

Análisis de contaminación por HAPs en distintos grupos tróficos del intermareal rocoso de la costa de Galicia



TRABAJO DE FIN DE GRADO

GRADO EN BIOLOGÍA

RUBÉN PORTELA CARBALLEIRA

Facultad de Ciencias
Departamento de Biología Animal, Vegetal y Ecología
Área de Zoología

TRABAJO FIN DE GRADO

Nuria Fernández Rodríguez y Luis Fernández Rodríguez autorizan la presentación del Trabajo de Fin de Grado “Análisis de contaminación por HAPs en distintos grupos tróficos del intermareal rocoso de la costa de Galicia” presentado por Rubén Portela Carballeira para su defensa ante el tribunal calificador.

En A Coruña, a 21 de julio de 2014

Asdo.:

RESUMEN:

El objetivo de este trabajo es analizar las concentraciones de 40 hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) presentes en muestras de organismos del intermareal y submareal rocoso que fueron tomadas en el año 2003, 6 meses después del hundimiento del buque Prestige. Lo que en este trabajo se pretende es realizar un análisis comparativo entre las distintas muestras para analizar los patrones de distribución de HAPs según el grupo trófico de las especies, su grupo taxonómico, la localidad donde se tomaron las muestras y el nivel del litoral en el que se encuentran.

Los resultados del trabajo indican que existen diferencias significativas entre los distintos lugares muestreados. No se han encontrado patrones claros de variación dentro de los grupos tróficos, los grupos taxonómicos, y los distintos niveles del litoral.

Palabras clave: HAPs, Prestige, Galicia, contaminación, hidrocarburos.

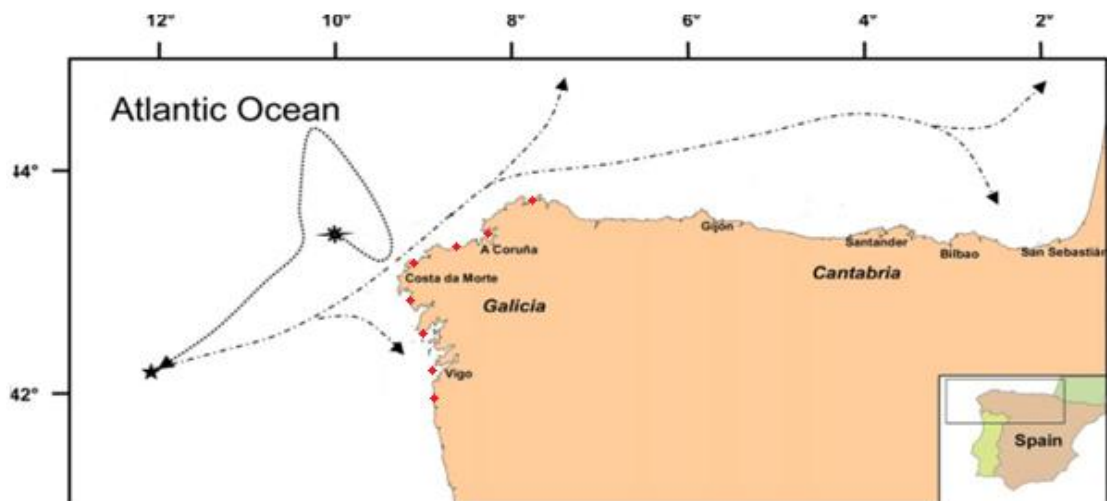
ÍNDICE:

INTRODUCCIÓN.....	5
Hipótesis y objetivos.....	6
MATERIAL Y MÉTODOS.....	6
Toma de muestras.....	6
Análisis de las muestras.....	10
Análisis de los datos.....	11
RESULTADOS.....	11
DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	17
CONCLUSIONES.....	19
BIBLIOGRAFÍA.....	19

INTRODUCCIÓN:

El 13 de noviembre del año 2002 el petrolero monocasco *Prestige* se encontraba frente a las costas de Galicia cuando, a causa del fuerte oleaje, sufrió una rotura en su casco por la que empezó a derramarse fuel oil. Tras una serie de maniobras para intentar alejar el barco de la costa, terminó por partirse en dos y hundirse el día 19 de noviembre. La carga del barco estaba compuesta por 77.000 toneladas de fuelóleo clase M-100 en la clasificación rusa, según indicó un análisis posterior del CEDRE (*Centre de Documentation de Recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des Eaux*). Se estima que 23.500 toneladas de fuel se derramaron antes de que comenzaran las tareas de remolcar el barco, esto es, en las primeras 20 horas. Cerca de 19.000 toneladas más se derramaron durante el desplazamiento del barco, a razón de 130 cada hora. 12.000 toneladas más se liberaron cuando el barco se partió en dos, y desde que esto ocurrió hasta que fueron selladas las grietas otras 8.000 toneladas. En total se derramaron unas 62.500 toneladas de fuel. 13.700 toneladas fueron recuperadas del pecio hundido por la empresa REPSOL y unas 700 toneladas de fuel permanecen incrustadas en las paredes de los tanques del barco (Figueras, 2006).

Figura 1: imagen modificada de Gonzalez et al. (2006) donde se ve la trayectoria del *Prestige* desde que se produjo la brecha hasta su hundimiento (línea de puntos) y la dirección que siguió la mancha de fuel oil (línea de barras y puntos). Los puntos rojos en la costa de Galicia son las estaciones de muestreo de este trabajo.



Según Álvarez-Salgado et al. (2006), la mancha de fuel se desplazó según la dirección del viento con un 2% de la velocidad de este en todo momento, realizando un giro de 5° en el sentido de las agujas del reloj debido a corrientes oceánicas. Un hecho llamativo de la distribución del fuel fue que este no llegó a entrar en las Rías Baixas debido al efecto conjunto de la Corriente Ibérica dirigida hacia el polo (IPC) y a la pluma flotante del oeste ibérico (WIBP).

Según un informe técnico elaborado por el CEDRE, el fuel del *Prestige* estaba compuesto por un 22% de hidrocarburos saturados, un 50% de hidrocarburos aromáticos y un 28% de resinas y asfaltenos. Se trataba de un producto de alta densidad (0.99g/cm^3) y viscosidad. Debido al elevado porcentaje de hidrocarburos aromáticos, el fuel del *Prestige* presentaba una mínima tendencia a la evaporación y a la degradación. Presentaba además una elevada concentración de metales pesados y azufre (2.6%).

Tal y como se explica en el trabajo de Antón y Lizaso (2001), los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) son un tipo de hidrocarburos que contienen un mínimo de dos anillos

aromáticos de 6 carbonos fusionados. Lo normal es que sean dos anillos de benceno, aunque también los hay con cinco anillos (como el fluoranteno), con grupos alquilo o átomos de nitrógeno o azufre en su estructura. Los HAPs son lipofílicos y se acumulan en las partículas orgánicas de los sedimentos. Su anillo aromático les confiere gran resistencia a la degradación, por lo que son compuestos que permanecen mucho tiempo en el medio y tienden a bioamplificar en las cadenas tróficas. Algunos HAPs, como el benzo-a-pireno, son considerados altamente carcinógenos.

Una vez incorporados en el organismo, el mecanismo de detoxificación consiste en añadir átomos de oxígeno a la molécula para volverla menos lipófila y más hidrófila, para que sea más sencilla su excreción. Sin embargo, al hacer esto la molécula puede unirse al ADN causando graves daños. El grupo de enzimas encargadas de esta transformación son las oxidasas de función mixta (MFO por sus siglas en inglés) y su grado de actividad depende del tipo de organismo. Su función no se centra exclusivamente en detoxificar hidrocarburos, actúan sobre distintos tipos de toxinas. Los bivalvos presentan una baja o nula capacidad de detoxificación de hidrocarburos, por lo que tienden a acumularlos. Por otro lado, los peces sí que presentan mecanismos desarrollados de detoxificación. Es decir, acumulan menos hidrocarburos en sus tejidos, pero se producen efectos tóxicos por los motivos ya comentados (Freire & Labarta, 2003).

Existen muchos parámetros que afectan a la incorporación de HAPs por los organismos, algunos de ellos bióticos y otros abióticos. Un parámetro importante es la vía de exposición del contaminante, que depende de la forma de vida del organismo (si vive en la columna de agua o en el fondo) y del modo de alimentación (si es filtrador, depositívoro, herbívoro, carnívoro...). Si el organismo vive en el fondo, el tipo de sustrato influye en la cantidad de HAPs presentes: a menor tamaño de las partículas, mayor cantidad de materia orgánica contendrá el fondo, lo cual implica una mayor cantidad de HAPs. Dentro de los factores bióticos se encuentran la edad del organismo, su sexo o su estadio reproductivo, que influyen sobre su metabolismo y sobre la cantidad de lípidos que contiene (los HAPs tienden a acumularse en los tejidos adiposos y en las gónadas en desarrollo de las hembras).

Otro factor importante a la hora de analizar la distribución de este tipo de contaminantes y que debe ser tenido en cuenta es la bioamplificación. Si el contaminante es persistente en el medio, como es el caso de los HAPs, las mayores concentraciones suelen encontrarse en niveles altos de las redes tróficas, pese a que los contaminantes son incorporados por los niveles más bajos. La bioamplificación depende de varios factores, los principales son la tasa de incorporación en el organismo, la cantidad que este puede acumular y su tasa de detoxificación. Los organismos de mayor tamaño, mayor nivel trófico y mayor duración del ciclo vital son aquellos que presentan mayores niveles de un compuesto bioamplificable (Armas Diéguez et al., 2003).

Hipótesis y objetivos:

Para el desarrollo del presente estudio se parte de la hipótesis de que los niveles de contaminación en los organismos se van a ver afectados por parámetros ambientales relacionados con el hábitat y el nivel de marea en que se encuentran, así como por factores relacionados con aspectos biológicos de los grupos taxonómicos estudiados, y en particular sus hábitos tróficos.

El objetivo de este trabajo es analizar la existencia de patrones de variación en el nivel de contaminación por HAPs en organismos marinos del intermareal y submareal rocoso de la costa de Galicia tras el vertido del petrolero *Prestige*.

MATERIAL Y MÉTODOS:

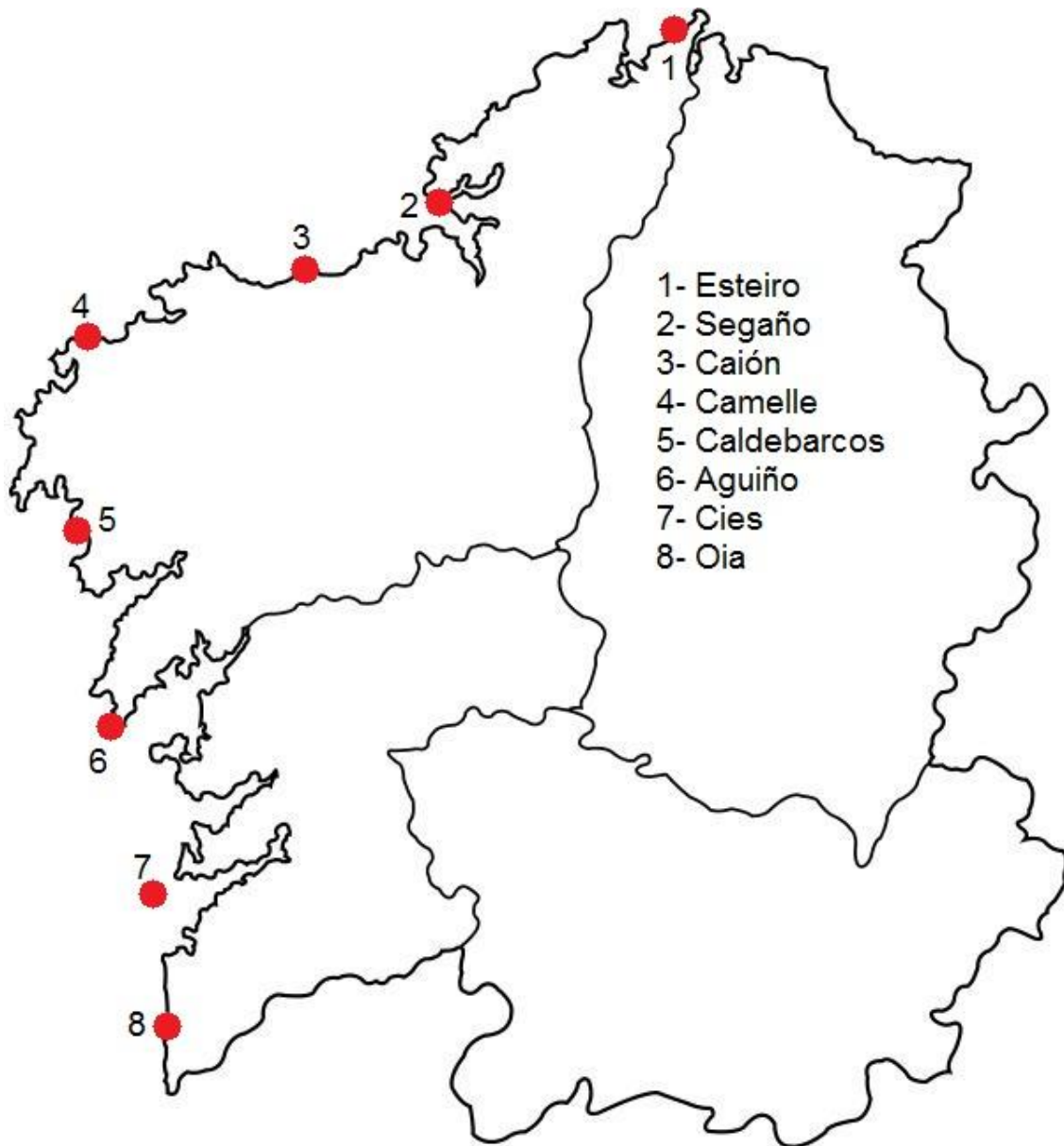
Toma de muestras:

Las muestras biológicas de las que se obtuvieron los datos utilizados en este trabajo se tomaron dentro del proyecto Evaluación del impacto en las comunidades y especies de interés comercial y ecológico en las zonas costeras: periodo primaveral (SAVICO), dentro del Plan de acción urgente aprobado por la Comisión de Investigación Científica del Programa de Intervención Científica en relación al vertido y hundimiento del buque *Prestige*. Las muestras fueron recogidas en ocho estaciones de muestreo a lo largo de la costa de Galicia entre los meses abril y mayo del año 2003. (Tabla 1, figura 2).

Tabla 1: Coordenadas y fechas de los muestreos.

Localidad:	Coordenadas:	Fecha de muestreo:
Segaño	43° 27' 20.4''N-08° 18' 33.0''W	15/04/2003
Esteiro	43° 45' 17,4''N - 7° 43' 22.2'' W	16/04/2003
Camelle	43° 11' 25,2'' N - 9° 05' 54,0'' W	17/04/2003
Caión	43° 18' 23,4'' N - 8° 36' 25,2'' W	18/04/2003
Caldebarcos	42°50'47,4'' N - 9°7' 52,8'' W	14/05/2003
Aguiño	42° 31' 28,2'' N - 9° 02' 38,4'' W	15/05/2003
Oia	42° 00'13,8'' N - 08° 52'40,2'' W	17/05/3003
Cies	42° 14'28.8'' N – 08° 53'46.8''W	18/05/2003

Figura 2: Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo a lo largo de la costa de Galicia.



Para el desarrollo del presente estudio se analizaron 213 muestras. Las muestras se tomaron de organismos de distintas especies, grupos tróficos y grupos taxonómicos (Tabla3). Los grupos taxonómicos que se incluyen en el estudio son algas pardas, algas rojas, algas verdes, antozoos, asteroideos, bivalvos, cirrípedos, decápodos, equinoideos, gasterópodos, holoturoideos, peces, poliquetos y poríferos. Respecto a los grupos tróficos tenemos carnívoros (11 especies), depositívoros (una especie), herbívoros (5 especies), omnívoros (4 especies), productores primarios (11 especies, todas las algas) y suspensívoros (6 especies).

Tabla 2: Lista de las especies presentes en las muestras, clasificadas según su grupo taxonómico y trófico.

Grupo trófico/taxones	
Carnívoros	
	Antozoos: <i>Actinia equina</i> , <i>Alcyonium glomeratum</i>

	Asteroideos: <i>Echinaster sepositus</i> , <i>Marthasterias glacialis</i>
	Decápodos: <i>Cancer pagurus</i> , <i>Carcinus maenas</i> , <i>Xantho incisus</i>
	Gasterópodos: <i>Nucella lapilus</i>
	Peces: <i>Blennius polis</i> , <i>Lepadogaster lepadogaster</i>
	Poliquetos: <i>Eulalia viridis</i>
Herbívoros	
	Gasterópodos: <i>Gibbula pennanti</i> , <i>G. umbilicalis</i> , <i>Littorina littorea</i> , <i>Monodonta linaeta</i> , <i>Patella vulgata</i>
	Equinoideos: <i>Paracentrotus lividus</i>
Omnívoros	
	Decápodos: <i>Pachygrapsus marmoratus</i> , <i>Palaemon serratus</i>
	Equinoideos: <i>Echinus esculentus</i>
Productores I	
	Algas pardas: <i>Fucus vesiculosus</i> , <i>Himanthalia elongata</i> , <i>Laminaria ochroleuca</i> , <i>Saccorhiza polyschides</i> , <i>Sargassum muticum</i>
	Algas rojas: <i>Callophyllis laciniata</i> , <i>Chondrus crispus</i> , <i>Dilsea carnosa</i> , <i>Gelidium sesquipedale</i> , <i>Mastocarpus stellatus</i>
	Algas verdes: <i>Ulva rigida</i>
Suspensívoros	
	Bivalvos: <i>Mytilus edulis</i>
	Cirrípedos: <i>Balanus perforatus</i> , <i>Pollicipes pollicipes</i>
	Poríferos: <i>Cliona celata</i>
Depositívoros	
	Holoturoideos: <i>Holothuria forskali</i>

Se tomaron muestras a distintos niveles dentro de la zona litoral, tanto en el intermareal (aquella zona que se ve expuesta a periodos de exposición al aire durante las mareas bajas) como en el submareal (aquella zona que nunca queda expuesta al aire). Las muestras estudiadas se dividen en seis categorías, tres en la zona intermareal (I1, I2 e I3) y tres en la submareal (S05, S10 y S20)(Tabla4). Las muestras dentro del grupo I1 fueron tomadas en el intermareal superior, las del grupo I2 en el intermareal medio y las de I3 en el intermareal inferior. Por su parte, las muestras del grupo S05 se tomaron a 5 metros mar adentro, las de S10 a 10 metros y las de S20 a 20 metros. Existe otro grupo, denominado simplemente I, que se corresponde con muestras tomadas en pozas intermareales.

Tabla 3: Número de muestras tomadas en cada nivel de la zona litoral.

Nivel	Nº de muestras
I1	15
I2	84
I3	22
I	19
S05	17
S10	18
S20	38

Análisis de las muestras:

Las muestras se transportaron en frío al laboratorio. El mismo día del muestreo se tomaron datos biométricos básicos, se eliminaron las partes duras (cuando las había) y se congelaron pools de 10 individuos por especie en flaneras de aluminio a -30°C. Una vez congeladas, las muestras fueron liofilizadas, trituradas y conservadas en seco en envoltorios de papel de aluminio hasta el momento del análisis químico. El análisis de hidrocarburos fue realizado por el Servicio de Apoyo a Investigación (SAI) de la UDC mediante cromatografía de gases/espectrometría de masas (GCMS). En cada una de las 213 muestras se analizó la cantidad presente de 40 HAPs. Los resultados se expresan como miligramos de hidrocarburo por kilogramo de peso seco. Cuando el análisis dio un valor por debajo del límite de cuantificación (LDQ), se utilizó el valor LDQ/2 para ese HAP.

Dentro de los 40 HAPs analizados hay 15 que son considerados especialmente tóxicos por la Agencia de Protección Ambiental Americana (EPA). Para realizar el análisis estadístico de los datos de contenido de HAPs en las diferentes muestras analizadas se utilizaron dos variables: el sumatorio de la concentración de los 40 HAPs de cada muestra y el sumatorio de los 15 HAPs prioritarios según la EPA. En conjunto, la cantidad de estos 15 hidrocarburos presentes en el fuel del *Prestige* es apenas un 0,1%, mientras que la fracción de HAPs totales es alrededor de un 50% (Oudot, 2002).

Tabla 4: HAPs analizados en las muestras. Se resaltan en amarillo los 15 HAPs considerados prioritarios por la EPA.

Naftaleno	2-Metilnaftaleno	Bifenilo	2,6-Dimetilnaftaleno	1,2-Dimetilnaftaleno
Acenaftileno	Acenafteno	2,3,5-Trimetilnaftaleno	Fluoreno	1-Nitronaftaleno
1-Metilfluoreno	Dibenzotiofeno	Fenantreno	Antraceno	1-Metilfenantreno
2-Metilantraceno	5-Nitroacenafteno	Fluoranteno	Pireno	2-Nitrofluoreno
9-Nitroantraceno	11H-Benzofluoreno	1,2-Benzodifenilenosulfuro	Benz(a)antraceno	Trifenileno
Criseno	3-Nitrofluoranteno	1-Nitropireno	Benzo(b+j)fluoranteno	Benzo(k)fluoranteno
Benzo(e)pireno	Benzo(a)pireno	Perileno	Benzo(ghi)perileno	Dibenz(a,h)antraceno
Indopireno	2-metildibenzotiofeno	2,4-dimetildibenzotiofeno	2-propilbenzotiofeno	2-butildibenzotiofeno

Análisis de los datos:

El objetivo del análisis es estudiar la variabilidad en la concentración de contaminantes dependiendo de diversos factores o combinación de factores. Estos son:

- a) Localidad donde fue tomada la muestra
- b) Grupo taxonómico al que pertenece cada especie
- c) Grupo trófico al que pertenece cada especie
- d) Nivel del litoral en el que fue tomada cada muestra

Para saber qué test estadístico se debe utilizar, antes es necesario comprobar si los datos que manejamos siguen una distribución de tipo normal y las varianzas son homogéneas (homocedasticidad). Los datos pueden dividirse en varios grupos según la localidad donde fueron tomados, el nivel del litoral, el grupo trófico de la especie o su grupo taxonómico. Por lo tanto, debe comprobarse la normalidad y la homocedasticidad dentro de las diferentes categorías en cada uno de los grupos a los que pertenecen los datos.

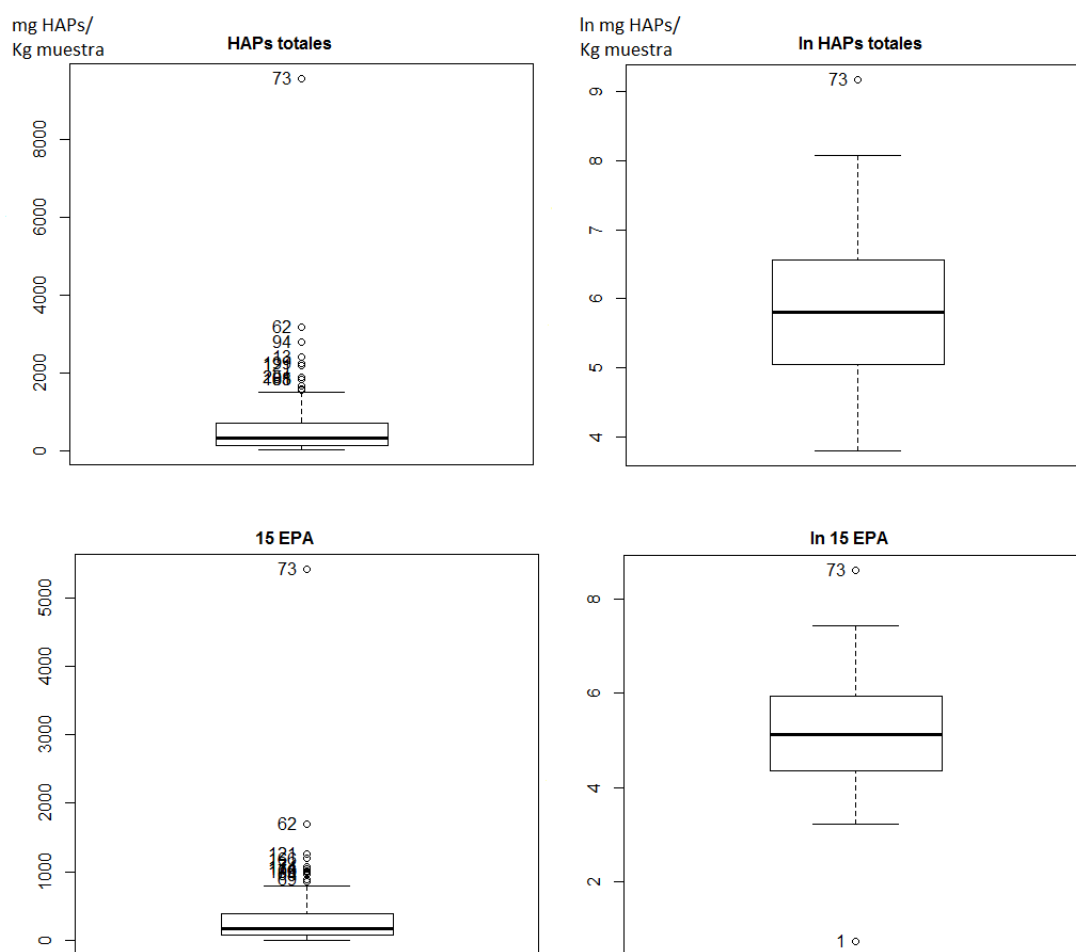
Para comprobar la hipótesis de normalidad se ha utilizado el test de Shapiro-Wilk, considerado uno de los más potentes y la homocedasticidad se ha comprobado mediante el test de Bartlett. Se utilizó un ANOVA I para saber si existen diferencias entre las muestras, y de existir se usó el test de Bonferroni para comparar las distintas categorías 2 a 2 y saber donde se encuentran esas diferencias.

Todo el análisis estadístico planteado en este trabajo se ha realizado utilizando el programa de software RCommander. Las gráficas que se incluyen fueron obtenidas mediante este programa o bien utilizando el Microsoft Excel.

RESULTADOS:

Los test aplicados indican que los datos no siguen distribuciones de tipo normal ni cumplen el criterio de homocedasticidad. Por lo tanto, deben ser transformados o bien recurrir a análisis no paramétricos. Al realizar un diagrama de caja de las variables hidrocarburos totales y 15 EPA se aprecia que existen datos atípicos elevados (Fig. 3). Esto tiene sentido, ya que se trata de muestras de contaminantes, una muestra especialmente elevada puede alterar la simetría de los datos. Sabiendo esto, una forma de corregir la normalidad de los datos puede ser transformándolos mediante logaritmos neperianos. Tras aplicar la transformación se han cotejado nuevamente la normalidad y la homocedasticidad, siendo ahora posible realizar un test paramétrico.

Figura 3: Diagramas de cajas de las variables, antes de ser transformadas (izquierda) y después (derecha).

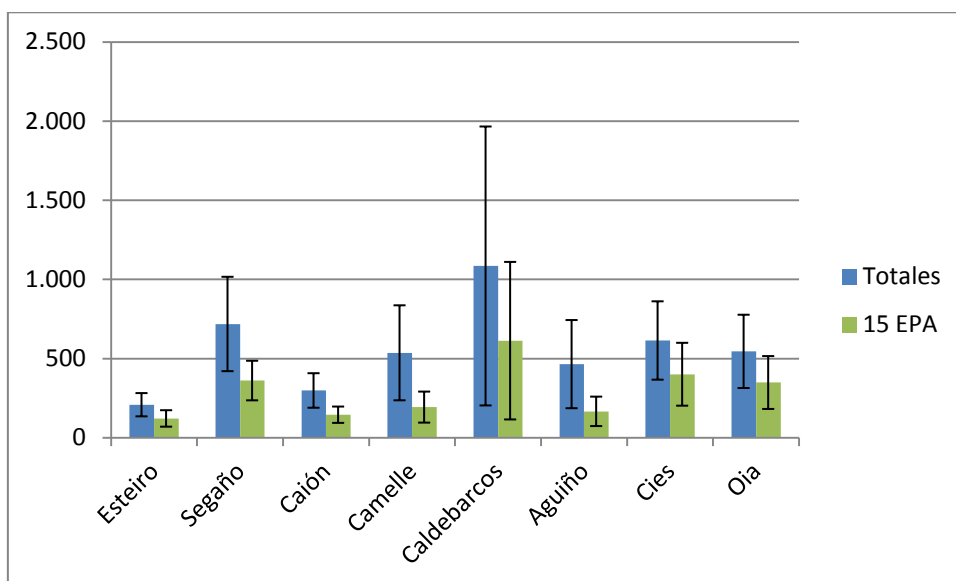


La simetría de los datos ha mejorado debido a que se han reducido los números atípicos elevados. El valor atípico 73 se corresponde con un *Fucus vesiculosus* recogido en Caldebarcos con niveles de contaminantes que destacan sobre las demás muestras: más de 2mg/kg PS de pireno, 1,6mg/kg PS de 1,2-Benzodifenilenosulfuro y 1mg/kg PS de criseno entre otros.

Variabilidad geográfica en el nivel de contaminación:

Al comparar gráficamente las medias de contaminantes según la localidad se observan diferencias entre algunas de las localidades (Figura4). Tomando en consideración el contenido total de HAPs, las localidades menos contaminadas son Esteiro y Caión, y la más contaminada es Caldebarcos, aunque dentro de las muestras de esta localidad se observa una gran variabilidad (1085 ± 881 mg HAPs/Kg PS) (Fig. 4). Por otra parte, los resultados relativos a los 15 HAPs de la EPA indican que Esteiro, Caión, Camelle y Aguiño presentan niveles similares de estos hidrocarburos y son las localidades con menor concentración. Nuevamente en Caldebarcos se obtiene el contenido medio más elevado (613 ± 498 mg HAPs/Kg PS) (Fig. 4).

Figura 4: Medias de las concentraciones de HAPs totales y de los 15 considerados prioritarios por la EPA en cada una de las localidades, con la desviación típica de cada media. Unidades: mg HAPs/Kg PS.



Tras aplicar un test ANOVA I se comprueba que existen diferencias significativas entre las localidades donde fueron tomadas las muestras, tanto para los HAPs totales ($p < 0.01$) como para los 15 hidrocarburos de la EPA ($p < 0.01$). Los resultados del test realizado a posteriori para comparar el nivel de contaminación por pares indican la existencia de diferencias significativas entre distintas localidades (Tabla 3).

Tabla 3: Resultados del test de Bonferroni al comparar los niveles de HAPs entre distintas localidades.

Totales	Esteiro	Segaña	Caión	Camelle	Caldebarcos	Aguiño	Cies	Oia
Esteiro	1	7.5e-05	1	0.073611	8,00E-06	1	0.002428	0.041398
Segaña	7.5e-05	1	0.016402	1	1	0.062589	1	1
Caión	1	0.016402	1	1	0.003007	1	0.170986	1
Camelle	0.073611	1	1	1	0.616037	1	1	1
Caldebarcos	8,00E-06	1	0.003007	0.616037	1	0.013784	1	1
Aguiño	1	0.062589	1	1	0.013784	1	0.468169	1
Cies	0.002428	1	0.170986	1	1	0.468169	1	1
Oia	0.041398	1	1	1	1	1	1	1
15 EPA								
Esteiro	1	0.000364	1	1	2.4e-05	1	0.000485	0.039251
Segaña	0.000364	1	0.008154	0.058628	1	0.000473	1	1
Caión	1	0.008154	1	1	0.000805	1	0.008364	0.424458
Camelle	1	0.058628	1	1	0.007445	1	0.052525	1
Caldebarcos	2.4e-05	1	0.000805	0.007445	1	3.3e-05	1	1
Aguiño	1	0.000473	1	1	3.3e-05	1	0.000606	0.046411
Cies	0.000485	1	0.008364	0.052525	1	0.000606	1	1
Oia	0.039251	1	0.424458	1	1	0.046411	1	1

Variabilidad de la contaminación dentro de cada estación:

Al no encontrarse un patrón claro en la distribución de HAPs utilizando conjuntamente los datos provenientes de las diferentes estaciones de muestreo sin tener en cuenta el grupo trófico o taxonómico al que pertenecen, y sabiendo que existen diferencias de concentraciones de HAPs entre las estaciones, es necesario analizar cada uno de los grupos dentro de cada estación. Si existen diferencias significativas entre distintos grupos y estas diferencias son las mismas entre distintas estaciones, será posible establecer un patrón. Así, dentro de cada estación se analizó la normalidad de los datos utilizando el test de Shapiro-Wilk y la homocedasticidad con el test de Levene. Posteriormente se analizó la variabilidad en el contenido de HAPs entre grupos con un ANOVA.

Tabla 4: Resultados del ANOVA realizado para analizar la variabilidad en el contenido de HAPs dentro de cada localidad.

Hipótesis/Localidad	Esteiro	Segaño	Caión	Camelle	Caldebarcos	Aguiño	Cies	Oia
In HAP (TOTAL):								
Normalidad de los datos	0.0755	0.3625	0.3951	0.2207	0.2211	0.01602	0.782	0.03523
Dif. Entre grupos taxonómicos	0.419	0.162	0.427	0.00263	0.944	0.0292	0.747	0.0167
Dif. Entre grupos tróficos	0.251	0.212	0.0894	0.00974	0.761	0.16	0.398	0.0165
Dif. Entre nivel mareal	0.188	0.262	0.36	0.181	0.00368	0.0225	0.816	2.06e-05
In HAP (EPA):								
Normalidad de los datos	0.3243	0.8471	0.5406	0.8925	0.5546	0.1194	0.8618	0.03752
Dif. entre grupos taxonómicos	0.074	0.159	0.318	0.0091	0.942	0.005	0.619	0.0202
Dif. entre grupos tróficos	0.0379	0.469	0.211	0.0537	0.702	0.35	0.191	0.0189
Dif. entre nivel mareal	0.0755	0.208	0.378	0.0612	0.00324	0.451	0.561	5.78e-05

Dentro de los grupos tróficos analizados en el presente estudio, han sido los herbívoros los que presentaron los niveles de contaminación más elevados en una parte de las estaciones, con un máximo de 1706 ± 631 mg HAPs/Kg PS (Tabla 5). Únicamente se aprecian niveles bajos de HAPs en las zonas menos contaminadas, Caión y Esteiro, y en Oia. Por otra parte, los omnívoros y los productores primarios presentan también valores muy elevados, pero de forma más localizada. Los primeros presentan el valor más alto de HAPs totales de los grupos analizados, 1911 mg HAPs/Kg PS en Segaña, mientras que los segundos presentan el nivel más alto de Caldebarcos, 1782 ± 1641 mg HAPs/Kg PS. Al comparar estos resultados con las concentraciones de los 15 HAPs prioritarios de la EPA vemos que se repiten los máximos: los omnívoros presentan 883 mg HAPs/kg PS en Segaña, siendo el segundo grupo con mayor nivel de contaminación por detrás de los productores primarios en Caldebarcos, con 1065 ± 894 mg HAPs/Kg PS.

Tabla 5: Valor medio, número de muestras y desviación típica de las concentraciones de HAPs totales y de los 15 prioritarios de la EPA en cada grupo trófico y en cada localidad. Unidades: mg HAPs/Kg PS.

	Carnívoros			Depositívoros			Herbívoros			Omnívoros			Productores I			Suspensívoros		
	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd
Totales																		
Esteiro	144	7	26	380	1		132	2	14	101	2	7	227	11	85	319	4	99
Segaño	814	11	313	N/A			1114	3	508	1911	1		407	8	92	483	4	50
Caión	173	4	49	618	2	121	153	4	39	129	1		327	11	122	359	5	92
Camelle	478	8	208	97	1		1565	4	481	503	3	230	257	11	49	518	2	255
Caldebarcos	529	7	149	N/A			1706	4	631	619	6	217	1782	8	1641	740	4	192
Aguiño	282	7	139	82	3	8	1187	3	545	300	5	113	906	2	480	500	6	226
Cies	368	6	113	711	2	162	1065	3	516	312	2	12	556	3	85	791	4	257
Oia	442	10	245	908	1		162	3	53	738	8	295	121	2	2	828	4	147
15 EPA																		
Esteiro	71	7	15	300	1		55	2	1	42	2	6	130	11	44	215	4	88
Segaño	356	11	130	N/A			512	3	213	883	1		304	8	72	245	4	41
Caión	93	4	30	278	2	73	78	4	27	59	1		156	11	51	181	5	59
Camelle	201	8	89	44	1		495	4	166	111	3	6	111	11	28	211	2	98
Caldebarcos	278	7	77	N/A			866	4	339	361	6	157	1065	8	894	419	4	102
Aguiño	130	7	67	35	3	6	381	3	180	131	5	42	331	2	157	142	6	74
Cies	195	6	64	496	2	64	635	3	286	237	2	9	453	3	87	528	4	185
Oia	278	10	183	549	1		89	3	31	482	8	184	59	2	4	547	4	88

Los resultados obtenidos sobre el nivel de HAPs totales en los distintos grupos taxonómicos analizados son coherentes, en general, con los más destacables en el caso de los grupos tróficos. Así, los valores máximos se presentan en las algas pardas (2972 ± 2209 mg HAPs/Kg PS en Caldebarcos) y en organismos que se alimentan de ellas o sobre ellas, como son los equinodermos y los gasterópodos (Tabla 6). Los primeros presentan el nivel máximo de contaminación en Segaña (1911 mg HAPs/Kg PS) mientras que los gasterópodos alcanzan su valor máximo en Caldebarcos (1575 ± 566 mg HAPs/Kg PS). A diferencia de los equinodermos, los gasterópodos presentan niveles elevados de HAPs en la mayoría de las localidades estudiadas. Únicamente presentan valores bajos de contaminación en Esteiro y Caión (las localidades menos contaminadas), y también en Oia.

Por otra parte, antozoos, bivalvos y poríferos son grupos que alcanzan niveles importantes de contaminación en algunas localidades. No obstante, no se ha observado ningún patrón geográfico claro al no darse apenas coincidencias con las localidades con mayor nivel de contaminación. Únicamente en Camelle se observaron niveles altos de concentración en Antozoos y Bivalvos.

Tabla 6: Valor medio, número de muestras y desviación típica de las concentraciones de HAPs totales y de los 15 prioritarios de la EPA en cada grupo taxonómico y en cada localidad. Unidades: mg HAPs/Kg PS.

	Algas verdes			Algas rojas			Algas pardas			Antozoos			Asteroideos			Bivalvos			Cirripodos			
	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	
Totales																						

Esteiro	135	1		232	4	141	238	6	44	220	1		173	2	9	301	2	77	122	1	
Segaño	455	1		302	1		417	6	106	1376	2	329	682	5	235	525	2	32	536	1	
Caión	417	1		340	6	128	283	4	145	172	1		212	2	69	309	2	94	319	2	123
Camelle	331	1		262	4	45	218	6	50	1232	1		575	2	278	878	1		N/A		
Caldebarcos	657	1		571	3	343	2972	4	2209	529	1		442	3	227	959	2	211	710	1	
Aguiño	N/A			906	2	480	N/A			88	1		159	4	61	974	2	24	427	2	239
Cies	718	1		N/A			475	2	67	700	1		395	3	84	475	2	138	N/A		
Oia	119	1		N/A			123	1		154	1		847	4	298	626	2	141	N/A		
	Decápodos			Equinoideos			Gasterópodos			Holoturoideos			Peces			Poliquetos			Poríferos		
Totales	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd
Esteiro	109	3	21	111	1		127	3	11	380	1		91	1		N/A			552	1	
Segaño	N/A			1911	1		1294	4	452	N/A			194	2	42	568	1		344	1	
Caión	N/A			129	1		153	4	39	618	2	121	95	1		N/A			536	1	
Camelle	637	3	172	237	2	16	1326	5	495	97	1		98	2	1	N/A			158	1	
Caldebarcos	521	3	140	589	4	179	1575	5	566	N/A			594	1		N/A			331	1	
Aguiño	N/A			300	5	113	1098	4	454	82	3	8	419	1		N/A			100	2	11
Cies	N/A			312	2	12	837	4	479	711	2	162	166	1		N/A			1106	2	282
Oia	204	3	22	808	7	242	174	4	45	908	1		150	2	2	N/A			1030	2	65
	Algas verdes			Algas rojas			Algas pardas			Antozoos			Asteroideos			Bivalvos			Cirrípedos		
EPA	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd
Esteiro	86	1		116	4	61	147	6	35	108	1		95	2	8	166	2	40	67	1	
Segaño	363	1		250	1		301	6	83	545	2	95	329	5	120	300	2	28	243	1	
Caión	317	1		164	6	50	104	4	36	118	1		105	2	43	138	2	50	144	2	107
Camelle	115	1		137	4	25	93	6	32	488	1		254	2	132	349	1		N/A		
Caldebarcos	483	1		414	3	258	1699	4	1246	247	1		230	3	133	558	2	76	394	1	
Aguiño	N/A			331	2	157	N/A			2	1		81	4	25	218	2	92	168	2	101
Cies	627	1		N/A			366	2	61	319	1		50	3	76	183	2	62	N/A		
Oia	53	1		N/A			65	1		86	1		567	4	234	123	2	105	N/A		
	Decápodos			Equinoideos			Gasterópodos			Holoturoideos			Peces			Poliquetos			Poríferos		
EPA	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd
Esteiro	46	3	19	25	1		55	3	0	300	1		42	1		N/A			459	1	
Segaño	N/A			442	1		575	4	185	N/A			77	2	13	265	1		138	1	
Caión	N/A			28	1		78	4	27	278	2	73	43	1		N/A			340	1	
Camelle	163	3	60	59	2	4	427	5	158	44	1		31	2	2	N/A			73	1	
Caldebarcos	283	3	170	180	4	198	789	5	306	N/A			405	1		N/A			167	1	
Aguiño	N/A			66	5	42	384	4	147	35	3	6	193	1		N/A			41	2	2
Cies	N/A			119	2	9	497	4	271	496	2	64	116	1		N/A			788	2	177
Oia	106	3	30	266	7	184	90	4	25	549	1		76	2	2	N/A			655	2	16

La zona del intermareal superior (I1) y la del intermareal medio (I2) son las que presentan los niveles más altos de contaminación en buena parte de las estaciones (Tabla 7). En dichas zonas se han observado los valores más altos de HAPs totales, concretamente en Caldebarcos (I1: 1589 ± 704 mg HAPs/Kg PS; I2: 2001 ± 1429 mg HAPs/Kg PS). Sin embargo, la zona del intermareal inferior (I3) presenta, en general, niveles bajos de contaminación, a excepción de la localidad de Aguiño.

La zona submareal, en general, presenta niveles de contaminación intermedios entre las zonas altas del intermareal (I1, I2) y la más baja (I3), por lo que no se aprecia la existencia de un patrón batimétrico claro. Únicamente en la localidad de Oia los niveles de contaminación de la zona submareal fueron claramente superiores a los de la zona intermareal, con un valor máximo de 1215 ± 286 mg HAPs/Kg PS en las muestras tomadas a 10 m de profundidad.

Tabla 7: Valor medio, número de muestras y desviación típica de las concentraciones de HAPs totales y de los 15 prioritarios de la EPA en cada nivel del litoral y en cada localidad. Unidades: mg HAPs/Kg PS.

	I			I1			I2			I3			S05			S10			S20		
Totales	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd
Esteiro	106	3	13	117	1		211	13	78	146	2	10	184	2	59	155	2	78	370	4	75
Segaño	281	3	81	1070	2	542	716	14	306	173	1		775	1		912	2	260	905	4	356
Caión	N/A			N/A			263	14	94	216	3	53	359	3	190	159	2	6	467	5	124
Camelle	402	2	50	662	3	143	892	10	436	333	6	180	343	2	38	252	2	63	163	4	25
Caldebarcos	726	8	271	1589	3	704	2001	9	1429	146	1		1155	1		167	2	27	248	5	74
Aguiño	N/A			578	2	180	808	8	376	701	4	303	107	3	8	232	4	120	114	5	26
Cies	442	2	195	1183	2	727	450	8	118	N/A			381	1		569	1		746	6	214
Oia	119	1		242	2	23	266	8	125	165	5	23	850	4	137	1215	3	286	933	5	130
EPA	Media	N	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd	Media	n	Sd
Esteiro	54	3	14	56	1		104	13	38	75	2	1	112	2	36	106	2	55	281	4	78
Segaño	176	3	86	473	2	207	351	14	131	121	1		611	1		461	2	102	425	4	119
Caión	N/A			N/A			122	14	43	121	3	34	173	3	93	89	2	14	230	5	54
Camelle	166	2	36	207	3	22	334	10	138	85	6	35	129	2	19	121	2	50	74	4	14
Caldebarcos	401	8	124	807	3	390	1182	9	804	84	1		619	1		121	2	20	112	5	33
Aguiño	N/A			266	2	90	242	8	128	265	4	99	57	3	6	111	4	54	54	5	13
Cies	372	2	181	670	2	414	248	8	71	N/A			280	1		452	1		535	6	137
Oia	53	1		122	2	21	167	8	94	86	5	14	543	4	124	870	3	229	584	5	136

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS:

Los resultados más significativos de este trabajo se han obtenido al comparar las muestras en base a la localización geográfica. Ha sido posible obtener comparaciones 2 a 2 que indican que existen tres grupos de estaciones: Esteiro y Caión son las estaciones de muestreo que presentan los niveles más bajos de contaminación, mientras que Caldebarcos es, con diferencia, la más contaminada. El resto de las localidades presentan niveles de contaminación intermedios, mostrando más semejanza con las zonas más contaminadas o menos

contaminadas según los casos. La ausencia de un patrón geográfico claro para la distribución de HAPs puede deberse a varias causas: las tareas de limpieza que se llevaron en cada zona, la tasa de mortalidad de los individuos (los individuos más contaminados de una zona no estarían presentes cuando fueron tomadas las muestras, por haber muerto), distintos ciclos reproductivos en las especies de cada zona, la configuración de la costa, etc.

Respecto a los resultados obtenidos en el análisis de concentraciones de HAPs en los grupos tróficos, los elevados niveles de contaminación de los herbívoros contrastan con los niveles claramente inferiores observados en los carnívoros (aunque son consecuentes con los altos niveles de HAPs en productores primarios). A priori se esperaba que los niveles de contaminación en estos últimos fueran elevados debido a procesos de bioamplificación de los contaminantes, por su papel de depredadores. No obstante, hay que tener en cuenta el potencial efecto de otros factores, como la capacidad de detoxificación de los HAPs ya comentada, que es elevada en el caso de los vertebrados.

Los resultados obtenidos considerando diferentes grupos taxonómicos indican que a la hora de interpretar los resultados no solo debe tenerse en cuenta la dieta, también intervienen otros factores como la movilidad. En un mismo nivel trófico (por ejemplo, los carnívoros), existen grupos taxonómicos de alta movilidad (peces y crustáceos), otros con escasa capacidad de desplazamiento (equinoideos, gasterópodos) y algunos que permanecen siempre fijos al sustrato (antozoos). La combinación de estos factores explicaría por qué los grupos taxonómicos con mayores niveles de contaminación son los gasterópodos y los bivalvos. También se explica por qué los peces presentan, en la mayor parte de las localidades, niveles bajos de HAPs.

Los antozoos, bivalvos y poríferos, presentan niveles de contaminación relativamente altos en algunas localidades, lo cual podría explicarse por su limitada capacidad de detoxificación y por su escasa o nula movilidad. Además, estos grupos tienen otra cosa en común, y es que su alimentación es suspensiva (los antozoos, pese a ser carnívoros, también se alimentan de partículas en suspensión). No obstante lo anterior, considerando el conjunto de las localidades los niveles de contaminación observados en estos grupos han sido muy variables, y no guardarán una relación directa con la contaminación en cada localidad.

En relación con lo anterior, no se ha encontrado un patrón batimétrico claro entre los distintos niveles de la zona litoral. La zona intermareal tiende a presentar niveles de contaminación más elevados que la submareal, y además, en la franja inferior de la zona intermareal los niveles observados son incluso inferiores que en el submareal. Parece por, tanto que los organismos de las zonas menos sumergidas tienden a presentar mayores contenidos en HAPs y ello podría estar relacionado con una composición faunística dominada por individuos con menor movilidad. Las algas pardas como *Fucus*, y los herbívoros que se alimentan sobre ellas son componentes típicos de la zona intermareal.

Por último es importante tener en cuenta a la hora de analizar los resultados de este trabajo que se desconoce el contenido en lípidos de los organismos analizados, y que como se dijo anteriormente los HAPs se acumulan en los tejidos con alto contenido lipídico. En una zona contaminada, dos individuos de la misma especie, con la misma dieta y los mismos hábitos pueden presentar distinto nivel de contaminación por tener distinto contenido en lípidos. Normalizar las muestras por su contenido lipídico permitiría realizar comparaciones más robustas.

CONCLUSIONES:

Tras analizar los datos se ha determinado que las localidades donde se tomaron las muestras con mayores niveles de HAPs son Caldebarcos y, en menor medida, Segaña, Cies y Oia. Por otro lado, las localidades con los niveles más bajos son Esteiro y Caión. No se ha observado ningún patrón reconocible en la distribución geográfica de los HAPs.

Ninguno de los parámetros biológicos considerados contribuye a explicar de forma clara los resultados observados. Las diferencias entre grupos tróficos y taxonómicos no muestran evidencias claras de bioamplificación.

Respecto a la distribución de contaminación en los distintos niveles del litoral, no se ha encontrado ningún patrón batimétrico evidente.

BIBLIOGRAFÍA:

Álvarez-Salgado, X.A., Herrera, J.L., Gago, J., Otero, P., Soriano, J.A., Pola, C.G., García-Soto, C. 2006. Influence of the oceanographic condition during spring 2003 on the transport of the Prestige tanker fuel oil to the Galician coast. *Marine Pollution Bulletin* 53, 239-249.

Antón, A., Lizaso, J. 2001. Hidrocarburos aromáticos policíclicos. Fundación Ibérica para la Seguridad Alimentaria. Madrid.

Armas Diéguez, P., Barreiro Rivas, X. L., Cabrera Varela, J., Fernández, L., Freire, J., García-Allut, A., González Gurriarán, E., Losada Trabada, A., Muíño, R., 2003. ¿Qué foi do *Prestige*? Balance do impacto económico e social a un ano da catástrofe. Ed. Sotelo Blanco, pp. 23-29. ISBN 84-7824-436-0.

Figueras, A. 2006. Las Lecciones de la Catástrofe del Prestige. La Catástrofe del buque Prestige. CSIC. p. 19. ISBN 84-00-08408-X.

Freire, J., Labarta, U., 2003. El Prestige: Impactos sobre los recursos y ecosistemas marinos. La Huella del Fuel. Ensayos sobre el "Prestige". Ed. Fundación Santiago Rey Fernández-Latorre (A Coruña), pp. 104-135.

González, J.J., Viñas, L., Franco, M.A., Fumega, J., Soriano, J.A., Grueiro, G., Muniategui, S., López-Mahía, P., Prada, D., Bayona, J.M., Alzaga, R., Albaigés, J. 2006. Spatial and temporal distribution of dissolved/dispersed aromatic hydrocarbons in seawater in the área affected by the *Prestige* oil spill. *Marine Pollution Bulletin*, 53, 250-259

Rubio Armendáriz, C., Álvarez Marante, R., Hardisson de la Torre, A. 2006. Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en productos de la pesca: revisión. *Revista de Toxicología*, vol.23, núm. 1, 2006, pp. 1-6. Asociación Española de Toxicología. España.

Oudot J. 2002. Preliminary results on the composition of the Prestige fuel oil. Muséum National D' Histoire Naturelle, USM 505, Paris, France.

http://www.le_cedre.fr/frprestige/zproduit.htm