es el fenómeno de "El Niño", interrupción del afloramiento situado frente a las costas peruanas a causa de variaciones en la intensidad y fase de la Southern Oscillation.

En las costas peninsulares un claro ejemplo de "upwelling" es el que se produce en las costas gallegas entre el Cabo de Finisterre y Punta Runcudo: el proceso se inicia en mayo, alcanza su máxima intensidad entre julio y septiembre y desaparece en octubre (FRAGA, 1981; MOLINA, 1972). No es un fenómeno local, sino la manifestación más septentrional de un "upwelling" generalizado que se extiende desde las costas gallegas hasta el Trópico de Cáncer (fig. 2). Sus variaciones estacionales en intensidad coinciden con el movimiento anual del cinturón de altas presiones atlánticas: en verano se sitúa por encima del paralelo 40° N y dirige por su flanco oriental vientos de componente N, paralelos a la costa gallega y portuguesa (ALCOFORADO, 1992; MOUNIER, 1977); en invierno, al retirarse hacia el S, los vientos dominantes pasan a ser del SW y W, empujando las aguas cálidas superficiales hacia la costa occidental de la Península Ibérica.

2.2. LA ACUMULACIÓN DE AGUAS CÁLIDAS EN EL GOLFO DE VIZCAYA

Respecto a su origen, una primera hipótesis señalaba que por debajo de la citada corriente superficial del N que bordea la costa galaico-portuguesa (North Atlantic Central Water, —NACW—) se desarrollaba una contracorriente cálida procedente del Golfo de Cadiz (Mediterranean Water, —MC—), que alcanzaría las costas vascofrancesas a fines de la primavera y quedaría aislada durante el verano. Más aceptada es la que atribuye esa

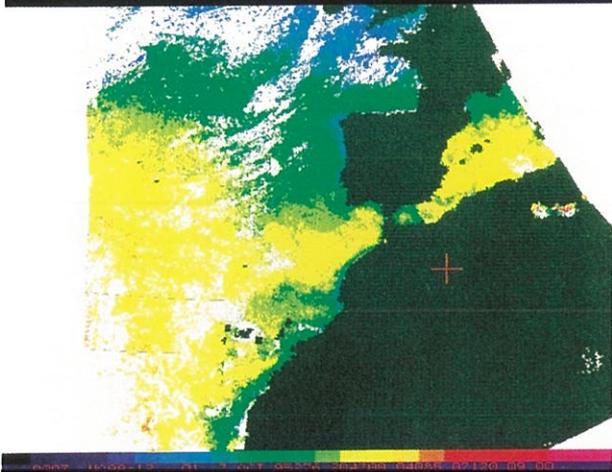
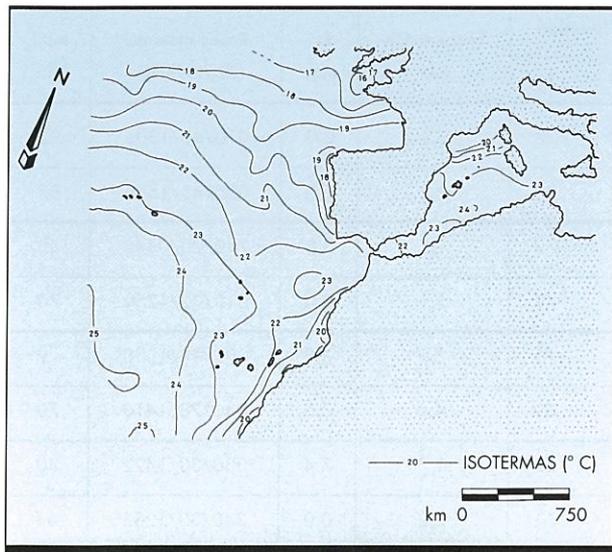
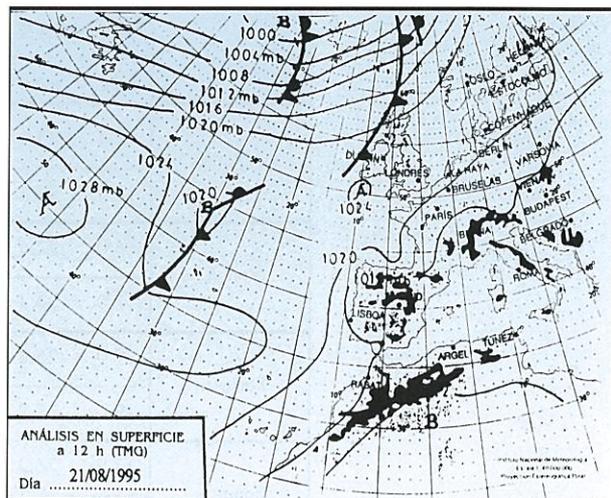


FIGURA 2. Termografía e isothermas superficiales del Océano Atlántico. 3-X-1995.

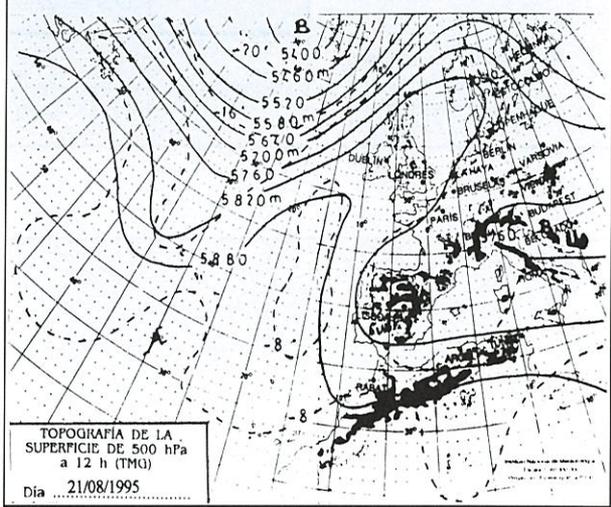
acumulación de aguas cálidas a la configuración de la costa vasca, que fomentaría un comportamiento análogo al de un mar cerrado: la baja velocidad de las corrientes marinas en esta zona favorece el estancamiento y estratificación de las masas de agua y el calentamiento progresivo de las capas superficiales (IBÁÑEZ, 1989).

3. EVOLUCIÓN DEL AFLORAMIENTO DE AGUAS FRÍAS EN EL CANTÁBRICO OCCIDENTAL A FINES DE AGOSTO DE 1995 Y SU RELACIÓN CON LAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

Como hemos señalado anteriormente, la distribución espacial de las temperaturas superficiales del mar está relacionada con las corrientes marinas, que a su vez dependen en gran medida de las condiciones atmosféricas dominantes, en particular de los vientos. Es precisamente en verano, con la instalación sobre las Islas Británicas o el Mar del Norte de grandes células anticiclónicas cuando surgen las condiciones más favorables para la expansión del afloramiento gallego hacia el resto del Cantábrico, como ocurrió a finales de agosto de 1995, periodo en el que se pueden distinguir tres fases sucesivas:



ANÁLISIS EN SUPERFICIE a 12 h (TMG)
Día 21/08/1995



TOPOGRAFÍA DE LA SUPERFICIE DE 500 hPa a 12 h (TMG)
Día 21/08/1995

FIGURA 3. Situación sinóptica. 21-VIII-1995.

La primera, hasta el 23, corresponde al paso sobre la Península Ibérica de una vaguada (fig. 3). La inestabilidad generada por el aire frío en altura provocó en la costa vasca (Cuadro 1) un tiempo tormentoso, con nubosidad de evolución desigualmente repartida, tasas de insolación irregulares, vientos flojos del 3^{er} o 4^o cuadrante, temperaturas altas, sobre todo las mínimas, y ambiente húmedo, aunque las precipitaciones copiosas se restringieron a la costa guipuzcoana; en La Coruña, por el contrario, el tiempo se mantuvo despejado, con una débil amplitud térmica, total ausencia de precipitaciones y fuertes vientos de componente N.

La segunda se inició al alejarse la vaguada hacia el interior del continente, dejando paso a un flujo del 4^o cuadrante propiciado por un anticiclón Atlántico ubicado hacia los 45° N (fig. 4). Su desplazamiento paulatino hacia el N, solidario con una amplificación de una dorsal de bloqueo, implicó la advección de una masa oceánica septentrional, que aún manteniendo altas las máximas propició una mayor amplitud térmica por descenso de las mínimas, cielos desigualmente cubiertos por nubes bajas del tipo Sc y Cu y predominio de vientos del 4^o y 1^{er} cuadrantes, también flojos.

CUADRO I. Características del tiempo en la vertiente septentrional. Días 22/23-VIII-1995.

	Temperatura °C		% Humedad		Evaporación mm	PP mm	Racha máxima DD/FF/hora	Insol %
	min.	máx.	00	13				
La Coruña	17,4	23,0	92	77	2,2	0,0	010/40/1305	92
	17,4	23,2	87	87	2,2	0,0	020/45/1558	87
Ranón	16,0	22,6	92	79	1,3	0,0	240/20/0445	40
	17,0	24,4	92	79	1,1	0,0	010/22/1250	70
Parayas	19,0	25,6	75	75	2,6	1,8	290/28/1330	9
	19,6	27,2	89	69	4,4	0,0	340/28/1410	70
Sondica	17,9	26,3	87	62	1,7	7,4	330/30/1422	40
	17,9	27,0	94	61	2,2	0,0	340/30/1235	64
Fuenterrabía	16,8	27,2	96	77	2,3	32,1	120/32/0005	60
	19,0	27,0	95	82	1,4	30,5	260/29/1025	21

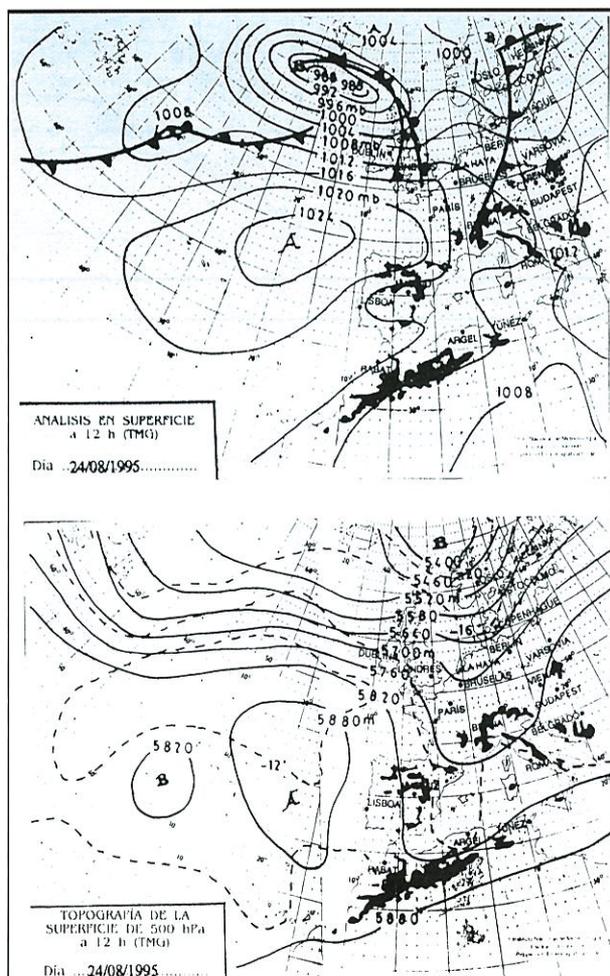


FIGURA 4. Situación sinóptica. 24-VIII-1995.

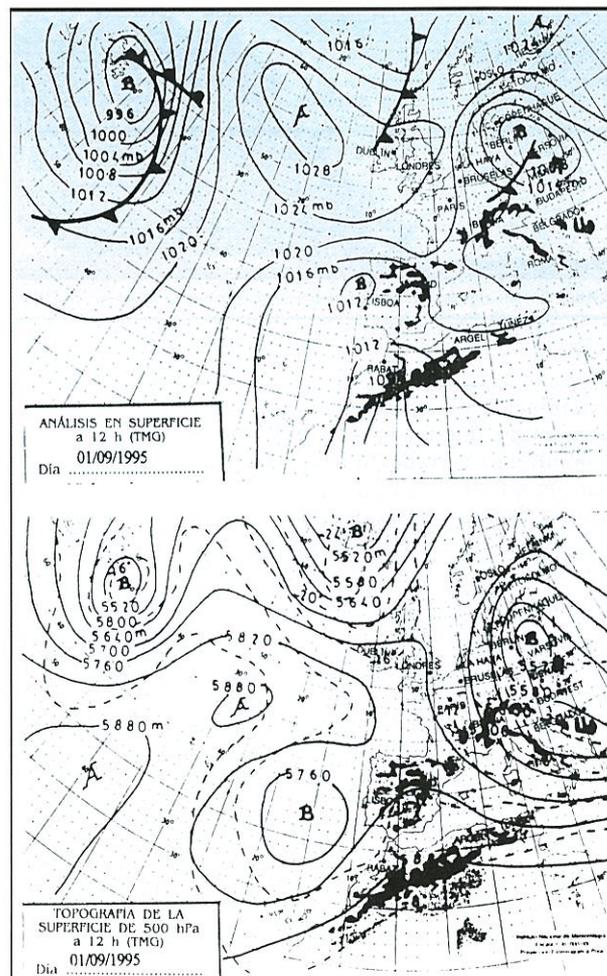


FIGURA 5. Situación sinóptica. 1-IX-1995.

	Temperatura °C		% Humedad		Evaporación mm	PP mm	Racha máxima DD/FF/hora	Insol %
	min.	máx.	00	13				
La Coruña	17,2	26,0	74	47	5,6	0,0	070/40/1440	78
	14,6	27,2	65	38	5,4	0,0	060/47/1450	87
Ranón	15,0	22,0	92	53	9,0	0,0	090/67/1410	82
	11,4	23,0	75	60	4,0	0,0	100/52/1635	90
Parayas	13,9	24,0	86	28	13,2	0,0	060/51/1215	88
	12,5	24,0	77	66	5,9	0,0	090/43/1540	90
Sondica	12,1	23,7	93	33	7,2	0,0	080/40/1050	84
	11,1	25,3	90	42	4,5	0,0	060/35/1508	82
Fuenterrabía	14,2	23,8	81	52	5,1	0,0	040/32/1520	88
	12,0	23,8	90	55	3,2	0,0	050/24/1440	81

CUADRO II. Características del tiempo en la vertiente septentrional. Días 31-VIII/1-IX-1995.

Finalmente, el anticiclón se ubicó sobre las Islas Británicas, al igual que la dorsal en altura, mientras un embolsamiento frío frente a las costas gallegas debilitó su base (fig. 5). El flujo en altura adquirió una componente N lo que supuso un cambio en las condiciones atmosféricas: a partir del 29 (Cuadro 2) los cielos se despejaron, las temperaturas experimentaron una gran amplitud diaria (casi 10° C), con máximas ligeramente por encima de las normales debido a la alta insolación y mínimas bajas para la época, a causa de la pérdida de calor por irradiación y del origen continental de la masa de aire. En el sondeo aerológico de Santander (fig. 6) se puede apreciar el flujo septentrional en las capas altas de la atmósfera; el bajo contenido en vapor de agua en toda la vertical ratifica el origen continental de las masas de aire y las inversiones térmicas muestran su dinámica subsidente. Ese carácter continental provocó una considerable disminución de la humedad relativa nocturna en Cantabria, Asturias y Galicia, lo que a su vez aceleró el enfriamiento superficial por evaporación (NAYA, 1984).

Muy llamativa es la correspondencia entre la ubicación del afloramiento más intenso y los vientos más fuertes y persistentes (fig. 7): La Coruña los experimentó entre el 28 y el 30, y frente a sus costas se localizó el afloramiento más frío; en la imagen del 30-VIII-1995 (fig. 8) se distinguen dos áreas claramente diferenciadas:

- 1ª La costa gallega y el Occidente de Asturias, afectadas por una estrecha lengua de aguas frías, con disposición W-E y amplitud decreciente; su núcleo, entre los cabos Ortegal y Prior, no superaba los 15° C. Estas bajas temperaturas se explicarían por la persistencia y fuerza de los vientos de componente N en las Rías Bajas desde el día 21.
- 2ª Entre el cabo de Machichaco y el País Vasco francés las temperaturas del agua superaron los 23° C. Su combinación con una incursión fría sobre la vertical

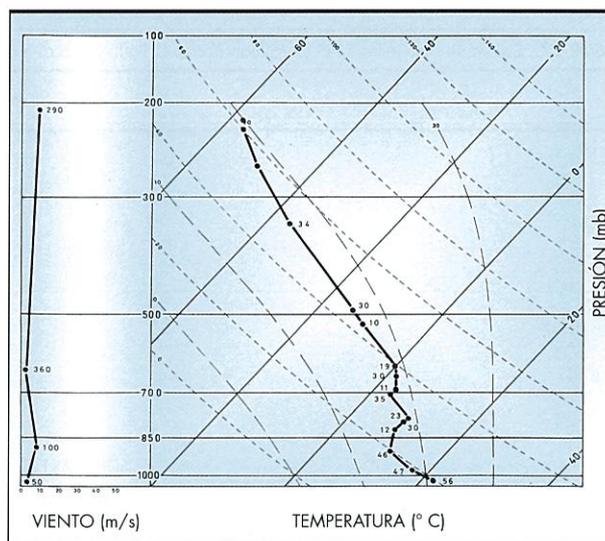


FIGURA 6. Sondeo aerológico. Parayas 31-VIII-1995.

del Cantábrico y un elevado gradiente térmico (las temperaturas de Fuenterrabía fueron 3° C superiores a las de La Coruña) fueron las causantes de las abundantes precipitaciones en el vértice oriental del Cantábrico en los días previos (URIARTE, 1983).

En días sucesivos la onda de máximos vientos se desplaza hacia el E y del mismo modo lo hizo el afloramiento de aguas frías, desplazamiento que no alcanzó el País Vasco, ya que el viento se mantuvo débil y de dirección variable; por el contrario el aeropuerto asturiano registró casi constantemente vientos del E y SE con velocidades medias superiores a los 20 km/h. Esta evolución aparece claramente representada en la imagen del satélite co-

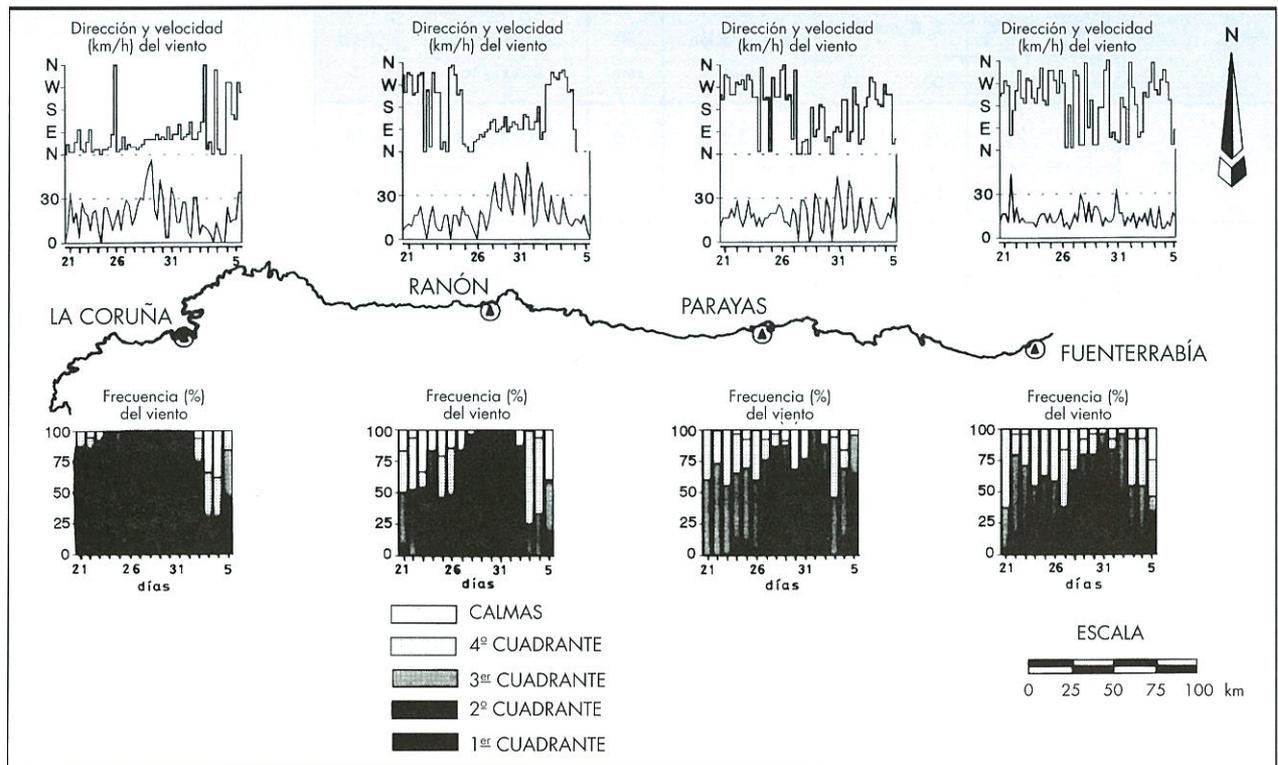


FIGURA 7. Evolución del viento en el litoral cantábrico (21-VIII-1995 al 5-IX-1995).

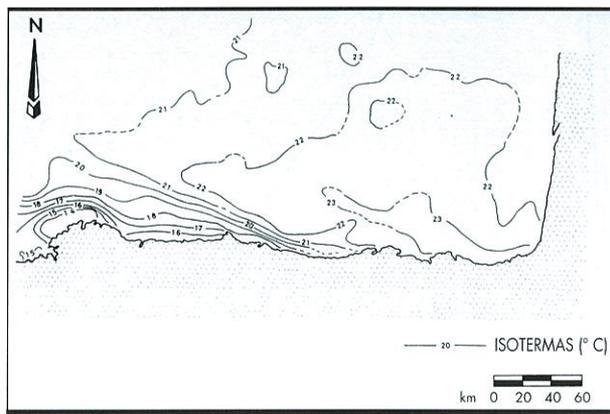


FIGURA 8. Termografía e isotermas del Mar Cantábrico 30-VIII-1995.

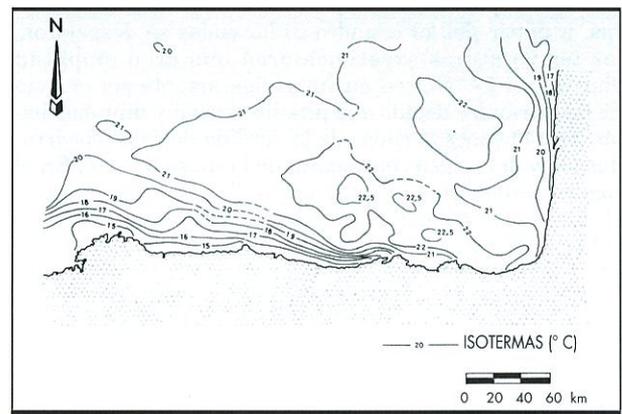


FIGURA 9. Termografía e isotermas del Mar Cantábrico 1-IX-1995.

respondiente al 1-IX-1995 (fig. 9): la isoterma 15° C se extiende hasta el cabo Peñas, dirigida por vientos ahora ya paralelos a la costa del Occidente Asturiano. El trazado sinuoso del frente térmico prueba la aparición de intercambios horizontales de calor en forma de pequeños torbellinos; las formaciones nubosas bajas, por su parte, confirmarían la estrecha relación existente entre los afloramientos fríos y la formación de brumas y nieblas litorales, muy frecuentes en la costa lucense y en el Occidente Asturiano, pero que en la fecha de la imagen fueron disipadas frente al litoral por los mismos fuertes vientos, al acelerar la mezcla horizontal entre las capas de aire.

4. CONCLUSIONES

Por sus implicaciones climáticas, el estudio de la distribución de las temperaturas de las aguas marinas es especialmente interesante, pudiendo analizarse por medio de diversos procedimientos. Las imágenes de satélite es uno de los más recientes, tanto para el descubrimiento de fenómenos como para la profundización sobre los ya conocidos. En este sentido, las imágenes aportadas constituyen una clara manifestación de un afloramiento de aguas frías en la costa occidental del Cantábrico, a causa de una persistente circulación anticiclónica con vientos continentales del E. Como hecho novedoso señalaremos su progresión hasta la costa de Cantabria, relacionada con el predominio de los vientos del ENE y NE en el aeropuerto de Parayas (Santander).

Estudios ulteriores de la dinámica oceánica pueden ser aplicados a la detección y seguimiento de los bancos de pesca y a la concentración de los buques, pues la eliminación de los gradientes verticales de sales minerales, nutrientes y plancton asociada a estos procesos de afloramiento de aguas profundas favorece la presencia de ciertas especies, como los túnidos, de gran interés económico.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no habría sido posible sin la colaboración del Instituto Nacional de Meteorología, que proporcionó los datos pertenecientes a los observatorios de la red sinóptica y las imágenes de satélite a través de la Srta. A. Bejarano.

BIBLIOGRAFÍA

ALCOFORADO, M^a J. *O clima da regio de Lisboa*. Memórias do Centro de Estudos Geográficos, nº 15, Lisboa 1992, 347 pp.

ARTECHE, J. (1991) "Afloramientos de aguas frías en el Cantábrico" *Boletín Climatológico de Cantabria*, nº 48, Centro Meteorológico Zonal de Cantabria, pp. 3-8.

BARRY, R. G. y CHORLEY, C. *Atmósfera, tiempo y clima*. Ed. Omega, 2^a ed, Barcelona 1985, 500 pp.

CASSENET, J. (1982) "Cession de chaleur solaire aux eaux côtières du golf de Gascogne en été: l'étude par télé-detection". *Norvois*, nº 116, pp. 516-576.

DELANNOY, H. (1980) "Remarques sur les brouillards d'été dans quelques stations côtières du Maroc Atlantique". *La Méditerranée*, nº 4, pp. 37-48.

DE BRUM FERREIRA, D. *Les aspects fondamentaux des interactions ocean-atmosphere*. Curso de Mestrado, Lisboa 1982, 72 pp.

DE BRUM FERREIRA, D. (1984) "L'upwelling ouest ibérique. Régime et causes aérologiques". *MET-MAR*, Nº 123, PP. 4-16.

DE BRUM FERREIRA, D. (1984) "Les conditions thermiques dans l'Atlantique du NE et de la migration des thons germons". *Finisterra*, XIX, 37, pp. 5-35.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. y RASILLA, D. (1992) "El viento en la Cornisa Cantábrica: avance de un estudio sobre los temporales del S.". *Cuadernos de Sección*, 20, pp. 271-295.

IBÁÑEZ, M. (1989) "Implicaciones biogeográficas de la continentalización de la costa vasca". *Lurralde*, nº 12, pp. 71-101.

MOUNIER, J.; GOUERY, P. y EQUIPO COSTEL (1992): "Température de la mer autour du Massif Armoricaín selon les données du satellite NOAA-AVHRR". *Norvois*, nº 155, pp.305-315.

MOUNIER, J. *Les climats océaniques des régions atlantiques de l'Espagne et du Portugal*. Universidad de Lille III, 3 vol., París 1979, 1221 pp.

GUERIN, O. M. y PIRAZZOLI, P. A. (1978) "Effet de la Bora et de l'ensoleillement sur les températures de surface de L'Adriatique nord". *Mediterranéé*, pp. 17-32.

MOLINA, R. (1972) "Contribución al estudio del "upwelling" frente a la costa noroccidental de la Península Ibérica". *Bol. del Instituto Español de Oceanografía*, nº 152, pp. 1-39.

NAYA, A. *Meteorología Superior*. Ed. Espasa-Calpe, Madrid, 1984, 546 pp.

FRAGA, F. "Upwelling off the Galician Coast, Northwest Spain". En *Coastal Upwelling*. F. A. Richard (Ed.), American Geophysical Union, Washington D.C., 1981, 529 pp.

URIARTE, A. *Régimen de precipitaciones en la costa N y NW de la Península Ibérica*. Caja de Ahorros Provincial de Gupúzcoa, Col. "Estudios e Informes", San Sebastián, 1983, 547 pp.

MARZOL JAÉN, M^a V^a *Las precipitaciones en las Islas Canarias*. Facultad de Geografía e Historia, Universidad de La Laguna, 1987, 831 pp.

VALLE FUENTES, A. (1992) "Aportes climáticos de las corrientes marinas cantábricas (I, II y III)". *Boletín Climatológico de Cantabria*, nº 53, 55 y 57, Centro Meteorológico Zonal de Cantabria, pp. 3-7.