

# Atenuación de la luz en la Ría de Vigo

H. BARREIRO-FONTA\*, R. VARELA

\**hbarreiro@alumnos.uvigo.es*

*EPhysLab (Environmental Physics Laboratory), Facultade de Ciencias,  
Universidade de Vigo,  
Campus As Lagoas s/n, Ourense, Spain*

## RESUMEN

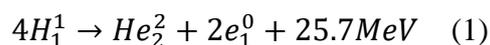
La luz es la principal fuente de energía para el planeta Tierra y juega un papel importante en el medio marino. Sin embargo, un estudio específico de la variación, tanto temporal como espacial, de la atenuación de la luz en este medio no se ha realizado anteriormente en la Ría de Vigo. Por tanto, el objetivo principal de este trabajo es comprobar si existen diferencias en la atenuación de la luz en la Ría de Vigo. Para ello, se realizaron un total de 14 salidas en siete puntos de muestreo entre febrero y mayo del 2022 con una frecuencia semanal, siempre que fuese posible. En ellos, se realizaba la medición de la intensidad de la luz (PAR) utilizando un CTD, también aprovechado para la obtención de datos de temperatura y salinidad. Se realizó un análisis estadístico para comprobar dichas diferencias significativas, encontrando la existencia de las mismas tanto espacial como temporalmente. Como conclusión, este trabajo aporta un primer estudio sobre la variación del coeficiente de atenuación en la Ría de Vigo, así como posibles causas, que se han tenido en cuenta, para las diferencias encontradas.

*Palabras Clave:* Luz, PAR, CTD, Ría de Vigo

## 1. Introducción

### 1.1. Consideraciones de la radiación solar: Luz visible

La radiación solar es la principal fuente de energía que llega a nuestro planeta. Esta, como su nombre indica, proviene del interior del Sol por fusión nuclear. Este proceso se puede resumir en la Fórmula 1 (Kirk, 1994):



La cantidad de energía de la radiación solar que llega al borde exterior de la atmósfera sobre un área de un metro cuadrado se conoce como constante solar. Dentro de la radiación solar, se

puede distinguir diferentes radiaciones dependiendo de la longitud de onda: radiación gamma, radiación UV (ultravioleta), radiación visible y radiación IR (infrarrojos) (De las Rivas, 2000).

Hoy en día, se utiliza el término luz para referirse a la parte del espectro electromagnético conocida como radiación visible o luminosa, la cual está situada entre las longitudes de onda de 400-700 nm. Esta radiación, aparte de ser la captada por el ser humano, es la utilizada como energía para realizar el proceso de fotosíntesis por los diferentes organismos fotosintetizadores, por lo que se conoce como PAR (radiación fotosintéticamente activa) (Kirk, 1994).

Dentro de este intervalo se diferencian la variedad de colores dependiendo del rango de longitud de onda. Entre los 400 a 500 nm se encuentran los tonos desde violetas hasta azules, de 500 a 600 nm los verdes y amarillos y, por último, de 600 a 700 nm se encuentran los naranjas y rojos (De las Rivas, 2000).

## 1.2. Atenuación de la luz en el medio marino

### 1.2.1 Absorción y dispersión: elementos que intervienen en la atenuación de la luz

La atenuación de la luz en el medio marino es debida a cuatro factores: el propio medio (agua), sustancias disueltas, material particulado vivo y material particulado no vivo (Kirk 1994).

Por un lado, el agua contribuye a la atenuación de la luz debido a la absorción que realiza de la misma, siendo notable a partir de los 550 nm, y alcanzando el pico, aproximadamente, a los 740 nm. Las sustancias disueltas, al contrario del agua, tienen su mayor pico de absorción a longitudes de onda bajas, 350-400 nm, decreciendo a partir de estos valores de una forma exponencial igual que ocurre con el material particulado no vivo (aunque tenga una mayor importancia en la dispersión de la luz). Por último, el material particulado vivo tiene su pico de absorción a una longitud de onda de entre 400-450 nm (Kirk, 1994).

A mayores de la absorción, se puede calificar a la dispersión como el otro motivo principal de la atenuación de la luz en el medio marino. Este fenómeno está causado por la presencia de material (vivo o no vivo) en la columna de agua siendo relevante el tamaño, la forma y la abundancia de las partículas. Siendo las de mayor tamaño las que producen una

mayor desviación aunque son las menos presentes en el medio (Kirk, 1994).

### 1.2.2. Medición de la atenuación de la luz en el medio marino

La forma de cuantificar la atenuación de la luz es mediante el uso del coeficiente de atenuación ( $k$ ,  $m^{-1}$ ). Este valor proviene de la Ley de Beer-Lambert en la que se relaciona la intensidad de luz a una profundidad  $z$  y la intensidad de luz en superficie según la Fórmula 2 (San Miguel, 2010):

$$I_z = I_0 e^{-kz} \quad (2)$$

Donde  $I$  es la intensidad de luz ( $\mu Em^{-1} s^{-1} nm^{-1}$ ) a la profundidad  $z$  (m),  $I_0$  es la intensidad de luz a 0 m y  $k_d$  es el coeficiente de atenuación ( $m^{-1}$ ).

El coeficiente de atenuación se puede calcular para una longitud de onda determinada, obteniendo los valores de irradiancia utilizando un espectrorradiómetro, el cual mide la irradiancia a una longitud de onda determinada (Figueroa et al., 1994). También se puede calcular para el PAR, para ello se utiliza un cuantómetro (Branco et al., 2005) que mide la irradiancia para el conjunto de longitudes de onda de 400 a 700 nm, pudiendo utilizarse este último por si solo o integrado en un CTD (Conductivity, Temperature, Depth; conductividad, temperatura y profundidad). (Lund-Hansen, 2004).

## 1.3. Atenuación en rías y estuarios

Las zonas costeras, como son las rías y estuarios, están caracterizadas por tener un mayor aporte proveniente de la tierra o los ríos. Entre estos aportes se encuentran nutrientes que favorecen el crecimiento masivo de algas reduciendo así el paso de luz en la columna de agua (Oestreich et al., 2016). Otro punto

importante a tener en cuenta en sistemas costeros es la resuspensión de sedimentos en la columna de agua debido a los vientos que favorecen a los afloramientos. Aunque también está presente la modificación de la columna de agua debida al viento por el fenómeno contrario, el hundimiento (San Miguel, 2010). Los valores característicos del coeficiente de atenuación en estas zonas suelen estar entre  $0.06$  y  $0.1 \text{ m}^{-1}$  llegando a valores de  $0.2$  o  $0.3 \text{ m}^{-1}$  en zonas muy productivas (Ramiro Varela comm. pers.)

En cuanto a la Ría de Vigo, situada al noroeste de la Península Ibérica, se pueden encontrar diferentes factores que potencialmente son capaces de influir en la atenuación de la luz en la Ría. En este estudio se tendrán en cuenta las variaciones espaciales por el tipo de fondo, influencias antropogénicas como son la EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales), el puerto, la causada por las bateas y la influencia de los vientos.

Para empezar, las diferencias del tipo de fondo en la Ría pueden afectar a la atenuación de la luz debido a la resuspensión del sedimento. En la zona, se tiene un eje central (dirección NE-SW) caracterizado por un fondo fangoso. Sin embargo, se pueden encontrar fondos de tipo arena, fango y grava al hacer un transepto de Norte a Sur en la parte más próxima a la boca de la Ría (Vilas et al., 2005).

En cuanto a la influencia antropogénica, se encuentra la EDAR que, a través del emisario submarino, aporta material particulado y disuelto al medio, los cuales participan en la dispersión y absorción de la luz. El puerto, localizado en la ciudad de Vigo, también es una fuente de aportes de origen antropogénico al medio marino. Por último, en cuanto a la influencia

antropogénica, destaca el aumento del uso de las bateas, en donde se realiza el cultivo del mejillón, cuyo crecimiento depende de la disponibilidad de fitoplancton (organismos fotosintetizadores que intervienen en la atenuación de la luz). Éstos también influyen en la modificación del sustrato del fondo, añadiendo materia orgánica al mismo, que podrá ser resuspendida en eventos de afloramiento (Figueiras et al., 2002, González-Garcés., 2008).

En último lugar, los vientos juegan un papel importante tanto en la resuspensión de material (afloramientos/hundimientos) como en la circulación de la Ría. Entre los meses de octubre y marzo, el viento en la Ría de Vigo suele proceder del sur, provocando así hundimientos de las aguas mientras que, en el periodo comprendido entre abril y septiembre, los vientos suelen ser procedentes del norte, siendo épocas de afloramiento. Con relación a la circulación de la Ría, el estado “normal” o de circulación positiva está caracterizado por la entrada del agua a la Ría por el fondo y salida por la superficie. Cuando el viento sopla del norte, provocando los afloramientos, se intensifica este tipo de circulación, haciendo una renovación del agua más rápida. Sin embargo, cuando los vientos de componente sur soplan con suficiente intensidad, provocan un patrón conocido como circulación negativa el cual está caracterizado por la entrada de agua por superficie y salida por el fondo. De esta forma, el agua queda más tiempo acumulada en el interior de la Ría, junto con los aportes de costa (como de ríos), haciendo una renovación más lenta (Rosón et al., 2008).

Pese a ser una zona bastante estudiada, la Ría de Vigo carece de estudios acerca de la atenuación de la luz propiamente dicha, aunque se han encontrado algunos estudios relacionados con el fitoplancton

donde se utilizan datos de luz para su contextualización como el de Figueroa et al 1994. Debido a esto, este estudio cuenta con la aportación de datos de luz registrados por Francisco Figuerias (IIM, Instituto de Investigaciones Marinas) en el año 1991.

#### 1.4. Objetivos

Este trabajo tiene como objetivo principal la realización de un estudio acerca de la atenuación de la luz en la Ría de Vigo. Además, como objetivo secundario, se quiso valorar los efectos de: la EDAR, los tipos de fondo, el viento, así como las variaciones espaciales y temporales (en un periodo entre febrero y mayo) en la Ría.

## 2. Datos y procedimiento

### 2.1. Zona de estudio

Con el fin de comprobar la influencia de diferentes características en la atenuación de la luz, el estudio se realizó

en 7 localizaciones de la Ría de Vigo (Figura 1, Tabla 1). Tres de ellas, las más cercanas a la boca de la ría, se escogieron por el tipo de fondo. Se eligió una estación más central con el fin de realizar una sección longitudinal. Y las tres restantes fueron elegidas por la influencia antropogénica en la Ría.



Fig. 1. Localización de las estaciones del muestreo realizado. Estación fondo de arena (1), estación fondo de fango (2), estación fondo de grava (3), estación desembocadura del emisario (4), estación con presencia de bateas (5), estación en el puerto (6) y estación fondo de fango más central (7).

Estación	Latitud (N)	Longitud (W)	Profundidad (m)	Tipo de fondo
1	42° 14.66'	8° 53.61'	25	Arena
2	42° 12.63'	8° 52.66'	34	Fango
3	42° 9.77'	8° 50.96'	27	Grava
4	42° 13.75'	8° 47.82'	37	Fango
5	42° 14.59'	8° 48.06'	25	Fango
6	42° 14.05'	8° 44.26'	16	Fango
7	42° 12.54'	8° 46.81'	38	Fango

TABLA 1. Tabla resumen de las características de las estaciones elegidas. De izquierda a derecha: estación por número, coordenadas GPS, profundidad y tipo de fondo de cada estación.

Las estaciones representativas del tipo de fondo (1, 2 y 3) fueron elegidas según la Figura 2, donde se puede observar una mayor variación del fondo en la zona cercana a la boca de la Ría.

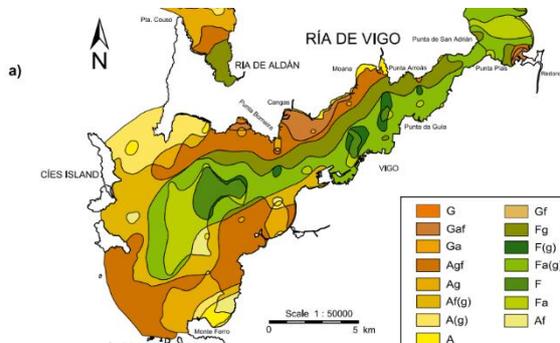


Fig. 2. Mapa de distribución de sedimentos en la Ría de Vigo. Fuente: Imagen modificada de Vilas et al. (2005).

## 2.2. Realización del muestreo

El muestreo se hizo en un periodo de tiempo desde el 2 de febrero del 2022 hasta el 25 de mayo del 2022 (ambos incluidos), realizando la recogida de muestras una vez por semana, siempre que fuese posible. El aparato utilizado para el muestreo empezó siendo el CTD Seabird 25 plus (CTD perfilador de una frecuencia de 16 Hz). Los sensores que incluía eran: temperatura, conductividad, presión, fluorescencia, turbidez, PAR y oxígeno disuelto (Figura 3a). Sin embargo, a partir de la última semana de marzo, debido a la pérdida del CTD, se comenzó a utilizar otro Seabird 25 (con frecuencia de 8 Hz), equipado con los mismos sensores que el anterior a diferencia del modelo del sensor de fluorescencia y la incorporación del sensor de transmitancia (Figura 3b).

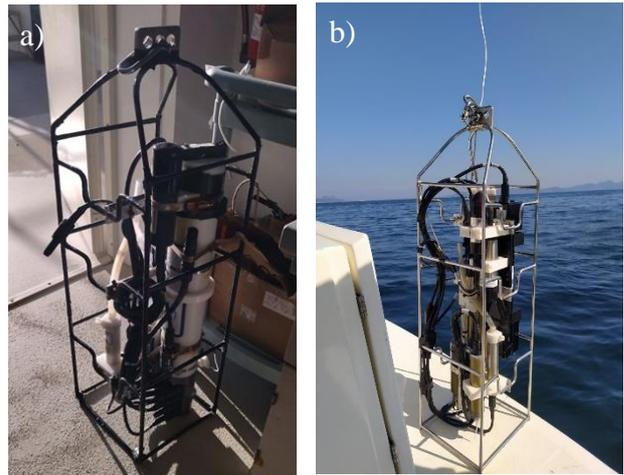


Fig. 3. CTD Seabird 25 plus (a). CTD Seabird 25 (b).

Las salidas se realizaron desde la ECIMAT (Estación de Ciencias Mariñas de Toralla) a bordo de la embarcación proporcionada. Tanto el recorrido como los puntos de muestreo eran registrados mediante un GPS.

Antes de cada salida, se comprobaba la marea ya que el recorrido de los muestreos podía variar cada día dependiendo de si la marea subía o bajaba, teniendo que realizar la salida en sentido opuesto a la marea. Además, se anotaba también la dirección y módulo del viento del propio día y de los tres días anteriores, ya que la situación oceanográfica del muestreo no depende solo del viento que haya en ese momento en la plataforma, para poder calcular los índices de afloramiento. Estas medidas de viento se obtenían a partir de los datos recogidos por la boya de Cíes (42° 10.69' N, 8° 53.59' W) registrados en Meteogalicia.

Una vez llegados a cada uno de los puntos, se realizaba el siguiente procedimiento: encendido del CTD y bajada del mismo hasta una profundidad de unos 5 m durante 2 o 3 minutos, para la homogeneización del fluido en los diferentes sensores. Una vez pasado este tiempo, se subía hasta superficie y, a

continuación, se procedía a bajar el CTD, a una velocidad aproximada de 0.5 m s<sup>-1</sup>, hasta una profundidad de unos 2 m por encima del fondo. En el momento que se realizaba el descenso del aparato y la recogida de este en superficie, se marcaba en el GPS. Mientras se realizaba el muestreo en columna, desde superficie se tomaban datos de las medidas del PAR superficial.

Este procedimiento se realizaba en cada una de las 7 estaciones.

### 2.3. Calibración

Como se utilizaron dos CTDs diferentes, con el fin de poder intercomparar los resultados, se realizó la calibración de ambos instrumentos con la ayuda de un Cuantómetro Spherical LI-COR. Para ello, se salió a la Estación Central de la Ría de Vigo (42° 14.11' N 8° 48.81' W) a bordo del Kraken, desde la ECIMAT. Una vez allí, se realizó el descenso del CTD junto con el cuantómetro para tomar las medidas a la misma profundidad.

Acabada la salida, en Excel se realizó una recta de calibrado con las medidas logarítmicas del cuantómetro y del CTD para poder obtener los valores a todas las profundidades necesarias es decir, hasta la profundidad máxima alcanzada durante los muestreos. Una vez se tienen todos los valores, se calibran los datos del CTD respecto al cuantómetro para cada una de las medidas (este proceso se hizo con ambos CTDs).

### 2.4. Procesado datos muestreo

Después del muestreo, los archivos del CTD (los cuales están en formato hexadecimal) se pasan al ordenador donde serán procesados mediante el programa SBE Data Processing. Se

siguió el procesado estándar para obtener un archivo final legible con los datos de interés medidos (u obtenidos mediante variables derivadas).

Una vez se tuvo cada archivo, con las medidas de PAR superficiales y los datos de la calibración, se corrigieron y calibraron las medidas a cada profundidad. A continuación, se calcularon los coeficientes de atenuación de cada una de las estaciones utilizando la ley de Beer-Lambert. Para ello, se realizó una regresión exponencial o lineal (aplicando logaritmos) de la Fórmula 2.

Con los datos de temperatura y salinidad de las estaciones 2, 4 y 7 (sección longitudinal), se realizaron secciones de temperatura y salinidad para poder contextualizar el tipo de circulación presente durante los muestreos.

Por último, con los datos de viento registrados, se calcularon las tensiones de viento ( $\tau_y$ ) correspondiente a la Fórmula 3:

$$\tau_y = \rho_a C_d \sqrt{u^2 + v^2} v \quad (3)$$

Siendo  $\rho_a$  la densidad del aire (1.2 kg m<sup>-3</sup>),  $C_d$  el coeficiente de arrastre (0.0014),  $u$  (m/s) y  $v$  (m/s) las componentes del viento. Una vez calculadas las tensiones del viento, se obtuvieron los índices de afloramiento ( $Q_x$ , m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>km<sup>-1</sup>) según la Fórmula 4:

$$Q_x = \frac{\tau_y}{f\rho} 10^3 \quad (4)$$

Siendo  $f$  el factor de Coriolis (9.73·10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>) y  $\rho$  la densidad del agua de mar (1025 kg m<sup>-3</sup>).

## 2.5 Análisis estadístico

Con el fin de comprobar la existencia de diferencias significativas entre las diferentes estaciones y días de muestreo, se realizó el test estadístico ANOVA con el programa RStudio. Se estableció que si  $p\text{-valor} > 0.05$ , entonces no existían diferencias significativas, mientras que si  $p\text{-valor} < 0.05$ , se considera que sí que había diferencias estadísticamente significativas. Al encontrar estas diferencias, se realizó, a posteriori, el test Tukey, para comprobar entre qué estaciones y días existían las diferencias ( $p\text{-valor} < 0.05$ ). Por último, también se realizó el test estadístico para comparar los diferentes índices de afloramiento calculados y si existían diferencias entre los valores promedio de coeficientes de atenuación entre las épocas de afloramiento y hundimiento para cada una de las estaciones más exteriores.

## 3. Resultados

### 3.1. Contexto hidrográfico

Los resultados del índice de afloramiento indican una variabilidad a lo largo del periodo del estudio entre condiciones de afloramiento y hundimiento. Como se puede observar en la Figura 4, para el periodo de muestreo se obtiene una predominancia de los afloramientos, alcanzando valores de  $820 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-1}$ .

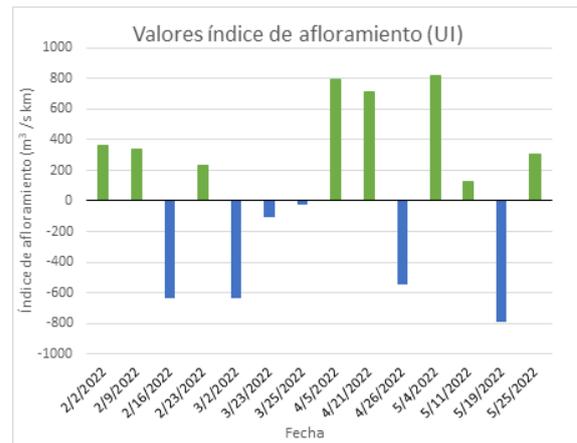


Fig. 4. Variación temporal del índice de afloramiento en la Ría de Vigo en el periodo de estudio. En el eje x están representadas las fechas para cada uno de los muestreos, aunque el valor corresponde a la media de los tres días anteriores y el propio día del muestreo. Los valores mayores a 0 se corresponden con afloramientos y los menores a 0 con hundimientos.

Para las secciones de temperatura y salinidad se ha decidido elegir 4 figuras representativas. En cuanto a la distribución de la temperatura, en la Figura 5 se encuentran temperaturas más altas en el fondo y más bajas en la superficie. Sin embargo, en las Figuras 6, 7 y 8 se encuentra una distribución inversa, temperaturas frías en el fondo y altas en superficie.

En cuanto a las isohalinas, en la Figura 5 se observa una distribución vertical junto con un bucle a una profundidad cercana a 30 m, pudiendo observar como la salinidad en la parte inferior del bucle es menor que la de la parte superior. Por otro lado, en la Figura 6, se encuentran isohalinas con inclinación hacia la estación más exterior de la Ría. Por último, en las Figuras 7 y 8 se encuentra un patrón de isohalinas horizontales. En estas tres últimas figuras, los valores de salinidad aumentan con la profundidad.

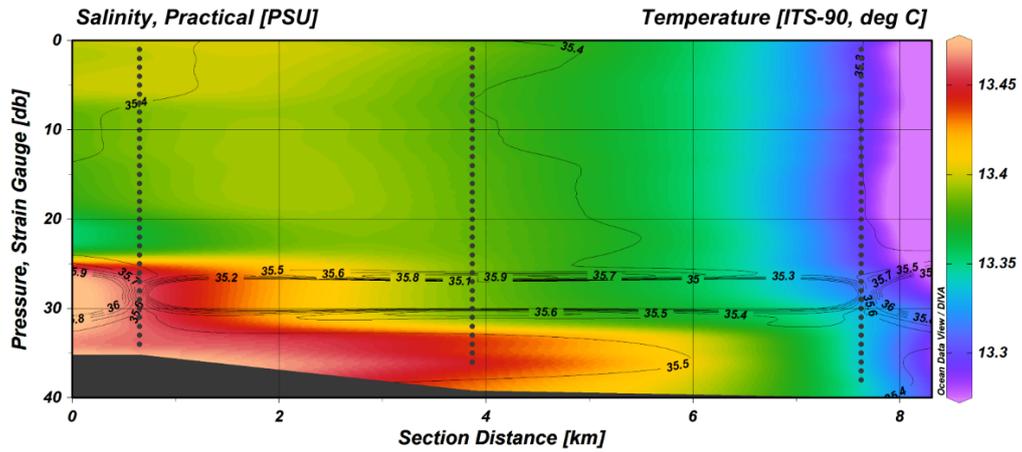


Fig. 5. Sección de temperatura y salinidad de las estaciones 4, 7 y 2 (de izquierda a derecha, señaladas por las líneas de puntos verticales) el día 16 de febrero 2022. Temperatura representada en el eje z (escala de colores) y salinidad representada mediante isohalinas.

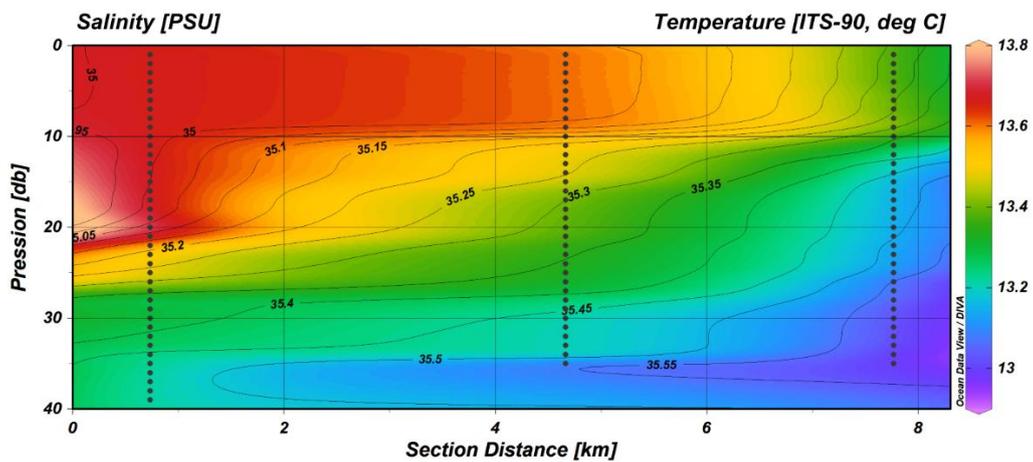


Fig. 6. Sección de temperatura y salinidad de las estaciones 4, 7 y 2 (de izquierda a derecha, señaladas por las líneas de puntos verticales) el día 23 de marzo 2022. Temperatura representada en el eje z (escala de colores) y salinidad representada mediante isohalinas.

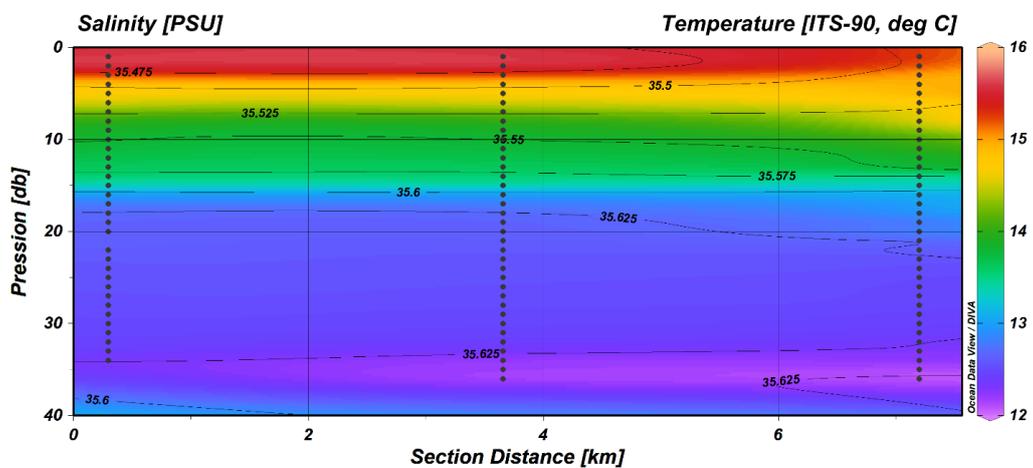


Fig. 7. Sección de temperatura y salinidad de las estaciones 4, 7 y 2 (de izquierda a derecha, señaladas por las líneas de puntos verticales) el día 11 de mayo 2022. Temperatura representada en el eje z (escala de colores) y salinidad representada mediante isohalinas.

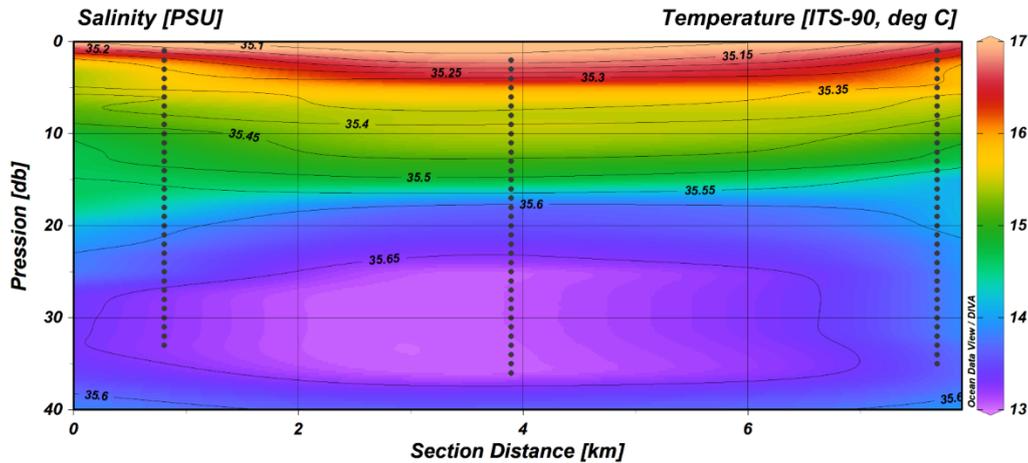


Fig. 8. Sección de temperatura y salinidad de las estaciones 4, 7 y 2 (de izquierda a derecha, señaladas por las líneas de puntos verticales) el día 25 de mayo 2022. Temperatura representada en el eje z (escala de colores) y salinidad representada mediante isohalinas.

A modo de resumen del contexto hidrográfico de cada muestreo, se realizó la Tabla 2.

Fecha (2022)	Afloramiento/ Hundimiento	Circulación
2 feb	Afloramiento	Positiva
9 feb	Afloramiento	Positiva
16 feb	Hundimiento	Negativa
23 feb	Afloramiento	Positiva
2 mar	Hundimiento	Positiva
23 mar	Hundimiento	Positiva
25 mar	Hundimiento	Positiva
5 abr	Afloramiento	Positiva
21 abr	Afloramiento	Positiva
26 abr	Hundimiento	Negativa
4 may	Afloramiento	Positiva
11 may	Afloramiento	Positiva
19 may	Hundimiento	Negativa
25 may	Afloramiento	Positiva

TABLA 2. Resumen contexto hidrográfico en cada una de las fechas de muestreo. De izquierda a derecha: fecha, situación según índice afloramiento y tipo de circulación estuárica.

### 3.2. Coeficientes de atenuación

Como se observa en la Tabla 3, los valores del coeficiente de atenuación varían entre las diferentes estaciones y días. El valor máximo obtenido

corresponde a la estación 4 (emisario) el día 2 de febrero del 2022 con un valor de  $0.322 \text{ m}^{-1}$ , que se corresponde con una fecha de afloramiento y circulación positiva. Mientras que el valor mínimo se encuentra en la estación 1 (fondo de arena) el día 25 de mayo del 2022 con un valor de  $0.033 \text{ m}^{-1}$ , teniendo el mismo contexto de afloramiento y circulación positiva.

El análisis estadístico realizado, ANOVA, encontró diferencias significativas entre las estaciones de muestreo y también entre los diferentes días. En cuanto a las estaciones, las diferencias se encuentran entre la estación 4 (emisario) con las estaciones 1 (fondo de arena), 2 (fondo de fango), 3 (fondo de grava) y 7 (fondo de fango central).

Por otro lado, las diferencias entre los días de muestreo se pueden encontrar en la Tabla 4. Siendo el día 11 (4 de mayo) el que más difiere del resto de los días y el día 10 (26 de abril) el que menos.

Fecha (2022)	Estación 1 (m <sup>-1</sup> )	Estación 2 (m <sup>-1</sup> )	Estación 3 (m <sup>-1</sup> )	Estación 4 (m <sup>-1</sup> )	Estación 5 (m <sup>-1</sup> )	Estación 6 (m <sup>-1</sup> )	Estación 7 (m <sup>-1</sup> )
2 feb	0.158	0.160	0.096	0.322	0.182	0.254	0.160
9 feb	0.177	0.162	0.176	0.171	0.165	0.190	0.202
16 feb	0.158	0.160	0.142	0.322	0.182	0.254	0.160
23 feb	0.163	0.191	0.303	0.222	0.179	0.206	0.218
2 mar	0.222	0.214	0.238	0.312	0.266	0.283	0.311
23 mar	0.155	0.221	0.223	0.315	0.175	0.254	0.145
25 mar	0.168	0.180	0.165	0.217	0.196	0.228	0.156
5 abr	0.274	0.218	0.119	0.232	0.223	0.254	0.227
21 abr	0.075	0.111	0.103	0.129	0.137	0.164	0.153
26 abr	0.142	0.149	0.158	0.200	0.197	0.135	0.184
4 may	0.071	0.112	0.133	0.107	0.154	0.035	0.127
11 may	0.156	0.228	0.154	0.276	0.214	0.118	0.177
19 may	0.093	0.108	0.073	0.169	0.121	0.126	0.096
25 may	0.033	0.093	0.109	0.109	0.119	0.168	0.119

TABLA 3. Valores calculados del coeficiente de atenuación (m<sup>-1</sup>) en cada una de las estaciones en los diferentes días de muestreo. En las columnas, los coeficientes de atenuación (K<sub>d</sub>) y en las filas, las fechas de los muestreos.

Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1											X		X	X
2					X						X			
3											X		X	X
4									X		X		X	X
5		X					X		X	X	X	X	X	X
6									X		X		X	X
7					X						X		X	X
8									X		X		X	X
9				X	X	X	X							
10					X									
11	X	X	X	X	X	X	X	X				X		
12		X									X		X	X
13	X		X	X	X	X	X	X				X		
14	X		X	X	X	X	X	X				X		

TABLA 4. Diferencias significativas entre los diferentes días de muestreo. Tanto en la columna como en las fila se representan los diferentes días. Las casillas marcadas con una “X” son aquellas donde se encontraron diferencias significativas.

A mayores, el test estadístico para comprobar si había diferencias significativas entre los índices de afloramiento, coincide con los resultados representados en la Tabla 4.

#### 4. Discusión

En primer lugar, analizando los resultados del contexto hidrográfico, se encuentra una relación entre la circulación negativa (Figura 5) y el índice negativo o hundimiento. Por otro lado, en la Figura 6, las isohalinas están inclinadas hacia la estación más exterior de la Ría junto con un descenso de la salinidad según se acercan a la estación más interior, por lo que se corresponde con una circulación positiva (Míguez, 2003). En este caso, el índice de afloramiento es negativo, pero, como se explicó anteriormente, al no ser un hundimiento de mucha intensidad, no se produce el cambio de circulación en la Ría. Por último, en las Figuras 7 y 8, se observa un patrón de isohalinas horizontales, circulación positiva, que concuerdan con un índice de afloramiento positivo calculado para la fecha.

Los coeficientes de atenuación obtenidos durante los muestreos están dentro de un rango de valores de 0.033 y 0.32  $\text{m}^{-1}$ . Estos valores son parecidos a los encontrados en otros estuarios, como Lysefjord estudiado por Erga *et al.* (2012), en donde los valores de  $k$  ( $\text{m}^{-1}$ ), para una profundidad de 30 m, ronda un intervalo entre 0.1 y 0.4  $\text{m}^{-1}$ . El promedio de los valores obtenidos en la Ría de Vigo es igual a 0.17  $\text{m}^{-1}$ , el cual es un valor que concuerda con diferentes estuarios de Europa como Bjornafjord, en Norega, 0.15  $\text{m}^{-1}$  o Kongsfjord donde, en la época de primavera, tiene valores medios de 0.12  $\text{m}^{-1}$  (Kirk, 1994).

Sin embargo, se hace complicado comparar los valores obtenidos en la Ría de Vigo con datos anteriores. Por ello, para este estudio, han sido proporcionados datos de un muestreo en la Estación central de la Ría de Vigo por Francisco Figueiras en 1991. Los coeficientes calculados tienen un rango de valores de 0.06 a 0.54  $\text{m}^{-1}$  siendo un intervalo parecido al encontrado en los muestreos de este estudio. No obstante, se aprecian variaciones entre ambas series de datos que pueden ser debidas a la diferencia temporal que existe entre los dos muestreos o que las medidas de 1991 son una sola estación, mientras que las de este estudio son de 7 estaciones distribuidas a lo largo de la ría.

Se han encontrado diferencias espaciales en las medidas. En concreto, la estación 4 (emisario) difiere significativamente de las estaciones 1, 2, 3 y 7 (arena, fango, grava, fango central, respectivamente). Esto puede deberse a que las cuatro estaciones anteriores son más cercanas a la boca de la Ría, estando influenciadas, mayoritariamente, por el océano, mientras que la estación 4 estaría influenciada tanto por el océano como por el estuario (Figueiras *et al.*, 2002). Además, del emisario salen aportes de agua a la Ría, mezclándose con el medio y pudiendo provocar el aumento de material particulado o disuelto que intervienen en la atenuación de la luz. Sin embargo, en las otras estaciones, la presencia del material disuelto o particulado dependería, principalmente, de la circulación y el viento (Kirk, 1994; González-Garcés, 2008).

Por otro lado, las diferencias significativas encontradas en la variación temporal se pueden resumir, a grandes rasgos, como diferencias entre la época de febrero y marzo con abril y mayo. La primera justificación encontrada está basada en los índices de afloramiento, ya que el análisis

estadístico entre los índices concuerda con el encontrado entre los días. De esta forma, el viento pudo influir en los movimientos de agua debido a las diferentes épocas de afloramiento y hundimiento. Otra razón sería la variación de la radiación incidente en la Ría dependiendo de la época del año, siendo mayor a finales del periodo del muestreo respecto al inicio del mismo, llegando diferentes intensidades de luz a superficie (González-Garcés, 2008).

## 5. Conclusión

Al ser un estudio novedoso en la Ría de Vigo, este trabajo aporta unos primeros resultados acerca de la variación del coeficiente de la atenuación en la Ría de Vigo. Se puede comprobar la existencia de diferencias significativas espacialmente, temporalmente y por la influencia antropogénica, encontrando algunas causas posibles para estas diferencias observadas.

## Referencias

- Branco, A. B., and Kremer, J. N. (2005). The relative importance of chlorophyll and colored dissolved organic matter (CDOM) to the prediction of the diffuse attenuation coefficient in shallow estuaries. *Estuaries*, 28, 643-652.
- De Las Rivas, J. A. V. I. E. R. (2000). La luz y el aparato fotosintético. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. AZCÓN BIETO J, 131-153.
- Erga, S. R., Ssebiyonga, N., Frette, Ø., Hamre, B., Aure, J., Strand, Ø., and Strohmeier, T. (2012). Dynamics of phytoplankton distribution and photosynthetic capacity in a western Norwegian fjord during coastal upwelling: Effects on optical properties. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 97, 91-103.
- Figueiras, F. G., Labarta, U., and Reiriz, M. F. (2002). Coastal upwelling, primary production and mussel growth in the Rías Baixas of Galicia. In *Sustainable Increase of Marine Harvesting: Fundamental Mechanisms and New Concepts: Proceedings of the 1st Maricult Conference held in Trondheim, Norway, 25–28 June 2000* (pp. 121-131). Springer Netherlands.
- Figueroa, F. L., Jiménez-Gómez, F., Villarino, M. L., Rodríguez, J., and Figueiras, F. G. (1994). Underwater light field and phytoplankton distribution during a daily cycle in the Ría of Vigo (NW Spain).
- González-Garcés A (2008) La Ría de Vigo. Una aproximación integral al ecosistema marino de la Ría de Vigo.

- Kirk, J. T. (1994). *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. Cambridge university press.
- Lund-Hansen, L. C. (2004). Diffuse attenuation coefficients  $K_d$  (PAR) at the estuarine North Sea–Baltic Sea transition: time-series, partitioning, absorption, and scattering. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 61(2), 251-259.
- Míguez, B. M. (2003). *Descripción dinámica de la circulación en dos Rías Baixas: Vigo y Pontevedra* (Doctoral dissertation, PhD Thesis, University of Vigo, Vigo).
- Oestreich, W. K., Ganju, N. K., Pohlman, J. W., and Suttles, S. E. (2016). Colored dissolved organic matter in shallow estuaries: relationships between carbon sources and light attenuation. *Biogeosciences*, 13(2), 583-595.
- Rosón, G., Cabanas, J. M., and Pérez, F. F. (2008). Hidrografía y dinámica de la Ría de Vigo: un sistema de afloramiento.
- García-San-Miguel-Barreiro, C. (2011). *Efecto del viento en el coeficiente de atenuación de la luz en el agua para el saco interno de la Bahía de Cádiz* (Master's thesis).
- Vilas, F., Bernabeu, A. M., and Méndez, G. (2005). Sediment distribution pattern in the Rias Baixas (NW Spain): main facies and hydrodynamic dependence. *Journal of Marine Systems*, 54(1-4), 261-276.