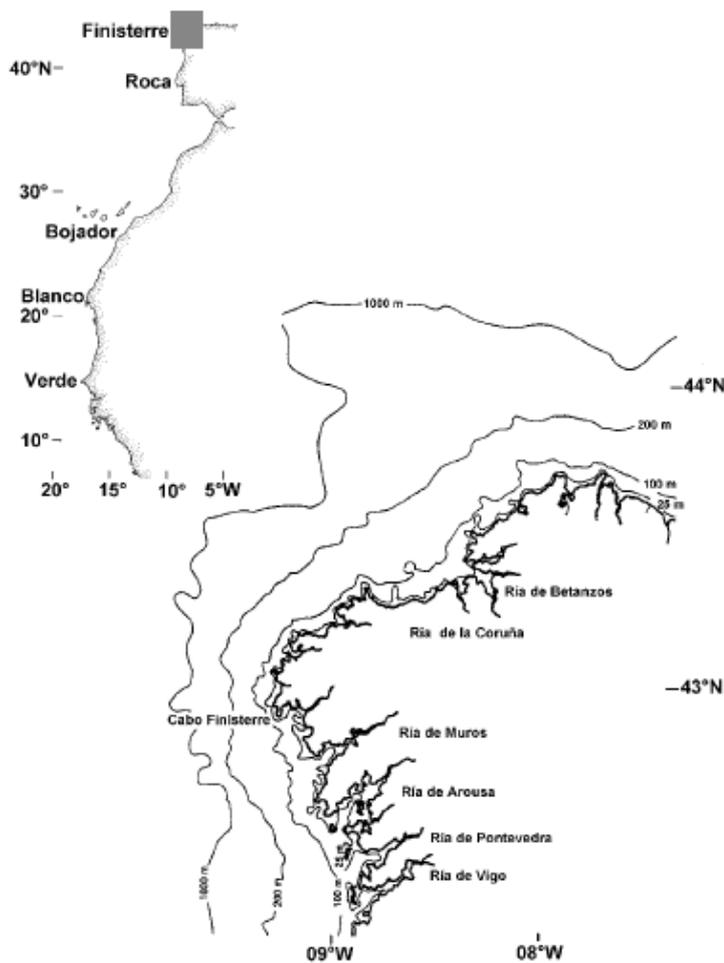


**ESTUDIO AMBIENTAL DEL PUERTO DE  
VIGO**

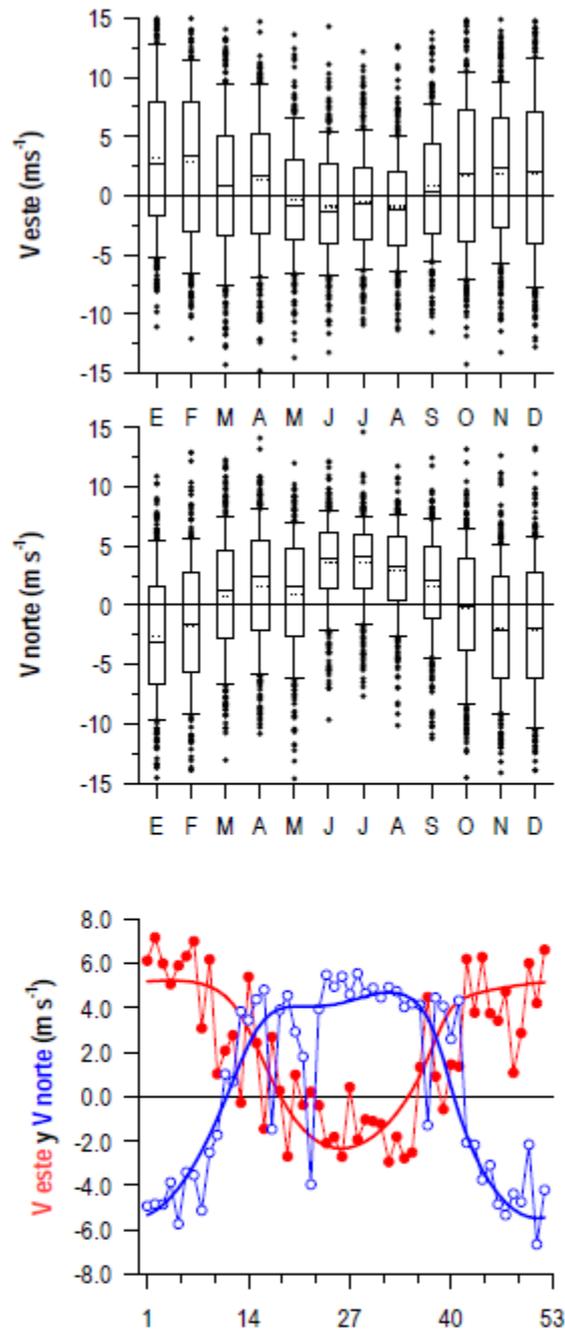
### 3.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y TIPO DE COSTA

#### Las costas gallegas

Las Rías Baixas en general, y la Ría de Vigo en particular, se encuentran en el límite septentrional de uno de los ecosistemas marinos más productivos del mundo: el sistema de afloramiento costero de la Corriente de Canarias– Península Ibérica, que se extiende entre las latitudes 10°N y 44°N (**Figura II.1.1**).



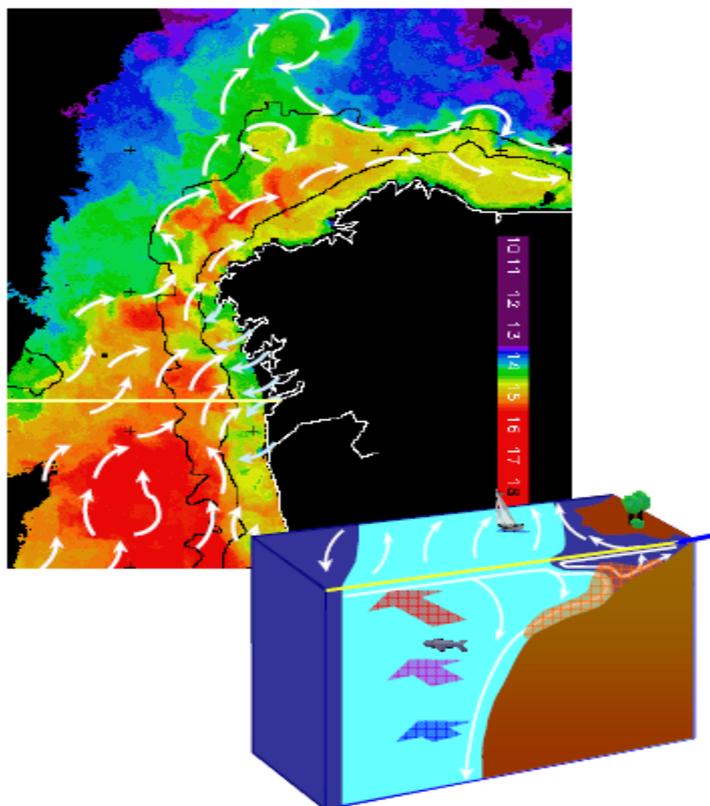
**Figura II.1.1.** Mapa del margen Este del Atlántico Norte, sistema de afloramiento costero de la Corriente de Canarias– Península Ibérica. En detalle, las costas gallegas.



**Figura II.1.2.** Valores mensuales de las componentes Este–Oeste y Norte–Sur del viento que sopla sobre la plataforma frente a las Rías Baixas obtenidos a partir de una serie diaria de datos entre 1982 y 2000. En las gráficas (a) y (b) se muestran la media (línea de puntos), mediana (línea continua), el rango en el que se encuentran el 50% de las observaciones (caja) y el rango en el que se encuentran el 80% de las observaciones (bigotes). En la gráfica c se muestran los valores medios semanales, reales (puntos) y suavizados (líneas) en el periodo 1982–2000 para las dos componentes del viento

A nuestras latitudes (42–44°N), la circulación en las capas superficiales de agua se relaciona con los fuertes cambios estacionales observados en el régimen de vientos sobre la plataforma continental.

Desde Marzo–Abril a Septiembre–Octubre, el Anticiclón de las Azores se refuerza, situándose en el centro del Atlántico Norte al tiempo que la Borrasca de Islandia se debilita. Durante este periodo dominan vientos de componente Noroeste. Por el contrario, el resto del año prevalecen vientos de componente Sureste, a consecuencia del desplazamiento del Anticiclón de las Azores hacia el Noroeste de África y el reforzamiento de la Borrasca de Islandia. La **Figura II.1.2** muestra el ciclo estacional de las componentes Este y Norte del viento que sopla sobre la plataforma continental frente a las Rías Baixas. En la **Tabla II.1.1** se recogen los valores medios mensuales, así como los límites dentro de los que se encuentran el 50% y el 80% de las observaciones de ambas componentes del viento de plataforma.



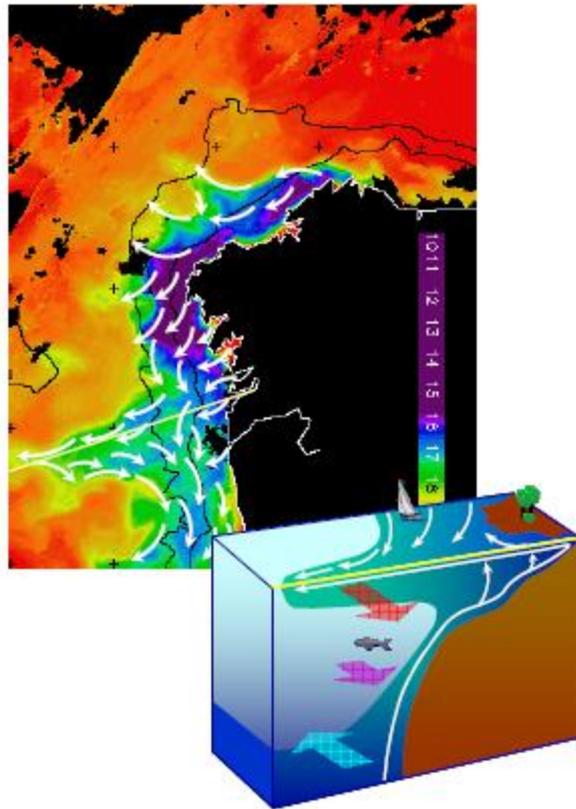
**Figura II.1.3.** Imagen de satélite AVHRR y patrón de circulación típico en Otoño e Invierno. Colores "cálidos" en la imagen de satélite (amarillo, naranja y rojo) indican temperaturas progresivamente mayores. Por el contrario, colores "fríos" (verde, azul y morado) indican temperaturas progresivamente menores. Igualmente se muestra la circulación de agua, tanto en dirección paralela como perpendicular a la costa.

Vientos de componente Sur producen transporte hacia el Norte de una lengua de agua cálida y salada de origen subtropical (formada al Sur de 40°N), así como su apilamiento en la plataforma continental. La presencia de agua de origen subtropical a nuestras latitudes se detecta en las imágenes de temperatura superficial del mar enviadas por satélites dotados con el *Advanced Very high Resolution Radiometer* (AVHRR). Un buen ejemplo es la imagen presentada en la **Figura II.1.3**.

Esta cuña de agua cálida, que gira en torno al Cabo Finisterre y penetra en el Mar Cantábrico, fue bautizada por Robin Pingree como “Corriente de Navidad”, por las fechas en las que ocurre, en clara referencia al conocido fenómeno de “El Niño” característico del Perú. Posteriormente, Isabel Ambár y Armando Fiúza le dieron el sistemático nombre de ‘Contracorriente Costera de Portugal’, si bien el más aceptado en la actualidad es “Corriente Ibérica hacia el Polo”. Las inundaciones sufridas en Galicia durante el Invierno 2000–2001, que dieron lugar a la catástrofe de Castelo de Paiva (Portugal), o la dispersión del fuel del petrolero *Prestige* por las costas gallegas y el Mar Cantábrico en el Invierno de 2002–2003 están relacionadas con la “Corriente Ibérica hacia el Polo”.

Por el contrario, vientos de componente Norte producen desplazamiento del agua superficial hacia el océano abierto, pasando a ser ocupado su lugar por agua subsuperficial que “surge” o “aflora” desde 150–200 metros de profundidad (de ahí la palabra “afloramiento”). El agua aflorada, conocida como Agua Central del Nordeste Atlántico (ACNAE), es fría (menos de 15°C) y rica en sales nutrientes. El fenómeno de afloramiento también se detecta fácilmente en las imágenes enviadas por satélites dotados con AVHRR, como la mostrada en la **Figura II.1.4**. En ella se observa un frente de afloramiento, con agua fría (menos de 15°C) en la plataforma frente a las Rías Baixas. Según transcurre el verano, el frente de afloramiento suele evolucionar hacia estructuras más complejas como el “ojo de afloramiento” del Cabo Finisterre (detectado por las temperaturas más frías de la zona) y el “filamento de afloramiento” de las Rías Baixas (detectado como un dedo de agua fría que se extiende hacia el océano), tal como muestra la imagen de satélite. Estas estructuras juegan un papel crucial en la evacuación de agua de la costa hacia el océano.

El afloramiento costero, responsable de las bajas temperaturas del mar en el verano gallego, es la causa primaria de la riqueza pesquera y marisquera de nuestras costas.



**Figura II.1.4.** Imagen de satélite AVHRR y patrón de circulación típico en Primavera y Verano. Colores "cálidos" en la imagen de satélite (amarillo, naranja y rojo) indican temperaturas progresivamente mayores. Por el contrario, colores "fríos" (verde, azul y morado) indican temperaturas progresivamente menores. Igualmente se muestra la circulación de agua, tanto en dirección paralela como perpendicular a la costa.

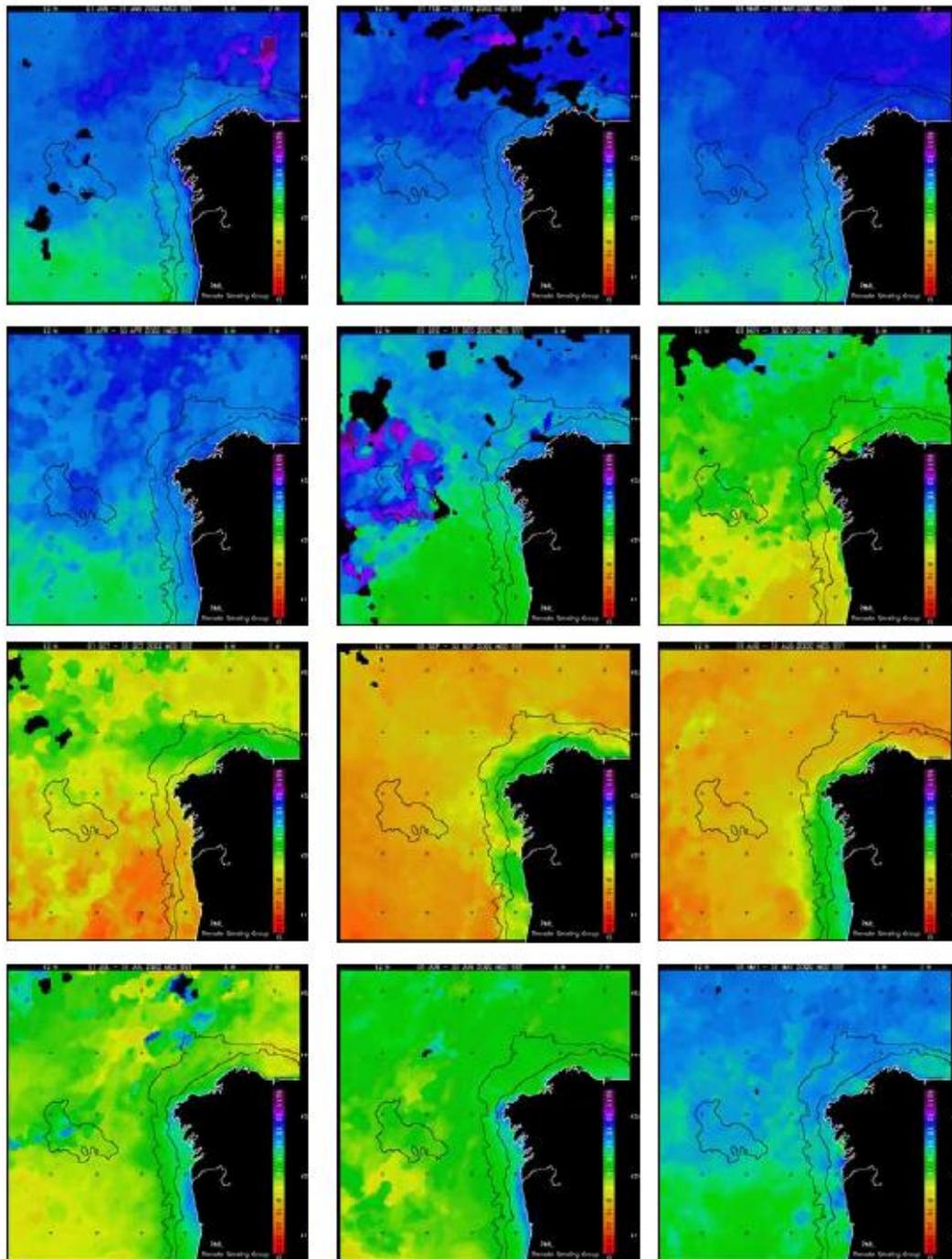


Figura II.1.5. Sucesión de medias mensuales (Enero a Diciembre) de la temperatura superficial de las costas gallegas y el océano adyacente para el año 2002. Colores "cálidos" en la imagen de satélite (amarillo, naranja y rojo) indican temperaturas progresivamente mayores. Por el contrario, colores "fríos" (verde, azul y morado) indican temperaturas progresivamente menores. Imágenes cedidas por S. Groom, *Remote Sensing Group, Plymouth Marine Laboratory* (Reino Unido).

Desde el punto de vista de la dispersión de un contaminante, la “Corriente Ibérica hacia el Polo” tiende a confinar el contaminante en la costa, mientras que el afloramiento tiende a dispersarlo hacia el océano abierto.

En la **Figura II.1.5** se muestra una sucesión de 12 imágenes de satélite (medias mensuales del año 2002) de la temperatura superficial del mar en las costas de Galicia y océano adyacente. En ellas se puede observar la evolución desde las frías temperaturas superficiales (menores de 14°C) durante el periodo de mezcla invernal hasta las elevadas temperaturas superficiales (mayores de 18°C) durante la estratificación estival en el océano adyacente a las costas gallegas. También se puede observar como en Julio, pero sobre todo Agosto y Septiembre, la temperatura superficial de las aguas costeras es claramente más fría que las del océano adyacente, debido al fenómeno de afloramiento. Sin embargo, el ciclo estacional de la **Figura II.1.5** sólo explica el 15% de la variabilidad total observada en la temperatura superficial de la costa, mientras que más de un 70% de dicha variabilidad se concentra en periodos menores de 30 días. Es especialmente reseñable la variabilidad observada en el comienzo y fin de la época de afloramiento: mientras que la primera puede ocurrir dentro del dilatado margen de tres meses, la segunda suele ocurrir en el relativamente estrecho periodo de un mes.

### **La Ría de Vigo**

La Ría de Vigo es la más septentrional de las cuatro Rías Baixas, formadas por hundimiento de los valles fluviales del Oitavén–Verdugo (Vigo), Lerez (Pontevedra), Ulla y Umia (Arousa) y Tambre (Muros) durante la Trásgresión Flandriense hace 18000 años. Juan Ramón Vial Romaní agrupa las rías gallegas en cuatro clases:

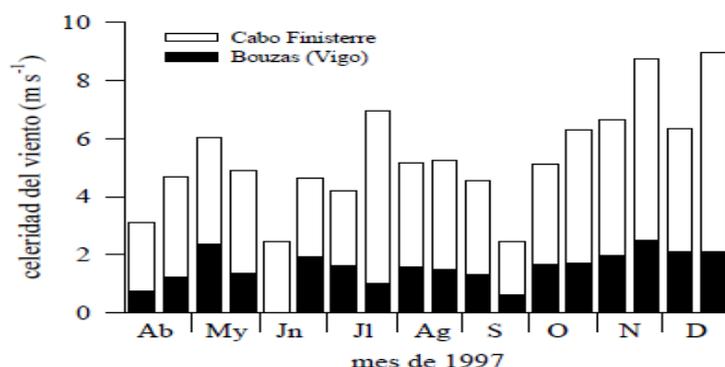
1. *Rías en embudo*. El factor fluvial es el principal agente formador de la ría. Realmente la ría se corresponde con la parte inferior del río inundada por el mar: rías de Barqueiro, Foz, Ferrol y Ares.
2. *Rías tectónicas*. En su origen predomina el factor tectónico, su morfología no puede atribuirse únicamente a la acción erosiva del río: rías de Vigo, Pontevedra y Muros.
3. *Rías de cuenca de alteración terciaria inundadas*. Son las rías verdaderas ya que durante las fases marinas regresivas sufrieron una importante erosión fluvial.
4. *Rías mixtas*. Se encuadran aquí las rías que presentan características de los otros tres grupos citados anteriormente. Se incluyen en este grupo las rías de Arousa

Ortigueira, Cedeira y Viveiro (que tienen caracteres de 1) y 3), mientras que Ribadeo, Laxe, Camariñas y Betanzos tienen caracteres de 1) y 2).

**Tabla II.1.2.** Resumen de la geometría básica de las cuatro Rías Baixas, aportes continentales y tiempo de renovación (media anual) para fines comparativos.

	Muros	Arousa	Pontevedra	Vigo
Volumen (Km <sup>3</sup> )	2,74	4,34	3,45	3,12
Superficie (Km <sup>2</sup> )	125	230	145	176
Profundidad media (m)	22	19	24	18
Longitud (Km)	18	25	23	33
Anchura en boca (Km)	17,2	8,8	5,7	11,6
Profundidad máxima (m)	45	60	40	55
Caudal fluvial medio (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	54	74	15	26
Tiempo de renovación medio (d)	7	18	26	13

Las Rías Baixas son bahías en forma de V, que se van haciendo más anchas y profundas según nos desplazamos hacia la plataforma, donde llegan a tener hasta 17 Km de ancho y 60 m de profundidad. Este tipo de morfología favorece el intercambio de agua con la plataforma continental adyacente. En la **Tabla II.1.2** se resumen las características morfológicas más relevantes de las cuatro Rías Baixas. La Ría de Vigo tiene volumen y profundidad intermedios, es la más larga y estrecha y la menos profunda.



**Figura II.1.6.** Velocidad (media diaria) del viento registrado en la Estaciones Meteorológicas que el Instituto Nacional de Meteorología tiene en Cabo Finisterre y el Instituto de Investigaciones Marinas de Vigo durante el año 1997. Ver **Figura II.1.7** para localizar las estaciones.

El intercambio de agua entre las rías y la plataforma está parcialmente bloqueado por la presencia de las Islas Cíes en Vigo, Islas de Ons en Pontevedra e Isla de Sálvora en Arousa, que conforman el Parque Nacional Marítimo– Terrestre de las Islas Atlánticas, zona especialmente protegida. La boca Sur de estas tres rías es mucho más ancha y profunda que la boca Norte, de forma que la mayor parte del intercambio con la plataforma se efectúa a través de ella. La orografía de las Rías Baixas, con montes relativamente elevados (mayores de 400m) flanqueándolas, las protegen del efecto directo de los vientos, que resultan mucho más débiles que en la plataforma continental (aproximadamente un tercio; ver **Figura II.1.6**), y orientados a lo largo del eje principal de las rías.

La Ría de Vigo se localiza geográficamente entre los 42° 09' y los 42° 21' de latitud Norte y entre los 8° 36' y 8° 56' de longitud Oeste. Desde el punto de vista geomorfológico e hidrográfico, puede dividirse en tres zonas bien diferenciadas (**Figura II.1.7**):



**Figura II.1.7.** Orografía y batimetría de la Ría de Vigo, indicando los principales accidentes geográficos, tanto terrestres como marinos.

1) *Zona interna*. Comprende la bahía de San Simón, cuenca de sedimentación de 15 km<sup>2</sup> de superficie y 3 metros de profundidad donde se descargan la mayor parte de los aportes continentales a la Ría de Vigo, principalmente el Río Oitavén–Verdugo, parcialmente controlado por la Presa de Eiras, en Fornelos de Montes. En marea baja, queda al descubierto el 60% de su superficie.

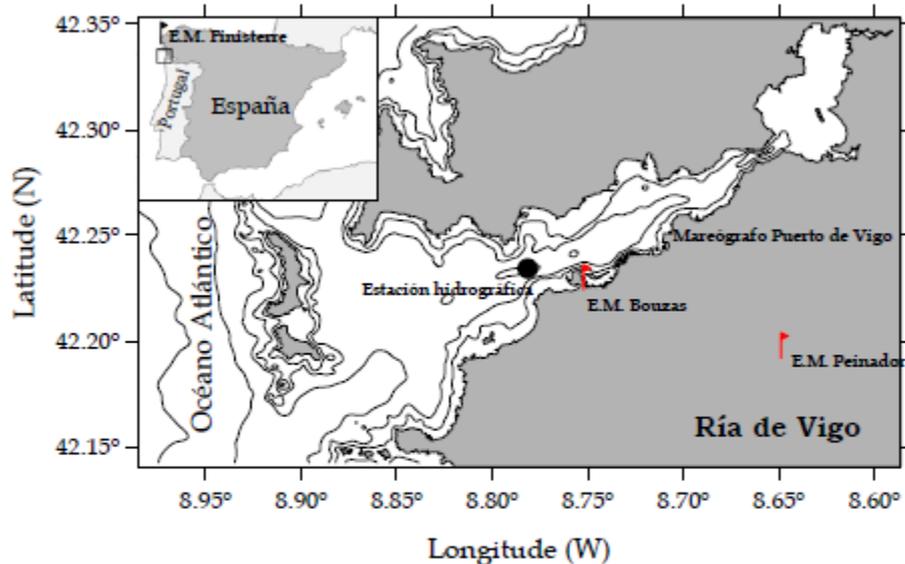
2) *Zona media*. Va desde el estrecho de Rande hasta la línea que une punta Borneira con cabo de Mar (**Figura II.1.7**). En esta zona se encuentran las instalaciones de la Autoridad Portuaria de Vigo. Se trata de un canal de unos 15 kilómetros de longitud, en forma de V, cuya profundidad máxima aumenta gradualmente desde los 20 metros en Rande a los 40 metros en Borneira.

3) *Zona externa*. Va desde la línea Borneira–Cabo de Mar hasta las Islas Cíes, donde la ría se ensancha y gana profundidad. Esta parte más exterior de la ría se comunica con el Océano Atlántico por la Boca Sur, la Boca Norte y el Freu da Porta (**Figura II.1.7**). La Boca Norte se sitúa entre la Punta Robaleira y la Isla de Monte Agudo (o Isla Norte), perteneciente a las Islas Cíes, con una longitud de aproximadamente 2,5 Km y una profundidad máxima de 25 m. La Boca Sur se sitúa entre Cabo Vicos en la Isla de San Martín (es la isla Sur de las Cíes) y Monteferro, su longitud es prácticamente el doble de la Boca Norte y su profundidad máxima ronda los 60 m. El Freu da Porta es un pequeño y estrecho canal de 7 m de profundidad que separa la Isla de San Martín de la Isla del Faro.

La circulación de la zona interna esta dominada por los vientos locales, los aportes continentales y las mareas. La circulación de la zona externa está dominada por el viento que sopla en la plataforma continental adyacente, que fuerza el intercambio de agua con la ría a través de las bocas Norte y Sur. La circulación de la zona media, la que más nos interesa por encontrarse en ella las instalaciones portuarias, está sujeta a ambas influencias.

### 3.2. DESCRIPCIÓN DEL CLIMA ATMOSFÉRICO Y MARÍTIMO, HIDROGRAFÍA Y DINÁMICA METEOROLÓGICA DE LA RÍA DE VIGO

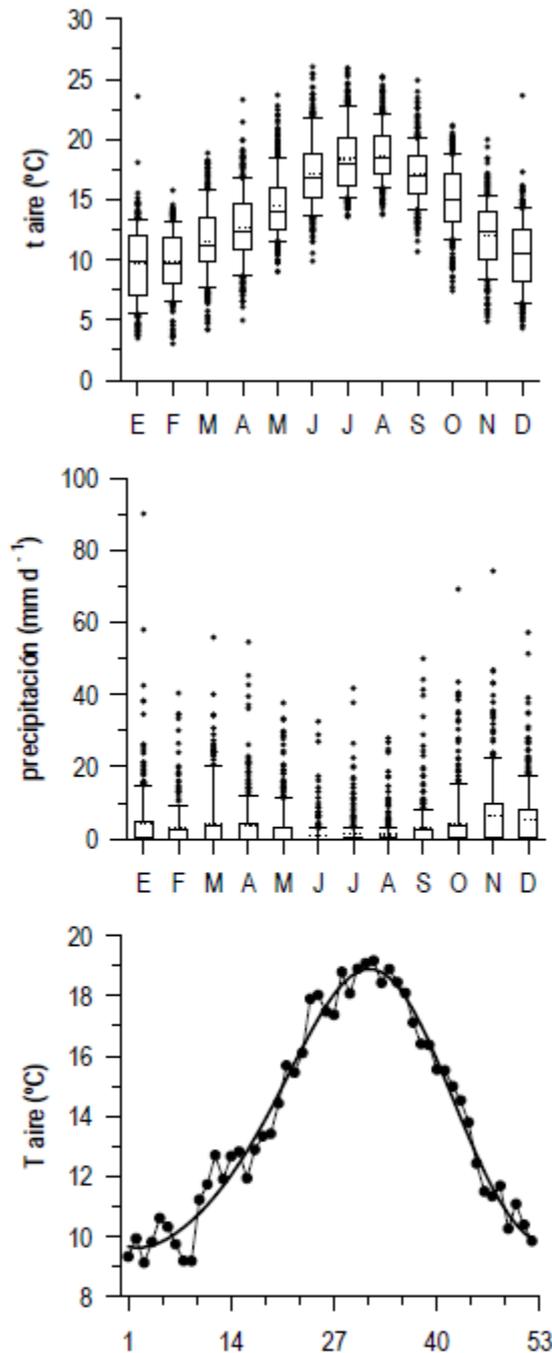
En la **Figura II.1.8** se muestran la posición de la estación meteorológica que el Instituto Español de Meteorología tiene en la Ría de Vigo, sita en la terraza del Instituto de Investigaciones Mariñas (CSIC). De esta estación se han extraído los datos que se presentan en la **Tabla II.1.3** y en las **Figuras II.1.9** y **10**.



**Figura II.1.8.** Localización de las estaciones meteorológicas e hidrográficas donde se han realizado las observaciones usadas en este informe.

**Tabla II.1.3.** Valores medios mensuales de la temperatura del aire (en °C) y la precipitación (en mm/d) en la Ría de Vigo obtenidos a partir de los registros horarios de la Estación Meteorológica de Bouzas entre 1993 y 2003. Se indican los valores medios, así como los rangos dentro de los que se encuentran el 50% y 80% de las observaciones.

	Temperatura del aire (°C)					Precipitación (mm/ d)				
	media	50%	80%	50%	80%	media	50%	80%	50%	80%
E	9,65	7,09	11,94	5,48	13,39	4,3	0,0	4,4	0,0	14,7
F	9,78	8,09	11,83	6,48	13,21	2,9	0,0	2,4	0,0	9,1
MZ	11,56	9,79	13,45	7,63	15,79	4,1	0,0	3,4	0,0	20,2
A	12,61	10,82	14,66	8,64	16,78	3,7	0,0	3,9	0,0	12,1
MY	14,46	12,46	15,91	11,55	18,50	3,1	0,0	3,0	0,0	11,1
JN	17,19	15,16	18,79	13,63	21,80	1,1	0,0	0,1	0,0	2,9
JL	18,38	16,19	20,05	15,13	22,72	1,5	0,0	0,3	0,0	3,2
A	18,71	17,16	20,24	15,99	22,04	1,2	0,0	0,1	0,0	3,1
S	17,13	15,56	18,58	14,20	20,07	3,0	0,0	2,8	0,0	8,2
O	15,05	13,19	17,20	11,72	18,70	4,2	0,0	3,3	0,0	15,0
N	11,97	10,03	13,97	8,46	15,30	6,4	0,0	9,7	0,0	22,4
D	10,46	8,28	12,56	6,40	14,24	5,2	0,0	7,9	0,0	16,9



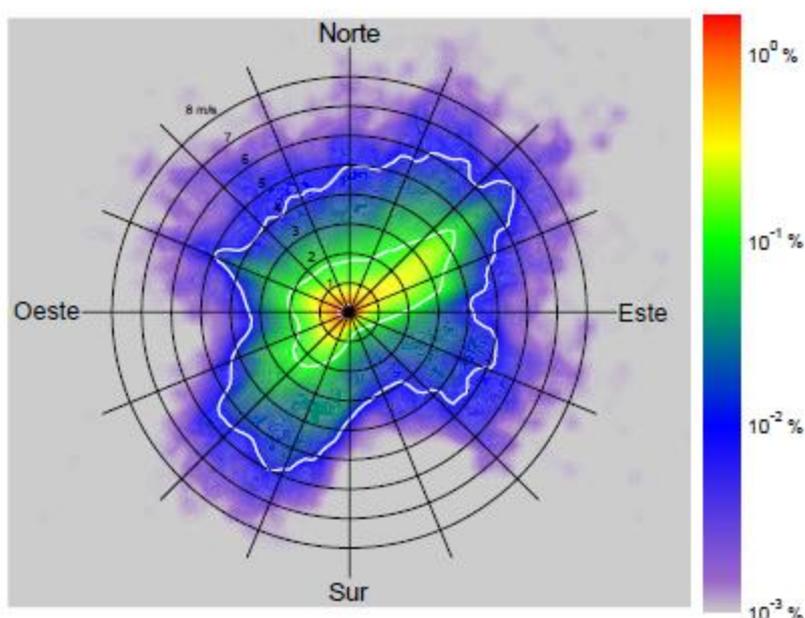
**Figura II.1.9.** Valores mensuales de la temperatura del aire y la precipitación en la Estación Meteorológica de Bouzas obtenidos a partir de una serie diaria de datos de 1993 a 2003. En las gráficas (a) y (b) se muestran la media (línea de puntos), mediana (línea continua), el rango en el que se encuentran el 50% de las observaciones (caja) y el rango en el que se encuentran el 80% de las observaciones (bigotes). En la grafica c se muestra el valor medio semanal real (puntos) y suavizado (líneas) en el periodo 1993–2003 para la temperatura del aire.

## Temperatura del aire y régimen de precipitaciones de la Ría de Vigo

En la **Tabla II.1.3** se recogen los valores medios mensuales, así como los límites dentro de los que se encuentran el 50% y el 80% de las observaciones de temperatura del aire (en °C) y precipitación (en mm/d) registrados en la estación meteorológica de Bouzas durante el periodo 1993–2003. En la **Figura II.1.9** se muestran los resultados de dicha tabla de forma gráfica.

## Viento local

En la **Figura II.1.10** se muestra la intensidad y dirección más probables del viento local registrado en la estación meteorológica de Bouzas en el periodo 1993–2003. Los colores más cálidos (amarillo, naranja y rojo) indican aumento progresivo de la probabilidad. Por el contrario, los colores fríos (verde, azul y morado) indican descenso progresivo de la probabilidad.



**Figura II.1.10.** Rosa de los vientos locales en la Ría de Vigo, a partir del registro horario de la Estación Meteorológica de Bouzas en el periodo 1993–2003. La escala de colores indica la probabilidad de cada intensidad (mayor intensidad a mayor radio de los círculos concéntricos) y dirección y sentido (N, S, E y O) dados.

En consecuencia, los vientos más probables suelen ser de intensidad menor a 4 m/s en la dirección del eje principal de la Ría de Vigo, bien en sentido entrante (vientos de componente Oeste), bien en sentido saliente (vientos de componente Este). También son importantes los vientos locales en dirección transversal al eje de la Ría de Vigo, es decir, en sentido Vigo–Cangas (vientos de componente Sur) o Cangas–Vigo (vientos de componente Norte).

El viento juega un papel clave en el transporte de cualquier contaminante menos denso que el agua de mar, tal y como es el caso de los hidrocarburos, debido al arrastre que produce sobre la capa superficial. Así, por término medio, un viento de 10 m/s es capaz de desplazar los hidrocarburos de la capa superficial del mar a una velocidad de 30 cm/s, según la conocida “relación del 3%” (proporción entre la velocidad del agua y la del viento). Además, la deriva que el viento provoca sobre una mancha u objeto flotante tiene una cierta deflexión hacia la derecha. Si bien teóricamente esta deflexión es de 45°, en la práctica barre un arco entre los 10° y los 30°.

Puesto que el viento local es uno de los factores más relevantes en la dispersión de contaminantes pasivos menos densos que el agua, como es el caso de los derivados del petróleo, se ha decidido simular situaciones de velocidad del viento local de 0,0 m/s (calma) y 10,0 m/s (viento intenso) en la dirección del eje principal de la ría (componentes Oeste y Este) y en la dirección transversal (componentes Norte y Sur).

### **Aportes continentales**

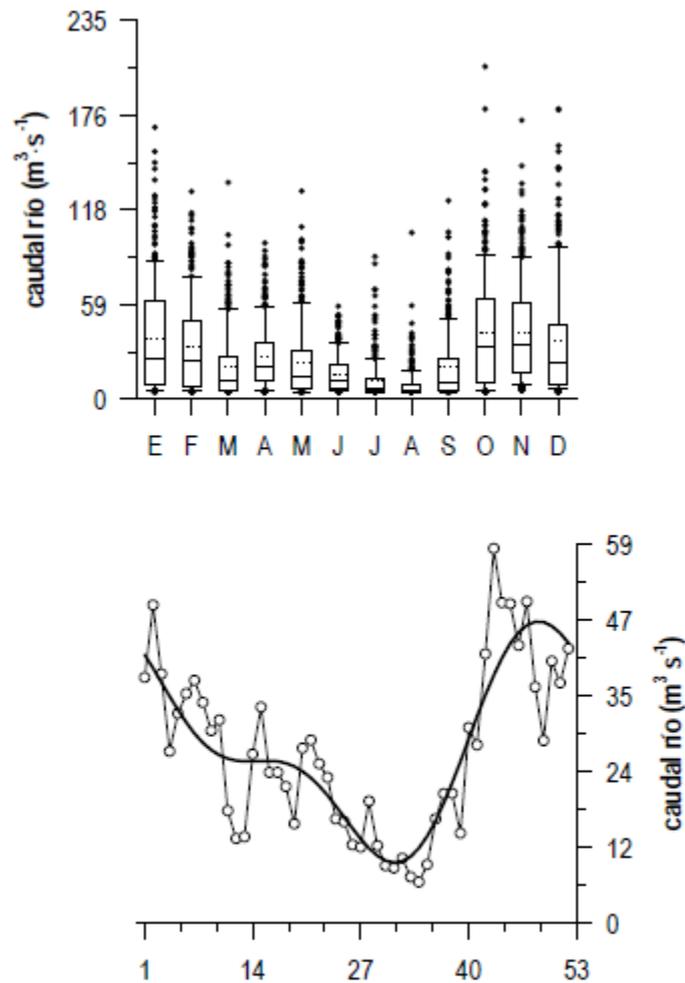
En la **Tabla II.1.4** se muestran los valores medios mensuales, así como los límites dentro de los que se encuentran el 50% y el 80% de las observaciones de aportes continentales a la zona interna y media de la Ría de Vigo (en m<sup>3</sup>/s). En la **Figura II.1.11** se muestran los resultados de dicha tabla de forma gráfica.

Los aportes continentales a la Ría de Vigo son el resultado de la combinación de un flujo regulado por la presa de Eiras, en el curso alto del Río Oitavén, que suministra agua potable a la Ría de Vigo, y un flujo natural de agua, debido fundamentalmente al Río Verdugo, que confluye con el Otiavén antes de desembocar en la Bahía de San Simón y, en menor medida los ríos Redondela y Ullo (**Figura II.1.12**).

**Tabla II.1.4.** Valores medios mensuales de los aportes continentales a la Ría de Vigo (en m<sup>3</sup>/s) obtenidos a partir de datos de descarga de la Presa de Eiras y la aplicación de la Ley de Horton (Ríos et al. 1992) entre 1987 y 2000. Se indican los valores medios, así como los rangos dentro de los que se encuentran el 50% y 80% de las observaciones.

	Aportes continentales (m <sup>3</sup> /s)				
	media	50%		80%	
E	38	9	61	6	86
F	33	8	48	5	76
MZ	21	6	26	5	56
A	26	12	35	6	57
MY	23	7	30	5	60
JN	16	7	22	5	34
JL	12	5	13	5	25
A	9	5	9	5	17
S	20	5	25	5	51
O	41	11	62	6	90
N	42	16	60	9	87
D	36	10	47	6	95

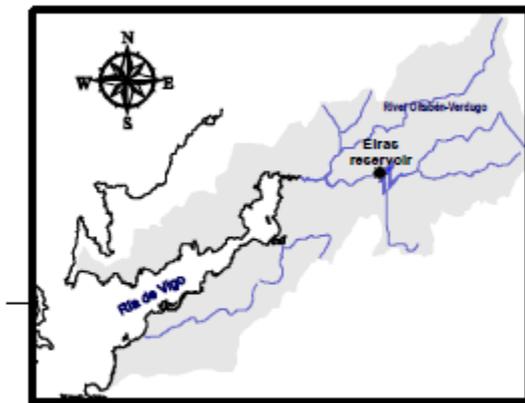
Desde el punto de vista de la dispersión de un contaminante, los aportes continentales modifican la salinidad de la capa superficial del agua de la ría, alterando su densidad (a mayor aporte continental, menor salinidad y, por tanto, menor densidad), lo que afecta a la flotabilidad del contaminante. Los aportes continentales contribuyen además al transporte de contaminantes hacia el exterior de la Ría de Vigo, preferentemente por la boca Norte. Por consiguiente, los aportes continentales no son especialmente relevantes para el plan de emergencias del puerto, pero si lo serían en el momento de activar el Plan Interior Marítimo.



**Figura II.1.11.** Valores mensuales de los aportes continentales a la zona interna y media de la Ría de Vigo para el periodo 1987–2000. En la gráfica (a) se muestran la media (línea de puntos), mediana (línea continua), el rango en el que se encuentran el 50% de las observaciones (caja) y el rango en el que se encuentran el 80% de las observaciones (bigotes). En la gráfica b se muestra el valor medio semanal real (puntos) y suavizado (líneas) en el periodo en el periodo 1987–2000.

## Hidrografía de la Ría de Vigo

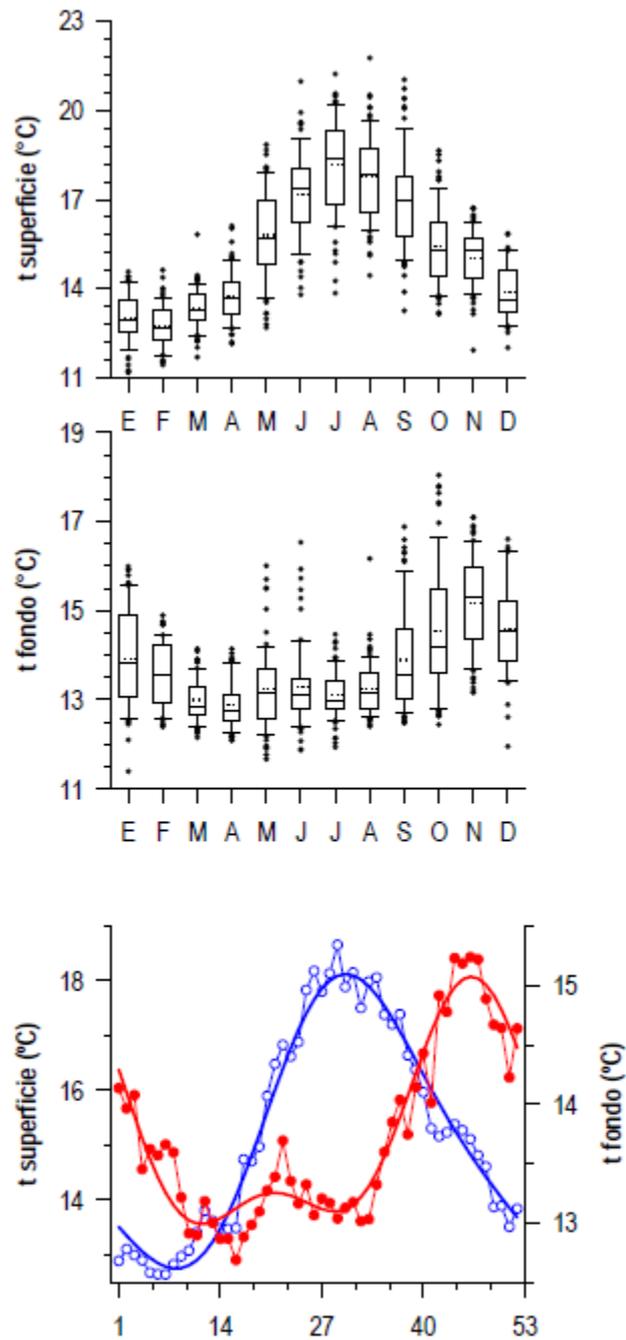
Más de un 90% del agua que circula por la superficie de la Ría de Vigo es agua de la plataforma continental adyacente (oscilando entre el 92% en Invierno y el 98% en Verano), más o menos modificada en superficie por los aportes de agua dulce desde la parte interna de la ría y el calentamiento o enfriamiento que experimenta a consecuencia del intercambio de calor con la atmósfera. A partir de una serie de datos semanales de salinidad y temperatura superficial y de fondo (40 metros de profundidad) recogidos por el Grupo de Oceanología del Instituto de Investigaciones Mariñas (CSIC) en la estación hidrográfica de la Ría de Vigo (**Figura II.1.8**) entre 1987 y 2000, se han preparado las **Tablas II.1.5 y 6** y la **Figuras II.1.13 y 14**.



**Figura II.1.12.** Cuenca hidrográfica de la Ría de Vigo, mostrando sus principales tributarios y la posición de la Presa de Eiras.

**Tabla II.1.5.** Valores medios mensuales de temperatura del agua en superficie y fondo (40 m) en la estación hidrográfica de la Ría de Vigo a partir de registros semanales medidos entre 1987 y 2000. Se indican los valores medios, así como los rangos dentro de los que se encuentran el 50% y 80% de las observaciones.

	Temperatura superficial (°C)					Temperatura de fondo (°C)				
	media	50%	80%	50%	80%	media	50%	80%	50%	80%
E	12,99	12,57	13,58	12,07	14,20	13,92	13,09	14,91	12,59	15,54
F	12,71	12,24	13,27	11,75	13,60	13,58	12,95	14,23	12,59	14,41
MZ	13,34	12,90	13,82	12,44	14,12	13,00	12,68	13,31	12,41	13,66
A	13,72	13,16	14,21	12,67	14,88	12,87	12,54	13,10	12,26	13,82
MY	15,80	14,81	16,84	13,78	17,90	13,26	12,59	13,71	12,24	14,11
JN	17,15	16,22	18,03	15,13	19,06	13,28	12,81	13,48	12,39	14,24
JL	18,15	16,89	19,33	16,13	20,21	13,10	12,79	13,41	12,53	13,89
A	17,78	16,59	18,69	15,93	19,62	13,24	12,80	13,58	12,61	13,96
S	16,97	15,80	17,79	14,95	19,22	13,89	13,03	14,57	12,78	15,77
O	15,45	14,44	16,21	13,76	17,12	14,54	13,59	15,48	12,79	16,66
N	15,05	14,34	15,72	13,84	16,22	15,18	14,38	15,98	13,74	16,56
D	13,87	13,22	14,59	12,75	15,27	14,59	13,90	15,21	13,41	16,31



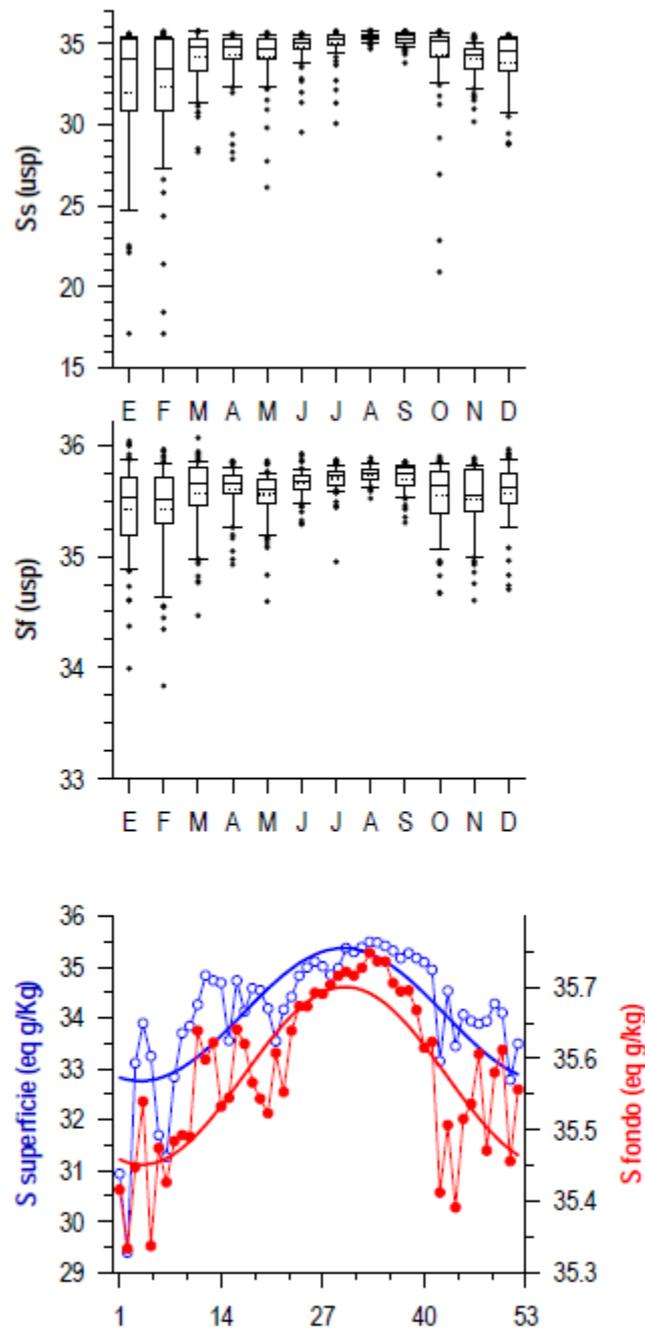
**Figura II.1.13.** Valores mensuales de la temperatura superficial y de fondo en la estación hidrográfica de la Ría de Vigo a partir de una serie semanal de datos de 1987 a 2000. En las gráficas (a) y (b) se muestran la media (línea de puntos), mediana (línea continua), el rango en el que se encuentran el 50% de las observaciones (caja) y el rango en el que se encuentran el 80% de las observaciones (bigotes). En la gráfica c se muestran los valores medios semanales real (puntos) y suavizado (líneas) en el periodo en el periodo 1987–2000 para las dos temperaturas.

## Variación temporal de las propiedades termohalinas

Los aspectos más llamativos de la distribución de temperatura son el mínimo observado en fondo en Primavera y Verano, debido al fenómeno de afloramiento y la concordancia entre la temperatura del aire (**Figura II.1.9c**) y la temperatura superficial del agua (**Figura II.1.13c**). Ambas series muestran valores máximos a mediados del Julio (19 °C en aire y 18 °C en agua) y mínimos a principios de Febrero (9,5 °C en aire y 12,7 °C en el agua). En las distribuciones de salinidad se aprecia el efecto del agua dulce drenada por la cuenca hidrográfica, especialmente en Otoño e Invierno.

**Tabla II.1.6.** Valores medios mensuales de salinidad del agua en superficie y fondo (40 m) en la estación hidrográfica de la Ría de Vigo a partir de los registros semanales medidos entre 1987 y 2000. Se indican los valores medios, así como los rangos dentro de los que se encuentran el 50% y 80% de las observaciones.

	Salinidad superficial (eq g sal/Kg agua)					Salinidad de fondo (eq g sal/Kg agua)				
	Media	50%	80%	50%	80%	media	50%	80%	50%	80%
E	31,93	30,80	35,27	25,32	35,41	35,42	35,19	35,71	34,90	35,86
F	32,36	30,92	35,24	27,52	35,46	35,43	35,29	35,71	34,65	35,82
MZ	34,14	33,39	35,25	31,55	35,70	35,56	35,48	35,80	34,98	35,85
A	34,25	34,12	35,26	32,49	35,47	35,59	35,56	35,72	35,26	35,80
MY	34,18	34,13	35,27	32,49	35,48	35,56	35,49	35,68	35,21	35,73
JN	34,76	34,62	35,35	33,90	35,49	35,65	35,61	35,72	35,49	35,77
JL	35,06	34,89	35,51	34,48	35,59	35,70	35,64	35,76	35,59	35,81
A	35,42	35,24	35,59	35,09	35,72	35,73	35,69	35,77	35,63	35,83
S	35,24	34,98	35,53	34,79	35,68	35,70	35,63	35,79	35,53	35,82
O	34,27	34,22	35,44	32,86	35,63	35,54	35,39	35,76	35,12	35,84
N	34,00	33,50	34,72	32,34	34,98	35,51	35,40	35,78	35,01	35,82
D	33,85	33,42	35,30	30,77	35,43	35,57	35,48	35,73	35,28	35,88



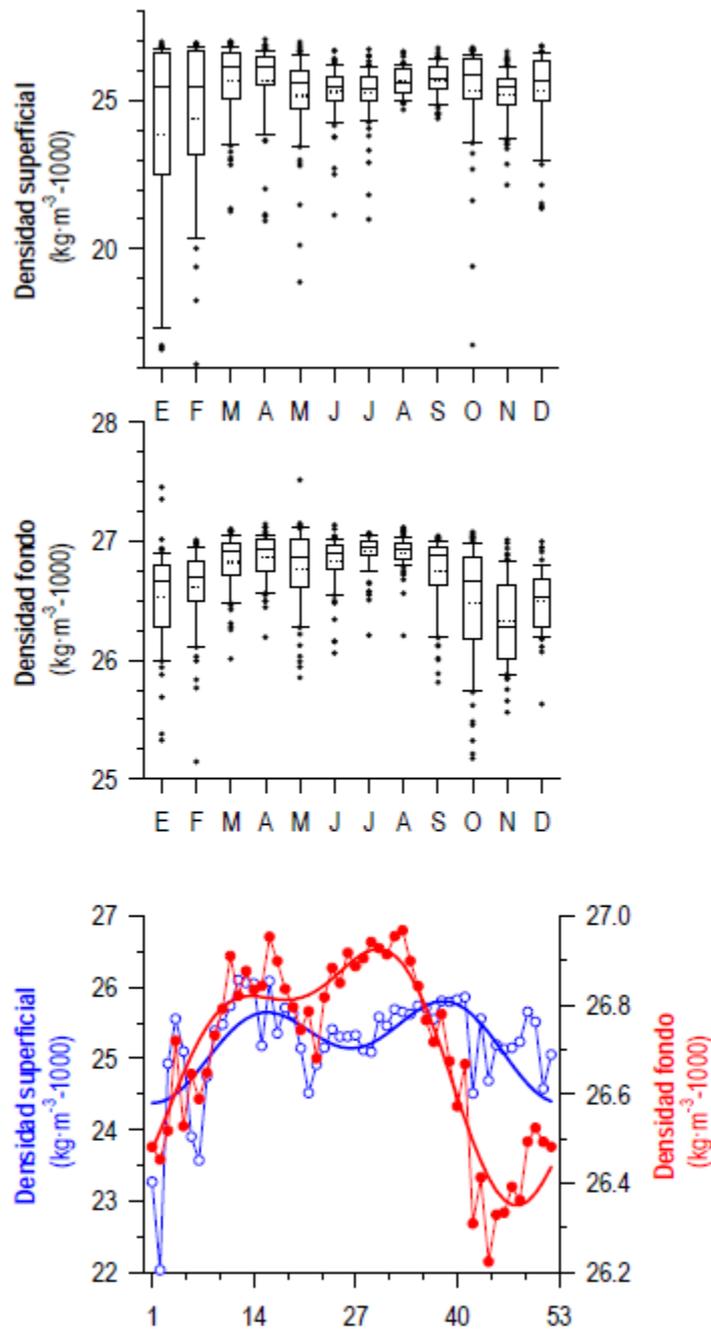
**Figura II.14.** Valores mensuales de la salinidad superficial y de fondo en la estación hidrográfica de la Ría de Vigo a partir de una serie semanal de datos de 1987 a 2000. En la gráfica (a) y (b) se muestran la media (línea de puntos), mediana (línea continua), el rango en el que se encuentran el 50% de las observaciones (caja) y el rango en el que se encuentran el 80% de las observaciones (bigotes). En la gráfica c se muestran los valores medios semanales real (puntos) y suavizado (líneas) en el periodo en el periodo 1987–2000 para las dos salinidades.

A partir de la salinidad y la temperatura se calcula la densidad del agua superficial y de fondo en la estación hidrográfica de la Ría de Vigo haciendo uso de la ecuación de UNESCO (1985). En la **Tabla II.1.7** se recogen los valores medios mensuales, así como los límites dentro de los que se encuentran el 50% y el 80% de las observaciones de densidad del agua de mar de superficie y fondo en la estación hidrográfica de la Ría de Vigo. En la **Figura II.1.15** se muestran los resultados de dicha tabla de forma gráfica.

Desde el punto de vista de la dispersión de un contaminante, las propiedades termohalinas del agua de la ría son importantes para determinar su densidad y, por consiguiente, la flotabilidad del fuel. En todo caso, puesto que la densidad de agua de la ría es siempre mayor de 1 Kg/L y la de los derivados del petróleo menor de 1 Kg/L, el líquido derramado tenderá a flotar en el agua, quedando pues a merced de las corrientes superficiales.

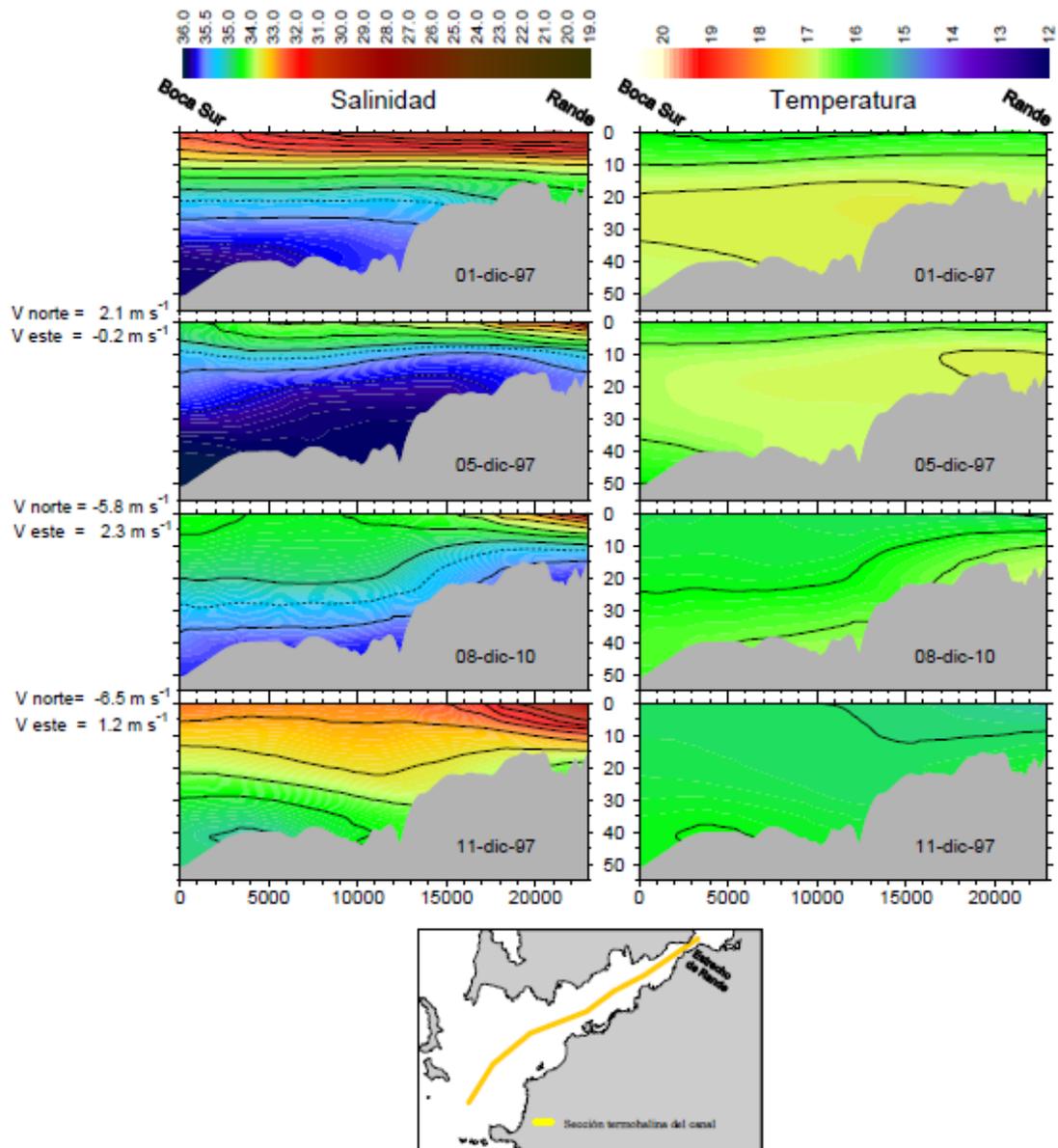
**Tabla II.1.7.** Valores medios mensuales de densidad del agua en superficie y fondo (40 m) en la estación hidrográfica de la Ría de Vigo a partir de los registros semanales de salinidad y temperatura entre 1986 y 2000. Se indican los valores medios, así como los rangos dentro de los que se encuentran el 50% y 80% de las observaciones.

	Densidad superficial - 1000 (g/L)					Densidad de fondo - 1000 (g/L)				
	media	50%	80%	50%	80%	media	50%	80%	50%	80%
E	23,83	22,51	26,62	18,82	26,76	26,53	26,29	26,80	26,00	26,90
F	24,38	23,17	26,69	20,83	26,77	26,61	26,50	26,84	26,13	26,96
MZ	25,65	25,11	26,61	23,60	26,80	26,83	26,73	26,98	26,48	27,05
A	25,65	25,55	26,47	24,24	26,68	26,88	26,76	27,02	26,58	27,05
MY	25,16	24,76	25,97	23,50	26,50	26,77	26,62	27,02	26,30	27,11
JN	25,29	24,97	25,77	24,26	26,23	26,84	26,77	26,97	26,56	27,02
JL	25,27	24,99	25,79	24,29	26,12	26,91	26,88	27,01	26,75	27,05
A	25,64	25,25	26,05	24,99	26,16	26,91	26,86	26,98	26,81	27,02
S	25,70	25,41	26,12	24,90	26,38	26,74	26,63	26,95	26,20	27,00
O	25,30	25,04	26,39	23,65	26,53	26,48	26,17	26,87	25,75	26,99
N	25,20	24,95	25,75	23,71	26,14	26,33	26,02	26,62	25,90	26,81
D	25,32	25,03	26,32	22,99	26,61	26,50	26,28	26,68	26,19	26,79



**Figura II.15.** Valores mensuales de la densidad superficial y de fondo en la estación hidrográfica de la Ría de Vigo a partir de una serie semanal de datos de 1987 a 2000. En las gráficas (a) y (b) se muestran la media (línea de puntos), mediana (línea continua), el rango en el que se encuentran el 50% de las observaciones (caja) y el rango en el que se encuentran el 80% de las observaciones (bigotes). En la gráfica c se muestran los valores medios semanales reales (puntos) y suavizados (líneas) en el periodo 1987–2000 para las dos densidades.

### Variación espacial de las propiedades termohalinas

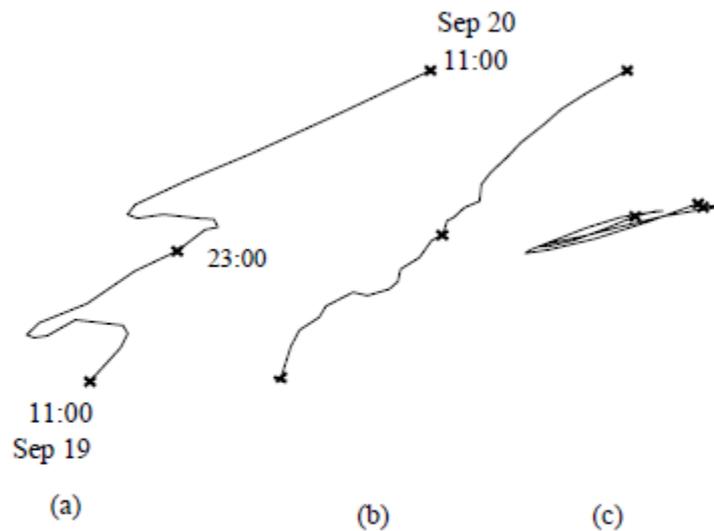


**Figura II.1.16.** Distribuciones de temperatura y salinidad a lo largo del eje destral de la Ría de Vigo, desde el Estrecho de Rande hasta la boca Sur del 1 al 11 de Diciembre de 1997. Los números a la izquierda indican la intensidad media del viento que sopla en la plataforma continental adyacente del 1 al 5, del 5 al 8 y del 8 al 11 de Diciembre de 1997.

En la **Figura II.1.16** se muestra un ejemplo de la fuerte variación a lo largo del eje central de la Ría de Vigo de la salinidad y la temperatura en respuesta a los aportes continentales y el viento que sopla en la plataforma adyacente. Los datos corresponden al mes de Diciembre de 1997. Entre el día 1 y 5 de Diciembre se observa entrada la entrada de agua subsuperficial fría y salda por fondo, en respuesta a vientos moderados vientos de componente Norte (2,1 m/s). Del 5 al 8 de Diciembre se observa un marcado hundimiento del agua más salada de fondo a consecuencia de intensos vientos de componente Sur (5,8 m/s). Finalmente, vientos continuados de componente Sur del 8 al 11 de Diciembre (6,5 m/s) producen la total evacuación del agua salada de fondo de la ría.

### Hidrodinámica de la Ría de Vigo

#### Circulación residual *versus* circulación mareal



**Figura II.1.17.** Vector progresivo de la corriente total (a), residual (b) y mareal (c) registrada por un correntímetro mecánico RCM7 situado a 10m de profundidad en el segmento central de la Ría de Vigo desde las 11:00h del 19 a las 11:00h del 20 de Septiembre de 1991. Tomado de Pérez (2000).

La circulación de la Ría de Vigo consta de dos componentes: mareal (generada por las mareas) y residual (independiente de la marea, función de los aportes continentales y los vientos locales y de plataforma).

Mientras que la circulación mareal dispersa un contaminante dentro de los márgenes definidos por la elipse de marea, retornando aproximadamente al punto de partida después de cada ciclo de marea, la circulación residual lo desplaza netamente en la dirección marcada por el viento local y de plataforma y los aportes continentales.

Para ilustrar este punto se muestra la circulación total (**Figura II.1.17a**) y las componentes residual (**Figura II.1.17b**) y mareal (**Figura II.1.17c**) registradas durante 24 horas por un correntímetro mecánico situado a 10m de profundidad en el segmento central de la Ría de Vigo el 19–20 de Septiembre de 1991.

#### Tiempo de residencia versus tiempo de renovación

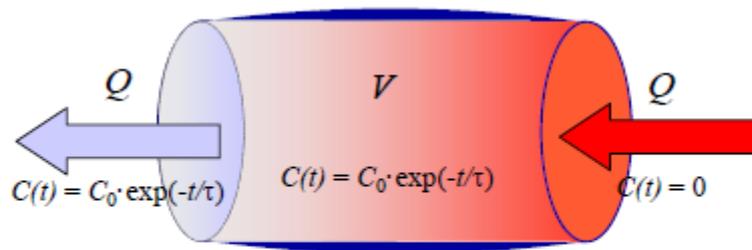
Es fundamental puntualizar que el término ‘tiempo de renovación’ tiene en Oceanografía un significado muy concreto que, desafortunadamente, no coincide con el significado que tiene para la sociedad en general. El ‘tiempo de renovación’ de un sistema ( $\tau$ ) se define como el periodo que ha de transcurrir para que fluya a través del sistema un caudal de agua ( $\sum_i Q_i$ ) equivalente al volumen de dicho sistema ( $V$ ), es decir:

$$\tau = \frac{V}{\sum_{\text{entrada}} Q_i} = \frac{V}{\sum_{\text{salida}} Q_i}$$

Para el caso de un volumen cilíndrico como el presentado en la **Figura II.1.18**, la evolución temporal de la concentración de un contaminante ( $C$ ), que se encuentra inicialmente en concentración  $C_0$  y se aclara con un caudal de entrada  $Q$  libre de ese contaminante se calcula como:

$$C(t) = C_0 \times \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

Lo que significa que, cuando haya transcurrido el tiempo de renovación, la concentración de  $C$  en el sistema,  $C(\tau)$ , no será ni mucho menos cero, sino  $C_0/e$ , es decir, aún permanecerá en el sistema un 37% de la cantidad de contaminante que había inicialmente. Para que sólo quede un 1% del contaminante, instante en el que podríamos considerar que el sistema está descontaminado, este debe renovarse no 1,0 sino 4,6 veces.



**Figura II.1.18.** Representación esquemática de un sistema simple en flujo continuo, de volumen  $V$  y caudal de entrada y salida  $Q$ .  $C_0$  es la concentración inicial de un contaminante en el interior del sistema.

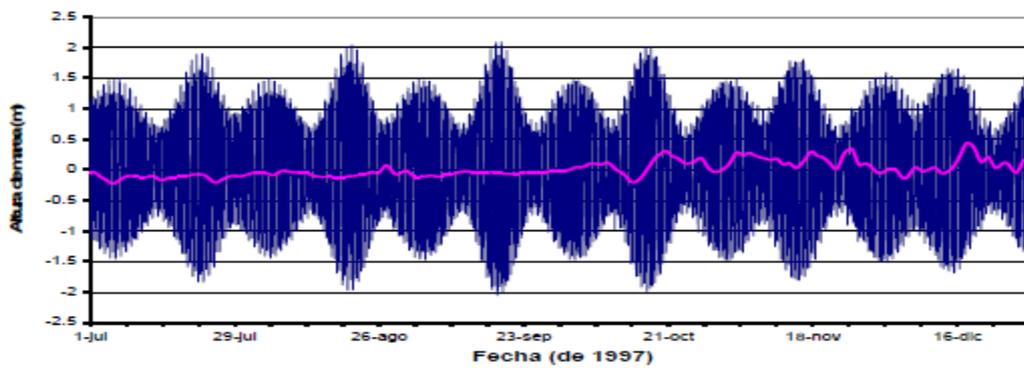
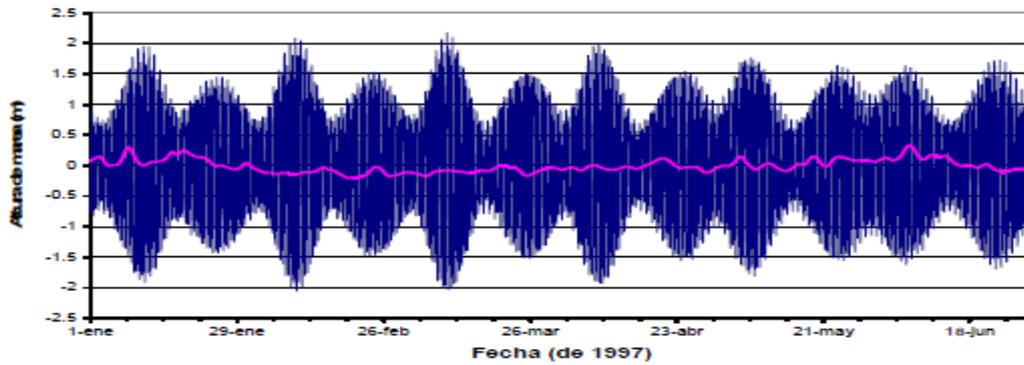
Así, cuando un oceanógrafo apunta que el agua de una ría puede renovarse en, digamos, 1 semana, no está diciendo, ni mucho menos, que ese sea el tiempo que cualquier contaminante vertido en sus aguas resida en su interior. Si esto último es lo que se quiere determinar, entonces habría que decir que cuanto menos deberíamos dejar que transcurriese 1 mes para que la ría se descontaminase.

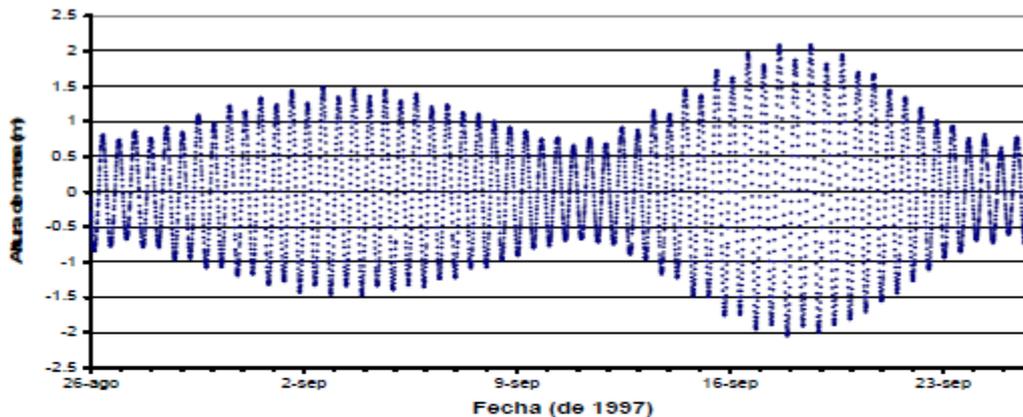
## Mareas

Las mareas en la Ría de Vigo presentan un carácter semidiurno con lo cual existen dos bajamares y dos pleamares a lo largo de cada día. En la **Figura II.1.19** se muestra la variación del nivel del mar medida en 1997 en el Puerto de Vigo por el mareógrafo de Puertos del Estado (situado en  $8^{\circ} 43' 35''$  W,  $42^{\circ} 14' 33''$  N). El mareógrafo consta de un sensor de ultrasonidos SONAR que hace una lectura cada 5 minutos ([www.puertos.es](http://www.puertos.es)).

Los datos de nivel del mar se han descompuesto en dos series utilizando un filtro estadístico con una frecuencia de corte que permite descomponer la señal del nivel del mar en una serie mareal (línea azul en **Figura II.1.19**) y en una serie meteorológica (línea morada en **Figura II.1.19**). La serie mareal está producida principalmente por los

efectos gravitatorios de la Luna y el Sol y la serie meteorológica está generada primordialmente por variaciones de la presión atmosférica por borrascas y anticiclones.





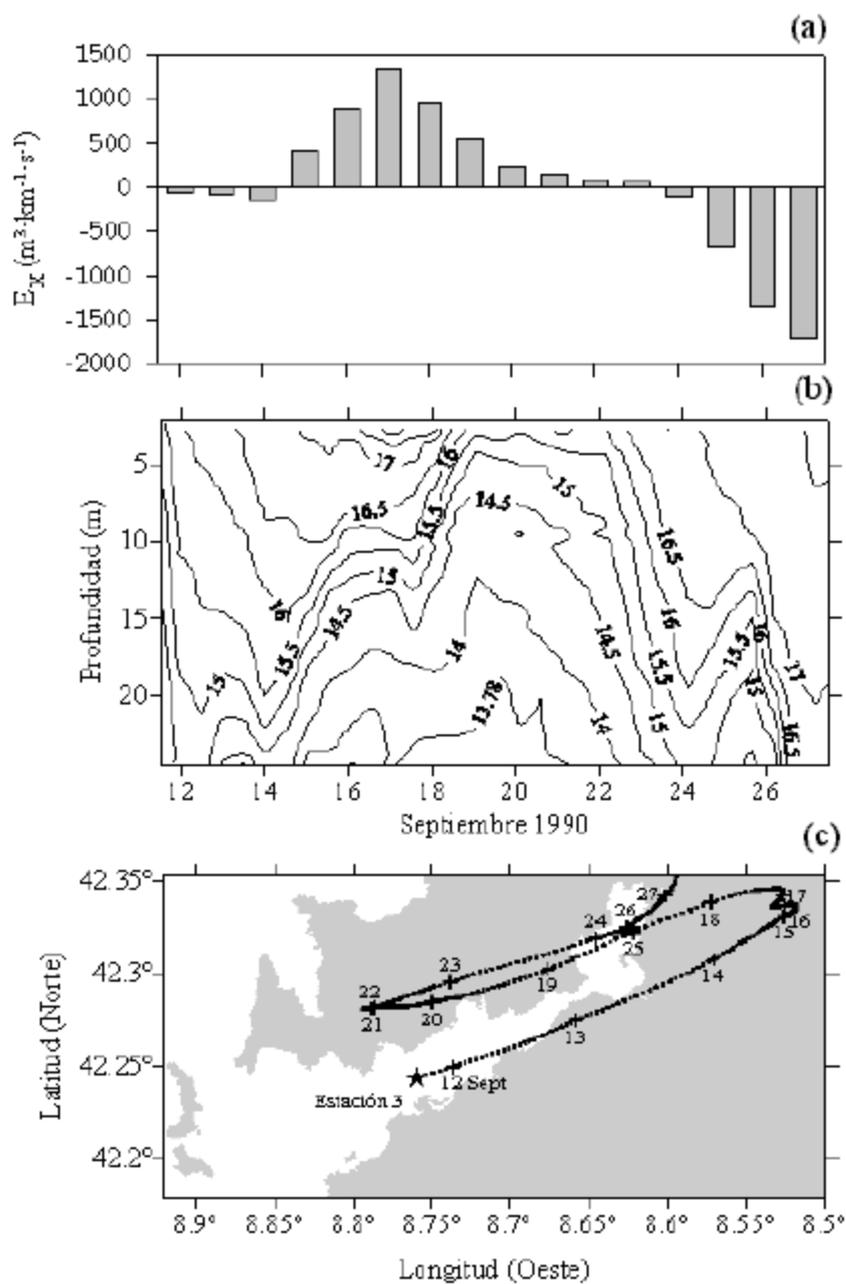
**Figura II.1.19** Variación del nivel del mar en la Ría de Vigo en 1997 medida cada 5 minutos en el puerto de Vigo (datos tomados por Puertos del Estado, [www.puertos.es](http://www.puertos.es)). En las gráficas se presentan la variación del nivel del mar descompuesto en una serie residual (línea clara) y en una serie mareal (línea oscura), la suma de ambas es el nivel del mar medido. Las gráficas (a) y (b) representan la primera y segunda mitad del año 1997 respectivamente. La gráfica (c) muestra una ampliación del periodo del 26-Agosto a 26-Septiembre en el que se aprecian tanto las mareas vivas–muertas como el carácter semidiurno de la marea.

En las **Figuras II.1.19a** y **b** puede observarse como la señal mareal es mucho más importante que la meteorológica. Mientras la amplitud de las variaciones mareales ronda los 2 metros, los picos de las variaciones meteorológicas apenas alcanzan los 5 cm. Por otra parte, es necesario destacar la modulación quincenal que presenta la señal mareal (**Figuras II.1.19a** y **b**) debido a las transiciones entre mareas vivas y mareas muertas. Así la amplitud de las dos mareas que se producen cada día (**Figura II.1.19c**) pasa, en unos quince días, de los 2 metros en una situación de marea viva a los 50 cm en una de mareas muertas. Las mareas más extremas se producen de Enero a Febrero y de Agosto a Diciembre (**Figuras II.1.19a** y **b**).

### **Circulación residual de la Ría de Vigo**

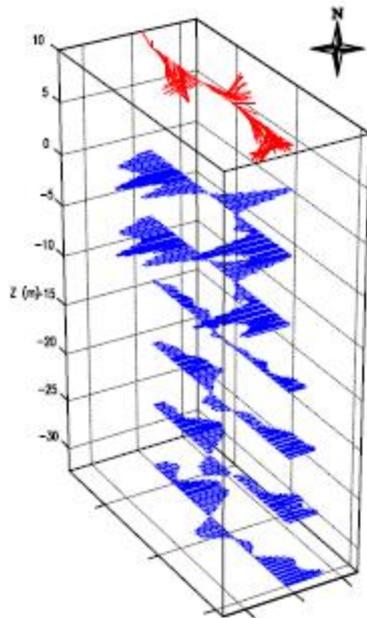
La **Figura II.1.20** muestra datos en continuo de temperatura del agua y de la corriente residual superficial recogidos en la estación hidrográfica de la Ría de Vigo a lo largo del mes de Septiembre de 1990. La gráfica superior (**Figura II.1.20a**) nos muestra la evolución temporal de la componente Norte del viento que sopla en la plataforma adyacente. Se observa una clara evolución desde **1**) una situación de calma el 14 de Septiembre a **2**) viento norte (afloramiento) el 17 de Septiembre, seguido de **3**) una relajación que se extiende hasta el 24 de Septiembre y, finalmente, **4**) un intenso episodio de viento sur (hundimiento), que alcanza su cenit el 27 de Septiembre.

La gráfica central (**Figura II.1.20b**) muestra la respuesta de la columna de agua al viento costero. La evolución temporal de las isotermas de 14–15°C es paralela a la de V norte desde el 12 al 24 de Septiembre. Durante el episodio de hundimiento del 24 al 27 de Septiembre el agua de 14–15°C se retira de la columna de agua, pasando a ser ocupado su lugar por agua de más de 17°C en los primeros 20m. La gráfica inferior (**Figura II.1.20c**) muestra la trayectoria que seguiría un contaminante pasivo sometido a la corriente superficial medida por el correntímetro en la estación hidrográfica de la ría. Se ha aplicado un filtro de marea a los datos del correntímetro, de manera que la trayectoria representada se corresponde con la circulación residual, es decir, aquella que queda una vez se elimina el efecto de la marea.

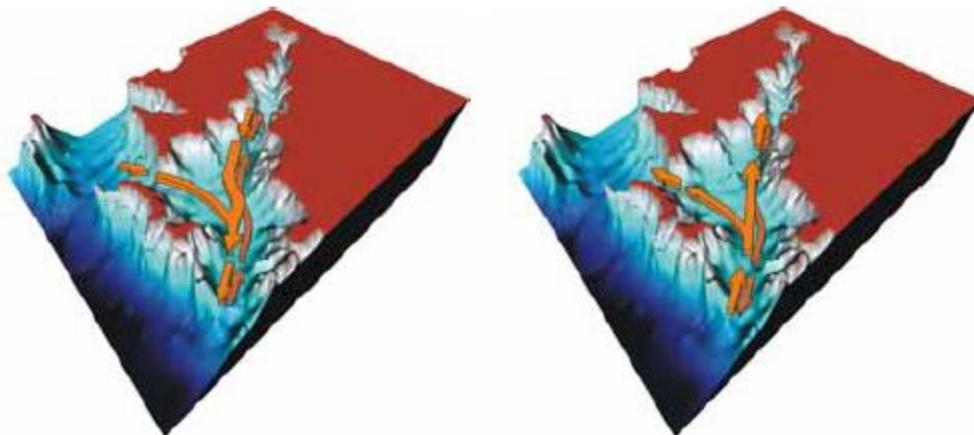


**Figura II.1.20.** Evolución temporal de la componente Norte del viento en plataforma (a), temperatura de los 25 primeros metros de la columna de agua (b), y trayectoria virtual de la circulación residual en superficie registrada por un correntímetro mecánico RCM7 a 4m de profundidad (c) en el segmento central de la Ría de Vigo. Tomada de Gilcoto *et al.* (2001).

Un ejemplo todavía mejor es el presentado en la **Figura II.1.21**, donde se muestra la evolución temporal durante el mes de Febrero de 2002 de la circulación residual en la Estación hidrográfica de la Ría de Vigo. Nótese el grado de acuerdo entre el viento que sopla en la plataforma adyacente y la circulación tanto superficial como de fondo en la ría.



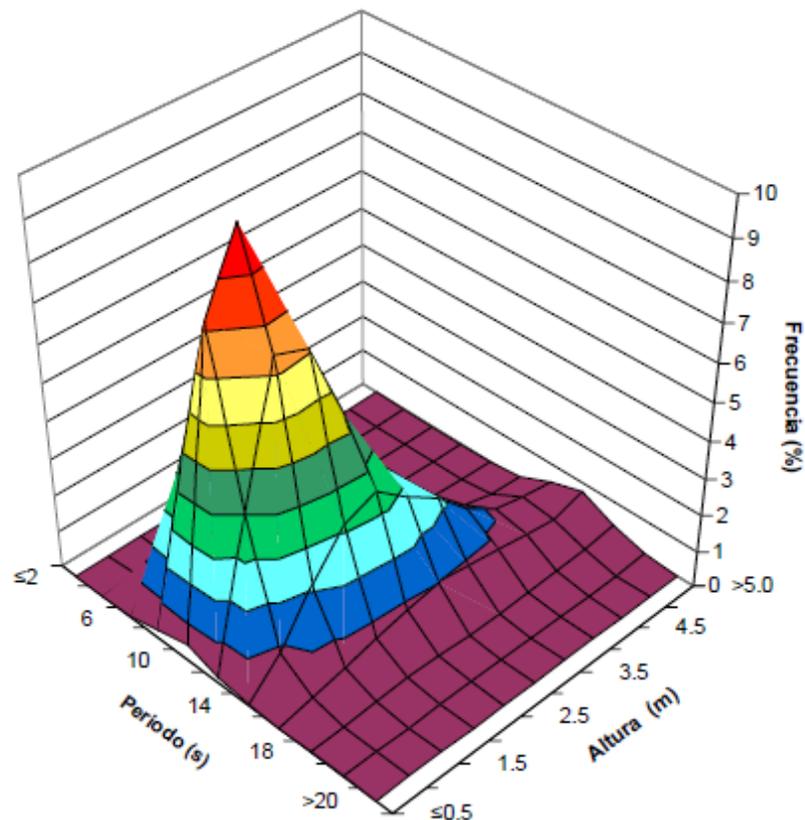
**Figura II.1.21.** Corrientes residuales a cinco niveles en la estación hidrográfica de la Ría de Vigo a lo largo del mes de Febrero de 2002. Tomado de Piedracoba et al. (enviado)



**Figura II.1.22.** Esquemas de la circulación de la parte externa de la Ría de Vigo en situaciones tipo de vientos del Norte (a) y vientos del Sur (b) soplando en la plataforma continental adyacente.

En la parte externa de la Ría el patrón de circulación se hace más complicado, al interaccionar la circulación residual de la parte media con la circulación de la plataforma continental. De todas maneras, de forma simplificada, Souto et al. (2003) han propuesto los esquemas de circulación característicos de situaciones de viento Norte (afloramiento; **Figura II.1.22a**) y viento Sur (**Figura II.1.22b**) en la plataforma.

## Oleaje



**Figura II.1.23** Histograma de frecuencias en función de la altura significativa de ola (metros) y de su periodo (segundos) estimado con datos de la boya 1218 de Puertos del Estado ([www.puertos.es](http://www.puertos.es)) y tomados desde 1991 hasta 2003. Colores "cálidos" (amarillo, naranja y rojo) indican frecuencias progresivamente mayores. Por el contrario, colores "fríos" (verde, azul y morado) indican temperaturas progresivamente menores.

Puertos del Estado dispone de una boya a la altura de Cabo Silleiro, es decir cercana la Boca Sur de la Ría de Vigo, con sensores para medir parámetros del oleaje (altura significativa y periodo). A dicha boya Puertos del Estado le asigna como número identificativo el 1218 y su situación exacta es 42° 5' 9,2" N, 8° 55' 48" W y la profundidad en el lugar del fondeo es de 70 metros ([www.puertos.es](http://www.puertos.es)). Con los resultados del análisis que Puertos del Estado realizó (*Clima medio de oleaje. Boya de Silleiro*, Banco de Datos Oceanográficos de Puertos del Estado, 13 pp) de los datos recogidos por la boya desde 1991 hasta 2003 se han construido las **Figura II.1.23**. En ella puede observarse como la mayor parte del oleaje es *swell* (oleaje producido en otras regiones, periodos mayores de 3–5 segundos) y no *sea* (oleaje generado por el viento local, periodos menores de 3–5 segundos).

Concretamente el rango de periodos más frecuentes es el comprendido entre 6 y 18 segundos, y el rango más frecuente de alturas de ola significativas es el comprendido entre 0,5 y 3,5 metros.

Como la boya 1218 no se encuentra situada en el interior de la ría hay que tener en cuenta tres cosas para extrapolar sus resultados a la Ría de Vigo y su impacto en la dispersión de un contaminante:

- i) las Islas Cíes actúan de barrera natural frente al *swell* mitigando en cierta medida el oleaje excepto para el oleaje con dirección Noreste (dirección de entrada por la Boca Sur),
- ii) las olas se harán más altas al llegar a zonas someras (menos de 5–10 m de profundidad) puesto que comenzarán a “sentir el fondo” (a mayor  $h$  antes sentirán el fondo) y iii) como el viento es más débil en el interior de la ría también será menos intenso el *sea* en el interior de la ría que en la plataforma.

El oleaje genera un empuje horizontal que se hace sentir en la capa de superficie, de espesor proporcional a la altura de las olas. Desde el punto de vista del transporte superficial de un contaminante, interesa comparar las direcciones relativas viento/oleaje. La situación es distinta según se trate de oleaje *swell* o *sea*:

i) en el caso de oleaje tipo *sea*, generado por viento local, el empuje del oleaje coincide con el del viento, de forma que la conocida “relación del 3%” podría aumentarse a un “3,5%”.

ii) en el caso de oleaje tipo *swell*, la dirección e intensidad del oleaje no tiene por que estar relacionada con el viento local. El empuje del oleaje ( $U_s$ , m/s) depende en este caso de la velocidad del tren de olas, según la siguiente ecuación:

$$U_s = \frac{g \cdot H}{8 \cdot C}$$

donde  $g$  es la aceleración de la gravedad ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ),  $H$  es la altura de ola (m) y  $C$  es la celeridad del tren de olas (m/s).

La circulación en la columna de agua debida al oleaje describe elipses no cerradas, generando un transporte neto según la dirección de propagación, siendo mayor entre senos y valles de las olas.

La circulación de las aguas superficiales (que en última instancia define la trayectoria de cualquier derrame de hidrocarburos en el mar) resulta de un compendio de efectos debidos a la marea por una parte (circulación mareal) y los aportes continentales, precipitación, intercambio de calor con la atmósfera y viento por otra (circulación residual).

En consecuencia, con el objetivo de combatir eficazmente cualquier episodio de contaminación debido a un derrame de hidrocarburos al mar en las instalaciones de la Autoridad Portuaria de Vigo, es fundamental tener en cuenta los siguientes aspectos de la meteorología, hidrografía e hidrodinámica de la Ría de Vigo y plataforma continental adyacente.

## **Meteorología**

Es necesario distinguir entre el viento que sopla sobre la plataforma continental adyacente a las Rías Baixas (viento costero) y el viento que sopla en el interior de la Ría de Vigo (viento local).

### Viento costero

El viento costero sopla de dos direcciones preferentes:

1) del Noreste durante la Primavera y el Verano.

2) del Suroeste durante el Otoño y el Invierno.

Si bien este es un patrón general de comportamiento, lo cierto es que se dan vientos tanto del Noreste como del Suroeste de intensidad muy variable en cualquiera de las estaciones del año.

En cualquier caso, los vientos del Noreste favorecen la dispersión hacia la plataforma adyacente de cualquier derrame de hidrocarburos que se produzca en las instalaciones del Puerto de Vigo.

Los vientos del Sureste favorecen la concentración en la Ría de Vigo de cualquier derrame de hidrocarburos que se produzcan en las instalaciones del Puerto de Vigo.

En la **Tabla 1** se recogen los valores medios y rangos más frecuentes de la intensidad y dirección del viento costero frente a las Rías Baixas.

#### Viento local

El viento que sopla en el interior de la Ría de Vigo está muy afectado por la orografía circundante, con elevadas montañas de más de 400 m de altura en ambos márgenes de la ría, que atenúan la intensidad del viento y lo canalizan en la dirección preferente del eje transversal, tanto en sentido entrante (cuando dominan Suroestes en la plataforma) como saliente (cuando dominan Norestes en la plataforma). Aparte hay que considerar el régimen de brisas, tierra-mar durante la noche día y mar-tierra durante el día.

El viento local contribuye al transporte de cualquier contaminante menos denso que el agua de mar, tal y como es el caso de los hidrocarburos, debido al arrastre que produce sobre la capa superficial. Así, por término medio, un viento de 10 m/s es capaz de desplazar los hidrocarburos de la capa superficial del mar a una velocidad de 30 cm/s, según la conocida "relación del 3%". Además, la deriva que el viento provoca sobre una mancha de hidrocarburos tiene una cierta deflección hacia la derecha. Si bien teóricamente esta deflección es de 45°, en la práctica barre un arco entre los 10° y los 30°.

En la **Figura 1** se muestra una roseta de los vientos registrados en el relleno de Bouzas.

## Temperatura del aire y precipitación

La temperatura del aire y la precipitación pueden modificar la temperatura y salinidad del agua superficial y, por consiguiente, su densidad, lo cual afecta a la flotabilidad del hidrocarburo derramado.

La temperatura y régimen de precipitaciones de la Ría de Vigo son característicos de un clima Atlántico, lluvioso y templado, dulcificado por la llegada de débiles ramales de la cálida Corriente del Golfo. En la **Tabla 2** se recogen los valores medios y rangos más frecuentes de la temperatura del aire y la precipitación en la Ría de Vigo.

## Hidrografía

### Aportes continentales

Los aportes continentales afectan a la dispersión de hidrocarburos de dos maneras:

- 1) modificando la salinidad y temperatura de las aguas superficiales y
- 2) arrastrando el hidrocarburo hacia la plataforma adyacente, preferentemente por la boca norte de la Ría de Vigo a causa de la rotación de la Tierra (efecto de Coriolis).

Los aportes continentales más relevantes a la hora de influir en el transporte de hidrocarburos derramados en las distintas instalaciones del puerto de Vigo son los que drenan en la bahía de San Simón, fundamentalmente el Oitavén–Verdugo. En cualquier caso no se trata de ríos caudalosos, al punto de que más del 90% de las aguas superficiales que circulan por la Ría de Vigo son de origen oceánico y menos de un 10% de origen continental. El momento del año en que los aportes continentales tendrán un mayor impacto sobre la circulación y, por tanto, sobre la dispersión de un derrame de hidrocarburos será durante los meses de otoño e invierno.

En general, el Río Oitavén–Verdugo contribuye a prevenir la entrada de hidrocarburos en la bahía de San Simón. También protegen el margen Norte de la Ría de Vigo de ser afectado por un derrame ocurrido en el margen Sur, donde es más probable que se produzca un episodio de contaminación. La rotación de la Tierra (efecto de Coriolis) es la responsable de esta protección del margen Norte de la Ría de Vigo.

En la **Tabla 3** se recogen los valores medios y rangos más frecuentes de los aportes continentales a la Bahía de San Simón.

### Propiedades termohalinas (temperatura, salinidad y densidad)

La salinidad y temperatura de las aguas superficiales repercute directamente en su densidad y, por consiguiente, en la flotabilidad del fuel. En este sentido, la densidad del agua de las rías esta siempre unos gramos/litro por encima de la del agua pura (que es de 1000 gramos/litro), en concreto entre 1024 y 1027 gramos/litro.

Puesto que los hidrocarburos tienen una densidad inferior a 1000 gramos/litro (habitualmente en torno a 990 gramos /litro), en el episodio de un derrame el hidrocarburo tenderá a flotar a no ser que se mezcle con las arenas del fondo o con partículas en suspensión que hagan aumentar su densidad por encima de la del agua de la ría.

En las **Tablas 4, 5 y 6** se recogen los valores medios y rangos más frecuentes de la temperatura, salinidad y densidad del agua superficial y de fondo en el canal central de la Ría de Vigo, frente al relleno de Bouzas.

### **Hidrodinámica**

Tres aspecto fundamentales han de ser tenidos en cuenta al contemplar la hidrodinámica de la Ría de Vigo desde la óptica de un derrame de hidrocarburos: 1) la circulación mareal; 2) la circulación residual y 3) las olas.

Mientras que la circulación mareal dispersa un contaminante dentro de los márgenes definidos por la elipse de marea, retornando aproximadamente al punto de partida después de cada ciclo de marea, la circulación residual lo desplaza netamente en la dirección marcada por el viento local y, el viento de plataforma, los aportes continentales y la precipitación.

Respecto del oleaje, este genera un empuje horizontal que se hace sentir en la capa de superficie, de espesor proporcional a la altura de las olas. La situación es distinta según se trate de oleaje *swell* (oleaje producido en otras regiones, periodos mayores de 3–5 segundos) o *sea* (oleaje generado por el viento local, periodos menores de 3–5 segundos):

i) en el caso de oleaje tipo *sea*, generado por viento local, el empuje del oleaje coincide con el del viento, de forma que la conocida “relación del 3%” podría aumentarse a un “3,5%”.

ii) en el caso de oleaje tipo *swell*, la dirección e intensidad del oleaje no tiene por que estar relacionada con el viento local. El empuje del oleaje ( $U_s$ , m/s) depende en este caso de la velocidad del tren de olas, según la siguiente ecuación:

$$U_s = \frac{g \cdot H}{8 \cdot C}$$

donde  $g$  es la aceleración de la gravedad ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ),  $H$  es la altura de ola (m) y  $C$  es la celeridad del tren de olas (m/s).

**Tabla 1.** Valores medios mensuales de las componentes Norte y Este del viento que sopla en la plataforma frente a las Rías Baixas obtenidos a partir de una serie diaria de velocidades de viento observados entre 1982 y 2000. Se indican los valores medios, así como los rangos dentro de los que se encuentran el 50% y 80% de las observaciones. Valores positivos de V norte y V este indican vientos del Norte y Este, respectivamente. Valores de V norte y V este negativos indican vientos del Sur y Oeste, respectivamente.

	V norte					V este				
	media	50%	80%	50%	80%	media	50%	80%	50%	80%
E	-2,6	-6,7	1,6	-9,6	5,5	3,3	-1,7	7,9	-5,3	12,8
F	-1,8	-5,7	2,7	-9,1	5,7	2,8	-3,0	7,8	-6,6	11,3
MZ	0,7	-2,8	4,6	-6,6	7,5	0,8	-3,4	5,1	-7,5	9,4
A	1,6	-2,1	5,5	-5,7	8,1	1,3	-3,2	5,3	-6,9	9,4
MY	0,9	-2,6	4,7	-6,2	7,0	-0,3	-3,7	3,1	-6,6	6,6
JN	3,6	1,5	6,2	-2,1	8,0	-0,9	-4,0	2,7	-6,7	5,3
JL	3,6	1,4	6,0	-1,7	7,5	-0,5	-3,7	2,4	-6,3	5,6
A	2,9	0,5	5,8	-2,6	7,7	-0,9	-4,2	2,0	-6,4	5,0
S	1,6	-1,1	4,9	-4,3	7,3	0,8	-3,2	4,3	-5,6	7,7
O	-0,3	-3,8	4,0	-8,3	6,4	1,7	-3,9	7,2	-7,0	10,4
N	-1,9	-6,1	2,5	-9,1	5,2	1,9	-2,6	6,5	-5,8	9,5
D	-2,1	-6,1	2,7	-10,4	5,7	1,9	-4,0	7,1	-7,8	11,7

**Tabla 2.** Valores medios mensuales de la temperatura del aire (en °C) y la precipitación (en mm/d) en la Ría de Vigo obtenidos a partir de los registros horarios de la Estación Meteorológica de Bouzas entre 1993 y 2003. Se indican los valores medios, así como los rangos dentro de los que se encuentran el 50% y 80% de las observaciones.

	Temperatura del aire (°C)					Precipitación (mm/ d)				
	media	50%		80%		media	50%		80%	
E	9,65	7,09	11,94	5,48	13,39	4,3	0,0	4,4	0,0	14,7
F	9,78	8,09	11,83	6,48	13,21	2,9	0,0	2,4	0,0	9,1
MZ	11,56	9,79	13,45	7,63	15,79	4,1	0,0	3,4	0,0	20,2
A	12,61	10,82	14,66	8,64	16,78	3,7	0,0	3,9	0,0	12,1
MY	14,46	12,46	15,91	11,55	18,50	3,1	0,0	3,0	0,0	11,1
JN	17,19	15,16	18,79	13,63	21,80	1,1	0,0	0,1	0,0	2,9
JL	18,38	16,19	20,05	15,13	22,72	1,5	0,0	0,3	0,0	3,2
A	18,71	17,16	20,24	15,99	22,04	1,2	0,0	0,1	0,0	3,1
S	17,13	15,56	18,58	14,20	20,07	3,0	0,0	2,8	0,0	8,2
O	15,05	13,19	17,20	11,72	18,70	4,2	0,0	3,3	0,0	15,0
N	11,97	10,03	13,97	8,46	15,30	6,4	0,0	9,7	0,0	22,4
D	10,46	8,28	12,56	6,40	14,24	5,2	0,0	7,9	0,0	16,9

**Tabla 3.** Valores medios mensuales de los aportes continentales a la Ría de Vigo (en m<sup>3</sup>/s) obtenidos a partir de datos de descarga de la Presa de Eiras y la aplicación de la Ley de Horton (Ríos et al. 1992) entre 1987 y 2000. Se indican los valores medios, así como los rangos dentro de los que se encuentran el 50% y 80% de las observaciones.

	Aportes continentales (m <sup>3</sup> /s)				
	media	50%	61	80%	86
E	38	9	61	6	86
F	33	8	48	5	76
MZ	21	6	26	5	56
A	26	12	35	6	57
MY	23	7	30	5	60
JN	16	7	22	5	34
JL	12	5	13	5	25
A	9	5	9	5	17
S	20	5	25	5	51
O	41	11	62	6	90
N	42	16	60	9	87
D	36	10	47	6	95

**Tabla 4.** Valores medios mensuales de temperatura del agua en superficie y fondo (40 m) en la estación hidrográfica de la Ría de Vigo a partir de registros semanales medidos entre 1987 y 2000. Se indican los valores medios, así como los rangos dentro de los que se encuentran el 50% y 80% de las observaciones.

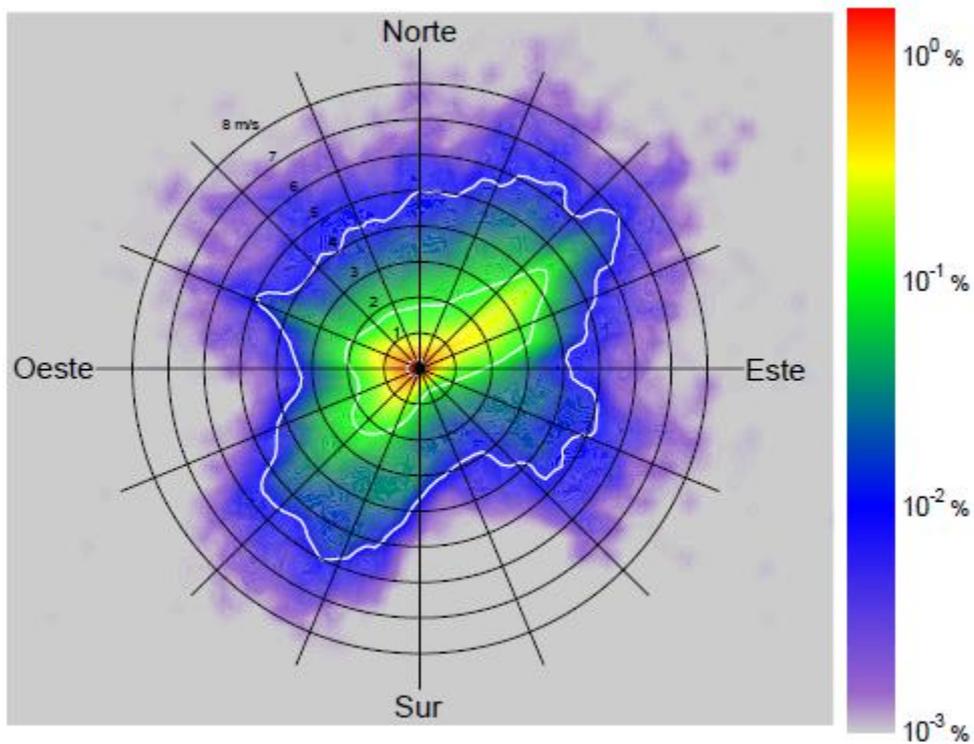
	Temperatura superficial (°C)					Temperatura de fondo (°C)				
	media	50%	80%	media	50%	80%	media	50%	80%	
E	12,99	12,57	13,58	12,07	14,20	13,92	13,09	14,91	12,59	15,54
F	12,71	12,24	13,27	11,75	13,60	13,58	12,95	14,23	12,59	14,41
MZ	13,34	12,90	13,82	12,44	14,12	13,00	12,68	13,31	12,41	13,66
A	13,72	13,16	14,21	12,67	14,88	12,87	12,54	13,10	12,26	13,82
MY	15,80	14,81	16,84	13,78	17,90	13,26	12,59	13,71	12,24	14,11
JN	17,15	16,22	18,03	15,13	19,06	13,28	12,81	13,48	12,39	14,24
JL	18,15	16,89	19,33	16,13	20,21	13,10	12,79	13,41	12,53	13,89
A	17,78	16,59	18,69	15,93	19,62	13,24	12,80	13,58	12,61	13,96
S	16,97	15,80	17,79	14,95	19,22	13,89	13,03	14,57	12,78	15,77
O	15,45	14,44	16,21	13,76	17,12	14,54	13,59	15,48	12,79	16,66
N	15,05	14,34	15,72	13,84	16,22	15,18	14,38	15,98	13,74	16,56
D	13,87	13,22	14,59	12,75	15,27	14,59	13,90	15,21	13,41	16,31

**Tabla 5.** Valores medios mensuales de salinidad del agua en superficie y fondo (40 m) en la estación hidrográfica de la Ría de Vigo a partir de los registros semanales medidos entre 1987 y 2000. Se indican los valores medios, así como los rangos dentro de los que se encuentran el 50% y 80% de las observaciones.

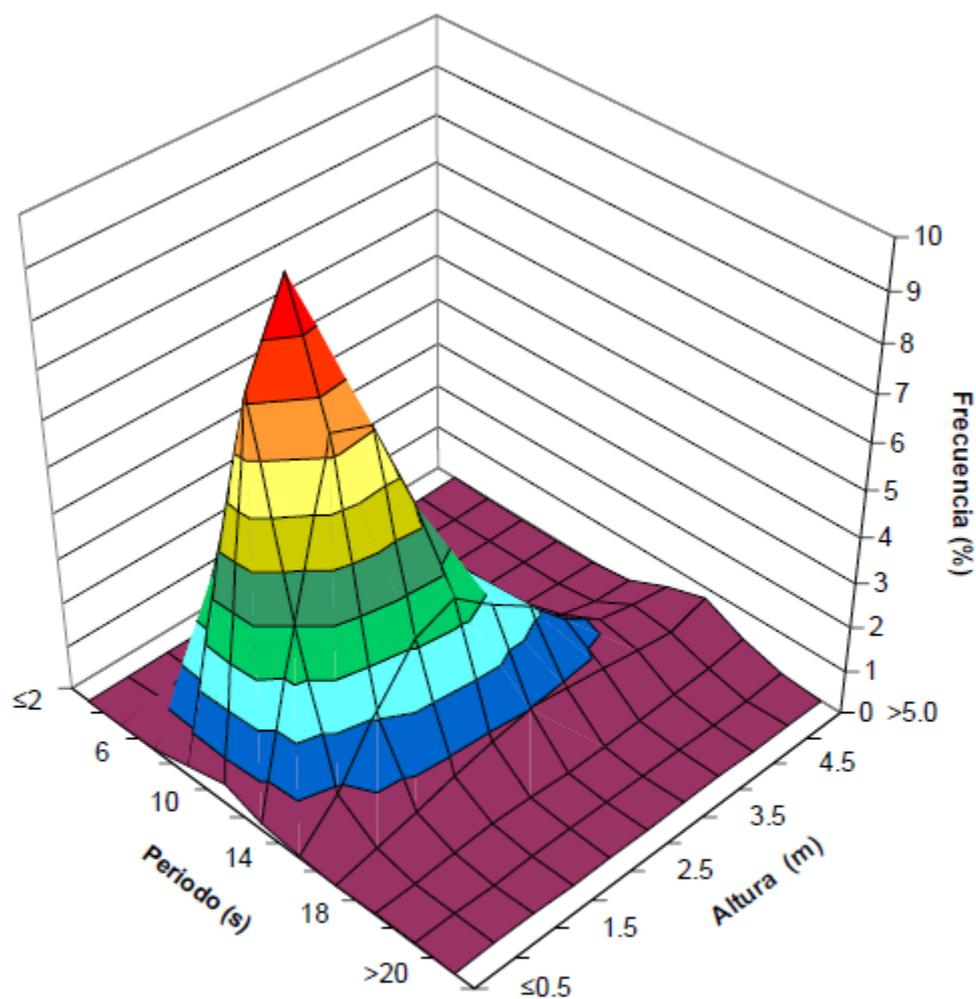
	Salinidad superficial (eq g sal/Kg agua)					Salinidad de fondo (eq g sal/Kg agua)				
	media	50%	80%	50%	80%	media	50%	80%	50%	80%
E	31,93	30,80	35,27	25,32	35,41	35,42	35,19	35,71	34,90	35,86
F	32,36	30,92	35,24	27,52	35,46	35,43	35,29	35,71	34,65	35,82
MZ	34,14	33,39	35,25	31,55	35,70	35,56	35,48	35,80	34,98	35,85
A	34,25	34,12	35,26	32,49	35,47	35,59	35,56	35,72	35,26	35,80
MY	34,18	34,13	35,27	32,49	35,48	35,56	35,49	35,68	35,21	35,73
JN	34,76	34,62	35,35	33,90	35,49	35,65	35,61	35,72	35,49	35,77
JL	35,06	34,89	35,51	34,48	35,59	35,70	35,64	35,76	35,59	35,81
A	35,42	35,24	35,59	35,09	35,72	35,73	35,69	35,77	35,63	35,83
S	35,24	34,98	35,53	34,79	35,68	35,70	35,63	35,79	35,53	35,82
O	34,27	34,22	35,44	32,86	35,63	35,54	35,39	35,76	35,12	35,84
N	34,00	33,50	34,72	32,34	34,98	35,51	35,40	35,78	35,01	35,82
D	33,85	33,42	35,30	30,77	35,43	35,57	35,48	35,73	35,28	35,88

**Tabla 6.** Valores medios mensuales de densidad del agua en superficie y fondo (40 m) en la estación hidrográfica de la Ría de Vigo a partir de los registros semanales de salinidad y temperatura entre 1986 y 2000. Se indican los valores medios, así como los rangos dentro de los que se encuentran el 50% y 80% de las observaciones.

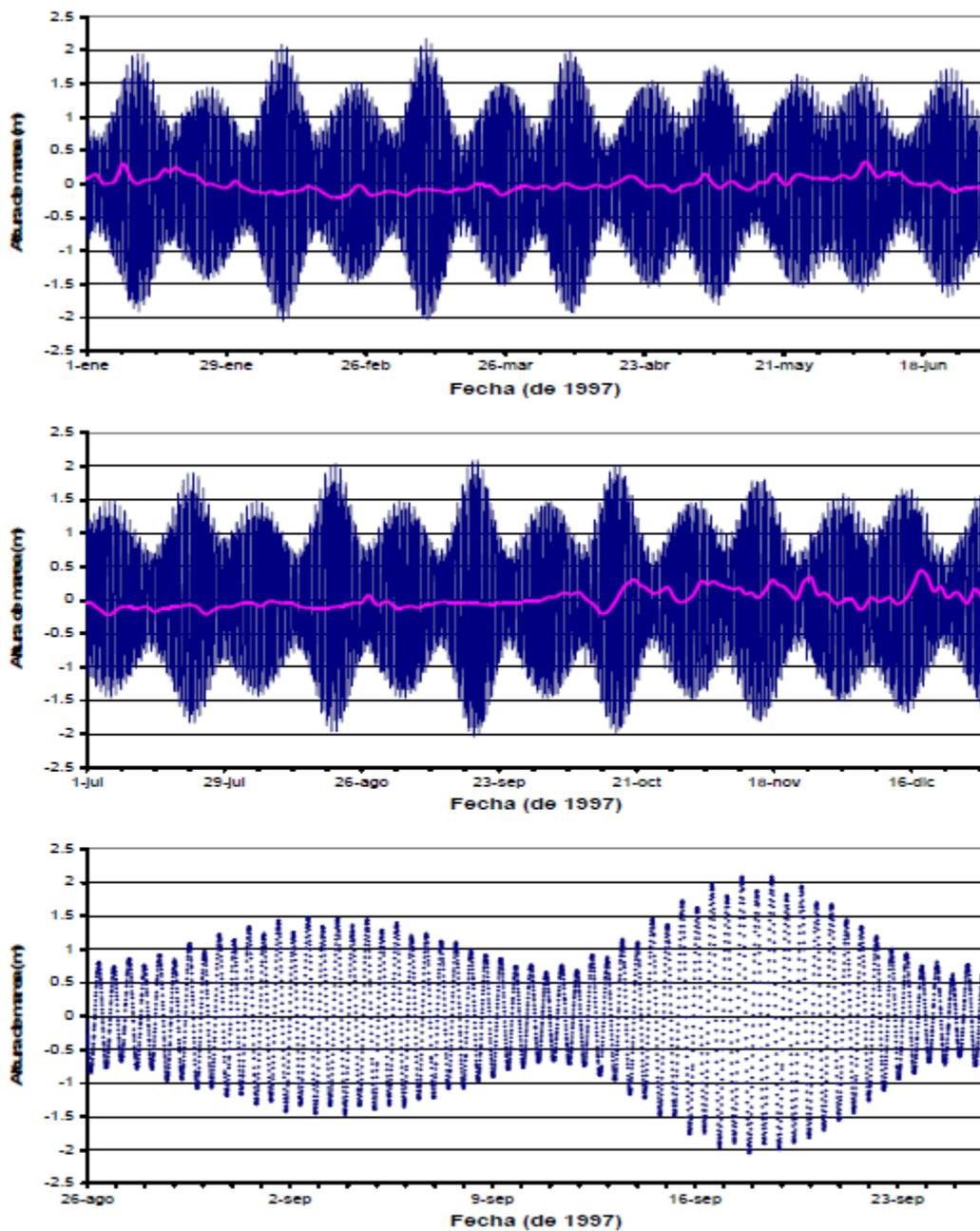
	Densidad superficial - 1000					Densidad de fondo - 1000				
	(g/L)					(g/L)				
	media	50%	80%	50%	80%	media	50%	80%	50%	80%
E	23,83	22,51	26,62	18,82	26,76	26,53	26,29	26,80	26,00	26,90
F	24,38	23,17	26,69	20,83	26,77	26,61	26,50	26,84	26,13	26,96
MZ	25,65	25,11	26,61	23,60	26,80	26,83	26,73	26,98	26,48	27,05
A	25,65	25,55	26,47	24,24	26,68	26,88	26,76	27,02	26,58	27,05
MY	25,16	24,76	25,97	23,50	26,50	26,77	26,62	27,02	26,30	27,11
JN	25,29	24,97	25,77	24,26	26,23	26,84	26,77	26,97	26,56	27,02
JL	25,27	24,99	25,79	24,29	26,12	26,91	26,88	27,01	26,75	27,05
A	25,64	25,25	26,05	24,99	26,16	26,91	26,86	26,98	26,81	27,02
S	25,70	25,41	26,12	24,90	26,38	26,74	26,63	26,95	26,20	27,00
O	25,30	25,04	26,39	23,65	26,53	26,48	26,17	26,87	25,75	26,99
N	25,20	24,95	25,75	23,71	26,14	26,33	26,02	26,62	25,90	26,81
D	25,32	25,03	26,32	22,99	26,61	26,50	26,28	26,68	26,19	26,79



**Figura 1.** Rosa de los vientos locales en la Ría de Vigo, a partir del registro horario de la Estación Meteorológica de Bouzas en el periodo 1993–2003. La escala de colores indica la probabilidad de cada intensidad (mayor intensidad a mayor radio de los círculos concéntricos) y dirección y sentido (N, S, E y O) dados.



**Figura 2.** Histograma de frecuencias en función de la altura significativa de ola (metros) y de su periodo (segundos) estimado con datos de la boya 1214 de Puertos del Estado ([www.puertos.es](http://www.puertos.es)) y tomados desde 1991 hasta 2003. Colores "cálidos" (amarillo, naranja y rojo) indican frecuencias progresivamente mayores. Por el contrario, colores "fríos" (verde, azul y morado) indican temperaturas progresivamente menores.



**Figura 3.** Variación del nivel del mar en la Ría de Vigo en 1997 medida cada 5 minutos en el puerto de Vigo (datos tomados por Puertos del Estado, [www.puertos.es](http://www.puertos.es)). En las gráficas se presentan la variación del nivel del mar descompuesto en una serie residual (línea clara) y en una serie mareal (línea oscura), la suma de ambas es el nivel del mar medido. Las gráficas (a) y (b) representan la primera y segunda mitad del año 1997 respectivamente. La gráfica (c) muestra una ampliación del período del 26-Agosto a 26-Septiembre en el que se aprecian tanto las mareas vivas-muertas como el carácter semidiurno de la marea.

### 3.3. ÁREAS Y RECURSOS SENSIBLES AL RIESGO DE POSIBLES VERTIDOS CONTAMINANTES EN LA ZONA DE INFLUENCIA DEL PUERTO DE VIGO. <sup>1</sup>

#### 3.3.1. INTRODUCCIÓN

Los Planes de Contingencias de las instalaciones portuarias ante episodios de contaminación marina accidental basan su éxito no sólo en la previsión anticipada de lo que puede ocurrir y el diseño de respuestas operativas, sino en la adaptación de las mismas a las singularidades del entorno en donde se ubican.

Por todo ello, los procedimientos operativos de respuesta deben contemplar, además de la naturaleza del contaminante, la evolución previsible de su trayectoria, los medios de respuesta, las zonas potencialmente afectadas y los recursos más sensibles.

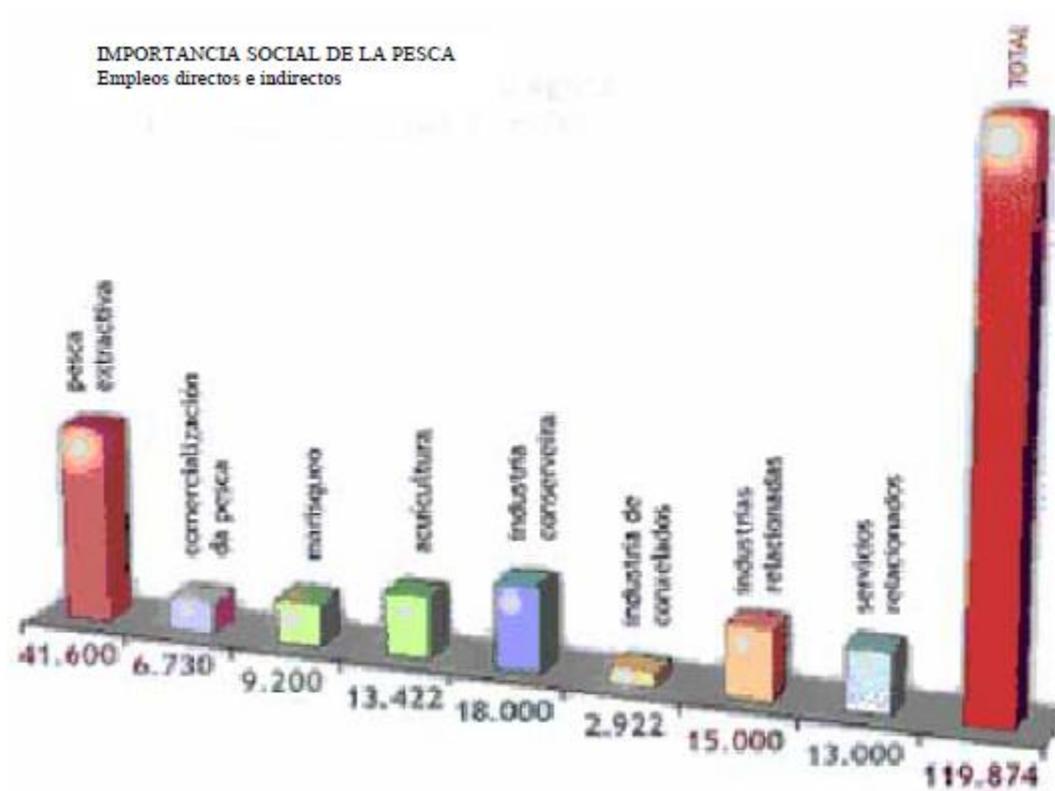
Desde esta perspectiva, las especiales características de las rías gallegas hacen que la prevención y lucha contra la contaminación marina cobre una relevancia singular, dada, por una parte, la fragilidad de los recursos enclavados en las mismas y, por otra, el impacto socioeconómico que tiene en Galicia la actividad económica vinculada al litoral costero.

Veamos algunos datos que evidencian la importancia que las actividades vinculadas al litoral marino tienen para la economía y la sociedad de Galicia:

POBLACIÓN OCUPADA EN LA PESCA  
%Porcentaje frente a población activa



<sup>1</sup> Pueden consultarse las fichas de recursos en el Documento 2 del Capítulo IV.



#### IMPORTANCIA DEL SECTOR EN TÉRMINOS DE PRODUCCIÓN:

Sector extractivo e industria de transformación	2.191 millones de €
Producto Interior Bruto de Galicia	22.238 millones de €
Participación de la pesca en el PIB	10 %

#### 3.3.2. MARISQUEO

Las especies principales que capturan los mariscadores a pie de la ría son: almeja fina (*Ruditapes decussatus*), almeja babosa (*Ruditapes philippinarum*), navaja (*Ensis arcuatus*) y berberecho (*Cardium edule*).

En Galicia se extraen anualmente 8.000 Tm. de las que 666 Tm corresponden a la ría de Vigo, que suponen un valor aproximado para el conjunto de las rías de 30 millones de euros y para la ría de Vigo de 5.284.896 €, contabilizando entre las capturas las realizadas a flote.

#### ACUICULTURA:

	Galicia	Ría de Vigo
Bateas	3.355	540
Parques de cultivo	1.134	
Granjas marinas	14	3
Producción	200.000 Tm	
Criaderos	5	2
Valor de la producción	108 millones de €	

#### CULTIVO DE MEJILLÓN:

	Galicia	Ría de Vigo
Bateas	3.242	483
Producción	190.000 Tm	
Valor de la producción	78 millones de €	
Empleo directo		968
Empleo indirecto		180

#### COMERCIALIZACIÓN:

TIPO DE ESTABLECIMIENTO	Galicia		Ría de Vigo	
	NÚMERO	EMPLEOS	NÚMERO	EMPLEOS
Lonjas	63	400	11	
Mayoristas-exportadores	700	2.300		
Almacenes frigoríficos	446	3.300		
Centros de expedición	71	350		
Cetáreas	140	380	17	
Total	1.420	6.730		

### **3.3.3. RECURSOS CONTEMPLADOS**

Por todo lo anterior y en cumplimiento de la normativa vigente para la confección de los planes de interiores marítimos, se acompaña la siguiente documentación:

1.-Información cartográfica del entorno de influencia del Puerto de Vigo, identificando la localización de las áreas y elementos vulnerables sensibles al riesgo de posibles vertidos contaminantes:

-Áreas de interés pesquero y acuicultura.

-Áreas Naturales sensibles o de especial valor ecológico.

-Áreas de interés turístico.

-Recursos hidrológicos.

2.-Fichas explicativas de los recursos más importantes, se trata de describir en líneas generales el recurso, identificar el responsable de su gestión y detallar los elementos más valiosos a proteger y una aproximación al impacto socioeconómico de la explotación del mismo, cuando proceda.

### **3.3.4. ÁREAS DE INTERÉS PESQUERO Y DE ACUICULTURA**

1.-Mapa de localización en la Ría de Vigo de los siguientes establecimientos y recursos:

-Depuradoras de Moluscos

-Cetáreas

-Criaderos

-Parques de Cultivo de Moluscos

-Zonas de explotación marisquera-sustratos blandos (bancos infralitorales e intermareales)

-Zonas de explotación de otros recursos-sustratos duros (erizo, camarón, percebe, etc.)

2.-Fichas temáticas:

Depuradoras de moluscos, se indica la dirección y teléfono del responsable del establecimiento. Para su contacto si existiese algún episodio de contaminación y se aportan diferentes datos sobre su capacidad de producción, especies que trabajan, etc.

Cetáceas, se indica la dirección y teléfono del responsable del establecimiento. Diferentes datos sobre su capacidad de producción, especies que trabajan, etc.

Bancos marisqueros, se indica su localización con coordenadas, la entidad gestora del mismo (Cofradía, OPP o Asociación), los recursos explotados, la producción anual media del banco por especie principal y su valor en lonja.

### **3.3.5. ÁREAS NATURALES SENSIBLES O DE ESPECIAL VALOR ECOLÓGICO**

1.- Mapa de localización en la Ría de Vigo de las Zonas de Especial Protección de los Valores Naturales, según la declaración efectuada por la Consellería de Medio Ambiente de la Xunta de Galicia, mediante Decreto 72/2004, de 2 de abril (DOG nº 69 de 12/04/2004).

- Illas Cíes: (Parque Nacional marítimo-terrestre, zona ZEPA)
- A Ramallosa: Lugar de importancia comunitaria LIC (Red Natura 2000 en Galicia)
- Ensenada de San Simón: Lugar de importancia comunitaria LIC (Red Natura 2000 en Galicia)
- Costa da Vela: Lugar de importancia comunitaria LIC (Red Natura 2000 en Galicia)
- Illas Estelas: Lugar de importancia comunitaria LIC (Red Natura 2000 en Galicia)

2.- Fichas temáticas:

Se indica el status de protección, el organismo responsable de la misma, un contacto en el mismo, se describen sus límites, extensión y recursos más importantes (faunísticos, botánicos, etc.). Identificándose a su vez los elementos más vulnerables y con probabilidad de resultar afectados ante episodios de contaminación marina.

### **3.3.6. ÁREAS DE INTERÉS TURÍSTICO**

1.- Mapa de localización en la Ría de Vigo de los siguientes recursos turísticos:

- Playas

-Puertos deportivos

2.- Fichas temáticas:

Playas, se establecen las características generales de las mismas, tipología, aspectos medioambientales, seguridad, accesos y transporte.

Puertos deportivos, se identifica al gestor, las características básicas de sus instalaciones (número de amarres fijos, amarres transeúntes, máxima eslora recomendada, calado bocana, calado dársena, anchura bocana, etc.) y los servicios de los que dispone el puerto.

### **3.3.7. RECURSOS HIDROLÓGICOS**

1.- Mapa de localización en la Ría de Vigo de los siguientes recursos:

-Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR)

-Puntos más importantes de vertidos domésticos e industriales

-Ríos y arroyos que desembocan en la Ría

-Delimitación de las cuencas de drenaje y parteaguas

2.- Fichas temáticas:

Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR), descripción el tratamiento efectuado a los residuos, capacidad de la instalación (caudal punta, carga, población a sanear, etc.) y la localización del emisario, en su caso.

Ríos, descripción de los aspectos más importantes geomorfológicos: recorrido, cuenca, caudal medio, se identifica la entidad gestora del mismo y sus elementos más sensibles ante episodios de contaminación marina.