

CARACTERIZACIÓN DE LA CIRCULACIÓN SUPERFICIAL EN GALICIA-CANTÁBRICO BAJO CONDICIONES DE CORRIENTE DE TALUD HACIA EL POLO

Daniel Quintana⁽¹⁾, José Luís Arceche⁽²⁾, Alicia Lavín⁽³⁾

(1) Centro de Investigación y Formación Pesquera y Acuícola, Junta de Andalucía, 21459-Cartaya, Huelva, daniquintanacobo@hotmail.com

(2) Instituto Nacional de Meteorología, 39012-Santander, jlag@inm.es

(3) Instituto Español de Oceanografía, Apdo. 240, 39080-Santander, alicia.lavin@st.ieo.es

RESUMEN

Para describir la variabilidad espacial y temporal de la circulación superficial en la estación invernal, de las aguas circundantes del talud continental de Galicia y Mar Cantábrico, se analizó la trayectoria seguida por boyas lagrangianas en relación a predicciones de viento obtenidas con el modelo HIRLAM del Instituto Nacional de Meteorología. Adicionalmente, se estudió su influencia en la distribución vertical de las masas de agua (temperatura, salinidad y oxígeno disuelto) obtenidas con CTD SBE 25, y en la distribución horizontal de temperatura superficial del mar obtenida de imágenes AVHRR.

Se investigó la evolución temporal de la corriente superficial en 43° 43,8' N y 6° 10,2' O, obtenida con el correntímetro UCM-60/ UCM-60DL y sensor de dirección AANDERAA 2864, en relación al viento medido en el mismo punto.

Las propiedades de las masas de agua en superficie y hasta los 100 metros de profundidad, estuvieron relacionadas con la climatología local y la topografía de la costa, así como con la circulación general de Galicia y el Golfo de Vizcaya. El análisis de la serie temporal de corrientes indicó la importancia de la corriente debida a equilibrio geostrofico, y el papel intensificador de la corriente ejercido por los vientos moderados y fuertes. La dinámica circulatoria se diferenció relativamente según nos alejamos del talud hacia mayores profundidades, siendo más atenuadas las oscilaciones del flujo que producen los meandros de la corriente de talud. La circulación, se caracterizó por ser paralela a las isóbatas en Galicia; posteriormente, el Promontorio de Cabo Ortegal y el propio cabo influyeron en el desarrollo de oscilaciones en el flujo superficial sobre 500 y 200 metros de profundidad, respectivamente, que implicaron una escasa correlación de la corriente con el viento en esta zona. En la zona oeste se presenta claramente la corriente de talud hacia el polo a pesar de los pequeños forzamientos del viento. A partir del promontorio de Ortegal las trayectorias se separan del talud siguiendo en cierto punto la influencia del viento, pero ya no se aprecia intensa corriente de talud como en la zona oeste. La influencia del viento y de los cañones de Torrelavega y Llanes orientaron el flujo perpendicular y hacia la costa, en la zona frente al límite de Cantabria y Asturias.

INTRODUCCIÓN

El patrón de circulación invernal de la masa de agua superficial en Galicia-Cantábrico, está caracterizado por la existencia de la corriente de talud dirigida hacia el polo (PC) (Frouin, Fiúza, Ambar, & Boyd, 1990; Haynes & Barton, 1990) y denominada "Navidad" por Pingree & Le Cann, 1990. Este fenómeno produce la llegada de un tipo de Agua Central Atlántico Nordeste (ENACW) (Fiúza, 1984), relativamente cálida y salina procedente de latitudes más bajas, y que continúa hacia el norte sobre la plataforma y talud. Estudios realizados mediante medidas de sensores remotos y de temperatura superficial "in situ" han mostrado este calentamiento invernal (Pingree & Le Cann, 1990), el cual ha sido correlacionado por García-Soto et al. (2002) en algunos periodos con valores bajos del Índice de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) en los meses previos (noviembre-diciembre). Por otro hdo, los eventos de corriente de talud intensa y las zonas de cambio abrupto de la topografía, producen eddies generados por la inyección de este agua cálida del talud hacia la zona oceánica (Pingree and Le Cann, 1989, 1990, 1992a, 1992b); su efecto en las características verticales de la masa de agua superficial ha sido estudiado por Gil (2003).

Sin embargo, la contribución de cada uno de los factores que influyen a la variabilidad de la circulación de la masa de agua superficial en la estación invernal de Galicia-Cantábrico, no ha sido investigada por medio de boyas lagrangianas superficiales, desde el punto de vista del análisis sinóptico. Las corrientes de talud son el resultado de un conjunto de factores (viento, gradientes de presión atmosférica, fuerza de coriolis, contornos laterales, topografía, etc.) y, como tal, tienen una extraordinaria variabilidad espacial y temporal. Este estudio permite realizar una contribución básica al estudio del sistema, pero importante para el modelado y la predicción de la dinámica circulatoria general de las aguas marinas de superficie.

En este ámbito, una elevada correlación ha sido obtenida en este área geográfica, entre las velocidades de viento >8 m/s medidas por satélite y la trayectoria de boyas lagrangianas en superficie (http://eddy.uvigo.es/Argos/_analisis/_analisis.html); también se ha investigado la dinámica circulatoria en niveles más profundos (Colás 2003). La utilización

de estas mismas boyas, en conjunción con análisis del campo de viento y medidas de corrientes en la superficie del mar, datos hidrológicos de CTD y de imágenes de satélite permite mejorar el conocimiento de la dinámica espacial y temporal de la circulación superficial de las aguas marinas de plataforma-talud continental en la zona N y NO de la Península Ibérica, y discutir sus efectos en las masas de agua. Se quiere evaluar la contribución de los factores más importantes a la corriente total, entre ellos, se quiere analizar el efecto del viento, la topografía, la rotación terrestre y el de las perturbaciones oscilatorias que generan los meandros de la Corriente “Navidad”.

METODOLOGÍA

Debido a la necesidad de predecir la trayectoria de las manchas de hidrocarburo vertido por el petrolero Prestige, el Instituto de Investigaciones Marinas (IIM/CSIC) y el Grupo de Oceanografía Física de la Universidad de Vigo realizaron el lanzamiento de 10 boyas lagrangianas desde un helicóptero del SASEMAR (Sociedad de Salvamento Marítimo y Seguridad Marítima). Cuatro de estas boyas (16751, 16752, 16753, 16754) fueron lanzadas a las 12:00 horas (UT) del 19 de diciembre de 2002 en las posiciones indicadas en la Tabla 1, y recorrieron las aguas de Galicia y Mar Cantábrico (Figura 1 - A, B, C, D).

Las boyas transmitieron su posición (latitud y longitud) en intervalos de tiempo no constantes (datos presentados en www.cmima.csic.es), pero con periodicidad suficiente para el análisis de la trayectoria de las boyas. Para realizar este estudio con respecto al viento, se entresacaron las componentes escalares de velocidad de viento en los puntos de la malla (resolución 0,2°) y en los instantes de cálculo más cercanos a la posición-instante en los que transmitieron cada una de las boyas. Estas componentes fueron obtenidas en el Centro Meteorológico Territorial en Cantabria y Asturias mediante el modelo numérico HIRLAM del INM (<http://www.inm.es>). A partir de ellas se calcularon el módulo y dirección del viento resultante en cada punto.

Boya	Latitud	Longitud	Hora (UT)
16751	42° 52' 00"	-9° 25' 03"	11:51
16752	43° 05' 00"	-9° 25' 00"	12:25
16753	42° 57' 00"	-9° 34' 54"	12:13
16754	42° 40' 06"	-9° 35' 18"	11:51

Tabla 1. Posición y hora de lanzamiento de cada una de las boyas

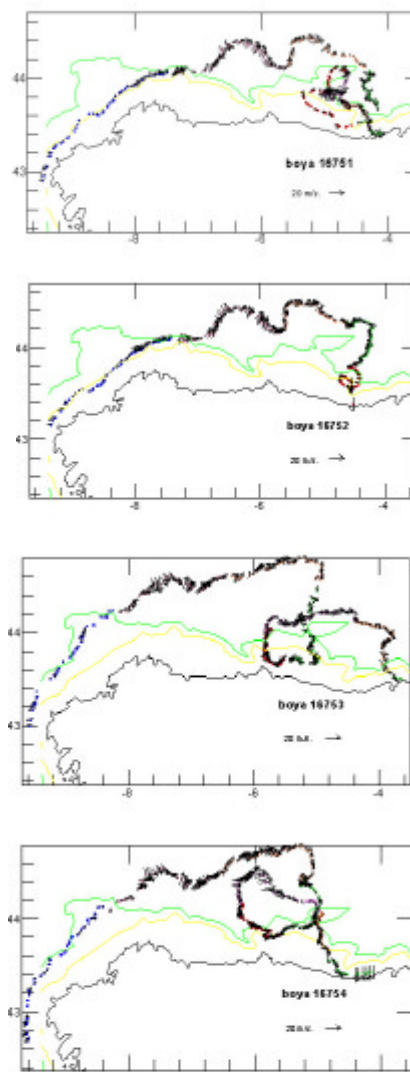


Figura 1. Trayectoria de las 4 boyas: A) 16751, B) 16752, C) 16753, D) 16754; y análisis del campo de viento en superficie (?) del modelo HIRLAM, en los puntos e instantes de cálculo más cercanos a la posición-instante en los que transmitieron cada una de las boyas. Las isóbatas pintadas corresponden a la de 200 y 500 metros de profundidad. Cada cambio de color en la posición de la boya indica que han pasado 6 días más desde su lanzamiento.

Se han empleado imágenes AVHRR para analizar la existencia, y estudiar la variabilidad espacio-temporal, de la corriente de talud, por su efecto en la temperatura superficial del mar (obtenida mediante el algoritmo de la NASA...). Los datos procedentes de satélites NOAA fueron capturados por el equipo de recepción instalado en el Centro Oceanográfico de Santander del Instituto Español de Oceanografía mediante el sistema de transmisión de datos HRPT, posteriormente se realizó la corrección radiométrica y geométrica, y por último se superpuso la “máscara de tierra”. El sensor AVHRR recibe radiancia en 5 bandas espectrales (3 de las cuales corresponden al infrarrojo térmico), tiene una resolución espacial en el nadir de $1,1 \times 1,1$ Km. y radiométrica de 10 bits. Los datos resultantes de SST se calibraron con datos

“in situ” de CTD, obteniéndose una precisión de 0,5°C (ignorando la existencia de “skin effects” tales como el calentamiento diurno de la capa superficial). Se presenta la imagen de satélite del 13 de enero en la Figura 2.

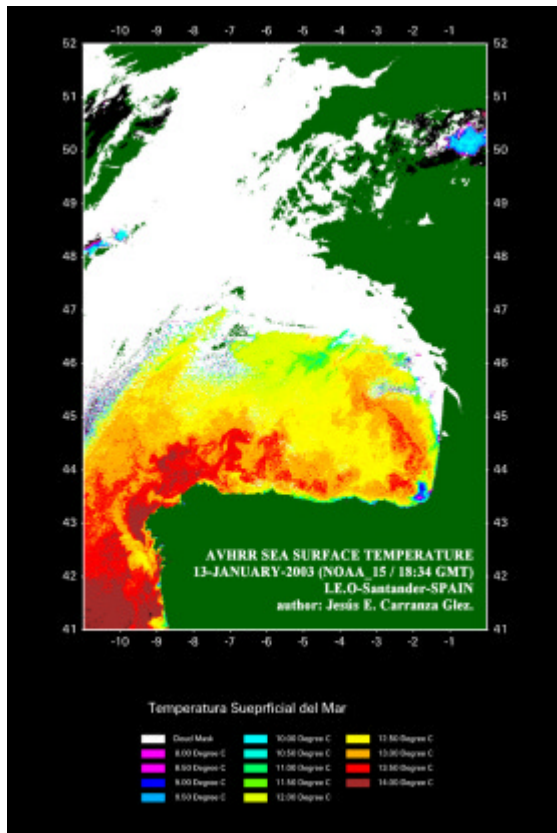


Figura 2. Imagen de satélite (AVHRR): Centro Oceanográfico de Santander, IEO.

En la misma época (diciembre y enero), se realizaron 2 secciones mensuales perpendiculares a costa en 6 estaciones fijas (2, 3, 4, 5, 6 y 7) frente a Santander, de profundidades 20, 50, 100, 200, 855 y 2300 m, entre las latitudes 43° 30'N-43° 48'N y longitud 3° 47' (Figura 3), para detectar la posible existencia de la corriente y ver su efecto en las características de las masas de agua. Debido al mal estado de la mar, en diciembre no se pudo muestrear la estación 7. Los datos brutos muestreados con alta frecuencia por los distintos sensores (conductividad, temperatura y conductividad para oxígeno disuelto) fueron volcados de la memoria interna del CTD SBE 25 a un ordenador, en el cual se convirtieron a formato ascii, se sincronizaron las señales, se filtraron y corrigieron del efecto de inercia térmica, se obtuvieron las magnitudes derivadas, y finalmente fueron promediados a cada metro de profundidad.

Los datos resultantes de temperatura y salinidad fueron calibrados con respecto a la temperatura medida por otras batisondas, y la salinidad de muestras (tomadas con botellas Niskin de 5 litros) determinada mediante salinómetro Autosol,

obteniéndose una precisión del orden de la centésima de grado para la temperatura y de la milésima para la salinidad. El oxígeno disuelto fue simultáneamente determinado a profundidades de 0, 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100 metros mediante el Método Winkler, obteniéndose una diferencia casi constante de + 0,50 ml/l con respecto al sensor del CTD.

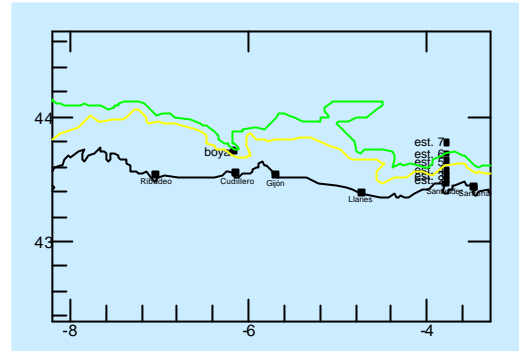


Figura 3. Boya de Cabo de Peñas con correntímetro y anemómetro, y estaciones de la sección frente a Santander.

Adicionalmente, se obtuvieron dirección y velocidad de corriente a 3 metros de profundidad y del viento en superficie, del anemómetro y correntímetro instalados por Puertos del Estado en la Boya de Cabo de Peñas (43° 43,8' N y 6° 10,2' O). Ver Figura 3. Un sensor de dirección AANDERAA 2864 medía la orientación de la boya Seawatch, y la intensidad de la corriente fue medida con un correntímetro UCM-60/ UCM-60DL. La precisión de las medidas de dirección de la corriente superficial y viento fueron de $\pm 1^\circ$; y las de la intensidad fueron del 1% para la corriente y de 1,5% para la del viento.

RESULTADOS

Masas de agua

La distribución de propiedades hidrológicas (temperatura, salinidad y oxígeno disuelto) en los primeros 100 metros en la sección frente a Santander, estuvo estrechamente relacionada con la climatología, observándose el patrón de mezcla invernal y aportes de agua dulce procedentes de la desembocadura del Río Miera. Para una descripción más detallada de la variabilidad de las masas de agua con relación a condiciones climáticas de este transecto ver Lavín et al. 1998 & Quintana et al. 2003.

Así, se observó en el mes de diciembre una cuña de agua salobre que produjo el siguiente gradiente de salinidad (promedio de los 100 metros): 35,15 en la

estación 2, 35,27 en la 3, 35,49 en la 4, 35,56 en la 5 y 35,60 en la 6 (Figura 3 A y 3 C). Se muestreó una masa de agua relativamente más cálida en las estaciones de la plataforma (14,5°C) con respecto a la del talud (14,0°C). El oxígeno disuelto (figura no presentada) permaneció homogéneo en todas las estaciones (5,30 ml/l).

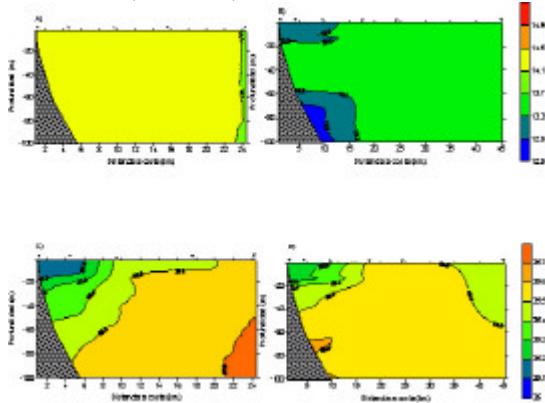


Figura 3. Distribución vertical de temperatura (°C) y salinidad en la sección de Santander en: 15 de diciembre de 2003 (A y C) y 13 de enero de 2003 (B y D), respectivamente.

El muestreo de enero estuvo caracterizado meteorológicamente por un fuerte anticiclón sobre el Golfo de Vizcaya, con altas presiones y muy bajas temperaturas sobre toda España, producido por aire frío y vientos procedentes del NE de Europa. Estas condiciones produjeron una inversión térmica total de la columna de agua en las estaciones 2, 3 y 4, que produjo el máximo gradiente de temperaturas en la estación 4: 13,11°C (superficie), 13,69°C (media profundidad, 50 m) y 12,57°C (fondo, 100 m). Entre el 16 y 23 de enero el correntímetro instalado en la Boya de Cabo Peñas midió velocidades de corriente (27,5 cm/s de promedio) significativamente mayores a los 16,3 cm/s medidos en promedio entre 25 de septiembre de 2002 y 28 de febrero de 2003 y en direcciones de componente este, que se corresponden con medidas de SST más cálidas en la plataforma, talud e incluso más allá del talud en Galicia-Cantábrico (Figura 4).

No se midió un frente significativo que separase las características físicas y químicas de las aguas de la plataforma y talud de las oceánicas. Debido a que, como se puede observar en las medidas de temperatura superficiales de satélite y de CTD del 13 de enero, el efecto de la Corriente denominada “de talud” manifestó su influencia en las características de las aguas de estaciones marcadamente oceánicas. Si que se pudo medir al promediar los 100 primeros metros en la sección de Santander, una masa de agua ligeramente más salina (35,56) en las estaciones de plataforma y talud con respecto a la oceánica (35,50). Ver Figuras 3D y 4. La concentración de oxígeno también se diferenció ligeramente, 5,31 ml/l (vs 5,25 ml/l). Esta relativa diferencia de las masas de agua, se pudo observar

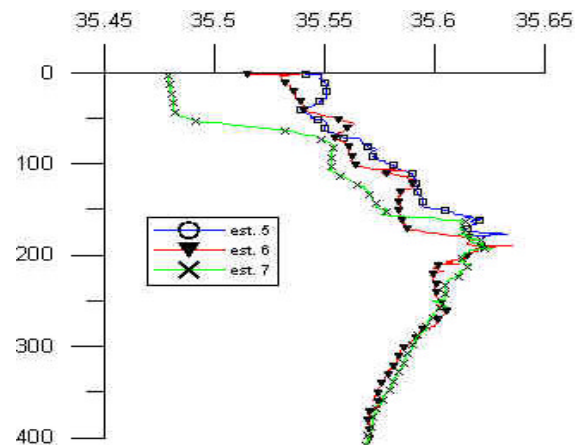


Figura 4. Perfil de salinidad mostrando la diferencia entre las estaciones de plataforma-talud (5 y 6) respecto a la oceánica (estación 7). La Corriente de talud produjo una masa de agua salina y oxigenada (35,56 y 5,31 ml/l) en las estaciones de plataforma-talud respecto a la oceánica (35,50 y 5,25 ml/l). Ver también figura 4D.

hasta los 150 metros, aunque fue máxima en los 50 metros más superficiales (Figura 5).

Dinámica circulatoria

La variabilidad de la circulación general estuvo estrechamente relacionada con los agentes generadores y/o moduladores de esta, básicamente: transferencia de momento por el viento a la masa de agua superficial u otros mecanismos forzadores, como los movimientos ondulatorios de la corriente superficial que no se correlacionan con el viento debidos a perturbaciones en la corriente de talud que forman meandros; las condiciones de contorno (existencia de cabos, golfos, islas, cañones submarinos, pendiente del fondo, etc.); y la influencia de la rotación terrestre.

El flujo superficial en la zona oeste de la plataforma gallega fue paralelo a las isóbatas, de modo que, las trayectorias de las cuatro boyas (Figura 1- A, B, C, D) fueron iguales dos a dos, respectivamente, según el punto inicial de lanzamiento. Originalmente, hasta el promotorio de Cabo Ortegal, las cuatro boyas mostraron una trayectoria que seguía los contornos batimétricos; y como la corriente de talud tuvo un tiempo característico relativamente largo comparado con el período de rotación terrestre, no estuvo correlacionado con el viento, y la columna de agua era homogénea debido a la mezcla invernal, fue indicativo de que el flujo era geostrofico. En las boyas que siguieron la isóbata de 200 m, la corriente

se mostró geostrófico o cuasigeostrófico hasta la Punta de Estaca de Bares, ya que su trayectoria no estaba correlacionada con el viento. En la zona frente a la de cambio de casi 90° de la dirección de la costa gallega también se mostró paralela a las isóbatas. El flujo se mostró más ancho frente a Cabo Ortegal en las boyas de 200 metros y en el Promotorio de Cabo Ortegal para las de 500 metros.

Posteriormente, existió una zona de meandros en el flujo superficial, a partir del 27 de diciembre de 2003, donde se superpuso la influencia de vientos, predominantemente de componente SO, relativamente intensos (> 15 m/s) sobre el flujo geostrófico, resultando inestabilidades que produjeron la modulación del flujo neto hacia el este. Las inestabilidades fueron más evidentes en las trayectorias de las boyas que avanzaron más cerca de la costa. El análisis de la serie temporal de corriente superficial con respecto al viento, en la boya frente a la Cabo de Peñas obtuvo que: en el 53.91% de los casos hay vientos de componente oeste, y el 59,59% de los casos de corriente de componente este se dieron con vientos de esta dirección (correspondiendo a estas corrientes el 66.78 % del total de observaciones). El 20.8% de los datos de viento fueron de módulo mayor a 8 m/s, y únicamente el 13.70% de los casos de corrientes al este estuvieron correlacionados con viento de más de 8 m/s y el 13.05% de los casos de corrientes al este tuvieron viento de más de 8 m/s de componente oeste.

La velocidad media de los casos de corriente de componente este sucedidas con vientos desfavorables a esta dirección fue de 16,2 cm/s, es decir del mismo orden que la corriente media para el periodo de medidas. Las mayores velocidades de corriente, se midieron entre el 17 y el 23 de enero, con un máximo de 66,8 cm/s, y tenían dirección de componente este; un porcentaje elevado de estas no se correspondió con vientos favorables a la corriente, aunque los períodos de mayor intensidad si que se encontraban correlacionados.

Las inestabilidades produjeron el transporte de agua relativamente cálida (13°C) desde la plataforma a la zona oceánica (12.5°C) en forma de filamentos. La comparación de los datos de viento con la trayectoria de las boyas indicó que el flujo ya no siguió estrictamente las isóbatas, ni estuvo estrechamente correlacionado con el viento (sólo ocasionalmente), incluso, si sólo se consideraban vientos de intensidad >8 m/s (figuras no incluidas). La presencia de estos meandros pudo ser también constatada los días 13, 14 y 16 de enero de 2003, aunque no posteriormente debido a la cobertura nubosa en las imágenes de satélite, por lo que al menos tuvieron una duración de 20 días.

Después de la zona de oscilación el flujo entró en una parte donde no se midieron módulos de viento superiores a 8 m/s; las boyas que siguieron la trayectoria exterior (16753 y 16754) se dirigieron hacia costa mientras que las que estaban más cerca del talud continuaron su deriva hacia el este de forma aproximadamente paralela a las isóbatas.

Al llegar frente a la zona entre Asturias y Cantabria (aproximadamente en el meridiano 5° O) en el que existe un promotorio en la batimetría y seguidamente los cañones de Torrelavega y Llanes perpendiculares a costa, el flujo se dirigió perpendicular a la costa. Antes de que las boyas alcanzaran tierra se produjeron oscilaciones de la corriente que se correspondieron con vientos, de variable intensidad y dirección, en la zona.

Del análisis de datos históricos del talud y la zona mas oceánica en la sección de Santander (Figura 5), en la masa de agua comprendida entre los 200 y 400m de profundidad se deduce que a pesar de las diferencias encontradas durante las secciones presentadas, la señal es muy pequeña frente a la que aparece en la estación del talud en los años de fuerte corriente de talud como 2002 o 1998. Este resultado ya fue presentado por Ruiz-Villareal et al. (2006).

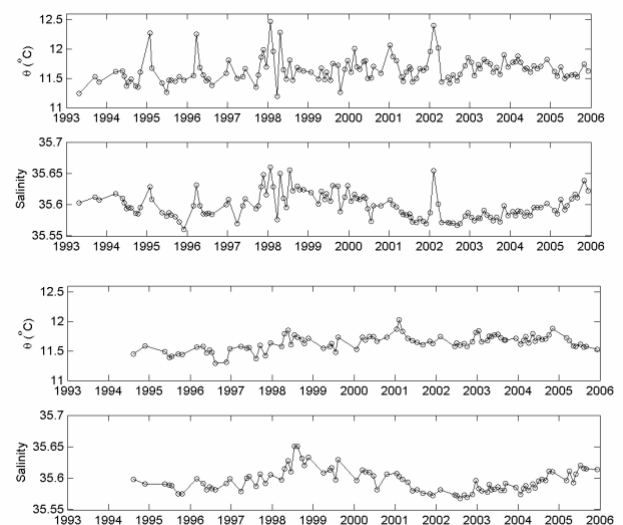


Figura 5. Propiedades del agua (200-400m) sobre el talud en la estación 6 del radial de Santander (43° 42'N, 3° 47'W) (paneles superiores) y en la estación 7 (parte profunda)(43° 48'N, 3° 47'W) (paneles inferiores)

DISCUSIÓN

Aunque la dinámica circulatoria invernal en las aguas superficiales de talud-plataforma en Galicia-Cantábrico es poco conocida y compleja, se ha obtenido una circulación global semejante a la que Colás (2003) obtuvo como patrón medio anual con instrumentación semejante a 80-150 m

(correspondiente al Agua Central Atlántico Nordeste, ENACW), pero de mayor intensidad. La circulación media invernal que obtuvo en comparación con nuestros resultados, no permite concluir nada en la zona más interior del Golfo de Vizcaya pues no tuvo datos de boyas en esa zona, sin embargo, en Cantábrico occidental y Galicia obtuvo un patrón similar. Así, observó la misma circulación hacia el N y NE en la zona de Galicia; identificando posteriormente un núcleo de circulación anticiclónica frente al Promotorio de Cabo Ortegal (que denomina “célula anticiclónica”), que podrían generar junto con vientos existentes de componente O-SO, la batimetría-topografía y, sobre todo la influencia de las inestabilidades baroclínicas (Gil 2003) derivadas de la energía potencial disponible que implican los gradientes horizontales de temperatura de hasta 1,5°C, la causa de las oscilaciones realizadas por nuestras boyas en esta zona y de que el flujo no esté íntimamente correlacionado con el viento en esta zona. Esta deducción se fundamenta en la hipótesis de que las boyas empleadas por Colás no estuvieron expuestas a la acción directa del viento, ni a unos gradientes horizontales de temperatura tan acusados. En el ensanchamiento del flujo en Cabo Ortegal y en el Promotorio de Cabo Ortegal existe probablemente influencia de estos dos accidentes geográficos. En el primer caso pudo existir influencia del viento, pero en el segundo no teníamos vientos significativos en dirección favorable. Posteriormente, continuó la corriente media con dirección este, la cual fue intensificada en días de fuerte viento. La última parte, en la que el flujo es hacia costa, en los cañones de Torrelavega y Llanes, la encontraba Colás en el periodo estival, sin embargo, nosotros la hemos observado también en periodo invernal de medidas superficiales. Las boyas que siguieron la trayectoria más oceánica, entraron en dirección perpendicular a la costa antes de llegar a la zona de los cañones.

Ruiz-Villareal et al (2006) presenta el desarrollo de la corriente de talud en diciembre en la zona oeste (ver figura 6 de su artículo) con fuerte circulación geostrofica hasta Coruña. García-Soto (2004) a partir de mapas de altimetría infiere la continuidad de la corriente de talud en el Cantábrico coherente con el empuje de los vientos en el mes de Diciembre.

Al contrario que en Serpette et al. 2003 (aceptado) que midieron en diciembre 1997-enero 1998 vientos predominantes del SO y los relacionaron con una intensa “Navidad”, en general, no se midieron vientos de componente S en el trayecto hasta Cabo Ortegal-Estaca de Bares. Esto puede indicar que los vientos de componente sur son importantes en el inicio de movimiento, de modo que, una vez establecido, el flujo es gobernado por el equilibrio entre los gradientes de presión y la Fuerza de

Coriolis. Así como en diciembre no se pudo confirmar la existencia de “Corriente hacia el Polo”, debido a que las propiedades de las masas de agua en las estaciones del talud no se diferenciaron significativamente de las oceánicas, no tuvimos imágenes de satélite libres de nubes, ni medidas de corrientes; las medidas de enero pudieran denotar la presencia de corriente de talud, más aún si cabe, si tenemos en cuenta que el índice NAO (Oscilación del Atlántico Norte en noviembre-diciembre obtenido de ftp://ftp.ncep.noaa.gov/pub/cpc/wd52dg/data/indices/tele_index.nh es negativo (-0,5 y -1,3); dando consistencia a la hipótesis de García-Soto et al. (2002) que asocia índices negativos de NAO con eventos de significativa “Navidad”. Sin embargo, en nuestro caso, no se correspondieron con un relajamiento o inversión de los vientos de componente norte que condujeran las aguas del talud “hacia el polo”, como se describió anteriormente.

A pesar de que, al contrario que en Gil 2003, no se detectó un frente que separase las características físicas y químicas de las aguas de la plataforma y talud de las oceánicas debido a que este episodio tuvo una mayor dimensión horizontal (y también relativamente mayor dimensión vertical frente a Santander), se pudo observar un frente exterior de temperatura superficial del mar de forma ondulatoria, con gradientes variables de hasta 1,5°C. Por tanto, el efecto de la Corriente hacia el Polo en las masas de agua fue semejante al que encontró Gil en cuanto a temperaturas. La salinidad mostró diferencias iniciales de 0,06; no pudiéndose medir el gradiente máximo.

El incremento relativo en la salinidad de las aguas de superficie de la plataforma-talud (estaciones 5 y 6) con respecto a las de la estación oceánica (7), se podía considerar como una zona de intensificación del flujo ya que, como se pudo confirmar en datos de satélite y de CTD, el efecto de la Corriente “Navidad” se llegó a manifestar en zonas de características oceánicas. Pero, la hipótesis del núcleo no pudo ser confirmada ya que las boyas no llegaron a estas longitudes geográficas, ni se dispuso de medidas de corrientes en varios puntos de la zona.

Por otro lado, la inversión térmica total observada en enero debió ser resultado de: un mayor enfriamiento del agua superficial relativamente menos salada en estas estaciones, o del aporte de agua dulce fría por el Miera procedente del deshielo y de las lluvias copiosas del día 11, o más probablemente, de una combinación de ambos. Las bajas temperaturas sobre el fondo de las estaciones someras, que se corresponden con salinidades relativamente mayores (cuyas isolíneas ascienden paralelas a la plataforma, en representaciones gráficas más detalladas) indican, junto con la presencia de vientos del NE favorables al afloramiento, la posible existencia de un

afloramiento subsuperficial similar a los que se producen en Galicia (Rías Bajas); debido a que el aporte de agua dulce de las rías en épocas de lluvia, no dejan que el Agua Central Noratlántica aflore en superficie.

El análisis de la serie histórica en aguas más profundas indica que desde 2002 no se ha producido ninguna intrusión con importante incremento de salinidad en la columna de agua entre 200 y 400m. la intensidad de la intrusión en 2003 si se produjo fue muy somera o bien con valores en las características del agua muy similares a los de los meses anteriores.

Resultados de la campaña Pelacus 03 (Nogueira et al, 2004) confirman la ausencia de señales de intensa corriente de talud en 2003 comparadas con la señal de 2002.

El análisis de las trayectorias, en conjunción con los datos de corriente y viento medidos frente a Cabo de Peñas en el período de máximas velocidades de corriente de talud correspondiente a noviembre-enero (Pingree & Le Cann, 1990), indicaron el papel intensificador del viento de la corriente geostrófica. Esta deducción no se opone a la que obtiene Gil 2003, que indica que el porcentaje de corriente geostrófica es mayor que el de ageostrófica; ni tampoco a la de Frouin et al. (1990) obtenida frente a Portugal, ya que en nuestro caso también el número de Rosby es mucho menor que 1, por lo que el flujo es cuasigeostrófico y fuertemente influenciado por la rotación, por lo que debe responder a fuerzas restauradoras gravitacionales según la teoría de Rossby (1983. Además, la intensificación de la corriente de talud en ciertos instantes en los que existen vientos favorables, indicaba que el flujo se desarrolla a pulsos, favorecidos por estos vientos.

AGRADECIMIENTOS

Al INM Y Puertos del Estado por la aportación de datos de viento y corrientes, respectivamente; y a la disponibilidad de los datos de boyas de la Universidad de Vigo. El Proyecto "Radiales" del IEO permitió la realización de los muestreos hidrológicos; La Fundación Marcelino Botín y Carmen Rodríguez (IEO) posibilitaron la financiación de la formación de uno de los autores (D. Q.) y, finalmente, parte del trabajo se desarrolló dentro del Proyecto VACLAN (REN 2003-08193-C03-01 /MAR)

BIBLIOGRAFÍA

Alfonso Dias, C., M. D. Vacas, A. Amorin, 1989. Sea surface temperature seasonal variation between the Iberian coast (Lisbon) and the Madeira Islands (Funchal) in the period 1981-1986. ICES C.M. C: 33.

Arias, E., et al., 1980. Hidrografía de la plataforma costera de Vizcaya y Guipúzcoa (febrero a diciembre de 1976). *Inv. pesq.* 44 (1): 13-34.

Bode, A., 1995. Regeneración pelágica de nutrientes en el Mar Cantábrico: estimaciones de los flujos de nitrógeno basados en balances de masa. *Actas del IV Coloquio Int. sobre Oceanografía del Golfo de Vizcaya*, pp. 205-215.

Botas, J.A., E. Fernández, R. Anadón, 1990. A persistent upwelling off the Central Cantabrian Coast. *Scient. Mar.* 30: 185-199.

Braun, J.G., 1980. Estudios de producción en aguas de las islas Canarias. 1. Hidrografía, nutrientes y producción primaria. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 5(282): 149-154

Canteras, J. C., et a., 1995. Seguimiento hidrográfico de una estación nerítica frente a Santander en período estival y su relación con otras áreas marinas en el Mar Cantábrico. *Actas del IV Coloquio Int. sobre Oceanografía del Golfo de Vizcaya*, pp. 255-263.

Colas, F., 2003. Circulation et dispersion lagrangiennes en Atlantique Nord-Est. Tesis doctoral. Laboratoire de Physique des Océans. 253 pp.

De León, A. R. & Braun J.G., 1973. Ciclo anual de la producción primaria y su relación con los nutrientes en aguas Canarias. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 167. 24 pp.

Díaz del Río G., et al., 1998. Hydrographic variability in Bay of Biscay shelf and slope waters in spring 1994, 1995 y 1996 and relation to biological drifting material. *Fish. Res.*

Fraga F., et al., 1985. Campaña GALICIA VII. Datos básicos. Datos informativos. *Inst. Inv. Pesq.*, 12. 50 pp.

Frouin, R., et al., 1990. Observations of a poleward surface current off the coasts of Portugal and Spain during winter. *Journal of Geophysical Research* 95 (C1), pp. 679-691.

García-Soto, C., Pingree, R.D., Valdés, L., 2002. Navidad development in the Southern Bay of Biscay: climate change and swoddy structure)from remote sensing and in situ measurements. *Journal of Geophysical Research.* 107 (C8), 101029/2001JC001012.

- García-Soto, C., 'Prestige' oil spill and Navidad flow, *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 84(2), 297-300, 2004.
- Gil, J. & Sánchez R., 2001. ¿Es determinante la dinámica en los niveles superiores de la columna de agua sobre la abundancia y distribución de peces en el mar Cantábrico?. *Física de la Tierra*, 13, pp. 55-70.
- Gil, J., 1995. Inestabilidades, fenómenos de mesoscala y movimiento vertical a lo largo del borde sur del golfo de Vizcaya. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 11 (2), pp. 141-159.
- Gil, J., et al., 2002. Mesoscale variability in a high-resolution grid in the Cantabrian Sea (southern Bay of Biscay), May 1995. *Deep-Sea Research* 49, pp. 1591-1607.
- Gil, J., 2003. Changes in the pattern of water masses resulting from a poleward slope current in the Cantabrian Sea (Bay of Biscay). *Estuarine, coastal and shelf science*, 56, pp. 1-11.
- González, N., et al., 1980. Introducción al estudio de la plataforma continental Rías Arosa y Muros. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 5(282): 77-87
- Grasshoff, K.; et al., 1999. *Methods of Seawater Analysis*, ed. WILEY-VCH, 600 pp.
- Haynes, R. & Barton E.D., 1990. A poleward flow along the Atlantic Coast of the Iberian Peninsula. *Journal of Geophysical Research*, 95 (C7), pp. 11425-11441.
- Koutsikopoulos, C., et al., 1988. Temporal trends and spatial structures of the Sea Surface Temperature in the Bay of Biscay. *Oceanol. Acta*, 21 (2): 331-340.
- Lavín, A., 1992. SARP area cruise. Hydrography and nutrients. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 8(1): 7-26
- Lavín, A., 1992. Condiciones hidrográficas de la zona Galicia-Cantábrico Abril-Mayo 1990. *Inf. Tec. Inst. Esp. Oceanogr.*, 109. 58 pp.
- Lavín, A., J. M. Cabanas, G. Díaz del Río, 1992. Hydrography in N-NW Spanish coastal waters. MPH Saracus 0488 Cruise. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 8 (1) : 41-55.
- Lavín, et al., 1998. Seasonal and inter-annual variability in properties of surface water off Santander, Bay of Biscay, 1991-1995. *Oceanologica Acta*, 21 (2): 179-190
- Mariño, J., et al., 1985. Variación estacional de los factores ambientales y del fitoplancton en la zona de Lorbé (Ría de Ares y Betanzos) en 1978. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 2(1): 88-99
- Millero, F.J., 1996. *Chemical Oceanography*, ed. CRC Press LLC, 469 pp.
- Molina, R., 1972. Contribución al estudio del upwelling frente a la costa noroccidental de la península ibérica. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 152: 3-39
- Moreno-Ventas, X., 1998. Distribución y Dinámica del Fitoplancton en la Bahía de Santander. Tesis doctoral. Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente. 472 pp.
- Nogueira, E., G. Gonzalez-Nuevo, A. Bode, M. Varela, X. A. G. Moran, and L. Valdes. 2004. Comparison of biomass and size spectra derived from optical plankton counter data and net samples: application to the assessment of mesoplankton distribution along the Northwest and North Iberian Shelf, *Ices Journal of Marine Science*, 61(4), 508-517
- Pingree, R.D., Le Cann, B., 1990. Structure, strength and seasonality of the slope currents in the Bay of Biscay region. *Journal of the marine biological Association of the United Kingdom* 70, 857-885.
- Pingree, R.D., Le Cann, B., 1992a. Three anticyclonic slope water oceanic eddies (SWODDIES) in the southern Bay of Biscay. *Deep-Sea Research* 39 (7/8), 1147-1175.
- Pingree, R.D., Le Cann, B., 1992b. Anticyclonic eddy X91 in the southern Bay of Biscay, May 1991 to February 1992. *Journal of Geophysical Research* 97 (C9), 14353-14367.
- Quintana, D. et al., 2003. Caracterización de las masas de agua de la plataforma costera frente a Santander (Cantabria, España)". II Congreso Int. de Ciencia y Tecnología Marina 'Océanos III Milenio' (Alicante, 22 al 25 de abril de 2003).
- Ruiz-Villareal, M., C. González-Pola, G. Díaz del Río, A. Lavín, P. Otero, S. Piedracoba and J.M. Cabanas. 2006. Oceanographic conditions in North and Northwest Iberia and their influence on the *Prestige* oil spill. *Marine Pollution Bulletin*, doi:10.1016/j.marpolbul.2006.03011
- Sánchez, F., Gil, J., 2000. Hydrographic mesoscale structures and Poleward Current as a determinant of hake (*Merluccius merluccius*) recruitment in southern Bay of Biscay. *ICES Journal of Marine Science* 57, 152-170.

Sánchez, R., Gil, J., 1999. Formación, deriva y modificación de estructuras mesoscalares en el borde sur del Golfo de Vizcaya. 2ª Asamblea hispano-portuguesa de geodesia y geofísica, 615-616.

Strickland, J.D.H., and Parsons, T. R., 1968. A manual for sea water analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Canada, 167. 311pp.

Valdés, L., et al., 1991. Ciclo anual de parámetros hidrográficos, nutrientes y plancton en la plataforma continental de La Coruña (NO, España). Bol. Inst. Esp. Oceanogr., 7 (1): 91-138