



**Estimación de la localización de
hotspots de basuras marinas en las
demarcaciones atlánticas españolas
mediante el uso de un modelo
hidrodinámico lagrangiano**



Este informe se ha realizado en colaboración entre los proyectos CleanAtlantic (INTERREG Espacio Atlántico) y 6-ESMARES2-C8 (en el marco del encargo del MITECO al IEO titulado *Asesoramiento científico técnico para la protección del medio marino: evaluación y seguimiento de las estrategias marinas, seguimiento de los espacios marinos protegidos de competencia estatal*).

Autores:

CleanAtlantic:

- Sara Cloux González. CRETUS, Grupo de Física no Lineal. Universidade de Santiago de Compostela.
- Hilda de Pablo. MARETEC, Instituto Superior Técnico. Universidade de Lisboa.

ESMARES2-C8:

- Patricia Pérez Pérez. Centro Oceanográfico de Vigo (COV-IEO), CSIC.

Versión: 31 de mayo de 2022



Contenido

1. Introducción: contextualización del informe	7
2. Metodología de la modelación	7
2.1. Modelo lagrangiano	9
2.2. Campo de velocidades euleriano	10
3. Identificación y caracterización de las fuentes de basura marina consideradas	10
3.1. Fuentes terrestres	10
3.1.1. Emisiones desde tierra	10
3.1.2. Ríos	12
3.2. Fuentes marítimas	13
3.3. Emisiones y consideraciones	16
4. Resultados de las simulaciones	17
4.1. Emisiones desde tierra	17
Demarcación noratlántica	19
Demarcación sudatlántica	21
Demarcación canaria	21
4.2. Ríos	22
Demarcación noratlántica	24
Demarcación sudatlántica	25
Demarcación canaria	26
4.3. Fuentes marítimas	26
Demarcación noratlántica	28
Demarcación sudatlántica	30
Demarcación canaria	30
Mar Mediterráneo	31
5. Discusión y conclusiones	32
Zonas de acumulación	32
Transferencia de partículas flotantes entre demarcaciones	35
Entrada de partículas flotantes de fuera de las demarcaciones españolas	36
6. Limitaciones del estudio e ideas de mejora	37
7. Bibliografía	40
Anexo 1: Ríos	42
Anexo 2: Datos fuentes marítimas	43



1. Introducción	43
2. Embarcaciones	43
2.1. Tráfico marítimo y pesca	43
2.2. Pesca.....	46
3. Acuicultura	46
4. Ponderación de todas las fuentes marítimas.....	46
5. Estrategia adoptada	50
6. Bibliografía del anexo 2.....	50
Anexo 3: Zonas de acumulación: emisiones terrestres.....	52
1. Demarcación noratlántica	52
Punto de emisión: Bilbao	52
Punto de emisión: Santander.....	52
Punto de emisión: Gijón.....	53
Punto de emisión: Avilés.....	53
Punto de emisión: Coruña.....	53
Punto de emisión: Arousa	54
Punto de emisión: Vigo	54
2. Demarcación sudatlántica.....	54
Punto de emisión: Huelva	54
Punto de emisión: Cádiz.....	55
3. Demarcación canaria.....	55
Punto de emisión: Tenerife NE_1.....	55
Punto de emisión: Tenerife NE_2.....	55
Punto de emisión: Tenerife NW	56
Punto de emisión: Tenerife SE	56
Punto de emisión: Tenerife SW.....	56
Punto de emisión: Puerto Palmas	57
Punto de emisión: Puerto Palmas_2.....	57
Punto de emisión: Palmas Sur.....	57
Punto de emisión: Lanzarote	58
Anexo 4: Zonas de acumulación: puntos de emisión fluviales	59
1. Demarcación Hidrográfica Cantábrico Oriental.....	59
1.1. Río Bidasoa	59



1.2.	Río Nervión	59
1.3.	Río Oria	60
1.4.	Río Urumea.....	60
2.	Demarcación Hidrográfica Cantábrico Occidental	60
2.1.	Río Agüera	60
2.2.	Ría de Avilés	61
2.3.	Río Asón.....	61
2.4.	Río Bedón	61
2.5.	Río Besaya	62
2.6.	Ría Deva.....	62
2.7.	Río Eo.....	62
2.8.	Río Esva	63
2.9.	Río Miera	63
2.10.	Río Nalón	63
2.11.	Río Negro.....	64
2.12.	Río Sella	64
3.	Demarcación Hidrográfica Galicia-Costa.....	64
3.1.	Río Lagares	64
3.2.	Ría Landro.....	65
3.3.	Río Lérez	65
3.4.	Río Masma.....	65
3.5.	Río Mero	66
3.6.	Ría Tambre	66
3.7.	Río Ulla	66
3.8.	Río Umia	67
4.	Demarcación Hidrográfica Miño-Sil	67
4.1.	Río Miño	67
5.	Demarcación Hidrográfica del Guadiana	67
5.1.	Río Guadiana	67
6.	Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir	68
6.1.	Río Guadalquivir	68
Anexo 5: Zonas de acumulación: emisiones por fuentes marítimas		69
1.	Demarcación noratlántica	69



1.1.	Zona País Vasco	69
1.2.	Zona Cantabria	69
1.3.	Zona Asturias 1	70
1.4.	Zona Asturias 2	70
1.5.	Zona Galicia 1	70
1.6.	Zona Galicia 2	71
2.	Demarcación sudatlántica	71
2.1.	Zona Sur	71
3.	Demarcación canaria	71
3.1.	Zona Gomera Sur	71
3.2.	Zona Tenerife Sur	72
3.3.	Zona Gran Canaria Sur	72
3.4.	Zona Lanzarote Sur	72
3.5.	Zona Ruta 1	73
3.6.	Zona Ruta 2	73
3.7.	Zona Ruta 3	73
3.8.	Zona Ruta 4	74
4.	Zona Portugal	74
4.1.	Zona Portugal (costa oeste)	74
4.2.	Zona Portugal Sur	74
5.	Zona Francia	75
5.1.	Zona Francia-1	75
5.2.	Zona Francia-2	75
5.3.	Zona Francia-3	75
5.4.	Zona Francia-4	76



1. Introducción: contextualización del informe

En 2018 el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) realizó un encargo al Instituto Español de Oceanografía (IEO) bajo el título “Asesoramiento científico técnico para la protección del medio marino: evaluación y seguimiento de las estrategias marinas, seguimiento de los espacios marinos protegidos de competencia estatal”. Dentro del capítulo 8 de este encargo (“Capítulo 8: Puesta en marcha y elaboración periódica del seguimiento y evaluación de las basuras marinas - Estrategia de seguimiento de basuras marinas”) se especifican las tareas relativas al descriptor 10 de la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina (DMEM), la basura marina. Además de los trabajos relacionados con la evaluación de estado exigida por la DMEM y otras relativas al cumplimiento de compromisos adquiridos en convenios regionales y de reporte a la CE, el capítulo también incluye una tarea sobre la determinación de zonas de acumulación de basura marina (*hotspots*) en las demarcaciones españolas (Tarea 6. Estudio de *hotspots* de basuras marinas), la cual tiene por objetivo abordar una de las medidas incluidas en el Programa de Medidas del primer y segundo ciclo de implantación de la DMEM.

Para la determinación de estas zonas de acumulación o *hotspots*, además de hacer uso de los resultados obtenidos en las estrategias de seguimiento, se apuntó al interés de utilizar modelos hidrodinámicos que ayudasen a entender cómo los patrones de circulación oceánica distribuyen la basura marina en las demarcaciones españolas. Para hacer este estudio el Centro Oceanográfico de Vigo (COV-IEO) ha contado con la colaboración del proyecto CleanAtlantic¹ (INTERREG Espacio Atlántico). En el marco de este proyecto la Universidade de Santiago de Compostela y el Instituto Superior Técnico (Universidade de Lisboa) desarrollaron un modelo computacional lagrangiano que permite trazar el movimiento de la basura en el océano atlántico europeo. A pesar de que el COV-IEO es también socio de CleanAtlantic, en el marco de esta actividad en concreto el trabajo llevado a cabo por el COV-IEO lo realizó el personal contratado para el encargo del MITECO, justamente para dar respuesta a la tarea 6. Así, desde julio de 2021 el COV-IEO ha enviado información y mantenido reuniones regulares con estos socios de CleanAtlantic para decidir las condiciones de las simulaciones, aportar todos los datos necesarios y realizar este informe. A continuación se detallan los pormenores de estos trabajos y los resultados obtenidos hasta la fecha.

2. Metodología de la modelación

A pesar de existir cada vez más datos procedentes de monitorización *in situ* (o de análisis de imágenes de satélite, drones, etc.) esta valiosa información difícilmente explica la trayectoria y el origen de la basura marina, simplemente indica áreas donde se localiza en un momento dado y en donde se podría acumular (el destino). Actualmente, la única forma de estimar el

¹ <http://www.cleanatlantic.eu/es/>

transporte, acumulación y/o dispersión de la basura marina es a través de herramientas de modelación, es decir, a través de ecuaciones matemáticas que parametrizan el comportamiento de partículas en el mar.

Uno de los mayores desafíos de la modelización de la basura marina es conseguir abarcar toda la heterogeneidad que presentan los residuos. La categoría “basura marina” es lo suficientemente amplia como para incluir una gran variedad de objetos con diferentes propiedades físicas tales como el tamaño, la densidad, o la forma, todas ellas fundamentales para determinar su comportamiento en el mar. Además, existen diferentes procesos que intervienen en el movimiento de esta basura, entre ellos destaca la fuerte interacción con el medio marino a través de procesos como la degradación, el hundimiento, o el varamiento. También hay que tener en cuenta su sensibilidad inherente a las condiciones iniciales debido a la advección (resultado del efecto combinado de las corrientes oceánicas, el efecto del viento y las olas) así como las escalas temporales y espaciales necesarias para modelar el transporte oceánico. La suma de todos estos factores muestra lo intrincada que puede ser la modelización de la basura marina.

Por otro lado, centrándonos en los plásticos, existen diferentes polímeros con distinta densidad y, por tanto, distinta flotabilidad. Los plásticos con menor densidad que la del agua del mar (como el polietileno y el polipropileno) pueden flotar mientras que los polímeros de mayor densidad (como el poliéster o la poliamida) tenderán a hundirse. Además, dependiendo de las propiedades del entorno en el que son transportados, los residuos plásticos flotantes también pueden estar expuestos a procesos de degradación y/o *biofouling*², los cuales pueden cambiar su densidad y provocar su hundimiento (Kaiser et al., 2017; Kooi et al., 2017). En definitiva, la existencia de parámetros libres³, la ausencia de información sobre las condiciones iniciales y de ecuaciones precisas para describir todos los procesos implicados requieren el uso de un gran conjunto de simulaciones para explorar toda una serie de escenarios posibles que nos puedan proporcionar información sobre el movimiento y/o acumulación de la basura marina.

Desde el punto de vista de los modelos matemáticos, de una forma general, es posible considerar dos perspectivas diferentes, la perspectiva euleriana y la lagrangiana. Los modelos eulerianos tienen como objetivo estudiar la variación de propiedades del agua (velocidades de corrientes, temperatura, salinidad, nutrientes, fitoplancton, etc.) en un punto fijo en el espacio (es decir, utilizando un sistema de referencia fijo) mientras que los modelos lagrangianos utilizan sistemas de referencia dinámicos a partir de los cuales es posible hacer el seguimiento de las partículas, lo que permite estimar no solo la trayectoria de estas sino también su origen y destino final. En el caso concreto de la basura marina la perspectiva lagrangiana ha sido ampliamente utilizada en el mundo académico (entre otros por Lebreton *et al.*, 2012; Mansui *et al.*, 2015, Zambianchi *et al.*, 2017, Mansui *et al.*, 2020; Politikos *et al.*, 2020; van Sebille *et al.*, 2020).

En el presente trabajo se han utilizado resultados de modelos hidrodinámicos eulerianos de gran escala para proporcionar el campo de velocidades a un modelo lagrangiano, el cual,

² *Biofouling* es el término en inglés que se utiliza normalmente para referirnos al crecimiento de organismos marinos sobre un objeto en contacto con el agua de mar.

³ Parámetros libres son fenómenos que no se pueden parametrizar.



posteriormente, calculará la posición de las partículas (en este caso flotantes) a lo largo del espacio y del tiempo.

2.1. Modelo lagrangiano

El modelo lagrangiano utilizado fue el MOHID Lagrangian, desarrollado en el ámbito del proyecto CleanAtlantic, el cual permite predecir la formación de zonas de acumulación de basura marina flotante, tanto en mar abierto como en costa. Toda la información sobre su instalación y funcionamiento está disponible en la página web del proyecto⁴.

Entre las ventajas de esta herramienta de modelación está su fácil implementación, robustez, eficiencia computacional (que le permite simular millones de partículas en tiempos cortos), posibilidad de utilizar cualquier campo euleriano de circulación de otros modelos (diferentes al MOHID) y también su capacidad de simular diferentes tipos de partículas lagrangianas (por ejemplo, partículas con distinto grado de flotabilidad). En cuanto a su capacidad computacional, este método puede realizar simulaciones con un número de partículas suficientemente elevado como para obtener resultados estadísticamente significativos y por un periodo de tiempo suficientemente largo como para cubrir diferentes fenómenos oceanográficos y meteorológicos. Permite además trabajar a distintas escalas espaciales, por ejemplo, a nivel del océano Atlántico norte, regional (p.ej. Golfo de Vizcaya) o local (p.ej. Ría de Arousa, estudio recientemente publicado en el marco del proyecto en Cloux *et al.*, 2022).

Además de estimar la localización de *hotspots* de basura flotante, la herramienta MOHID Lagrangian tiene la capacidad de predecir la acumulación en la costa debido al varamiento en la arena, fenómeno conocido como *beaching*. Este fenómeno de varamiento se calcula a partir de la velocidad de las partículas: cuando la velocidad de una partícula se reduce y se aproxima a cero y el valor batimétrico (profundidad) asociado a su posición es pequeño (se encuentra muy próximo al fondo) se considera que esa partícula tiene probabilidad de quedar varada en la costa. En este trabajo la estimación de *hotspots* se centra en las acumulaciones de basura flotante en el mar y no en la costa porque para lo segundo sería preciso trabajar a escala local para tener en cuenta procesos hidrodinámicos de pequeña escala así como batimetrías y líneas de costa más precisas. Es por ello que, al centrarnos en acumulaciones flotantes, en las simulaciones de este trabajo no se incluyen los efectos de *beaching*.

La metodología utilizada en este trabajo ha sido validada por Cloux *et al.* (2022) en un dominio local en la Ría de Arousa. Esta zona costera, situada en el noroeste de la Península Ibérica (Galicia), es ideal para un ejercicio de validación de partículas lagrangianas porque en ella se pueden encontrar unos ítems de plástico fácilmente identificables (en forma y origen) que se pueden utilizar como trazadores en el modelo, nos referimos a los palillos que se emplean en el cultivo de mejillón. Estos palillos se insertan en las cuerdas sobre las que crecen los mejillones bajo las bateas. Su función principal es aliviar el peso del conjunto de mejillones sobre la cuerda

⁴ MOHID Lagrangian Tool: Software necessary to include marine litter processes in an open source lagrangian transport tool. <http://www.cleanatlantic.eu/es/mapping-and-modelling-marine-litter/>



a medida que estos van creciendo. Los palillos pueden desengancharse de las cuerdas o partirse y acabar en el medio por distintos motivos, entre otros en el proceso de “cepillado” de las cuerdas, cuando se recoge el mejillón. El seguimiento de las zonas de acumulación de palillos en esta ría (de entre todas las rías gallegas la de Arousa es la que alberga el mayor número de bateas de mejillón) ha permitido a estos autores comparar los datos de campo con los resultados de las acumulaciones de partículas determinadas por el modelo. En este estudio se encontraron tendencias similares entre los resultados del modelo y los datos observados, comprobando así la fiabilidad del modelo.

2.2. Campo de velocidades euleriano

Las simulaciones se realizaron utilizando datos hidrodinámicos 3D de los últimos 7 años (desde el 1 de enero de 2015 hasta el 31 de diciembre de 2021) obtenidos del Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) con una resolución espacial media de 9 km y temporal de 1 día.

3. Identificación y caracterización de las fuentes de basura marina consideradas

Las fuentes de basura marina se clasifican en dos tipos generales en función de la localización de las actividades que las generan, así se consideran las fuentes marinas y las terrestres (UNEP 2005, Veiga *et al.* 2016). Habitualmente se acepta que el 80% de la basura que se encuentra en el mar procedería de fuentes terrestres y el 20% restante de fuentes marinas, pero no existen informes técnicos ni artículos científicos que respalden estas proporciones (GESAMP, 2021) y a día de hoy se sabe que se pueden encontrar grandes diferencias en función de las actividades antropogénicas que se desarrollen en cada zona así como de las condiciones meteoceanográficas predominantes. En cuanto a la situación en las demarcaciones españolas, Buceta *et al.* (2021) analizaron los datos de basura en playas registrados de 2013 a 2018 y concluyeron que las fuentes terrestres serían responsables del 63% de la basura de playa y las fuentes marítimas del 37%.

3.1. Fuentes terrestres

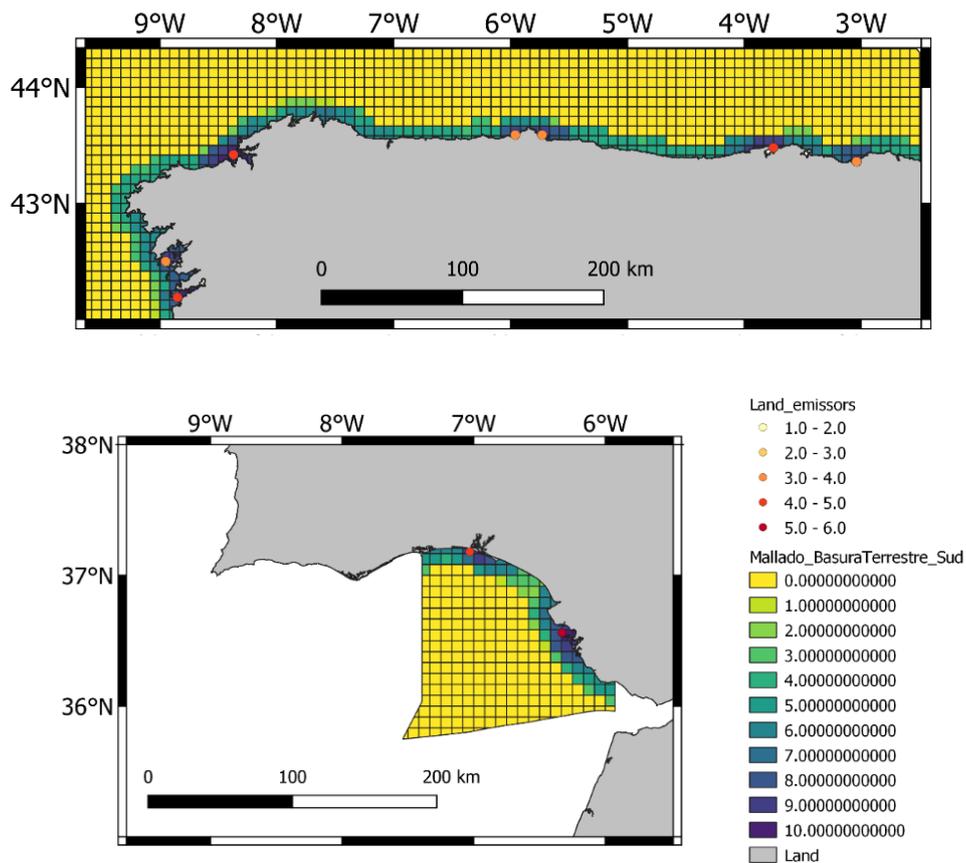
3.1.1. Emisiones desde tierra

Para caracterizar este tipo de emisiones se utilizó el Análisis de Presiones e Impactos de la Estrategia Marina (MAPAMA y CEDEX, 2012a, b y c). En dicho trabajo se realizó un mapeado y valoración de la acumulación de presiones que pueden causar la entrada de basuras al mar desde tierra para las demarcaciones noratlántica, sudatlántica y canaria. Las presiones que consideraron fueron:

- los núcleos de población costera,

- puertos,
- zonas de baño,
- vertederos de residuos sólidos urbanos y
- ríos.

En dicho análisis se asignaron puntuaciones de 1 a 10 (mayor puntuación al aumentar el número de presiones y/o su magnitud) a cada celda costera de 10 km. Para seleccionar los puntos de emisión, en este trabajo se buscaron las zonas con mayor acumulación de presiones (aquellas con celdas cuyas puntuaciones estuviesen entre las tres más altas de la demarcación) y se determinó un punto de emisión único y representativo de cada una de esas zonas resultando en 18 puntos de emisión (ver figura 1). Conviene indicar que, dentro del área cubierta por estas celdas con mayor presión, la localización exacta del punto de emisión no es relevante a la escala en la que se están realizando las simulaciones en este trabajo (escala de demarcación, con una resolución de 8 km). En cuanto a las tasas de emisión, éstas se ponderaron y normalizaron en función de la puntuación asignada en el estudio del MAPAMA y CEDEX (2012a, b y c) y tal como se muestra en la leyenda de la figura 1 (rango de variación de la ponderación de 1 a 6).



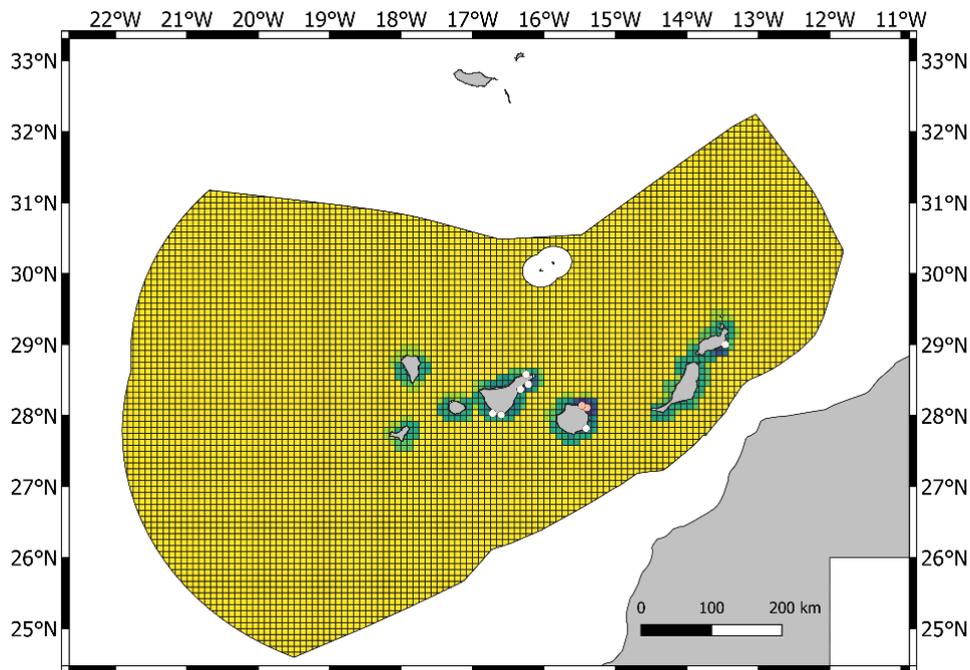


Figura 1.- Malla con la valoración de la acumulación de presiones que pueden causar la entrada de basuras al mar desde tierra en las tres demarcaciones atlánticas españolas según el trabajo de MAPAMA y CEDEX (2012a, b y c). De arriba abajo: demarcación noratlántica, demarcación sudatlántica y demarcación canaria. Los 18 emisores establecidos para el presente informe se representan como puntos. El color de los puntos refleja la ponderación asignada a cada emisor en la simulación.

3.1.2. Ríos

Además de considerar todas las fuentes terrestres integradas en los 18 puntos de emisión que se indican en el apartado anterior, se quiso también estudiar el efecto individual de los ríos aprovechando los resultados del trabajo recientemente publicado por González-Fernández *et al.* (2021) en el que se estima el aporte de macrobasura flotante por los ríos europeos. En base a ese trabajo, se decidió introducir en las simulaciones el efecto individual de 27 ríos de 6 demarcaciones hidrográficas (DH) españolas que vierten sus aguas en el océano Atlántico (DH del Cantábrico Oriental, DH del Cantábrico Occidental, DH Galicia-Costa, DH del Miño-Sil, DH del Guadiana, DH del Guadalquivir). El listado de los ríos considerados se detalla en el Anexo 1.

Para estos ríos los datos de caudal se obtuvieron de los registros históricos de aforos de las redes de seguimiento⁵. En el modelo se utilizaron datos de caudales diarios. Debido a la falta de disponibilidad de datos con esta frecuencia para algunos ríos, se utilizó como caudal diario la media del caudal del mes. En los casos en los que no había ningún dato en el mes correspondiente, se utilizó la media del caudal en ese mes, pero calculado según los registros de

⁵ <https://sig.mapama.gob.es/redes-seguimiento/>

los años en los que sí había datos de caudal. Los puntos de emisión se escogieron de acuerdo con las ubicaciones de las desembocaduras de cada río (ver Anexo 1), coincidiendo con los puntos estimados por González-Fernández *et al.* (2021). En este trabajo, los autores realizaron diferentes registros visuales de la macrobasura flotante en 42 ríos europeos entre junio 2016 y septiembre 2017. Así, los autores crearon un modelo de regresión con estos resultados y las características de la cuenca (tamaño, número de habitantes y estimación de los residuos que se escapan del sistema de recogida en esa cuenca) para estimar la contribución relativa de cada río de la costa europea a la basura marina flotante. En la figura 2 se indican las desembocaduras de los ríos considerados en nuestro estudio (es decir, los puntos de emisión de basura fluvial flotante). El tamaño del punto representa el aporte anual de basura flotante según lo estimado por González-Fernández *et al.* (2021).

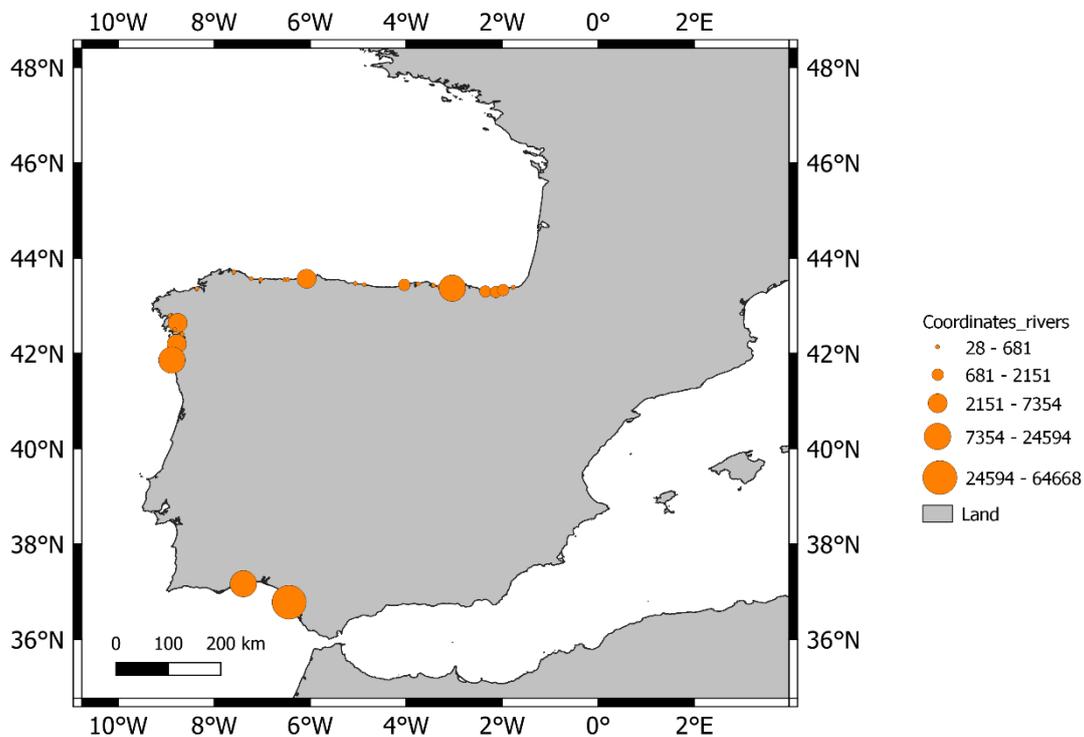


Figura 2.- Desembocaduras de los 27 ríos considerados en las simulaciones (ver lista en Anexo 1). El tamaño de los puntos es proporcional a la estimación de la carga media anual de macrobasura flotante de González-Fernández *et al.* (2021).

3.2. Fuentes marítimas

Debido a la dificultad que supone establecer la localización de cada una de las fuentes de emisión marítimas (instalaciones de acuicultura, barcos pesqueros, mercantes, de recreo, etc.) y sobre todo asignarle un peso específico representativo a cada una de ellas, finalmente se optó por considerar una emisión ideal que abarcase todos los potenciales puntos de emisión marítima

(ver Anexo 2 para mayor información sobre la complejidad de los datos valorados para este trabajo). Para ello, y empezando por las demarcaciones noratlántica y sudatlántica, dado que la gran mayoría de las actividades marítimas internas⁶ se concentran en una franja paralela a la costa⁷, se definió un perímetro de emisión alrededor de la península ibérica y de la costa francesa en el Golfo de Vizcaya. Para definir este contorno, se escogieron aquellas celdas de 20x30 km cuyos lados no estuviesen en contacto con la costa (para minimizar el efecto de la presencia de tierra en los cálculos de velocidad de corrientes que hace el modelo en cada celda). El resultado fue una banda perimetral situada a 10 - 12 km de la costa y a 92 - 130 m de profundidad, franja que coincide con la mayor densidad de barcos según los datos disponibles en EMODnet⁸.

De cara a poder analizar las aportaciones de cada zona marítima a los *hotspots* estimados por el modelo, este contorno se subdividió en 13 zonas, de norte a sur (ver figura 3):

- Francia 4
- Francia 3
- Francia 2
- Francia 1
- País Vasco
- Cantabria
- Asturias_1
- Asturias_2
- Galicia_1
- Galicia_2
- Portugal
- Portugal_sur
- Sur

La división de este contorno en tramos responde a razones administrativas, pero sobre todo a razones hidrodinámicas. Por ejemplo, en lo que respecta a Asturias y Galicia, su franja marítima se tuvo que subdividir de manera que cada uno de los tramos resultantes presentase una dinámica oceánica homogénea en toda su extensión. En el caso de Galicia, se espera que las emisiones realizadas en la zona norte puedan ser arrastradas al Golfo de Vizcaya o empujadas hacia la zona subtropical. Pero en el caso de las emisiones en la cara oeste, las partículas emitidas serán más fácilmente transportadas hacia el trópico. En cuanto a Asturias, el Cabo Peñas es un elemento divisor en cuanto a las dinámicas oceánicas en esta área y es por ello que este elemento geográfico se ha utilizado para dividirla en dos zonas diferenciadas. Todas estas regiones se han definido como shapefile.

⁶ Actividades marítimas realizadas por barcos nacionales.

⁷ En cuanto al tráfico marítimo, según los datos disponibles en EMODnet (<https://www.emodnet-humanactivities.eu/view-data.php>) se observa que la mayor densidad de barcos se registra en una franja paralela a la costa (barcos de pesca, operaciones submarinas y de dragado, embarcaciones de alta velocidad, buques militares, barcos de pasajeros, embarcaciones de recreo, veleros, embarcaciones de servicio en puertos y remolcadores). Los únicos tipos de buques que no cumplirían esta condición serían los petroleros (Tanker) y los de carga general (Cargo) en la zona del cantábrico y el Golfo de Vizcaya (tráfico internacional), donde estos barcos siguen principalmente la ruta de tráfico marítimo que sale del Canal de la Mancha a la altura de Brest en línea recta hacia Finisterre. Desde este punto hacia el sur de la península la ruta discurre paralela a la costa.

⁸ Shipping density: <https://www.emodnet-humanactivities.eu/view-data.php>

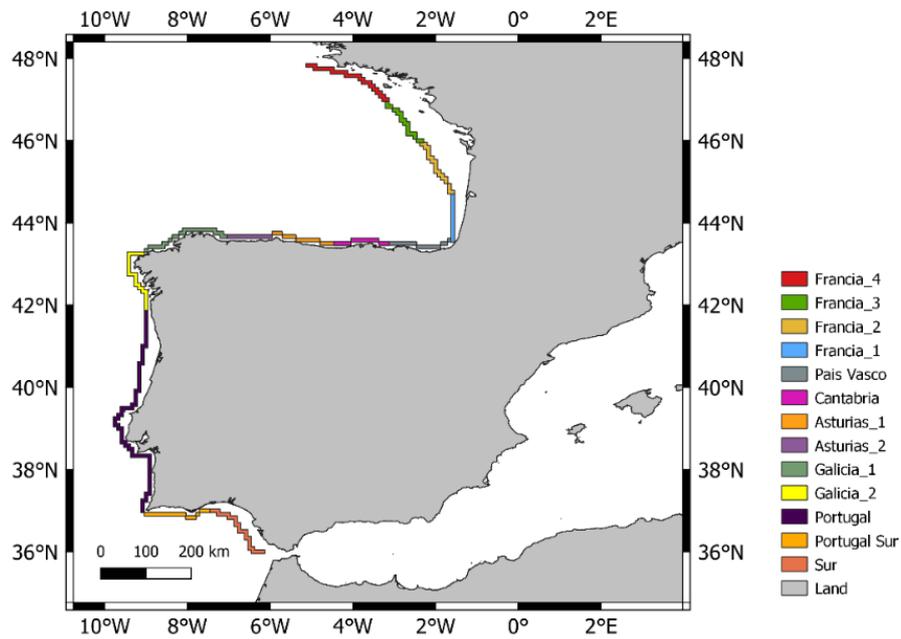
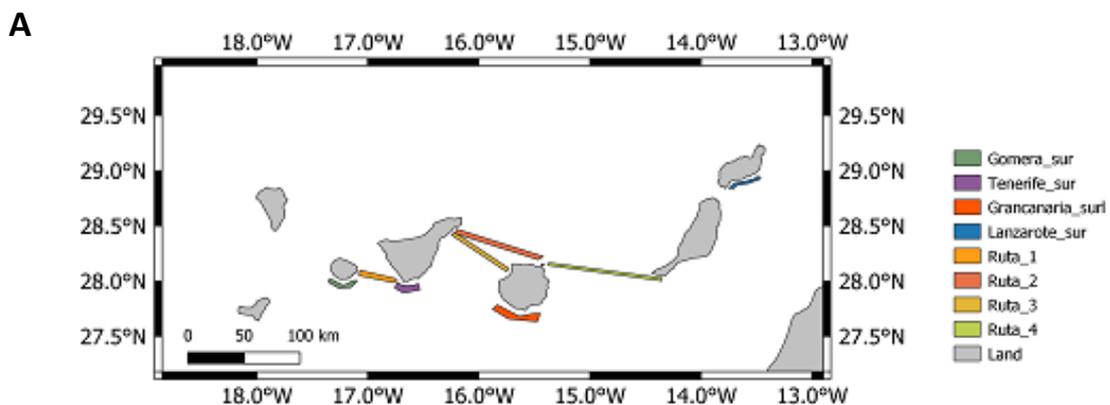


Figura 3.- Contorno (dividido en 13 secciones) en el que se han establecido los puntos de emisión de basura de fuentes marítimas para las simulaciones en las demarcaciones noratlántica y sudatlántica.

En lo que respecta a la demarcación canaria, los polígonos de emisión se definieron en base a las áreas con mayor densidad media de embarcaciones según los datos disponibles en EMODnet, los cuales reflejan principalmente las rutas de comunicación entre las islas y la actividad pesquera y náutica de la zona. En la figura 4-B se muestran los datos de EMODnet (densidad media anual de todas las embarcaciones en el año 2019) y en la 4-A los 8 polígonos definidos para este trabajo.



B

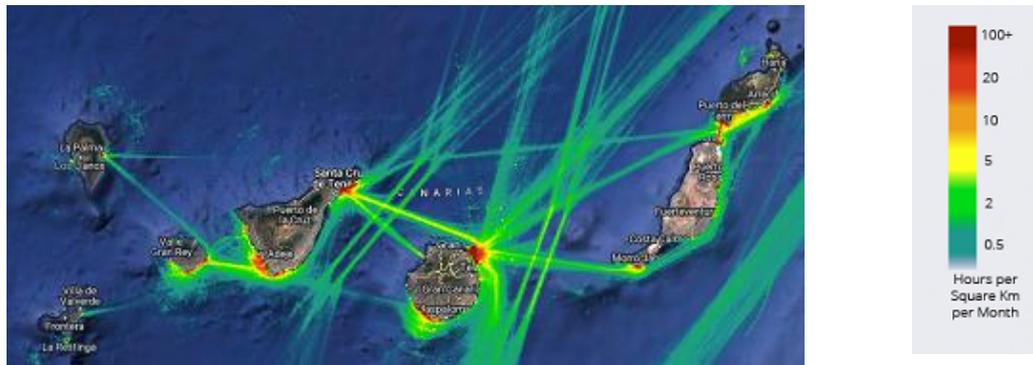


Figura 4.- A. Polígonos en los que se han establecido los puntos de emisión de basura de fuentes marítimas en la demarcación canaria. **B.** Densidad media de embarcaciones en el año 2019 (Fuente de datos: EMODnet).

3.3. Emisiones y consideraciones

Las emisiones se caracterizan mediante la posición, instante de tiempo y la tasa de emisión. Normalmente el instante inicial de emisión coincide con el instante inicial de simulación y mediante la tasa se controla la manera en la que son emitidas las partículas. En este trabajo las tasas de emisión se establecieron de manera que el número máximo de partículas en juego durante la simulación no superase la capacidad de cálculo del ordenador (establecida en 6,3 millones de partículas). De manera particular, cada una de las fuentes se ponderó de la siguiente manera:

- **Emisiones desde tierra:** a falta de información específica sobre la frecuencia de los aportes de estas fuentes, se asumió una emisión continua que cubriese todo el periodo de simulación, de este modo también se reduce el efecto de las condiciones iniciales en el resultado (es decir, las diferencias en la trayectoria de la partícula debidas únicamente al momento específico en que se emite). La tasa de emisión de los 18 puntos establecidos se ponderó según se indica en la leyenda de la figura 1, es decir, según los resultados del trabajo de MAPAMA y CEDEX (2012a, b y c).
- **Ríos:** los datos de caudal de los ríos considerados se ponderaron con los valores proporcionados en el artículo de González-Fernández *et al.* (2021), resultado de su modelo empírico para estimar el aporte anual de macrobasura flotante de los ríos europeos. Para las simulaciones incluidas en este informe se utilizaron las medias anuales de la carga de macrobasura flotante para cada río.
- **Fuentes marítimas:** se distribuyeron puntos de emisión cada 9 km a largo del contorno y de los polígonos definidos para estas fuentes (9 km es la longitud del lado de cada una de las celdas del CMEMS, así se asignó un punto emisor por celda).

Las simulaciones se realizaron usando trazadores ideales sin volumen ni tamaño asignado. Las partículas emitidas consideradas poseen una densidad ligeramente inferior a la del agua de mar (960 kg/m^3), por lo que los resultados se ciñen a la estimación del movimiento y destino de



partículas flotantes en alta mar (equivalentes a macrobasura, ítems de tamaño superior a 2,5 cm).

4. Resultados de las simulaciones

A continuación se presentan los mapas con los porcentajes de acumulación de partículas en las tres demarcaciones atlánticas. Estos mapas muestran una fotografía del destino de las partículas que se han estado emitiendo durante los 7 años considerados en la simulación. Así mismo, también se incluye el análisis de la contribución de los distintos puntos de emisión a la formación de las zonas de mayor concentración de partículas. Las fuentes se simularon de manera independiente porque no se disponía de una información sólida que nos permitiese integrarlas de manera realista (es decir, asignándoles un peso relativo adecuado). Es por ello que se muestran los mapas para cada tipo de fuente por separado y no un mapa global en el que se integren todas las fuentes juntas.

Cabe señalar también que como no existen datos reales sobre las tasas de emisión, los resultados se muestran como porcentaje de acumulación en una determinada zona (la unidad básica de división es una celda de 20 x 30 km) y no como valores de concentración absoluta de partículas. Este porcentaje de acumulación (valores normalizados por el número de partículas presentes en la celda con mayor acumulación, a la cual se le asigna el porcentaje de acumulación del 100%) se ha dividido en distintas categorías (indicadas en la leyenda de cada mapa) aplicando las rupturas naturales de Jenks. Según este método de clasificación las clases se establecen de manera que los valores similares se agrupan y por lo tanto los límites de categoría se establecen donde existen mayores diferencias entre los datos. Este análisis de similitud (que busca reducir la suma total de las desviaciones al cuadrado dentro de cada categoría) se hace de manera independiente para cada una de las simulaciones realizadas (para cada mapa), por eso los límites de clases no tienen por qué coincidir en todas las fuentes.

4.1. Emisiones desde tierra

En la figura 5 se muestra la distribución de las partículas emitidas desde los 18 puntos terrestres durante los 7 años simulados. Los porcentajes de acumulación están normalizados respecto al número de partículas registrado en la celda en la que se acumularon más, que en este caso correspondió a la celda costera de Gijón.

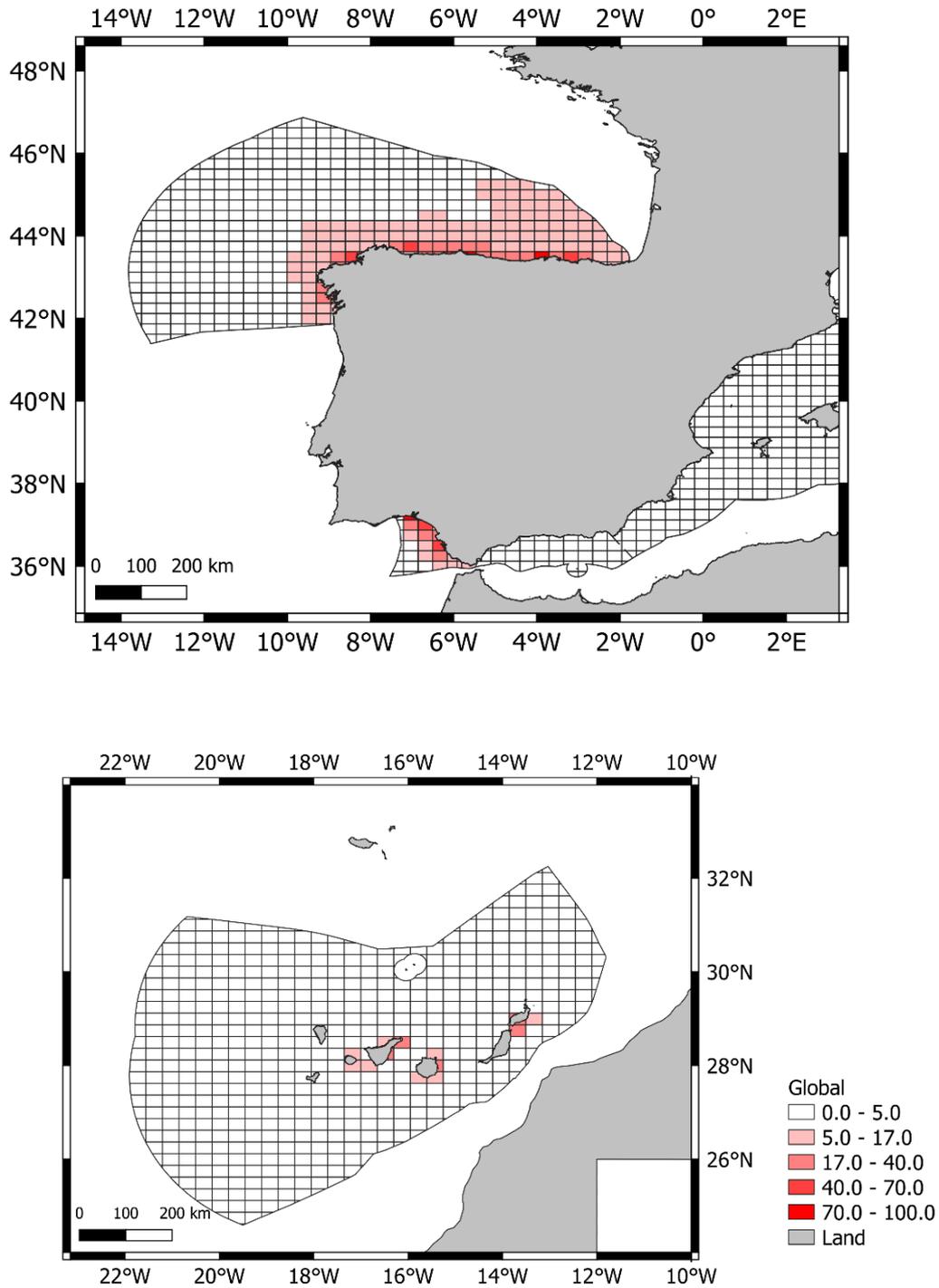


Figura 5.- Zonas de acumulación generadas por las fuentes terrestres consideradas en la simulación (ver figura 1 para la localización de los puntos de emisión). Los valores se muestran en porcentaje de acumulación, normalizados por el número máximo de partículas acumuladas en una celda (celda asignada con el 100%).



En general se observa que el modelo estima que la mayor acumulación de partículas se encuentra en la costa (con mayores concentraciones en Santander, Gijón y Huelva) y que su presencia disminuye dirección mar adentro. La mayor concentración en las zonas ribereñas es debida al aporte constante de las fuentes en esta franja costera, pero su distribución también está condicionada por la dinámica oceánica que favorece la acumulación en algunas zonas frente a otras. Por ejemplo, las ponderaciones asignadas a las emisiones de los puntos de Santander, Coruña, Vigo y Huelva son iguales (5) pero el porcentaje de acumulación en las celdas en las que se encuentran estos emisores y en las colindantes no son los máximos posibles (>70% en Santander y Huelva, entre 40-70% en Coruña y entre 5 y 17% en Vigo). Así mismo, también se observa la situación contraria, es decir, zonas con porcentaje alto de acumulación de partículas en las que no hay ningún punto emisor, como ocurre frente a Ribadeo (entre Galicia y Asturias). Esta zona estaría recibiendo los aportes de los puntos de emisión cercanos debido a la circulación oceánica predominante.

Para mayor detalle, en el Anexo 3 se incluyen los mapas con las zonas de influencia de cada uno de los puntos emisores considerados. A continuación se analiza el resultado a nivel de cada demarcación.

Demarcación noratlántica

El resultado de la simulación de los 7 puntos de emisión localizados en esta demarcación sigue el patrón global descrito de disminución de acumulación de partículas cuánto mayor es la distancia al punto emisor (ver Anexo 3). Cabe señalar que independientemente de la localización del emisor, las partículas que emite alcanzan toda la zona costera de la demarcación. Además, a la vista de los mapas del Anexo 3 también se observa una “fuga” preferente de partículas hacia fuera de la demarcación en dirección al Golfo de Vizcaya, más clara en los mapas correspondientes a los puntos de emisión de Avilés, Santander y Bilbao. Por otro lado, el modelo estima también la llegada de partículas procedentes de los dos puntos emisores situados más al sur, Vigo y Arousa, a la demarcación canaria.

Centrándonos en las zonas de mayor acumulación (% de acumulación > 40%), a la vista de la figura 5 cabría destacar 4 áreas:

- Bilbao-Santander
- Cabo Peñas (Gijón-Avilés)
- Ribadeo
- Rías Altas (Coruña)

La contribución relativa de cada fuente en la formación de estas zonas de acumulación se detalla en la tabla 1 a continuación.

Tabla 1.- Análisis de las fuentes responsables de la formación de zonas de mayor acumulación de partículas procedentes de emisiones terrestres nacionales en la demarcación noratlántica. La contribución media mensual se ha calculado promediando los resultados de las simulaciones para cada mes entre enero de 2016 y diciembre de 2021 (\pm desviación estándar).

ZONA	FUENTES PRINCIPALES		FUENTES SECUNDARIAS	
	Contribución media mensual	Descripción	Contribución media mensual	Descripción
Bilbao-Santander	51% \pm 23%	Fuentes locales: Santander y Bilbao	32% \pm 16%	Suma de fuentes en Asturias (Avilés y Gijón). Similares en % a las locales en el primer semestre del año.
			17% \pm 10%	Suma de fuentes en Galicia (Coruña, Arousa y Vigo).
Cabo Peñas	95% \pm 3%	Fuentes locales: Avilés y Gijón	5% \pm 3%	La suma de todas las demás fuentes de la demarcación sin diferencias entre ellas.
Ribadeo	81% \pm 14%	Fuentes próximas: Gijón (26%), Avilés (36%) y Coruña (18%). No parece que haya diferencias significativas en la contribución de cada una de ellas entre enero y junio, pero sí en el segundo semestre cuando la contribución de Coruña cae a valores entre 1 y 10% mientras que las contribuciones individuales de Avilés y Gijón varían entre 27 y 59%.	19% \pm 14%	La suma de todas las demás fuentes de la demarcación sin diferencias entre ellas.
Rías Altas	72% \pm 34%	Fuente local: Coruña. su contribución varía de manera progresiva a lo largo del año, siendo máxima en verano (96%) y mínima en invierno (31%).	28% \pm 34%	La suma de todas las demás fuentes de la demarcación sin diferencias entre ellas.

Los resultados mostrados en la tabla 1 indican que:

- las zonas de mayor acumulación de partículas de origen terrestre nacional en esta demarcación son el resultado de los aportes de fuentes locales o de las fuentes más próximas;
- existe una tendencia al transporte de partículas terrestres hacia el Golfo de Vizcaya, así, al contrario de lo que ocurre en las zonas en el oeste de la demarcación, la zona de Bilbao-Santander registra una contribución de las fuentes más alejadas de mayor magnitud, alcanzando una media mensual del 49% y que llega incluso a equipararse a la local durante el primer semestre del año.



Demarcación sudatlántica

En esta demarcación se han considerado dos puntos de emisión, los denominados Huelva y Cádiz. Aunque según los análisis del MAPAMA y CEDEX (2012c) la importancia relativa de las emisiones de Cádiz eran un punto superior a las de Huelva, del resultado de las simulaciones se puede concluir que la dinámica oceánica favorece una acumulación mayor en la zona de Huelva (ver figura 5). Las simulaciones también predicen una fuga de partículas desde esta demarcación hacia el mar Mediterráneo (ver mapas en el Anexo 3). Así, aunque según los resultados de la simulación los aportes terrestres de las costas atlánticas españolas no estarían generando ningún *hotspot* en el mar Mediterráneo, de todas las partículas de estas fuentes que entran en las demarcaciones mediterráneas el $82\% \pm 8\%$ procedería de los puntos emisores de Cádiz y Huelva.

Considerando medias mensuales en los 6 últimos años simulados, las principales fuentes de partículas terrestres en la demarcación sudatlántica son las fuentes locales (Huelva y Cádiz), las cuales conjuntamente son corresponsables de una media del 99% de las partículas que el modelo estima que están en la zona. Aunque la contribución media de Huelva parece mayor ($56\% \pm 23\%$ frente a los $43\% \pm 23\%$ de Cádiz) la variabilidad registrada sugiere que no existen diferencias significativas entre ellas.

Demarcación canaria

Al igual que en las demarcaciones peninsulares, en Canarias también se observa la tendencia a acumularse las partículas en celdas costeras. La figura 5 muestra que las zonas de mayor acumulación de esta demarcación se sitúan en las costas orientales de Tenerife, Gran Canaria y de Lanzarote. Es preciso indicar que el porcentaje de acumulación máximo en esta demarcación está entre el 17 y el 40%, por lo tanto, el modelo estima que los posibles *hotspots* generados por fuentes terrestres nacionales en esta demarcación serían de menor entidad que los de las demarcaciones peninsulares.

Según los resultados de las simulaciones de cada emisor por separado, se ve una tendencia predominante de deriva de las partículas hacia el suroeste, llegando incluso al caso de que el porcentaje de acumulación sea mayor en las islas vecinas situadas al suroeste del punto emisor que en la propia isla fuente de las partículas (ver, por ejemplo, el caso de los puntos de emisión localizados en el sur de Tenerife y su influencia en la costa de La Gomera). El desglose de las fuentes que alimentan a cada zona de acumulación se puede ver en la tabla 2 a continuación.

Tabla 2.- Análisis de las fuentes responsables de la formación de zonas de mayor acumulación de partículas procedentes de emisiones terrestres nacionales en la demarcación canaria. La contribución media mensual se ha calculado promediando los resultados de las simulaciones para cada mes entre enero de 2016 y diciembre de 2021 (\pm desviación estándar).

ZONA	FUENTES PRINCIPALES		FUENTES SECUNDARIAS	
	Contribución media mensual	Descripción	Contribución media mensual	Descripción
Tenerife	61% \pm 24%	Fuentes locales: demarcación canaria, sobre todo 2 puntos emisores localizados en la isla de Tenerife, en el SE y el NE de la isla. La gran variabilidad anual dificulta encontrar diferencias significativas entre las fuentes.	32% \pm 25%	Emisiones procedentes de la demarcación noratlántica. En primavera y verano la contribución es similar a la de la propia demarcación canaria (entorno al 50%) pero en otoño e invierno se diferencia de la contribución canaria bajando hasta el entorno del 20%.
Gran Canaria	58% \pm 19%	Fuente local: punto emisor en el sur de Gran Canaria	28% \pm 23%	La suma de las fuentes del resto de la demarcación canaria.
			13% \pm 14%	Demarcación noratlántica (no se encuentran diferencias significativas con los aportes del resto de la demarcación canaria)
Lanzarote	93% \pm 8%	Fuentes locales: Lanzarote	6% \pm 8%	Demarcación noratlántica (sin diferencias significativas con las contribuciones de la D. sudatlántica)
			1% \pm 1%	Demarcación sudatlántica (sin diferencias significativas con las contribuciones de la D. noratlántica)

Los resultados mostrados en la tabla 2 indican que:

- las fuentes principales de partículas flotantes de origen terrestre nacional en las zonas de mayor acumulación en esta demarcación son locales;
- existe una tendencia al transporte de partículas hacia el suroeste, así, las zonas de acumulación se forman con contribuciones de fuentes situadas al este y no al oeste.
- se registra la influencia de las emisiones de la demarcación noratlántica en las tres zonas de mayor acumulación.

4.2. Ríos

En este apartado se muestran los resultados del modelo teniendo en cuenta un único tipo de fuente terrestre, los 27 ríos que desembocan en las costas españolas peninsulares (Anexo 1). El resultado se muestra en la figura 6.

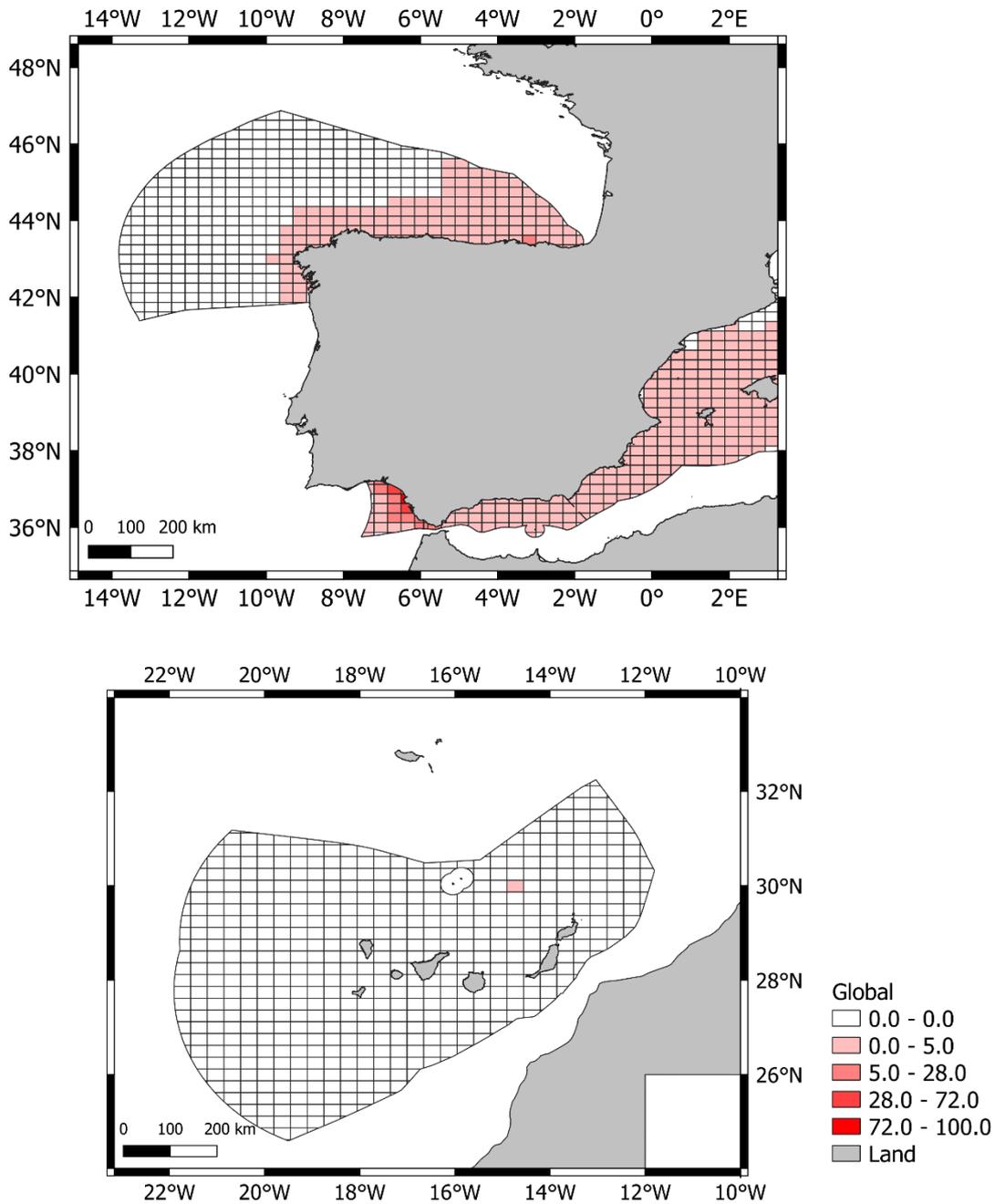


Figura 6.- Zonas de acumulación generadas por los aportes de los 27 ríos considerados en la simulación (los que desembocan en las demarcaciones marinas del atlántico español, ver figura 2 y Anexo 1). Los valores se muestran en porcentaje de acumulación, normalizados por el número máximo de partículas acumuladas en una celda (celda asignada con el 100%).

La tendencia que muestra el modelo va en línea con la de las emisiones terrestres del apartado anterior. Se observa que los aportes de los ríos tienden a dispersarse hacia mar abierto y hacia



el mar Mediterráneo en el caso de los aportes del río Guadalquivir y el Guadiana. Las zonas de mayor acumulación se localizan en la demarcación sudatlántica y asociados a la desembocadura del Guadalquivir.

Para mayor detalle, en el Anexo 4 se incluyen los mapas con las zonas de influencia de cada uno de los ríos considerados. A continuación, se analiza el resultado a nivel de cada demarcación.

Demarcación noratlántica

Al igual que pasaba con las fuentes terrestres del apartado anterior, independientemente de la localización del emisor las partículas que emiten los ríos alcanzan toda la zona costera de la demarcación. Sin embargo, en este caso el modelo no estima zonas de grandes acumulaciones de partículas fluviales, estando la mayor parte de la demarcación a unos niveles de menos del 5% de la acumulación máxima (localizada en la demarcación sudatlántica). Solo en la desembocadura del Nervión (Bilbao) el modelo estima que la acumulación de partículas podría llegar al 28% (figura 6). Estas diferencias con los resultados de las fuentes terrestres podrían deberse a que en este caso no tenemos una emisión continua, sino que está modulada por el caudal de los ríos, que en ocasiones es muy pequeño, por lo que puede haber meses en los que las fuentes apenas tengan emisión.

A la vista de los mapas del Anexo 4 también se observa que en general la influencia de los ríos es mayor cuanto más cerca se esté de su desembocadura. Este patrón se confirma analizando la contribución relativa de cada río y de cada demarcación a la acumulación en las zonas identificadas en el análisis de todas las fuentes terrestres juntas (las del apartado anterior). Los resultados de este análisis se detallan en la tabla 3.

Cabe destacar que se observa una “fuga” de partículas de los ríos de la fachada atlántica de la demarcación Galicia-Costa y del Río Miño hacia la demarcación canaria, patrón también observado en las simulaciones con las fuentes terrestres del apartado anterior.

En resumen, se puede concluir que el modelo estima una única zona de acumulación en la desembocadura del Nervión (Bilbao) alimentada principalmente por fuentes locales. Ahora bien, la magnitud de esta acumulación no llegaría al 28% de las que el modelo predice en la demarcación sudatlántica.

Tabla 3.- Análisis de la contribución de los ríos a la formación de zonas de mayor acumulación de partículas procedentes de emisiones de tierra en la demarcación noratlántica. La contribución media mensual se ha calculado promediando los resultados de las simulaciones para cada mes entre enero de 2016 y noviembre de 2021 (\pm desviación estándar).

ZONA	FUENTES PRINCIPALES		FUENTES SECUNDARIAS	
	Contribución media mensual	Descripción	Contribución media mensual	Descripción
Bilbao-Santander	72% \pm 19%	Fuentes locales: Demarcación Cantábrico oriental (contribución del Río Nervión del 45% \pm 30%). Patrones estacionales: los resultados indican que la contribución de ambas demarcaciones cantábricas es similar en los meses de invierno, mientras que el resto del año la contribución de la oriental es significativamente mayor.	19% \pm 15%	Demarcación del cantábrico occidental
			7% \pm 7%	Demarcación de Galicia-Costa. Sin diferencias significativas con la demarcación cantábrica occidental.
Cabo Peñas	76% \pm 18%	Fuentes locales: Demarcación Cantábrico occidental (contribución del Río Nalón del 53% \pm 16%). No se observan patrones estacionales marcados.	17% \pm 14%	Demarcación del cantábrico oriental
Ribadeo	68% \pm 17%	Fuentes locales: Demarcación Cantábrico occidental (contribución del Río Eo del 20% \pm 16% aunque posiblemente sin diferencias significativas con otros ríos de la demarcación como el Nalón, Negro y Esva cuyas medias mensuales individuales se sitúan alrededor de 14%). No se aprecian patrones estacionales, salvo una menor contribución del río Eo en verano frente a las otras estaciones, hueco que es cubierto por otros ríos de la misma demarcación.	17% \pm 11%	Demarcación Galicia-Costa. Sin diferencias significativas con la Demarcación cantábrico oriental
			13% \pm 11%	Demarcación cantábrico oriental. Sin diferencias significativas con la Demarcación Galicia-Costa.
Rías Altas	69% \pm 23%	Fuentes locales: Demarcación Galicia-Costa (contribución del Río Mero del 48% \pm 28%). No se observan patrones de variabilidad estacional.	17% \pm 17%	Demarcación cantábrico oriental. Las contribuciones de las demarcaciones cantábricas son similares.
			11% \pm 10%	Demarcación cantábrico occidental. Las contribuciones de las demarcaciones cantábricas son similares.

Demarcación sudatlántica

En esta demarcación, aunque se han considerado dos ríos, Guadiana y Guadalquivir, el caudal del primero es cero la mayor parte del año por lo que su aporte real de partículas es limitado. Así, los resultados globales reflejan una influencia mayor del río Guadalquivir en esta



demarcación, siendo responsable del 100% de las partículas presentes en la zona (media mensual) y de la mayor acumulación de partículas fluviales que el modelo estima en las demarcaciones atlánticas.

Por otro lado, el modelo también estima una fuga de las partículas asociadas al río Guadalquivir hacia el mar Mediterráneo pudiendo llegar a formar *hotspots* con porcentajes de acumulación del 50% respecto a los que este río ocasionaría en el Golfo de Cádiz (ver mapa correspondiente al Río Guadalquivir en el Anexo 4).

Demarcación canaria

En esta demarcación no hay ningún río por lo tanto no se incluyeron en la simulación. Sin embargo, al igual que pasaba con las fuentes terrestres, la influencia de los ríos peninsulares se deja sentir en esta demarcación, aunque a unos niveles muy bajos. En la figura 6 solo se observa una celda en la que el porcentaje de acumulación estaría por debajo del 5% de la mayor acumulación registrada en la demarcación sudatlántica.

4.3. Fuentes marítimas

En la figura 7 se muestra la distribución de las partículas emitidas desde las franjas y polígonos marítimos definidos para este estudio (ver localización en figuras 3 y 4) al final de los 7 años de simulación.

En general se observa que el modelo estima que la mayor acumulación de partículas de procedencia marítima se encontraría en la costa cantábrica donde calcula porcentajes de acumulación superiores al 40%. En la demarcación sudatlántica los valores se quedan por debajo de este porcentaje y en la canaria no superan el 10%. Para mayor detalle, en el Anexo 5 se incluyen mapas con las zonas de influencia de cada una de las franjas marítimas y polígonos emisores considerados. A continuación, se analiza el resultado a nivel de cada demarcación.

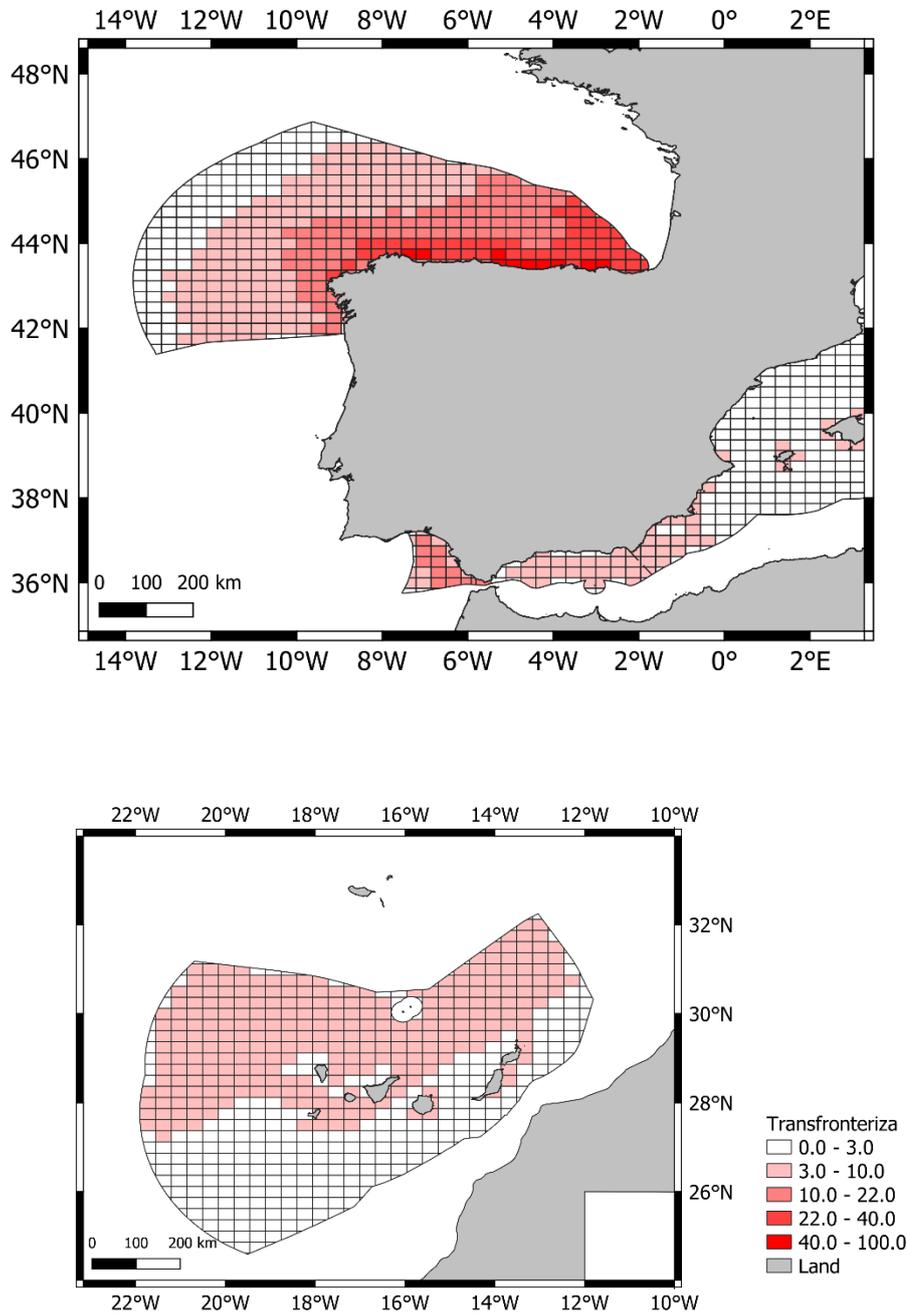


Figura 7.- Zonas de acumulación generadas por los aportes de fuentes marítimas consideradas en la simulación (ver figuras 3 y 4). Los valores se muestran en porcentajes de acumulación, normalizados por el número de partículas acumuladas en la celda con mayor concentración (celda asignada con el 100%).

Demarcación noratlántica

Se observa que las partículas flotantes tienden a acumularse cerca de la costa cantábrica española y en la zona interna del Golfo de Vizcaya. Esta tendencia se ve más clara en la figura 8 en la que se muestran las zonas de acumulación en todo el Golfo de Vizcaya (más allá de los límites de la demarcación española) y sin considerar los aportes provenientes de las aguas francesas.

Las acumulaciones que el modelo estima en la zona del Golfo de Vizcaya (definida en este estudio desde Suances hacia el este) estarían principalmente alimentadas por las emisiones desde las franjas marítimas francesas y de la demarcación noratlántica, entre ellas se explicaría la procedencia del 99% de las partículas. En cuanto al peso relativo de cada una de ellas, no se observan diferencias significativas (el modelo estima que el $56\% \pm 13\%$ sería de las españolas y el $43\% \pm 14\%$ de las francesas) aunque en primavera el aporte de la zona española podría ser mayor. A medida que nos alejamos hacia el oeste, la contribución francesa disminuye. Así, en la zona cantábrica (desde Finisterre hasta Suances) las fuentes marítimas situadas en la demarcación noratlántica serían responsables del $72\% \pm 11\%$ de las partículas que el modelo predice que estarían en la zona, y el $26\% \pm 12\%$ procedería de las franjas marítimas francesas.

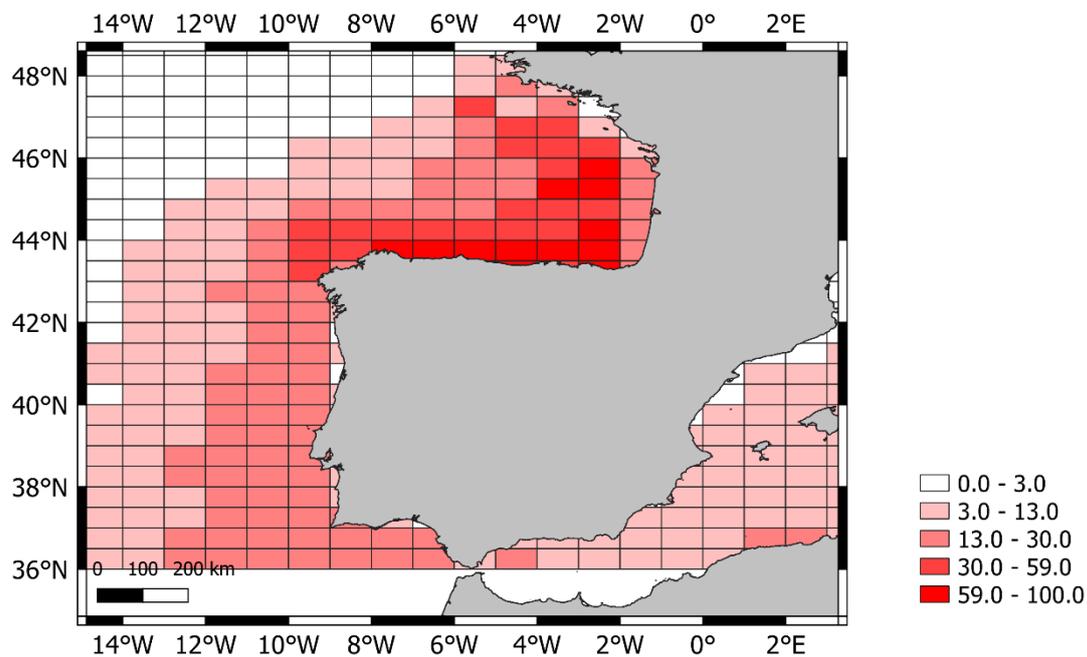


Figura 8.- Zonas de acumulación generadas por los aportes de fuentes localizadas en las franjas marítimas peninsulares (no incluye las francesas). Los valores se muestran en porcentajes de acumulación, normalizados por el número de partículas acumuladas en la celda con mayor concentración (celda asignada con el 100%). Las celdas se corresponden con las definidas por ICES.

En la tabla 4 a continuación se desglosa el origen de las partículas de procedencia marítima que se acumulan en 3 zonas del cantábrico (las zonas seleccionadas para el análisis de las fuentes terrestres). En estos datos también se observa cierta tendencia a que los aportes de las franjas marítimas francesas disminuyan hacia el oeste.

Tabla 4.- Análisis de la contribución de las fuentes marítimas a la formación de zonas de acumulación de partículas en la demarcación noratlántica. La contribución media mensual \pm desviación estándar se ha calculado promediando los resultados de las simulaciones para cada mes entre enero de 2016 y noviembre de 2021.

ZONA DE ACUMULACIÓN	FUENTES EN ZONAS MARÍTIMAS NACIONALES		FUENTES EN ZONAS MARÍTIMAS EXTRANJERAS	
	Contribución media mensual	Descripción	Contribución media mensual	Descripción
Bilbao-Santander	42% \pm 19%	Demarcación noratlántica	58% \pm 20%	Franjas marítimas francesas
Cabo Peñas	58% \pm 18%	Demarcación noratlántica	41% \pm 18%	Franjas marítimas francesas
Ribadeo	64% \pm 17%	Demarcación noratlántica	34% \pm 19%	Franjas marítimas francesas

En resumen, considerando toda la extensión de la demarcación, se observa que las principales fuentes de partículas marítimas en esta demarcación son las propias (58% \pm 11% de las partículas que están en la demarcación vendrían de fuentes internas) y las de las franjas marítimas francesas (39 \pm 12%), con valores muy similares todo el año salvo en el mes de junio cuando los aportes de las fuentes localizadas en la demarcación española son más altos (ver figura 9).

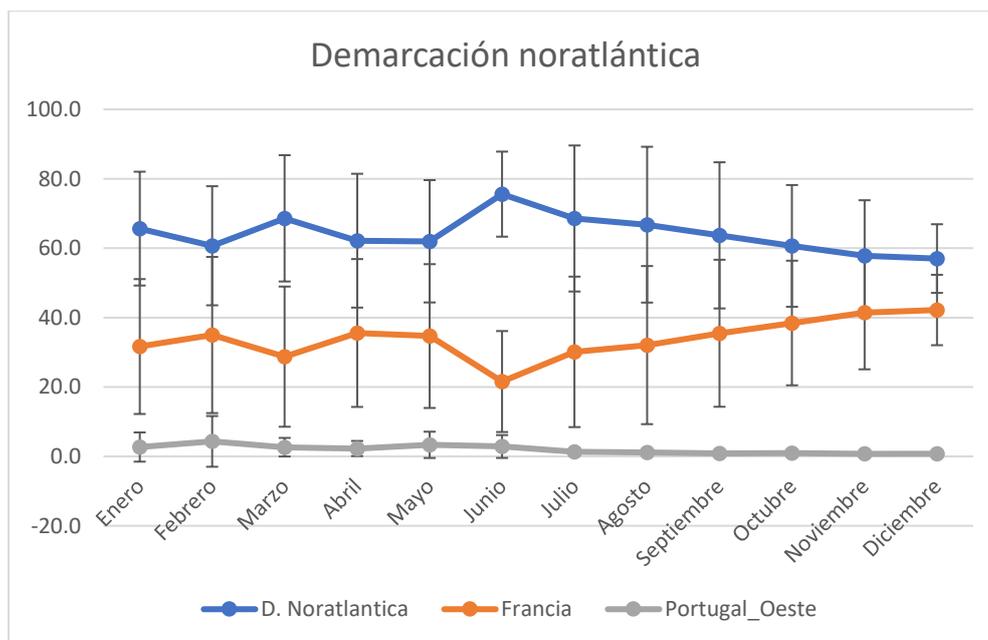


Figura 9.- Procedencia de las partículas presentes en la demarcación noratlántica (en porcentaje). Resultados mostrados como medias mensuales y desviación estándar calculadas con los resultados obtenidos para cada mes desde enero de 2016 a diciembre de 2021.

Demarcación sudatlántica

Los resultados de las simulaciones indican que las fuentes marítimas atlánticas que estarían alimentando a la demarcación sudatlántica son las localizadas en la franja marítima del sur de Portugal, con el $59\% \pm 7\%$ de las partículas de esta demarcación con origen en esa zona, seguida por los aportes propios que tengan lugar en la propia demarcación (responsables del $29\% \pm 5\%$ de las partículas originadas en esta zona). Además, las contribuciones de cada fuente se mantienen relativamente constantes a lo largo del año, es decir, no se observan patrones estacionales claros.

Como se indicó anteriormente, el modelo también predice una fuga de partículas desde esta demarcación hacia el Mediterráneo, donde se podrían dar acumulaciones de hasta la mitad de las partículas que se concentrarían en la demarcación sudatlántica (ver mapa de la “Zona sur” en el Anexo 5), al igual que ocurría con la simulación de los aportes del río Guadalquivir.

Demarcación canaria

En esta demarcación el modelo predice acumulaciones de menor magnitud que las estimadas en las demarcaciones peninsulares, así ninguna celda alcanzaría el 10% de acumulación ni en la mitad norte de la demarcación, donde existirían concentraciones mayores.

Observando los mapas individuales (Anexo 5) se vuelve a identificar el patrón de transporte de partículas en dirección suroeste y, como también ocurría con las fuentes terrestres, se registra una mayor influencia de fuentes externas en esta demarcación que en las peninsulares. En la figura 10 a continuación se muestra el origen de las partículas presentes en la demarcación canaria a lo largo del año.

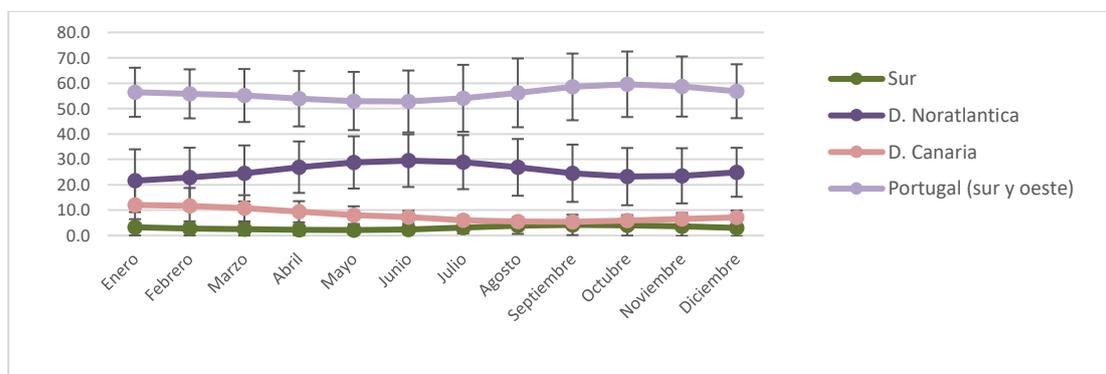


Figura 10.- Evolución anual de la procedencia de las partículas de origen marítimo presentes en la demarcación canaria (valores en porcentaje). Resultados mostrados como medias mensuales calculadas con los resultados obtenidos para cada mes desde enero de 2016 a diciembre de 2021. Las barras de error representan la desviación estándar de la media.

En resumen, se observa que las fuentes marítimas principales son las localizadas en las franjas marítimas portuguesas, alcanzando un porcentaje medio mensual de $56\% \pm 11\%$. La siguiente sería la demarcación noratlántica con $25\% \pm 10\%$ y la propia, la canaria con $8\% \pm 4\%$. A la luz de esta gráfica también se puede concluir que no existen patrones estacionales claros y que por tanto las contribuciones de cada fuente se mantienen constantes a lo largo del año a nivel de la demarcación.

Mar Mediterráneo

Como información adicional, se ha analizado el origen de las partículas que el modelo estima que entrarían en el mar Mediterráneo desde fuentes marítimas localizadas en el atlántico.

En vista de los resultados, se estima que las zonas atlánticas con mayor influencia en este mar serían las franjas marítimas del Golfo de Cádiz, desde el Cabo de San Vicente hasta el Estrecho de Gibraltar, siendo éste el origen del $51\% \pm 13\%$ de las partículas que el modelo predice que se localizan en la demarcación Estrecho y Alborán y del $86\% \pm 4\%$ en la demarcación levantino-baleares de entre todas las fuentes atlánticas consideradas.

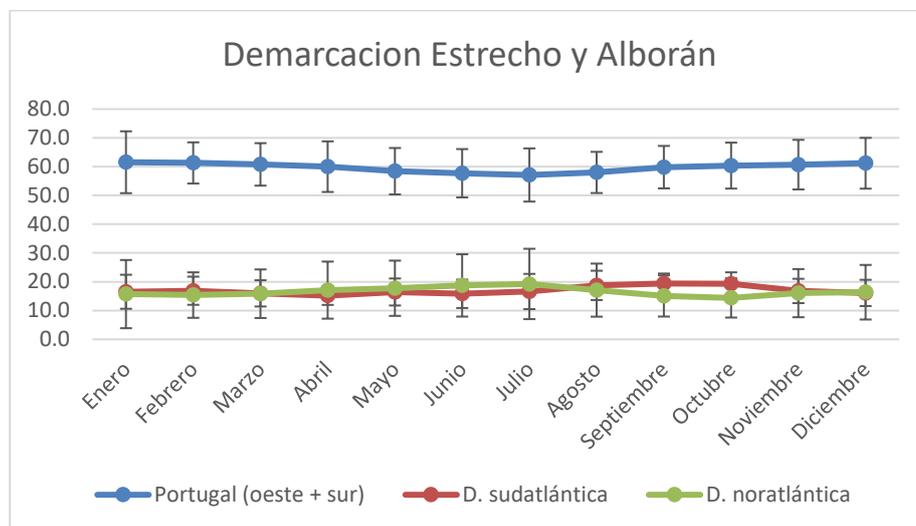


Figura 11.- Evolución anual de la procedencia de las partículas de origen marítimo atlántico presentes en la demarcación mediterránea de Estrecho y Alborán (valores en porcentaje). Resultados mostrados como medias mensuales calculadas con los resultados obtenidos para cada mes desde enero de 2016 a diciembre de 2021. Las barras de error representan la desviación estándar de la media.

En las figuras 11 y 12 se muestra la variación anual del origen de las partículas flotantes en las demarcaciones mediterráneas. Se observa que los aportes procedentes de las franjas portuguesas serían significativamente mayores que los del resto de fuentes y que la contribución de la demarcación noratlántica es mayor en la demarcación Estrecho y Alborán, la más próxima

al estrecho. Cabe señalar también que no se detectan patrones estacionales y que por lo tanto el aporte se mantiene constante a lo largo del año.

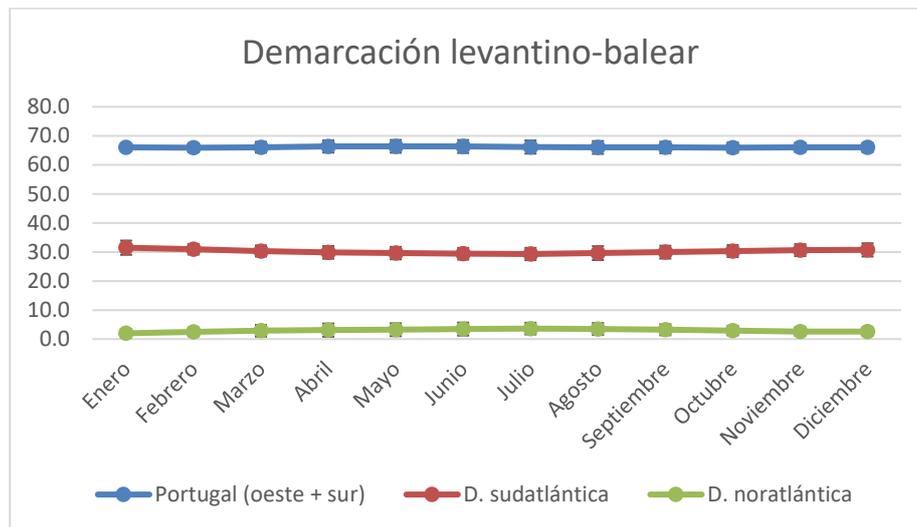


Figura 12.- Evolución anual de la procedencia de las partículas de origen marítimo atlántico presentes en la demarcación mediterránea levantino-balear (valores en porcentaje). Resultados mostrados como medias mensuales calculadas con los resultados obtenidos para cada mes desde enero de 2016 a diciembre de 2021. Las barras de error representan la desviación estándar de la media.

5. Discusión y conclusiones

Zonas de acumulación

A continuación se contrastan los resultados obtenidos de las simulaciones de las fuentes terrestres y las marítimas. Las fuentes fluviales no se individualizan aquí porque, además de que los ríos ya están considerados dentro de las fuentes terrestres, los resultados de sus simulaciones muestran un patrón en línea con los de las otras dos fuentes y por lo tanto no aportan información adicional de interés.

Así, comparando los resultados de las simulaciones de las fuentes terrestres y marítimas se puede concluir que el modelo estima que las mayores concentraciones de partículas flotantes se localizarían en las demarcaciones noratlántica y sudatlántica (ver figuras 5 y 7). En la tabla 5 a continuación se incluyen las zonas en las que se registrarían los porcentajes de acumulación más altos dentro de cada demarcación.

Las zonas que el modelo estima que superan el 40% de porcentaje de acumulación con ambas fuentes son (en **negrita** en la tabla 5):

- la zona de Bilbao-Santander y
- la zona de Ribadeo.

Así, se esperaría que en estas zonas sea más probable la formación de acumulaciones de basura flotante. Ahora bien, es preciso señalar que en el caso de hacer una simulación en la que se integrasen ambas fuentes a la vez, el resultado podría diferir del indicado ya que estaría condicionado por la importancia relativa de cada fuente en cada zona (factor que desconocemos).

Tabla 5.- Resumen de las principales zonas de acumulación de partículas flotantes en las demarcaciones atlánticas españolas (se seleccionaron aquellas zonas cuyo porcentaje de acumulación fuese igual o superior al 40% con alguna de las fuentes). En negrita se resaltan las zonas cuyo porcentaje de acumulación supera el 40% con ambas fuentes por separado. (1) La celda contigua hacia mar: 22% - 40%. (2) La celda contigua hacia mar: 10% - 22%.

DEMARCACIÓN	ZONAS ACUMULACIÓN	FUENTES TERRESTRES		FUENTES MARÍTIMAS	
		% ACUMULACIÓN	Comentarios	% ACUMULACIÓN	Comentarios
Noratlántica	Bilbao-Santander	40% - 100%	Celdas costeras. 51% ± 23% de las partículas de origen local, 49% ± 23% de procedencia del resto de la demarcación.	40% - 100%	Celdas costeras. 42% ± 19% de las partículas procedente de la demarcación noratlántica y 58% ± 20% de la franja marítima francesa.
	Suances - Villaviciosa	17% - 40%	Celdas costeras.	40% - 100%	Celdas costeras
	Gijón - Avilés	40% - 100%	Celda costera. 95% ± 3% de las partículas provienen de fuentes locales	3% - 22% (1)	Celda costera. El 58% ± 18% de las partículas procede de la demarcación noratlántica y el 41% ± 18% de la franja marítima francesa.
	Ribadeo	40% - 70%	Celda contigua a costa. El 81% ± 14% de las partículas provienen de fuentes próximas	40% - 100%	Celda contigua a costa. El 64% ± 17% de las partículas procede de la demarcación noratlántica y el 34% ± 19% de la franja marítima francesa.
Sudatlántica	Huelva	70% - 100%	Celda costera. 100% ± 1% de las partículas provienen de fuentes locales.	3%-10% (2)	El 38% ± 4% de las partículas procede de la demarcación sudatlántica y el 61% ± 4% de la franja marítima portuguesa.
	Sanlúcar de Barrameda - Cádiz	17% - 70%			
Canaria	-	-	-	-	-



La zona de mayor acumulación de Bilbao-Santander que predice el modelo concuerda con los datos recogidos dentro del Programa de Seguimiento de Basuras Flotantes que lleva a cabo el Centro Oceanográfico de Vigo (COV-IEO, CSIC) en la demarcación noratlántica. Partiendo de observaciones de basura flotante en el mes de abril en esta demarcación y a lo largo de 10 años (de 2007 a 2017) González-Nuevo *et al.* (2022) calcularon una densidad media de $0,71 \pm 0,04$ ítems km^{-2} , variando en un rango entre 0,40 y 2,04 ítems km^{-2} . Estos autores indican que los valores máximos se registraron en el área más al este del Mar Cantábrico, que coincide con la zona Bilbao-Santander del presente informe. La representación gráfica de estos resultados se puede consultar en el visor en línea del proyecto CleanAtlantic⁹. En esta plataforma se pueden visualizar los datos disponibles de basura flotante (tamaños mayores de 2,5 cm) en la demarcación noratlántica, norte de Portugal, Golfo de Vizcaya, Canal de la Mancha, Mar del Norte y Mar Céltico, los cuales son el resultado de observaciones realizadas por el IEO o el IFREMER. Según estos resultados, en estas zonas no se han detectado grandes acumulaciones de basura. El área en la que se registró la mayor densidad fue en una celda localizada en frente de San Sebastián y Bilbao, donde, según los datos de IFREMER, en la campaña de 2016 se alcanzaron puntualmente los 23,6 ítems km^{-2} . El resto de los datos registrados en esta zona no superan los 8 ítems km^{-2} . Estos resultados también están en línea con las conclusiones de otros estudios que indican que el Golfo de Vizcaya es una zona de retención de partículas flotantes (por ejemplo Pereiro *et al.* 2019, Rodríguez-Díaz *et al.*, 2020; Ruiz *et al.*, 2022). Pereiro *et al.* (2019) también señalan que en la esquina sureste se registrarían los tiempos de residencia más altos, favoreciendo la retención de basura flotante especialmente en esta zona concreta.

En cuanto a las fuentes principales que estarían alimentando las zonas más propicias a la acumulación incluidas en la tabla 5, se puede decir que en todos los casos los aportes principales son fuentes locales (o las fuentes más próximas en los casos en los que en la simulación no se han considerado fuentes locales, como ocurre en Ribadeo para las fuentes terrestres). Ahora bien, cabe señalar que la zona de Bilbao-Santander, la cual se encuentra en la zona más interna del Golfo de Vizcaya, los aportes más lejanos cobran más importancia debido a la tendencia de transporte de partículas hacia esta área. Así, en cuanto a las fuentes terrestres, en esta zona se observa que el 51% de las partículas tendrían origen en fuentes locales y el 49% restante procedería de fuentes más alejadas dentro de la misma demarcación. En este sentido, Pereiro *et al.* (2019) indican que en la zona sur del Golfo de Vizcaya el transporte de partículas flotantes hacia el este sería más importante en otoño e invierno debido a la predominancia de vientos del sur. Es por ello que estos autores consideran que las acumulaciones de basura en esta zona serían mayores durante estas dos estaciones del año. Sin embargo los resultados obtenidos en nuestras simulaciones no permiten establecer patrones estacionales claros. En cuanto a las fuentes marítimas, el modelo indica que la contribución de la franja marítima francesa en esta zona podría ser equiparable a la contribución nacional.

⁹ <http://www.cleanatlantic.eu/MarineLitterViewer/index.html>

Transferencia de partículas flotantes entre demarcaciones

A la luz de los resultados de las simulaciones se pueden vislumbrar ciertos patrones de transferencia de partículas flotantes entre demarcaciones. En el norte de España se observa un patrón general de transporte de partículas flotantes hacia el Golfo de Vizcaya, en cambio en la zona occidental peninsular la tendencia de transporte es hacia el sur, hacia las Islas Canarias (siguiendo la corriente de Portugal y Canarias, las cuales forman parte de la circulación anticiclónica del atlántico norte). Así, la demarcación noratlántica no estaría recibiendo aportes significativos de ninguna de las otras demarcaciones españolas, pero tanto ésta como la sudatlántica sí que estarían actuando como fuentes de partículas flotantes a la demarcación canaria e incluso al mar Mediterráneo.

Basándonos en los resultados de las simulaciones de las fuentes marítimas, en la figura 13 se representan los porcentajes de partículas que el modelo estima que provendrían de cada demarcación. Para mayor claridad, en la tabla 6 se detallan los valores calculados (medias mensuales) y sus desviaciones estándar.

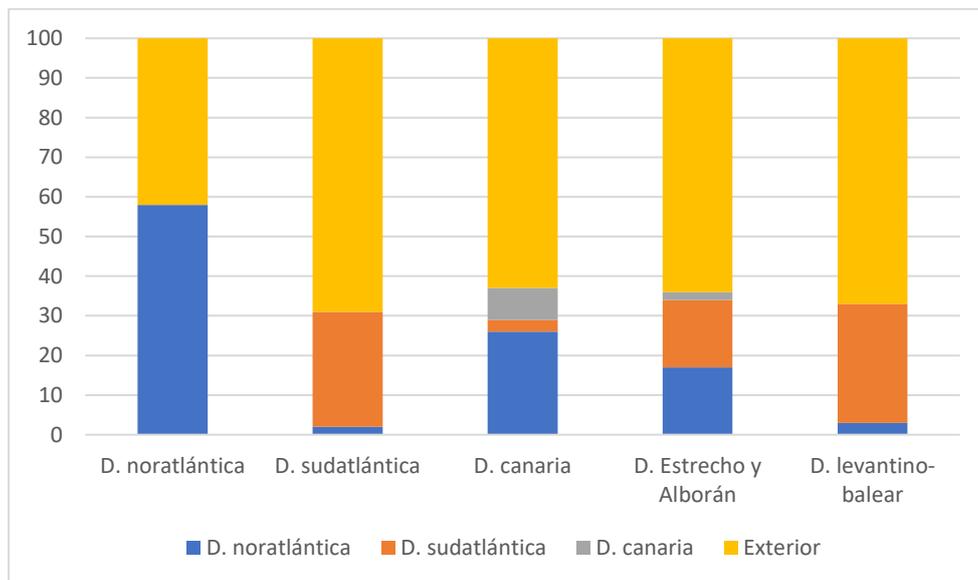


Figura 13.- Estimación del origen de las partículas presentes en las demarcaciones españolas (en porcentaje) asumiendo mismas tasas de emisión e igual distribución de fuentes en todas las zonas emisoras consideradas (fuentes marítimas). Resultados mostrados como medias mensuales calculadas con los resultados obtenidos para cada mes desde enero de 2016 a diciembre de 2021.

Tabla 6.- Resumen de la contribución de cada demarcación a las partículas flotantes de origen marítimo que el modelo predice se acumularían en las demarcaciones españolas. El porcentaje es la media mensual \pm la desviación estándar calculados con los valores mensuales desde enero de 2016 hasta diciembre de 2021. El resto de partículas hasta el 100% tendría su origen fuera de las demarcaciones españolas (es decir, en las franjas marítimas consideradas frente a Portugal y Francia).

FUENTE	DESTINO				
	D. noratlántica	D. sudatlántica	D. canaria	D. Estrecho y Alborán	D. levantino-balear
Demarcación noratlántica	58% \pm 11%	2% \pm 4%	26% \pm 10%	17% \pm 9%	3% \pm 2%
Demarcación sudatlántica	0%	29% \pm 5%	3% \pm 3%	17% \pm 5%	30% \pm 2%
Demarcación canaria	0%	0%	8% \pm 4%	2% \pm 2%	0%

Entrada de partículas flotantes de fuera de las demarcaciones españolas

Aunque este no era el objetivo inicial del estudio, a la luz de los resultados de las simulaciones de las fuentes marítimas se puede sacar alguna conclusión preliminar sobre la entrada significativa de partículas de fuera de las demarcaciones españolas (ver figura 13), la cual parece estar favorecida por la dinámica oceánica de la zona. Según el modelo y asumiendo emisiones de la misma magnitud independientemente de su localización en las zonas emisoras definidas en este estudio, estas fuentes externas podrían ser responsables del 42% \pm 11% de las partículas localizadas en la demarcación noratlántica, del 69% \pm 4% en la sudatlántica y del 63% \pm 6% en la canaria. El desglose se resume en la figura 14.

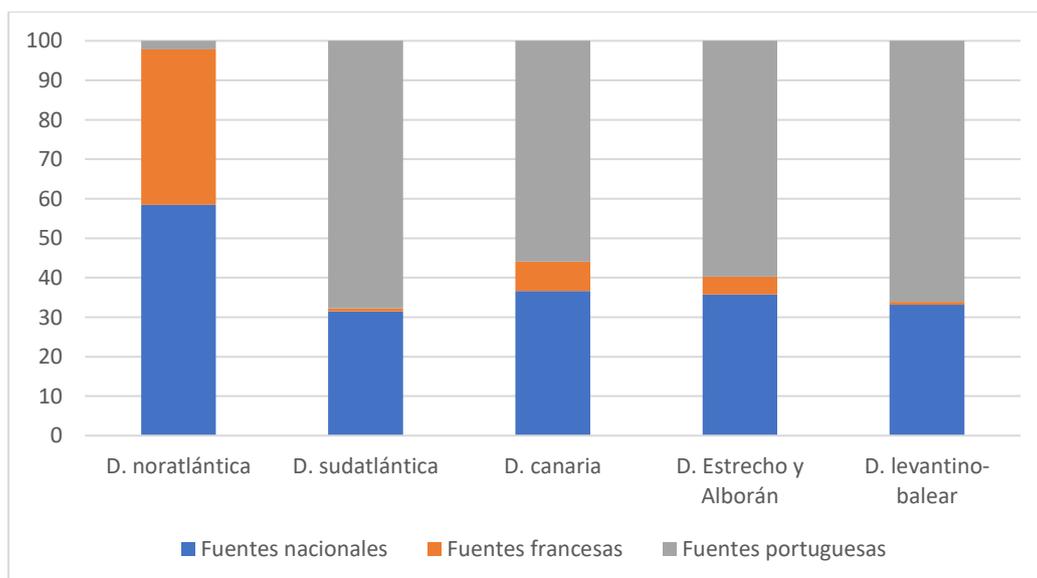


Figura 14.- Estimación del origen de las partículas presentes en las demarcaciones españolas (en porcentaje) asumiendo emisiones de la misma magnitud desde todas las fuentes consideradas. Resultados mostrados como medias mensuales calculadas con los resultados obtenidos para cada mes desde enero de 2016 a diciembre de 2021.



Según los resultados detallados en el apartado dedicado a las fuentes marítimas, la contribución de las fuentes localizadas en la franja marítima francesa podría ser apreciable en las acumulaciones que el modelo estima que ocurrirían en la costa cantábrica. Así, en las condiciones en las que se ejecutó el modelo, el porcentaje de partículas de procedencia francesa acumuladas en las aguas ribereñas españolas van desde el $58\% \pm 20\%$ en Bilbao-Santander hasta el $34\% \pm 19\%$ en la zona de Ribadeo.

En cuanto a la influencia de posibles emisiones desde las franjas marítimas portuguesas, el modelo estima que sería más importante en la demarcación sudatlántica, donde calcula que el $68\% \pm 5\%$ de las partículas en esa zona podrían proceder de aguas portuguesas. Además, los resultados también apuntan a una fuga de partículas desde la zona portuguesa hacia el Mediterráneo de manera que, de todas las partículas que entran desde las fuentes marítimas atlánticas consideradas, el $60\% \pm 8\%$ de las partículas localizadas en la demarcación del Estrecho y Alborán y el $66\% \pm 2\%$ de las de la demarcación levantino-balear tendrían su origen en las franjas portuguesas. Más allá de la península ibérica, el modelo también estima la llegada de partículas de la franja marítima de Portugal a Canarias, en donde el modelo calcula que el $56\% \pm 11\%$ de las partículas flotantes de origen marítimo en esta demarcación podrían tener procedencia portuguesa. Finalmente, y ya en una magnitud menor, en la demarcación noratlántica también se podría registrar un $2\% \pm 1\%$ de partículas de procedencia de la franja marítima del oeste de Portugal.

Aunque estas estimaciones se han hecho considerando fuentes marítimas localizadas solo en los polígonos definidos (ver figuras 3 y 4), como primera aproximación se podría extrapolar este resultado a las fuentes terrestres provenientes de estos países ya que, cualquier partícula que atravesase los polígonos, independientemente de su origen, tendría el mismo destino que las originadas in situ.

Es preciso volver a incidir en que estos resultados se obtuvieron asumiendo emisiones con las mismas tasas en todos los polígonos marítimos definidos. Por lo tanto, estas conclusiones solo indican que, como consecuencia de la hidrodinámica de la zona, las demarcaciones españolas podrían estar recibiendo basura flotante del exterior, ahora bien, esta entrada solo tendría lugar si efectivamente existiesen vertidos o pérdida de ítems flotantes en esas zonas vecinas.

6. Limitaciones del estudio e ideas de mejora

El objetivo inicial de este trabajo era la obtención de mapas con las zonas de mayor probabilidad de acumulación de basura marina en las demarcaciones españolas mediante el uso de un modelo lagrangiano de transporte de partículas. En el proceso de búsqueda de datos para alimentar al modelo se identificaron numerosas lagunas de información sobre la caracterización de las fuentes, tanto en cuanto a su localización como a sus tasas de emisión. Es por ello que para poder llevar a cabo las simulaciones tuvieron que adoptarse ciertas asunciones que, aun cuando pudiesen generar dudas sobre el resultado, en realidad no le restan valor, sino que le aportan otra utilidad. Así, el interés de estos mapas no está tanto en la determinación exacta de



zonas de acumulación en las demarcaciones (los cuales podrían ser de mayor o menor magnitud en función de lo acertadas que sean nuestras asunciones) sino en conocer la relación entre la localización de las fuentes y la localización de una zona de acumulación potencial. Es decir, las simulaciones llevadas a cabo nos ayudan a entender mejor cómo se distribuye la basura flotante en las demarcaciones atlánticas y no tanto a señalar de manera inequívoca las zonas de acumulación. Así, estos resultados nos permiten estimar la localización de las fuentes que potencialmente podrían contaminar una zona determinada de una demarcación. Desde un punto de vista de gestión, podría ser de interés, por ejemplo, para dirigir medidas de reducción específicas a aquellas fuentes responsables de la contaminación de una zona de especial protección, emisiones que no necesariamente tendrían que estar localizadas en su entorno cercano.

Por lo tanto, volviendo al objetivo original de este informe, las limitaciones más importantes se hallan en la falta de información sobre las fuentes de basura marina. Empezando por las fuentes terrestres, este estudio se centra, principalmente, en las fuentes con origen español porque son sobre las que se podría establecer algún tipo de medida correctora más directamente. Sin embargo, conviene aclarar que, como de manera específica no se tuvieron en cuenta los ríos que desembocan en las costas portuguesas ni francesas, ni tampoco otras fuentes terrestres de estos países, podrían existir otras zonas de acumulación alimentadas por estas fuentes que el modelo no predice. Como primera aproximación para reducir la incertidumbre de los aportes transfronterizos, sí que se consideraron las fuentes marítimas de las franjas costeras portuguesa y francesa, las cuales se definieron de la misma manera que en el caso de la costa española peninsular. De este modo (y como ya se indicó en el apartado anterior) el análisis de la trayectoria de las partículas emitidas desde estas zonas marítimas portuguesas y francesas nos dan una idea de los destinos principales que tendrían las partículas que saliesen o atravesasen estas franjas, por lo tanto, también nos dan información sobre el destino de las partículas emitidas por los ríos que desemboquen frente a esas zonas. Independientemente de estos resultados exploratorios, para mayor certeza sería necesario incluir en la simulación información específica sobre los ríos y demás fuentes de basura marina de nuestros países vecinos, solo así podríamos estudiar la influencia de estos aportes externos en las demarcaciones españolas de una manera más fiel a la realidad.

En cuanto a las fuentes marítimas, la dificultad que supone estimar cuál es su contribución a la basura marina y a establecer los puntos de emisión (ver anexo 2) nos llevó a unificar todos sus aportes como una única fuente con la misma tasa de emisión desde zonas identificadas como las de mayor presencia de embarcaciones. Es por ello que en estas simulaciones no se han considerado los aportes específicos provenientes de la acuicultura ni de las zonas con mayor esfuerzo pesquero. Cuando se disponga de esta información en un formato compatible con el modelo sería interesante volver a realizar la simulación para comparar los resultados. Además, un caso especial sería el de la demarcación canaria, para el que sería preciso valorar la posible influencia de las fuentes localizadas en la franja marítima africana, las cuales no se han tenido en cuenta en este estudio.

Conviene indicar también que los resultados obtenidos describen una tendencia en la acumulación de partículas flotantes en determinadas zonas de las demarcaciones españolas y



no una fotografía del estado en un momento determinado en el tiempo (como puede ser en el momento de un muestreo). Esto es debido a que en una salida al mar o en un muestreo en playa se obtienen datos del estado con una metodología de muestreo determinada, en un momento puntual y particular y con unas condiciones meteo-oceanográficas y de tasas de emisión específicas que no tienen por qué ser equivalentes a la situación media o al resultado a largo plazo, como concluyen Cloux *et al.* (2022) en su trabajo sobre la validación de este modelo lagrangiano en la Ría de Arousa.

También cabe señalar que estas simulaciones se han llevado a cabo a escala regional (es decir, a nivel de demarcación) y por lo tanto no dispone de resolución suficiente para predecir acumulaciones ocasionadas por fenómenos meteo-oceanográficos de menor escala (fenómenos de turbulencia, *eddies*, etc.). Para este estudio se utilizó una resolución espacial de 9 km, por lo tanto, los procesos hidrodinámicos que ocurran a una escala inferior no se verán representados por los datos hidrodinámicos, es decir, no se verán reflejados en los resultados. Lo mismo pasa con la escala temporal, fenómenos meteorológicos que se resuelven en menos de 1 día pasarán desapercibidos o quedarán suavizados por la propia resolución temporal. Para obtener resultados a nivel local sería preciso alimentar al modelo con datos hidrodinámicos y meteorológicos de una escala adecuada, como hacen Cloux *et al.* (2022) en su trabajo en la Ría de Arousa, para el que utilizan el sistema operacional ejecutado diariamente por MeteoGalicia y el modelo WRF (Weather Research and Forecasting).

Así mismo, para seguir profundizando en el conocimiento de la dinámica de generación de zonas de acumulación, se considera interesante avanzar hacia el cálculo de los tiempos de residencia de las partículas en cada celda. Esta variable nos daría información sobre el tiempo que tardan en formarse los *hotspots* en las zonas más propensas a la acumulación de partículas (aquellas con tiempos de residencia mayores) independientemente de la localización de las fuentes y de sus tasas de emisión. Los últimos estudios apuntan a que las acumulaciones no permanecen consolidadas formando una “isla de basura” sino que se forman y se separan continuamente (van Sebille *et al.* 2020). En este sentido, los tiempos de residencia nos darían información sobre los periodos de acreción y de disipación.



7. Bibliografía

Buceta, J.L., Gil, J.L., Martínez-Gil, M., Zorzo, P. 2021. ¿De dónde proceden las basuras marinas que encontramos en las playas? Un nuevo método de evaluación. *Ingeniería Civil* 198/2021.

Cloux, S., Allen-Perkins, S., de Pablo, H., Garaboa-Paz, D., Montero, P., Pérez Muñuzuri, V. 2022. Validation of a Lagrangian model for large-scale macroplastic tracer transport using mussel-peg in NW Spain (Ría de Arousa). *Science of The Total Environment*, 822: 153338. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153338>

GESAMP (2021). “Sea-based sources of marine litter”, (Gilardi, K., ed.) (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP/ISA Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 108, 109 p.

González-Fernández, D., Cózar, A., Hanke, G. et al. Floating macrolitter leaked from Europe into the ocean. *Nat Sustain* 4, 474–483 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00722-6>

González-Nuevo, G., Gago, J., Saavedra, C., Valeiras, J., Santos M.B. 2022. Spatial and temporal variability in abundance and distribution of floating macro litter in the NW and N Iberian Shelf in spring (2007-2017). *Marine Pollution Bulletin* (en revisión).

Kaiser, D., Kowalski, N., J Waniek, J., 2017. Effects of biofouling on the sinking behavior of microplastics. *Environmental Research Letters*, 12. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa8e8b>

Kooi, M., Besseling, E., Kroeze, C., Van Wezel, A.P., Koelmans, A.A., 2018. Modeling the fate and transport of plastic debris in freshwaters: Review and Guidance, in: *Handbook of Environmental Chemistry*. Springer Verlag, pp. 125–152. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5_7

Lebreton, L. C. M., Greer, S. D., and Borrero, J. C. (2012). Numerical modeling of floating debris in the world's oceans. *Mar. Pollut. Bull.* 64, 653–661. doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.10.027

Mansui, J., Molcard, A., and Ourmieres, Y. (2015). Modelling the transport and accumulation of floating marine debris in the Mediterranean basin. *Mar. Pollut. Bull.* 91, 249–257. doi: 10.1016/j.marpolbul.2014.11.037

Mansui J., Darmon G., Ballerini T., van Canneyt O., Ourmieres Y., Miaud C., 2020. Predicting marine litter accumulation patterns in the Mediterranean basin: Spatio-temporal variability and comparison with empirical data. *Progress in Oceanography*, 182. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2020.102268>

MAPAMA (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente) y CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas). 2012a. Acumulación de presiones que pueden provocar la entrada de basuras al mar desde tierra en la Demarcación Canaria (EM CAN PRE Basura Terrestre). <http://infomar.cedex.es:8080/geonetwork/srv/spa/catalog.search;jsessionid=node01ozdfxabk663h1tw377hxbz5hp5184.node0#/metadata/ff945929-0918-46b9-a8e8-42069b6aa20d>



MAPAMA (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente) y CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas). 2012b. Acumulación de presiones que pueden causar la entrada de basuras al mar desde tierra en la Demarcación Noratlántica (EM NOR PRE Basura Terrestre).

<http://infomar.cedex.es:8080/geonetwork/srv/spa/catalog.search;jsessionid=node01ozdfxabk663h1tw377hxbz5hp5184.node0#/metadata/03d74c07-d5a0-4242-8217-95463efff062>

MAPAMA (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente) y CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas). 2012c. Acumulación de presiones que pueden provocar la entrada de basuras en el mar desde tierra en la Demarcación Sudatlántica (EM SUD PRE Basura Terrestre).

<http://infomar.cedex.es:8080/geonetwork/srv/spa/catalog.search;jsessionid=node01ozdfxabk663h1tw377hxbz5hp5184.node0#/metadata/88f254fb-67ea-49a7-9138-e7eeab9050f>

Pereiro, D., Souto, C., Gago, J. 2019. Dynamics of floating marine debris in the northern Iberian waters: A model approach. *Journal of Sea Research*, Volume 144: 57-66.

<https://doi.org/10.1016/j.seares.2018.11.007>.

Politikos, D.V., Tsiaras, K., Papatheodorou, G. Anastasopoulou, A., 2020. Modeling of floating marine litter originated from the Eastern Ionian Sea: Transport, residence time and connectivity. *Marine Pollution Bulletin* 150. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110727>

Rodríguez-Díaz, L., Gómez-Gesteira, J.L., Costoya, X., Gómez-Gesteira, M., Gago, J. 2020. The Bay of Biscay as a trapping zone for exogenous plastics of different sizes. *Journal of Sea Research*. 163, 101929. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2020.101929>.

Ruiz, I., Abascal, A. J., Basurko, O.C., Rubio, A. 2022. Modelling the distribution of fishing-related floating marine litter within the Bay of Biscay and its marine protected areas. *Environmental Pollution*, 292: 118216. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118216>.

UNEP (United Nations Environment Programme) (2005). Marine litter, an analytical overview. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/8348>.

Van Sebille, Erik, Stefano Aliani, Kara Lavender Law, Nikolai Maximenko, José M. Alsina, Andrei Bagaev, Melanie Bergmann, et al. 2020. "The Physical Oceanography of the Transport of Floating Marine Debris." *Environmental Research Letters*. Institute of Physics Publishing. doi:10.1088/1748-9326/ab6d7d

Veiga, J.M., Fleet, D., Kinsey, S., Nilsson, P., Vlachogianni, T., Werner, S., Galgani, F., Thompson, R.C., Dagevos, J., Gago, J., Sobral, P. and Cronin, R.; 2016; Identifying Sources of Marine Litter. MSFD GES TG Marine Litter Thematic Report; JRC Technical Report; EUR 28309; doi:10.2788/018068

Zambianchi E, Trani M and Falco P (2017) Lagrangian Transport of Marine Litter in the Mediterranean Sea. *Front. Environ. Sci.* 5:5. doi: 10.3389/fenvs.2017.00005

Anexo 1: Ríos

Listado de los 27 ríos considerados en las simulaciones con la localización de la desembocadura utilizada como punto de emisión:

Demarcación Hidrográfica	Río / Ría	Latitud (°)	Longitud (°)
Cantábrico Oriental	Bidasoa	43.39	-1.77
	Nervión	43.37	-3.04
	Oria	43.29	-2.13
	Urumea	43.33	-1.98
Cantábrico Occidental	Agüera	43.40	-3.31
	Ría de Avilés (Salinas)	43.59	-5.95
	Asón	43.43	-3.43
	Bedón	43.44	-4.87
	Besaya	43.44	-4.04
	Deva	43.30	-2.35
	Eo	43.55	-7.03
	Esva	43.55	-6.47
	Miera	43.46	-3.75
	Nalón	43.57	-6.08
	Negro	43.55	-6.53
	Sella	43.47	-5.06
Galicia-Costa	Lagares	42.2	-8.78
	Landro	43.71	-7.59
	Lérez	42.41	-8.67
	Masma	43.57	-7.23
	Mero	43.36	-8.36
	Tambre	42.79	-8.92
	Ulla	42.64	-8.76
	Umia	42.5	-8.82
Miño-Sil	Miño	41.86	-8.88
Guadiana	Guadiana	37.17	-7.39
Guadalquivir	Guadalquivir	36.78	-6.44

Tabla A1-1: Listado de ríos considerados en las simulaciones.



Anexo 2: Datos fuentes marítimas

1. Introducción

De cara a poder alimentar el modelo con datos de aportes de basura de procedencia marítima se llevó a cabo una búsqueda de información en distintas fuentes documentales. A continuación se muestran los datos encontrados y los problemas identificados que propiciaron que no fuesen utilizados de manera desglosada en las simulaciones incluidas en este informe.

2. Embarcaciones

2.1. Tráfico marítimo y pesca

En el informe elaborado por CE Delft y CHEW en 2017, titulado *The Management of Ship-Generated Waste On-board Ships*, se presenta un estudio sobre el tipo de residuos que se generan a bordo, las tasas de generación y los factores de los que dependen estas tasas. En la tabla a continuación (tabla A2-1) se recogen aquellos tipos de residuos que podrían acabar siendo basura marina. Según se refleja en esta tabla, el condicionante principal de generación de estos tipos de residuos es el número de personas a bordo y aunque para el caso de “Residuo Operacional” se considera que el primer factor determinante es el tamaño del barco, la tasa asociada también se estima en unidades por persona y día, por lo que el factor del “número de tripulación a bordo” sigue considerándose importante. Conviene aclarar que estas estimaciones de generación de basura se refieren a lo que se produce en el barco y no a la basura que acaba en el mar. Ahora bien, de cara a utilizar estos datos en las simulaciones y a modo de aproximación se podría asumir que en aquellos casos en los que se genere más basura la probabilidad de que alcance el mar también podría ser mayor (aunque hay más factores que influyen en el destino final de la basura, como puede ser la concienciación de los tripulantes, las instalaciones del barco, etc.).

Tabla A2-1: Tipos de residuos generados en los barcos que podrían llegar a ser basura marina. Fuente: CE Delft y CHEW. 2017. The Management of Ship-Generated Waste On-board Ships.

Tipo residuo	Definición	Tasa de generación (m ³ por persona y día)	Condiciones
Plástico	Puede generarse en todo tipo de embarcación y con frecuencia se origina por las provisiones domésticas y los suministros utilizados para las operaciones a bordo. Suele incluir láminas, envoltorios, botellas, bidones, cuerdas sintéticas, redes de pesca sintéticas, bolsas de basura de plástico y envases vacíos de sustancias químicas.	0.001-0.008	Número de personas a bordo
Residuo doméstico	Residuos generados en las zonas domésticas del barco y que no son restos de comida, aceite de cocina ni plástico. Normalmente incluye papel, cartón, tubos fluorescentes, materiales sintéticos, papel de aluminio, latas, tapas, vidrio, etc. Su generación es consecuencia del alojamiento de pasajeros y tripulación y ocurre en todos los tipos de barcos.	0.001-0.02	Número de personas a bordo, tipo de productos utilizados
Residuo operacional	La mayoría de los barcos incluyen los residuos de la sala de máquinas en esta categoría (p. ej. trapos engrasados, baterías) pero también puede incluir otros residuos fruto de la actividad propia del barco como cabos viejos, bidones, madera, lavadoras, chatarra, neveras, aerosoles, escaleras, bengalas, restos de sustancias químicas, asbesto y pintura. Algunos barcos también incluyen aquí residuos relacionados con la carga, como palés de madera, material de estiba y guantes de goma. En otros barcos esta categoría se usa para otros residuos domésticos como tubos fluorescentes, ropa de trabajo rota, etc.	0.001-0.1	Tamaño del barco: tipo de carga

En cuanto a las vías de entrada de esta basura al mar, Sherrington y colaboradores (2016) consideran que no toda la basura de origen marítimo llega al mar a través de vertidos intencionados, pudiendo ser también el resultado de pérdidas accidentales, sin embargo, añade que se considera que los vertidos ilegales son una fuente importante de basura marina. En este mismo informe presentan una serie de estimaciones de generación de basura por tipo de embarcación, los cuales podrían utilizarse como base para estimar las contribuciones relativas a la basura marina por tipo de barco y ponderar así estas fuentes en las simulaciones. En la tabla A2-2 se muestran las estimaciones realizadas por Sherrington y colaboradores (2016) y una propuesta de ponderación sobre el aporte de basura según el tipo de embarcación (columna F).

Tabla A2-2: Estimación de la contribución relativa de cada tipo de embarcación a la basura marina.

	A	B	C	D	E	F
Tipo de embarcación	% Personas (año 2013, en la UE)	% Barcos (año 2013 en la UE)	Personas/barco	Residuos generados por persona en 2013 (Toneladas)	Residuos generados por persona en 2013 (normalizado por pesca)	Ponderación por tipo de embarcación
Transporte marítimo	26	13.1	2.0	1	0.4	0.7
Pesca	11	60.9	0.2	2.8	1.0	0.2
Pasajeros	20	1.8	11.1	0.7	0.3	2.8
Cruceros	17	0.2	85.0	0.6	0.2	18.2
Recreativo	23	23.7	1.0	0.8	0.3	0.3
Militar	3	0.2	15.0	0.4	0.1	2.1
Fuente de datos	<i>Sherrington et al, 2016</i>	<i>Sherrington et al, 2016</i>	<i>Calculado para este informe como A/B</i>	<i>Sherrington et al, 2016</i>	<i>Calculado para este informe como D/2.8</i>	<i>Calculado para este informe como E x C.</i>

De cara a aplicar esta ponderación, se pensó en utilizar los datos disponibles sobre densidad de barcos en EMODnet. Esta plataforma ofrece datos recientes de tráfico marítimo (publicados en 2019 y revisados en marzo de 2021) y permite seleccionar los datos de densidad de barcos en función del tipo de embarcación, de esta manera idealmente se podría diferenciar entre pesca y otros (pasajeros, carga, embarcaciones de recreo, etc.) para ponderar de manera distinta cada uno según lo expuesto en la tabla A2-2. Sin embargo, no se pudo llevar a cabo esta aproximación porque el formato de los datos disponible en EMODnet no es compatible con el modelo. Además, cabe señalar que los datos disponibles en EMODnet no distinguen entre cruceros y otros barcos de pasajeros y por este motivo, aunque se hubiesen solucionado los problemas de compatibilidad, seguiría siendo necesario decidir cómo asignar las ponderaciones en este caso ya que la diferencia de pesos que le corresponde a cada uno es muy distinta (18.2 vs. 2.8).

Por otro lado, también existen los datos sobre las fuentes de basura en el Análisis de Presiones e Impactos de la Estrategia Marina elaborado por el MAPAMA y el CEDEX. En dicho trabajo se realizó un mapeado y valoración de la acumulación de presiones que pueden causar la entrada de basuras marina desde el mar para las demarcaciones noratlántica, sudatlántica y canaria (MAPAMA y CEDEX, 2012a, b y c). Las presiones que consideraron fueron la pesca y el tráfico marítimo. En este análisis definieron las zonas con mayor densidad de barcos pesqueros (las zonas con mayor número de registros VMS), así como las zonas con mayor densidad de buques



mercantes (AIS), sumando las señales recibidas de ambas fuentes sobre cada celda (transformando los datos VMS a señales emitidas cada 5 minutos, para hacerlos comparables con los AIS). De cara a uso en las simulaciones, las principales limitaciones de estos datos radicaban en el hecho de corresponder a análisis de hace 10 años y a no considerar los aportes de otros tipos de embarcaciones como los cruceros, cuya contribución a la basura marina podría ser relevante (ver tabla A2-2).

2.2. Pesca

Existen datos de esfuerzo pesquero para cada demarcación en formato raster (ESRI) generada en el marco de las Estrategias Marinas por el IEO (Antonio Punzón). Esta información está desglosada por tipo de arte (arrastre pareja, arrastre puertas, enmalle, cerco, línea mano, palangre fondo y trasmallo). Para utilizar esta información sería preciso llevar a cabo un estudio más detallado de los datos disponibles y valorar el interés de disponer de datos individualizados por arte de pesca (por ejemplo, podría ser interesante si fuese posible asignar tasas de emisión distintas en función del arte de pesca). Así, de considerarse de interés, se podría estudiar la posibilidad de contactar con Antonio Punzón para conocer más de cerca la información disponible y estudiar la viabilidad de una colaboración que permita conocer con más rigor la contribución de la actividad pesquera a la basura marina.

3. Acuicultura

Esta actividad no se consideró de manera individualizada en las simulaciones porque no se encontraron datos específicos fiables sobre el aporte de basura procedente de instalaciones de acuicultura y su importancia relativa respecto a otras fuentes marítimas en las demarcaciones objeto de este estudio (ver apartado 4 a continuación). El proyecto AQUA-LIT sí estimó el porcentaje de basura marina que vendría de este fuente, pero su ámbito geográfico de estudio se ciñe al Mar del Norte, el Báltico y el Mediterráneo. En estas zonas estima que el 14.75% de la basura de fondo, el 11.25% de la flotante y el 4.08% de la de playa procede de la acuicultura (GESAMP, 2021).

4. Ponderación de todas las fuentes marítimas

De cara a integrar todas las fuentes en la simulación era preciso conseguir información que diese alguna pista sobre la importancia relativa de cada una de ellas, para traducirla en un factor de ponderación que se pudiese incluir en el modelo. Como primera tentativa se llevó a cabo una revisión del trabajo publicado por Buceta *et al.* (2021) sobre el origen de la basura de playa en España, así como el informe de resultados del programa de seguimiento de basuras marinas en playas en el año 2020 (Gil Gamundi y Martínez-Gil Pardo de Vera, 2020). El objetivo de partida de esta revisión fue analizar:

1. Si había diferencias en las contribuciones de cada fuente entre playas y entre las demarcaciones, y
2. Si los resultados de estos análisis se podrían extrapolar al medio marino en general.

Cabe señalar también que ambos informes consideran tanto las fuentes marítimas como las terrestres, por lo que en principio estos estudios podrían ser interesantes para ponderar ambas fuentes en una simulación global.

Para abordar el primer objetivo se estudiaron los resultados del análisis de fuentes de basura para cada playa del programa de seguimiento (datos de 2020). Para este análisis los autores solo tuvieron en cuenta los ítems identificables. En la tabla A2-3 se muestra la media de los resultados de los 3 muestreos realizados en ese año para cada playa (campaña de invierno, verano y otoño). A la vista de estos datos y centrándonos primero en comparar las playas dentro de cada demarcación, con los datos disponibles no es posible detectar diferencias estadísticamente significativas entre ellas porque se necesitaría disponer de los datos de cada campaña de muestreo. A simple vista, se podría decir que lo más destacable en la demarcación noratlántica es que Rodas es la playa con mayor influencia de fuentes marinas y Oyambre de fuentes terrestres.

Tablas A2-3: Fuentes de basuras marinas (en porcentaje) según el análisis realizado con los resultados del Programa de seguimiento de basuras marinas en playa del año 2020 (Gil Gamundi y Martínez-Gil Pardo de Vera, 2020).

		DEMARCACIÓN CANARIA	
		PLAYA DE EL SOCORRO (Tenerife)	PLAYA DE JANUBIO (Lanzarote – Las Palmas)
Fuentes Marinas	Pesca	8.6	18
	Acuicultura	5.7	6.7
	Navegación	6.7	9.2
	Otras actividades en el mar	2.5	2.2
	Total fuentes marinas	23.5	36.1
Fuentes Terrestres	Aguas residuales	9.6	13.7
	Turismo en playa	35.9	20
	Comercio y hostelería	12	10.5
	Agricultura	2.7	1.5
	Construcción y demolición	3.6	2.1
	Otras actividades en tierra	12.6	16
	Total fuentes terrestres	76.4	63.8
TOTAL		99.9	99.9

DEMARCACIÓN NORATLÁNTICA

		PLAYA DE AGITI (Gipuzkoa)	PLAYA DE MEÑAKOZ (Bizcaia)	PLAYA DE OYAMBRE (Cantabria)	PLAYA DE VEGA (Asturias)	PLAYA DE COVAS (Lugo)	PLAYA DE BALDAIO (Coruña)	PLAYA DE O ROSTRO (Coruña)	PLAYA DE A LANZADA (Pontevedra)	PLAYA DE RODAS (Pontevedra)
Fuentes Marinas	Pesca	13.1	23.7	10.2	28	20.1	15.9	26.3	13.3	32.7
	Acuicultura	7.4	7	4.6	9.6	5.9	11.2	13.1	10.2	13.2
	Navegación	11.2	11.6	9	11	9.8	9.4	10.2	8.7	11.6
	Otras actividades en el mar	2.8	3.2	1.9	4.1	3.1	4.2	3	3	4.4
	Total fuentes marinas	34.5	45.5	25.7	52.7	38.9	40.7	52.6	35.2	61.9
Fuentes Terrestres	Aguas residuales	5	5.3	37.3	8.3	8.9	14.3	8.6	19.6	10.3
	Turismo en playa	18.9	17.1	12.2	13.6	22.4	13.5	12.3	18.9	7.3
	Comercio y hostelería	9.7	11.4	7.4	8.4	11.9	8.4	9.5	10.4	5.7
	Agricultura	2	1.7	1	2	2	7.5	2.1	1	2.1
	Construcción y demolición	8.8	3	1	2.3	2.7	3.1	0.8	1.6	2.5
	Otras actividades en tierra	20.9	15.4	15.5	12.5	13.2	12.4	14.2	13.2	10.1
	Total fuentes terrestres	65.3	53.9	74.4	47.1	61.1	59.2	47.5	64.7	38
TOTAL	99.8	99.4	100.1	99.8	100	99.9	100.1	99.9	99.9	

DEMARCACIÓN SUDATLÁNTICA

		PLAYA DE CASTILLA (Huelva)	PLAYA DE CASTILNOVO (Cádiz)
Fuentes Marinas	Pesca	25.8	20.4
	Acuicultura	8.5	6.2
	Navegación	9.6	8.8
	Otras actividades en el mar	3.7	2.7
	Total fuentes marinas	47.6	38.1
Fuentes Terrestres	Aguas residuales	6.2	6.5
	Turismo en playa	10.7	23.2
	Comercio y hostelería	9.4	10.3
	Agricultura	1.5	1.4
	Construcción y demolición	7.4	7.6
	Otras actividades en tierra	17.2	13
	Total fuentes terrestres	52.4	62
TOTAL	100	100.1	



En cuanto a las diferencias entre demarcaciones, como primera aproximación se realizó un análisis estadístico con los datos disponibles en el informe. Según este análisis se encontraron diferencias significativas entre la demarcación noratlántica y canaria en cuanto a la contribución de la navegación y el turismo de playa, siendo esta mayor para el turismo de playa en la demarcación canaria que en la noratlántica y al revés en cuanto a la navegación. También se encontraron diferencias en la contribución de la fuente denominada “Construcción y demolición”, la cual fue significativamente mayor en la demarcación sudatlántica que en las otras dos. Para un análisis más preciso sería necesario disponer de los datos de cada muestreo individual, lo que también permitiría estudiar si existen cambios en la contribución de cada fuente en función de la estación en el que tiene lugar el muestreo (a modo de ejemplo, se esperaría que la contribución del turismo fuese mayor en épocas estivales).

En el trabajo de Buceta Miller *et al.* (2021) se lleva a cabo el mismo análisis pero con los datos de los muestreos realizados de 2013 a 2018. Comparándolos con los resultados del año 2020, a simple vista no se observan cambios en los porcentajes. Ahora bien, para un análisis riguroso sería necesario utilizar los datos originales de cada uno de los muestreos de cada año en vez de las medias que se recogen en estos trabajos.

En resumen, tras un análisis preliminar de los datos publicados se observa que sí que podrían existir variaciones en las contribuciones de las distintas fuentes de basura marina en las playas, diferencias que podrían servir de base para ponderar los aportes de cada fuente en los modelos. Estas diferencias (ponderaciones) podrían explicarse (asignarse) en función de la demarcación marina en la que se encuentren, ser específicas para cada playa y/o incluso podrían deberse a variaciones estacionales de cada tipo de fuente¹⁰. Ahora bien, antes de profundizar más en el análisis de estos datos, se consideró el segundo objetivo de esta revisión, es decir, hasta qué punto los resultados de análisis de fuentes de la basura de playa se podrían utilizar en estas simulaciones, cuyo objetivo es estimar la formación de acumulaciones de basura flotante.

Desde un punto de vista conservativo, los datos de las fuentes de basura de playa no tendrían por qué ser un reflejo del peso de cada fuente directa de basura flotante al mar sino que en realidad lo que muestran es el resultado de lo que se queda en la playa varado del total de lo que le llega desde tierra o por el mar. Dicho de otro modo, estas simulaciones estiman la distribución de lo que no se queda en la playa (o no vuelve a ella) y va mar adentro (y no se hunde). Por lo tanto, la proporción de fuentes de esta basura flotante no tiene por qué ser la misma que la que se observa en la basura de playa.

A raíz de todas estas dudas, se abandonó esta línea de trabajo.

¹⁰ Por ejemplo, en el informe del programa de 2020 se indica que el máximo número de objetos contabilizados corresponde al invierno en la demarcación noratlántica y canaria, y al verano en la sudatlántica. En cuanto al menor número de ítems, esto ocurrió en los muestreos de verano en la noratlántica y en la de otoño en la sudatlántica y canaria, aunque no se especifican cambios en los porcentajes de cada fuente.



5. Estrategia adoptada

Como consecuencia de las limitaciones que encerraban los datos encontrados sobre fuentes marítimas y sobre todo para evitar errores en la ponderación, finalmente se decidió abandonar la idea original de considerar cada fuente marítima de manera independiente (es decir, considerando cada tipo de embarcación y la acuicultura por separado). Así, se optó por unificar todas las fuentes marítimas en unos únicos puntos ideales de emisión, lo cuales se definieron a partir de las zonas de mayor densidad de embarcaciones según los datos disponibles en EMODnet (registros de 2017 hasta mediados del 2021 que consideran todos los tipos de embarcaciones) y se renunció a incluir factores que diesen mayor peso a unas zonas frente a otras (ver apartado 3.2 del informe).

6. Bibliografía del anexo 2

- Buceta, J.L., Gil, J.L., Martínez-Gil, M., Zorzo, P. 2021. ¿De dónde proceden las basuras marinas que encontramos en las playas? Nuevo método de evaluación. Ingeniería Civil 198: 5-14.
- CE Delft y CHEW. 2017. The Management of Ship-Generated Waste On-board Ships.
- EMODnet Human Activities (shipping density): <https://www.emodnet-humanactivities.eu/view-data.php>
- European Environment Agency y European Environment Agency. 2021. European Maritime Transport Environmental Report (EMTER) 2021. Doi:10.2800/3525
- GESAMP (2021). “Sea-based sources of marine litter”, (Gibaldi, K., ed.) (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP/ISA Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 108, 109 p.
- Gil Gamundi, J.L., Martínez-Gil Pardo de Vera, M. 2020. Programa de seguimiento de basuras marinas en playas. Informe de resultados – 2020. Subdirección General para la Protección del Mar. Dirección General de la Costa y el Mar. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA) y Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). 2012a. Acumulación de presiones que ocasionan la entrada de basura marina desde el mar en la Demarcación Canaria (EM CAN PRE Basura Marina)).
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA) y Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). 2012b. Acumulación de presiones que ocasionan la entrada de basura marina desde el mar en la Demarcación Noratlántica (EM NOR PRE Basura Marina).
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA) y Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). 2012c. Acumulación de presiones que ocasionan la entrada de basura marina desde el mar en la Demarcación Sudatlántica (EM SUD PRE Basura Marina).



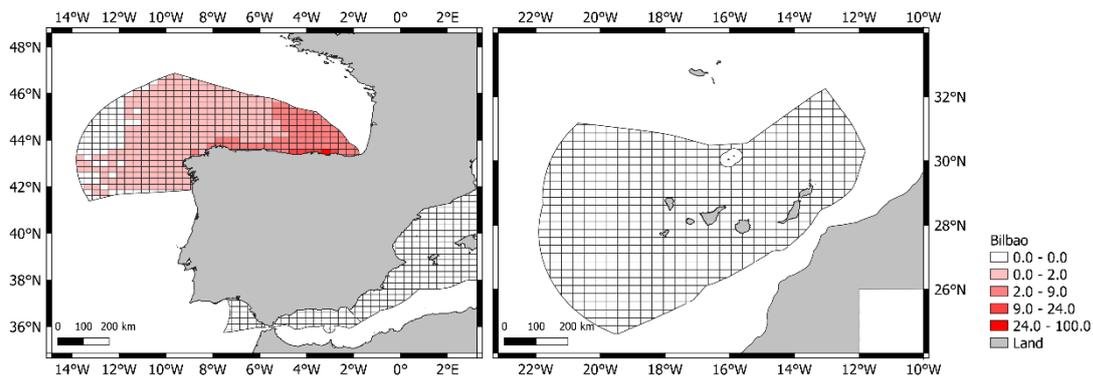
- Sherrington, C., Darrah, C., Hann, S., Cole, G., Corbin, M. 2016. Study to support the development of measures to combat a range of marine litter sources.

Anexo 3: Zonas de acumulación: emisiones terrestres

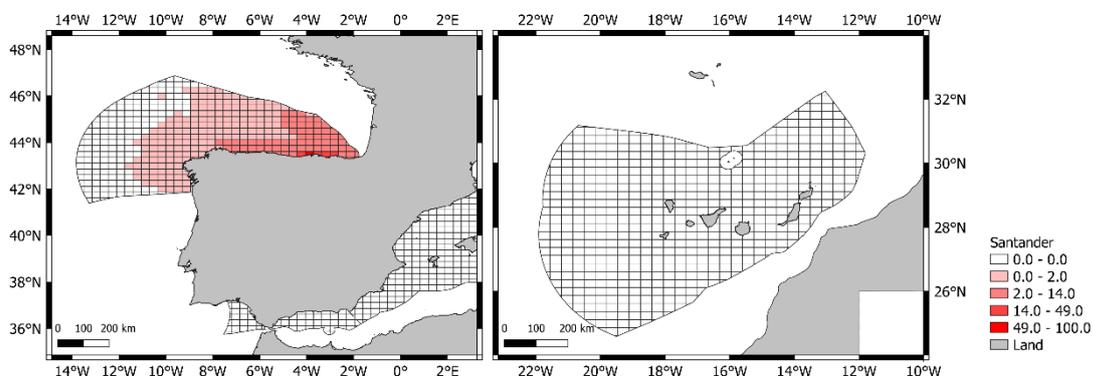
A continuación se presentan los mapas con las zonas de mayor acumulación de partículas de fuentes terrestres nacionales en las tres demarcaciones atlánticas. Estos mapas muestran una fotografía del destino de las partículas que se han estado emitiendo durante los 7 años considerados en la simulación. Los resultados se muestran como **porcentaje de acumulación** en una determinada zona (la unidad básica de división es una celda de 20 x 30 km). Este porcentaje de acumulación (valores normalizados por el número de partículas acumuladas en la celda con mayor concentración) se ha dividido en distintas categorías (indicadas en la leyenda de cada mapa) aplicando las rupturas naturales de Jenks.

1. Demarcación noratlántica

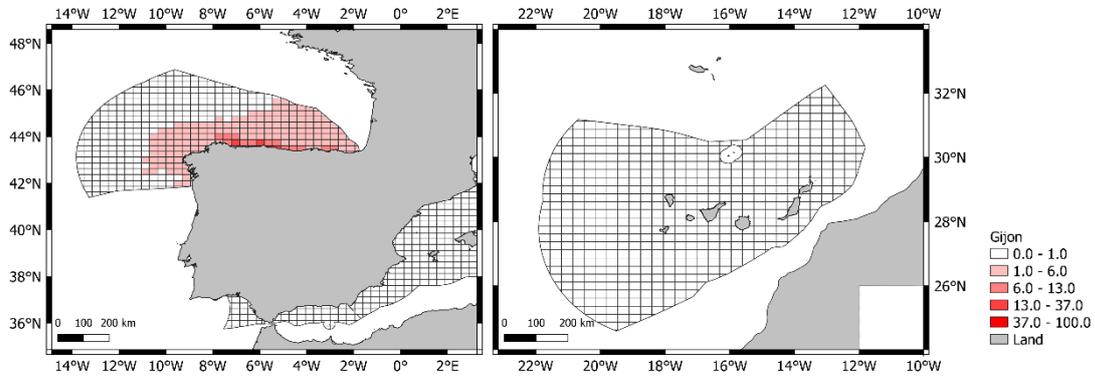
Punto de emisión: Bilbao



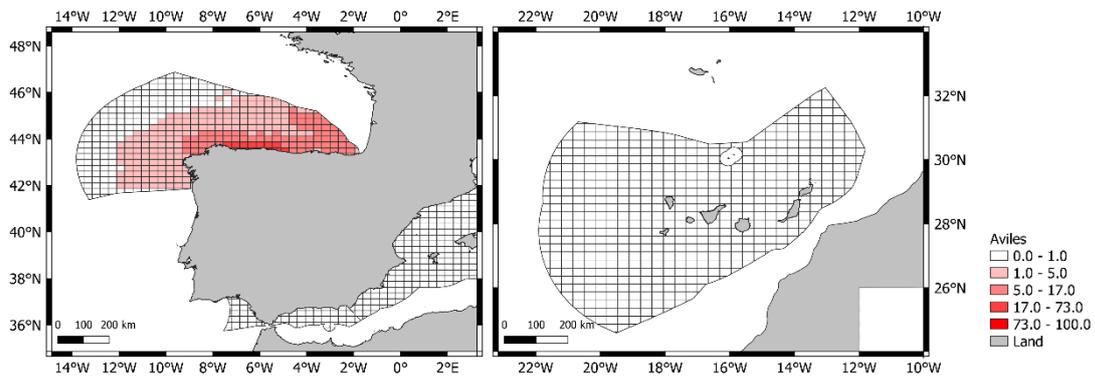
Punto de emisión: Santander



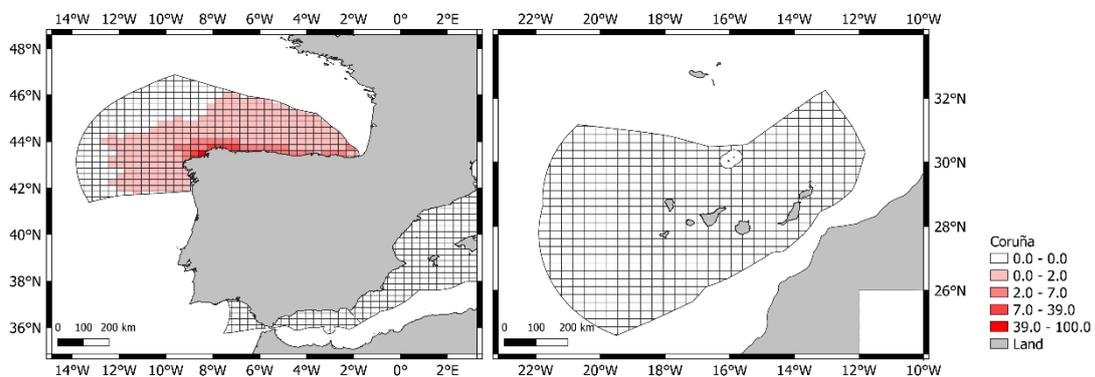
Punto de emisión: Gijón



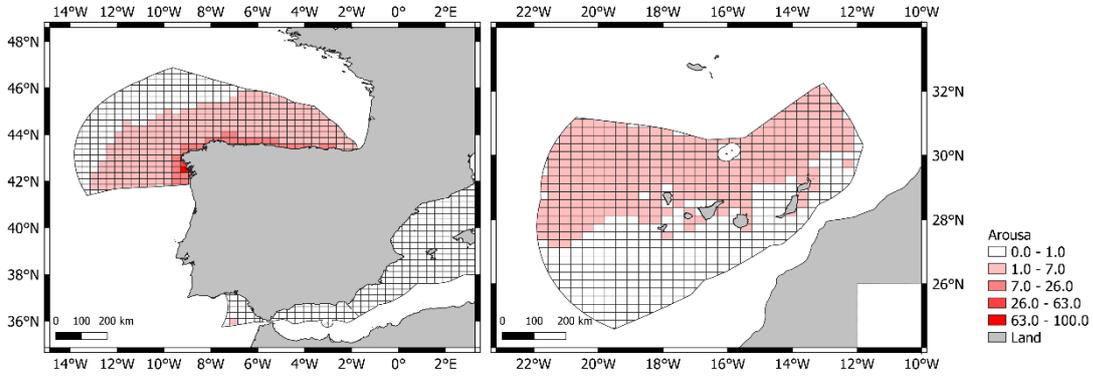
Punto de emisión: Avilés



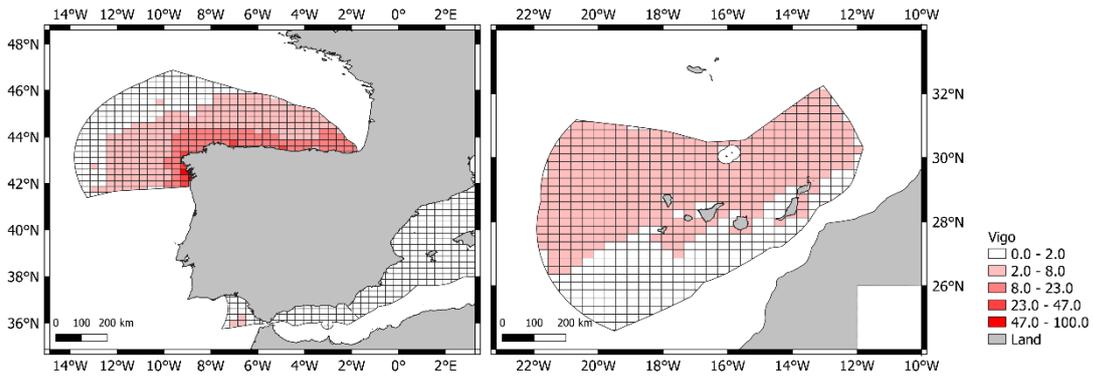
Punto de emisión: Coruña



Punto de emisión: Arousa

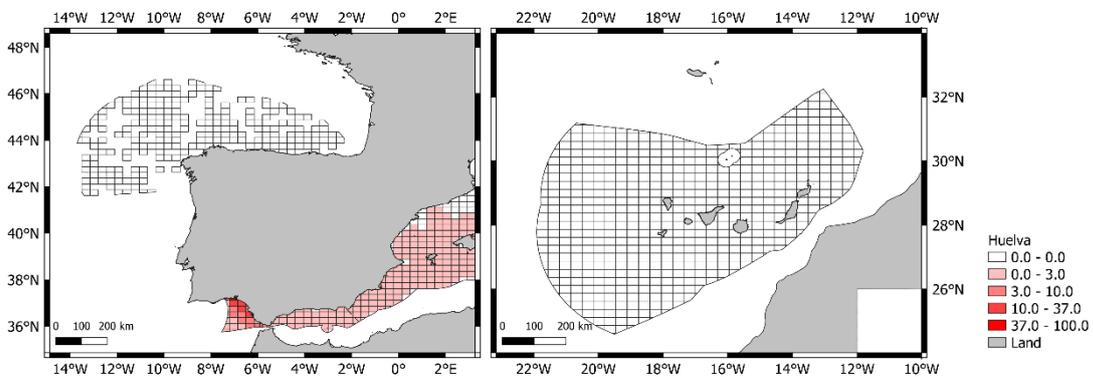


Punto de emisión: Vigo

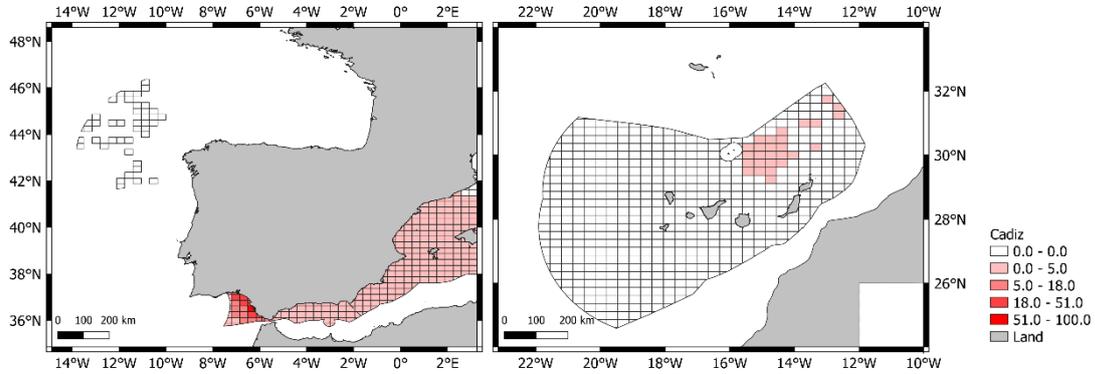


2. Demarcación sudatlántica

Punto de emisión: Huelva

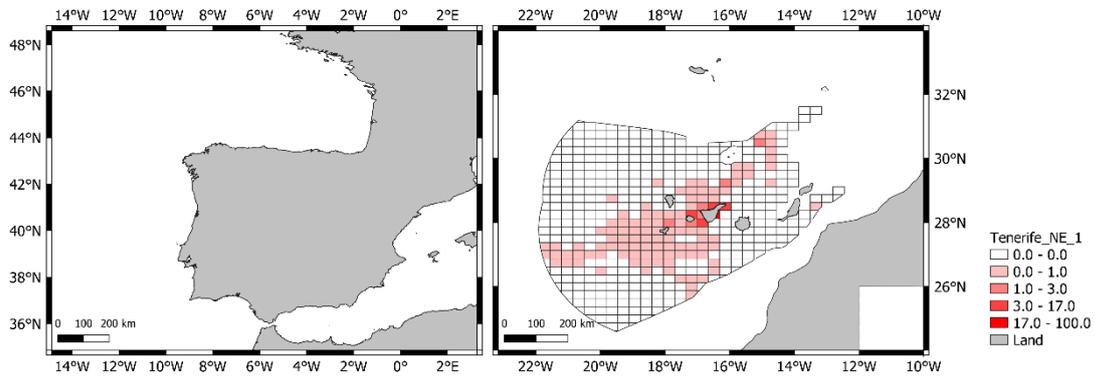


Punto de emisión: Cádiz

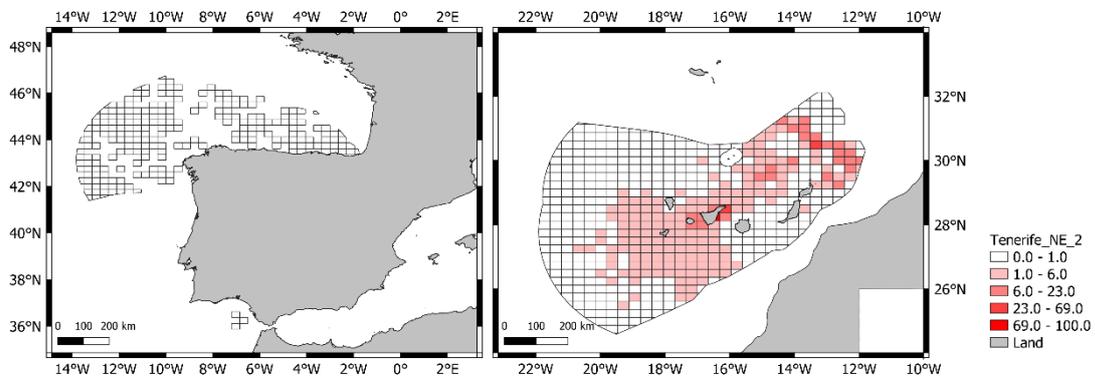


3. Demarcación canaria

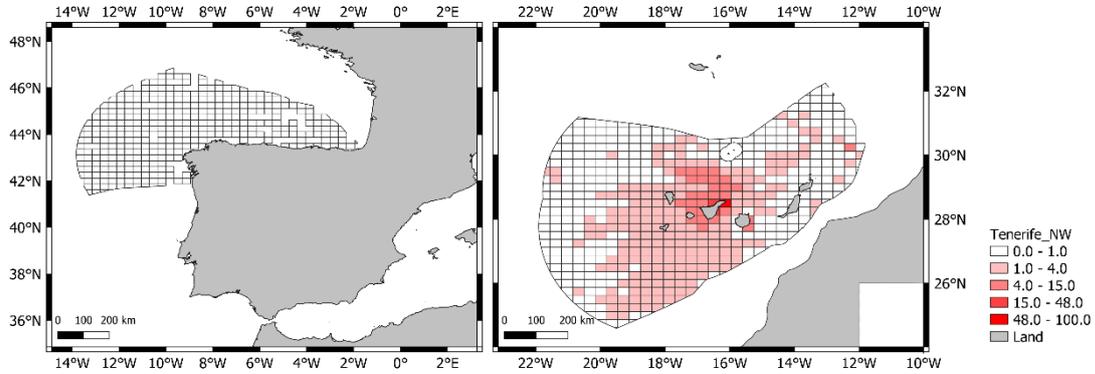
Punto de emisión: Tenerife NE_1



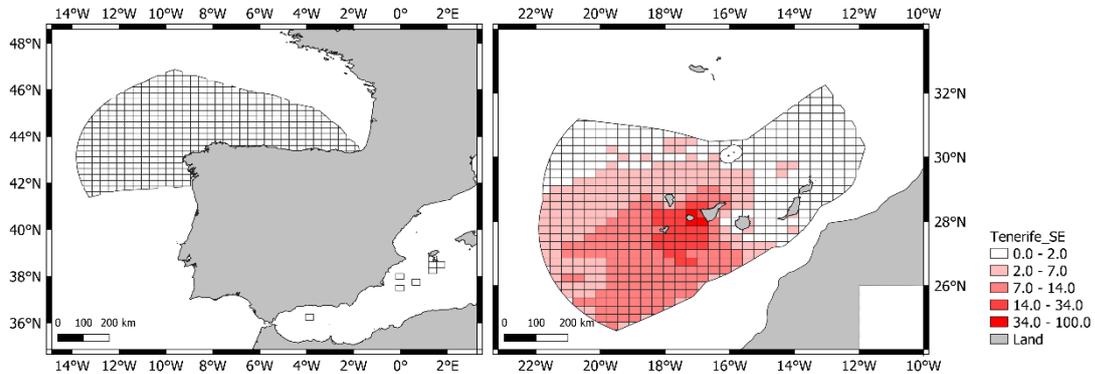
Punto de emisión: Tenerife NE_2



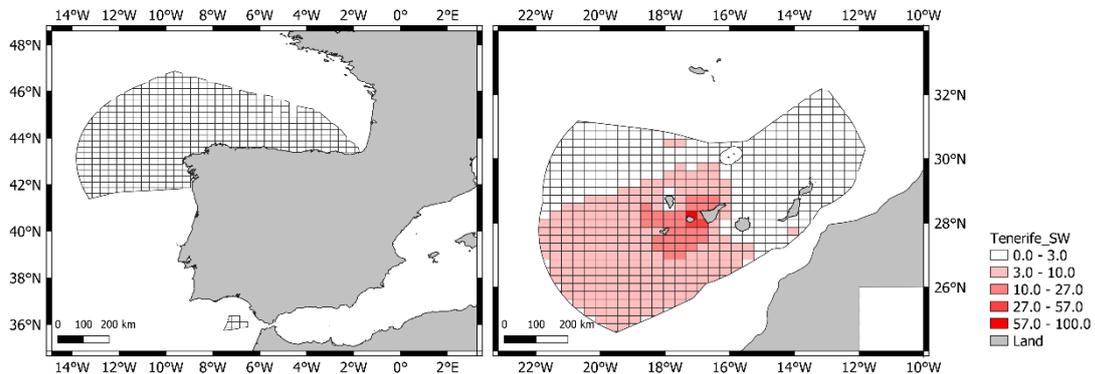
Punto de emisión: Tenerife NW



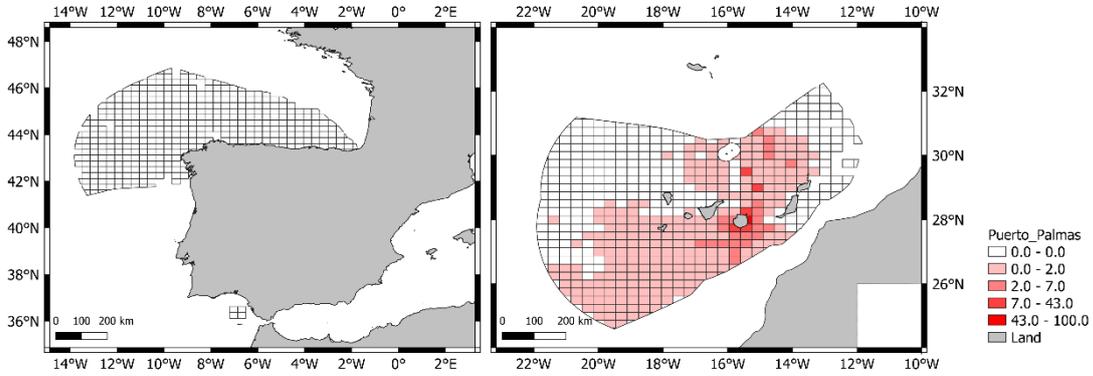
Punto de emisión: Tenerife SE



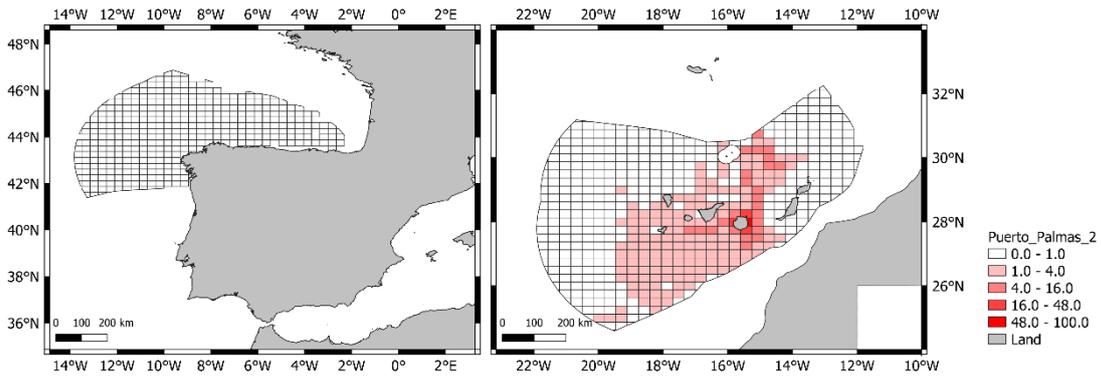
Punto de emisión: Tenerife SW



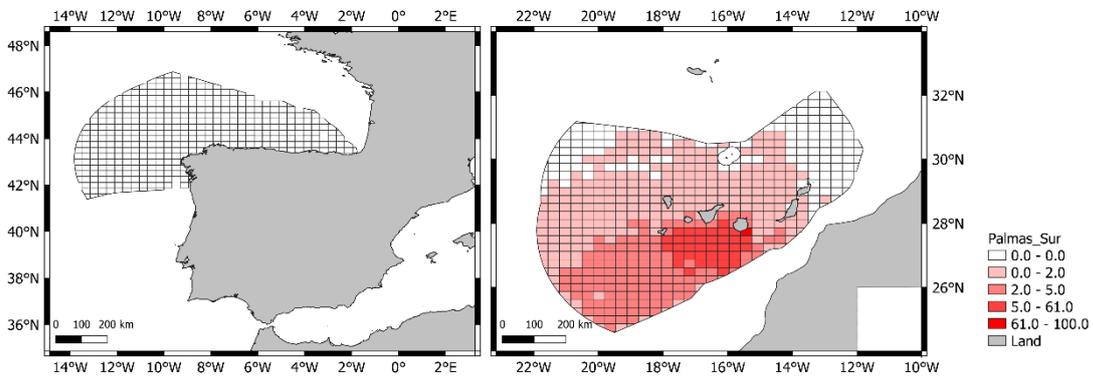
Punto de emisión: Puerto Palmas



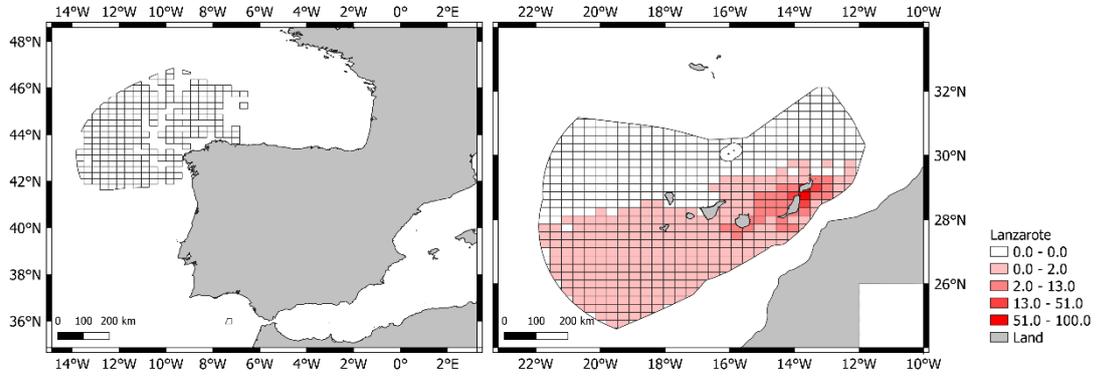
Punto de emisión: Puerto Palmas_2



Punto de emisión: Palmas Sur



Punto de emisión: Lanzarote

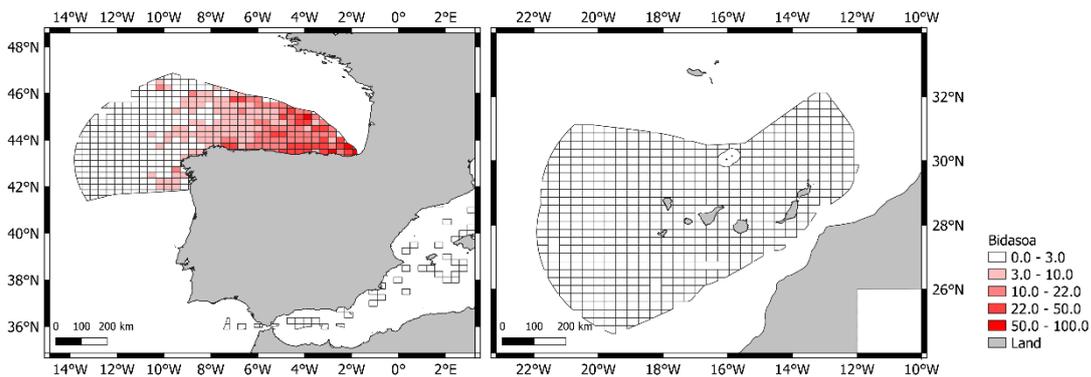


Anexo 4: Zonas de acumulación: puntos de emisión fluviales

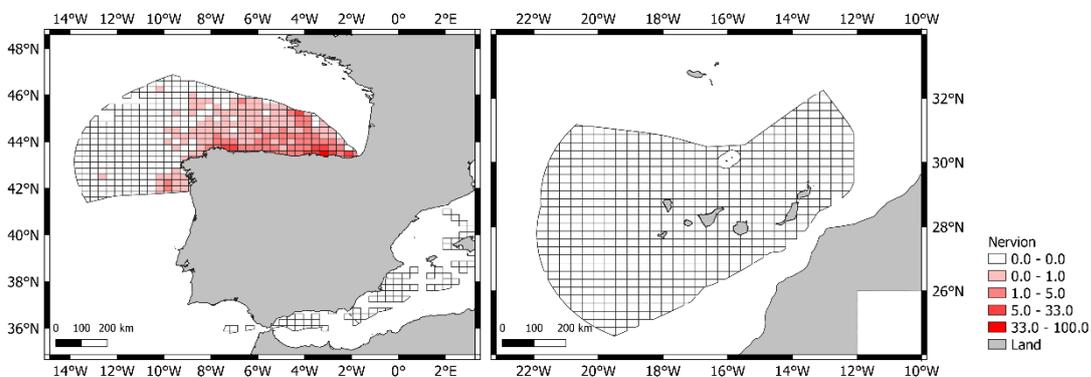
A continuación se presentan los mapas con las zonas de mayor acumulación de partículas de fuentes fluviales consideradas en las tres demarcaciones atlánticas. Estos mapas muestran una fotografía del destino de las partículas que se han estado emitiendo durante los 7 años considerados en la simulación. Los resultados se muestran como **porcentaje de acumulación** en una determinada zona (la unidad básica de división es una celda de 20 x 30 km). Este porcentaje de acumulación (valores normalizados por el número de partículas acumuladas en la celda con mayor concentración) se ha dividido en distintas categorías (indicadas en la leyenda de cada mapa) aplicando las rupturas naturales de Jenks.

1. Demarcación Hidrográfica Cantábrico Oriental

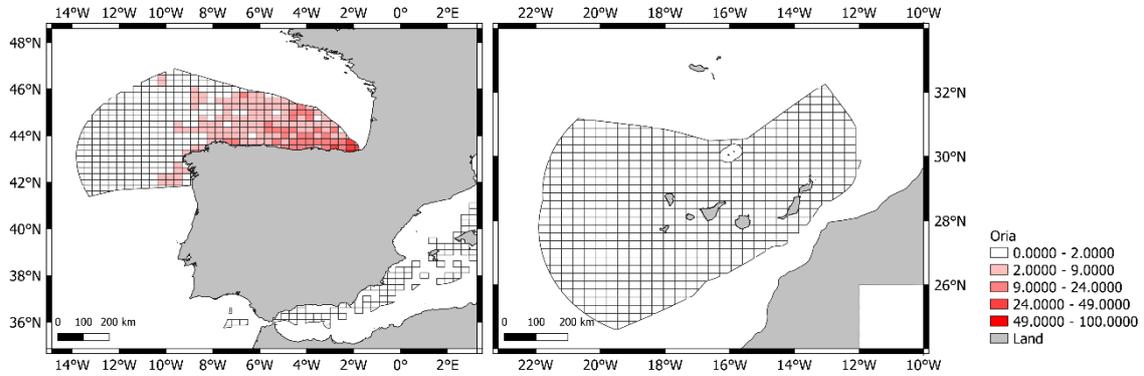
1.1. Río Bidasoa



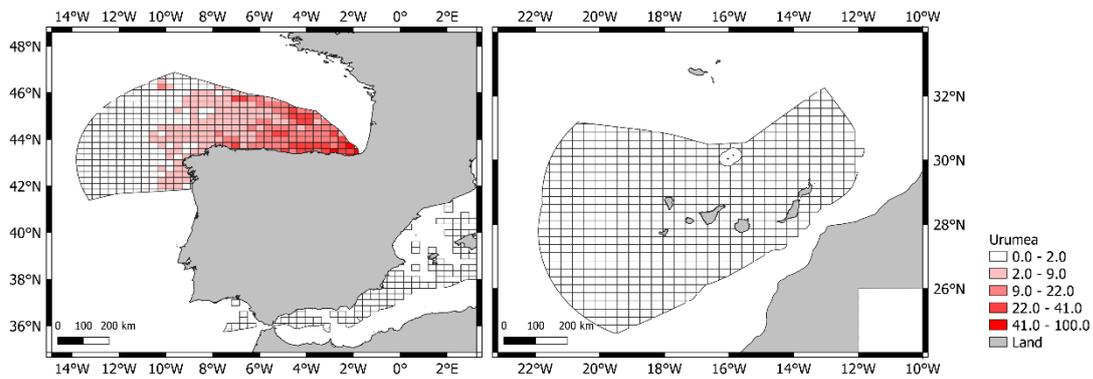
1.2. Río Nervión



1.3. Río Oria

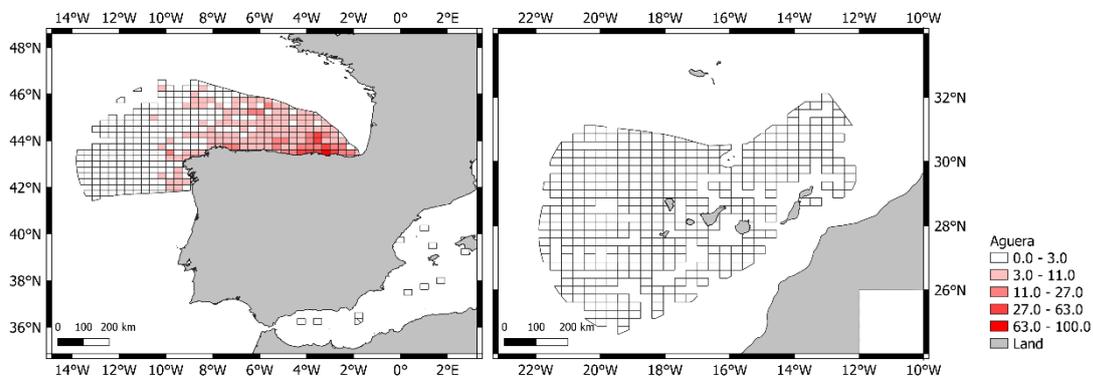


1.4. Río Urumea

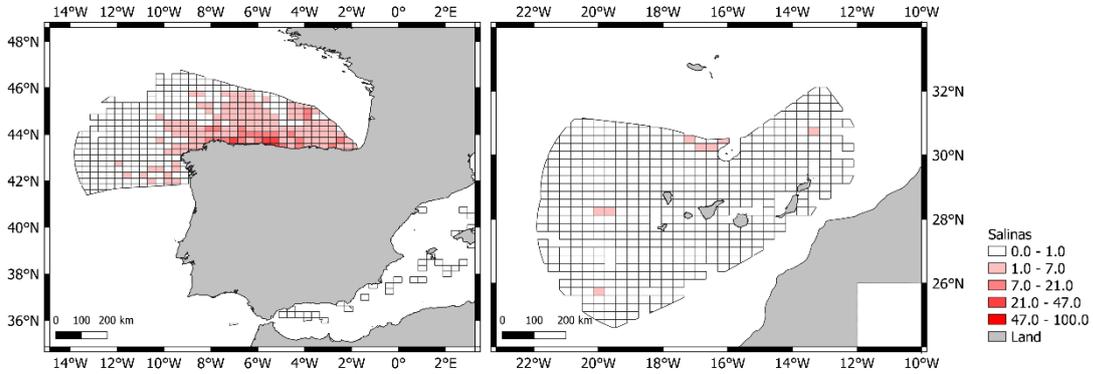


2. Demarcación Hidrográfica Cantábrico Occidental

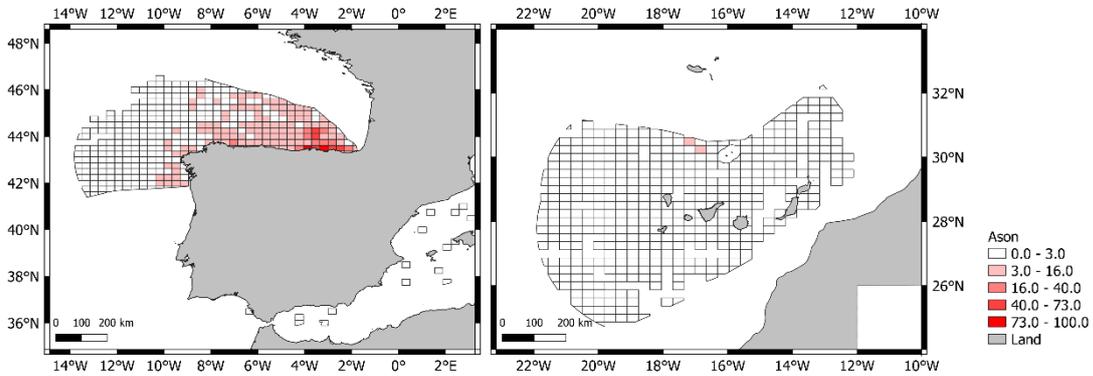
2.1. Río Agüera



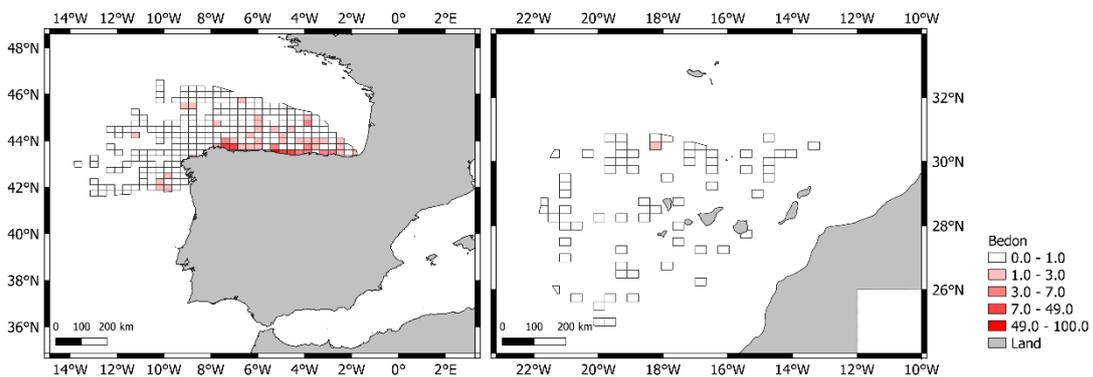
2.2. Ría de Avilés



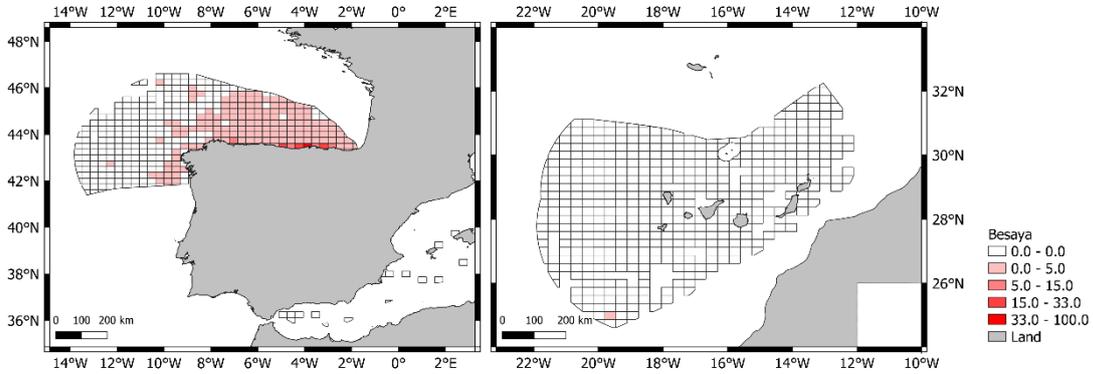
2.3. Río Asón



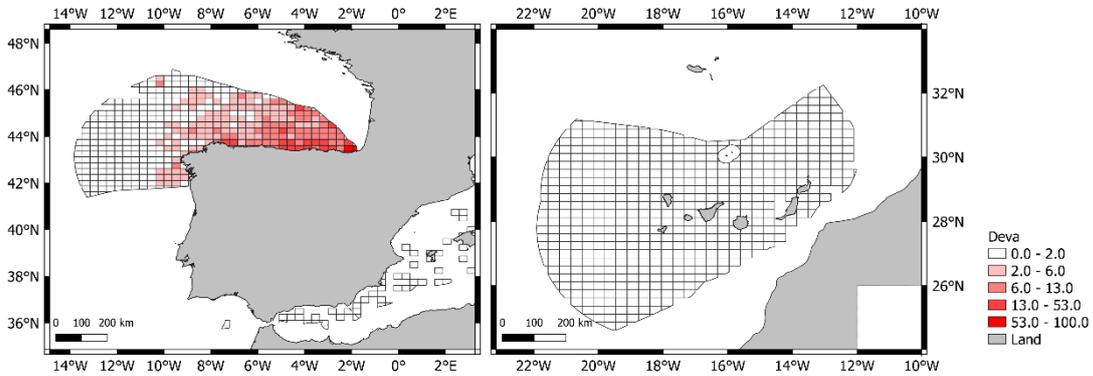
2.4. Río Bedón



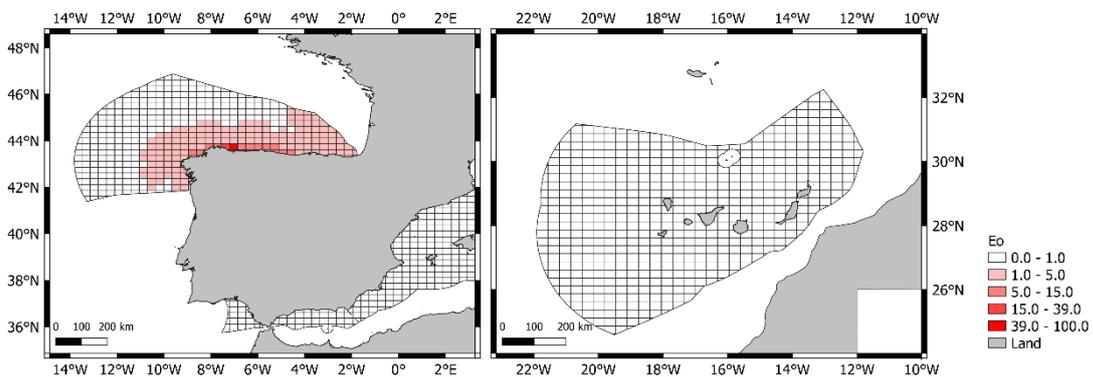
2.5. Río Besaya



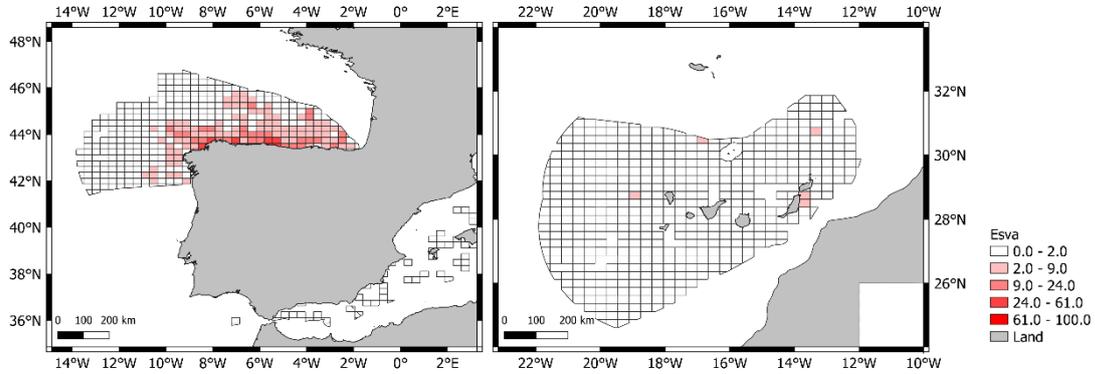
2.6. Ría Deva



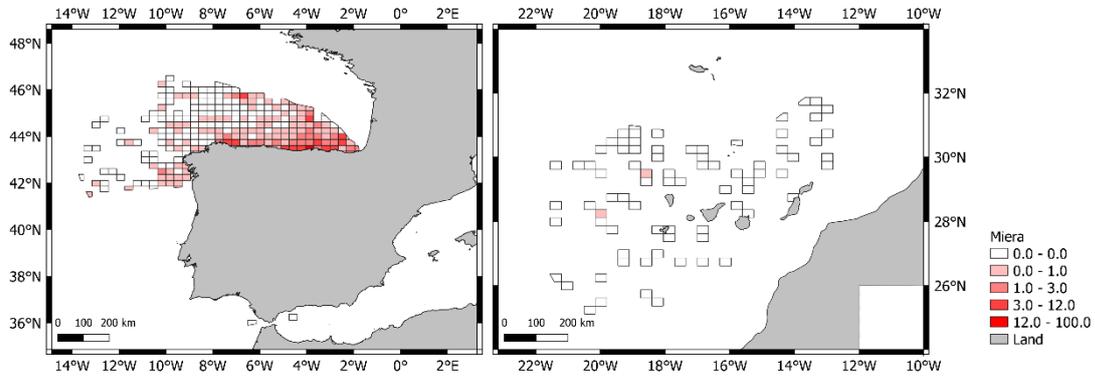
2.7. Río Eo



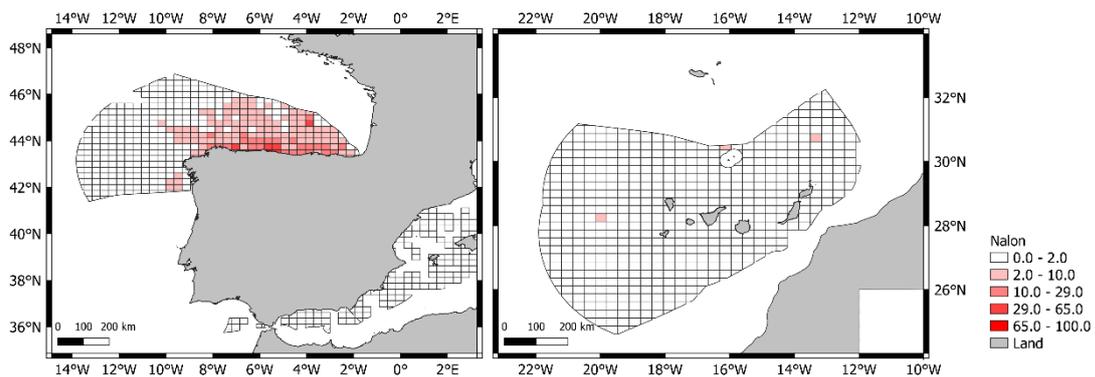
2.8. Río Esva



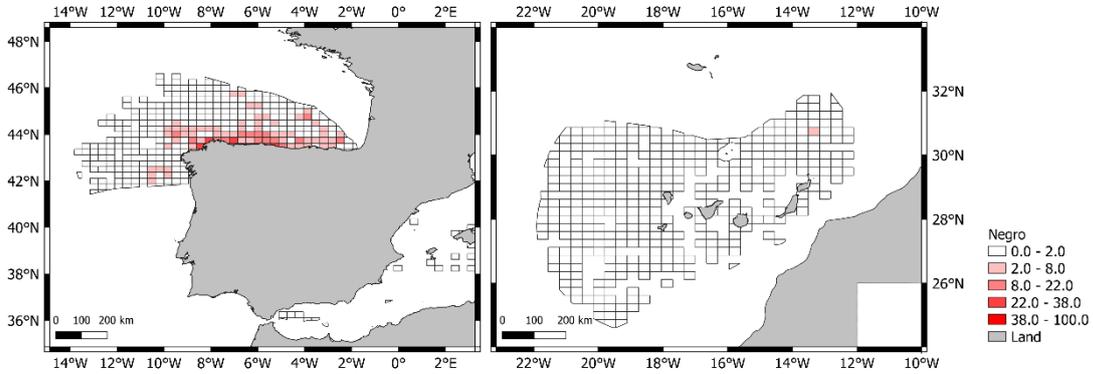
2.9. Río Miera



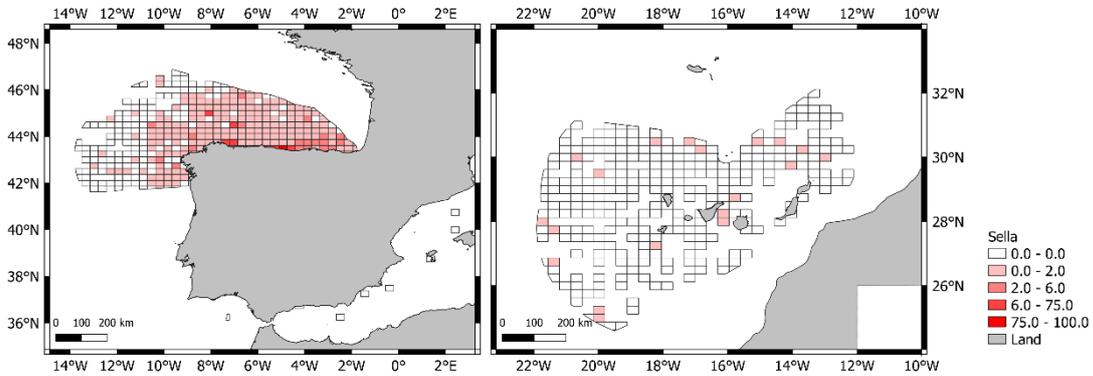
2.10. Río Nalón



2.11. Río Negro

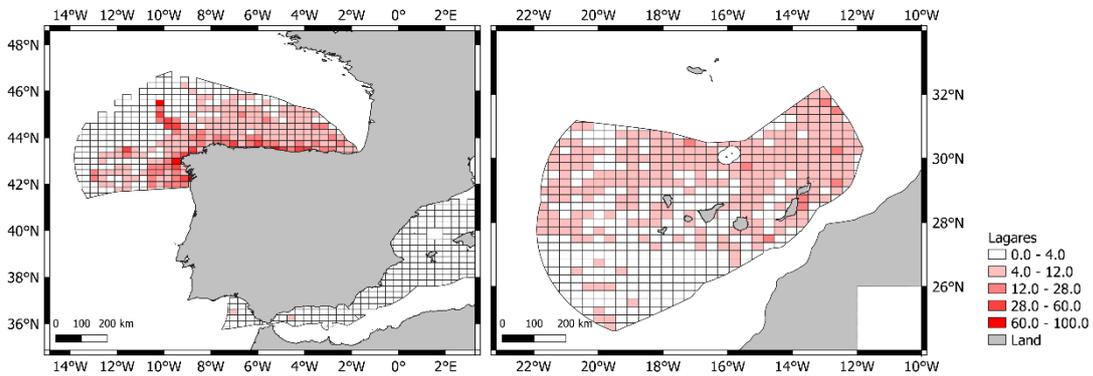


2.12. Río Sella

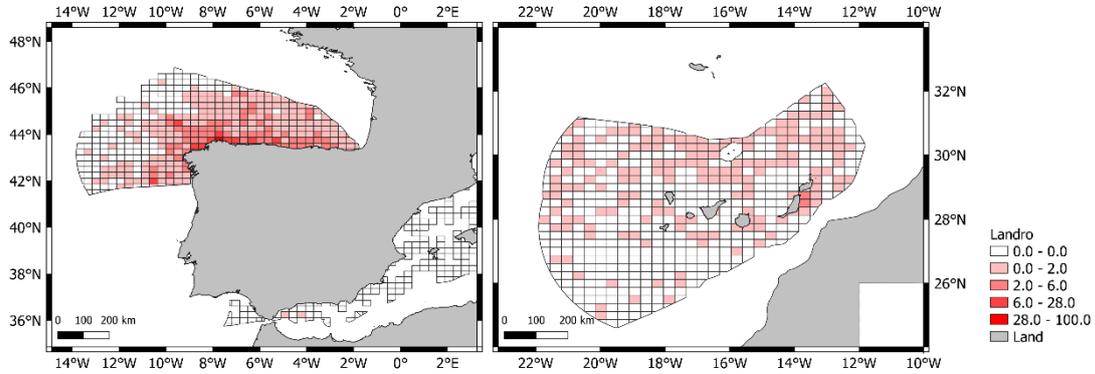


3. Demarcación Hidrográfica Galicia-Costa

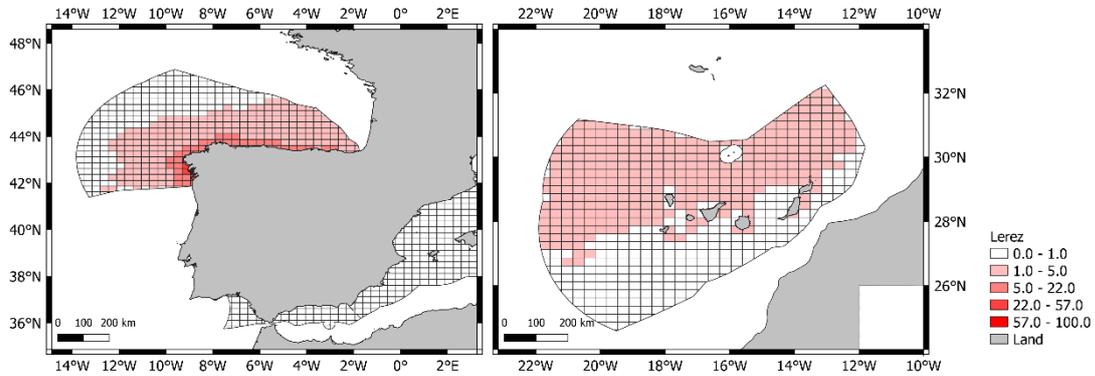
3.1. Río Lagares



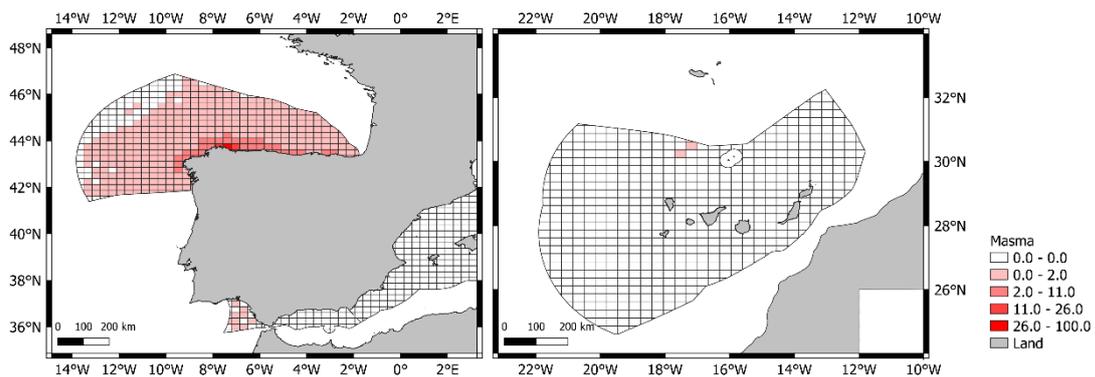
3.2. Ría Landro



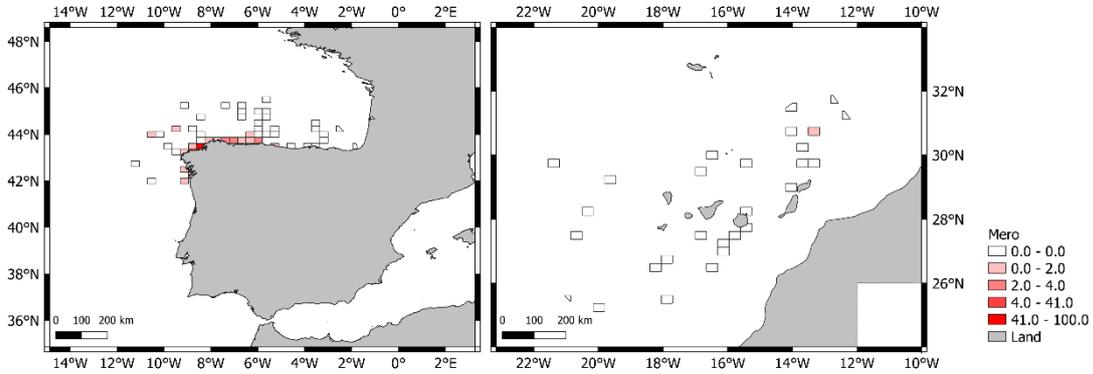
3.3. Río Lérez



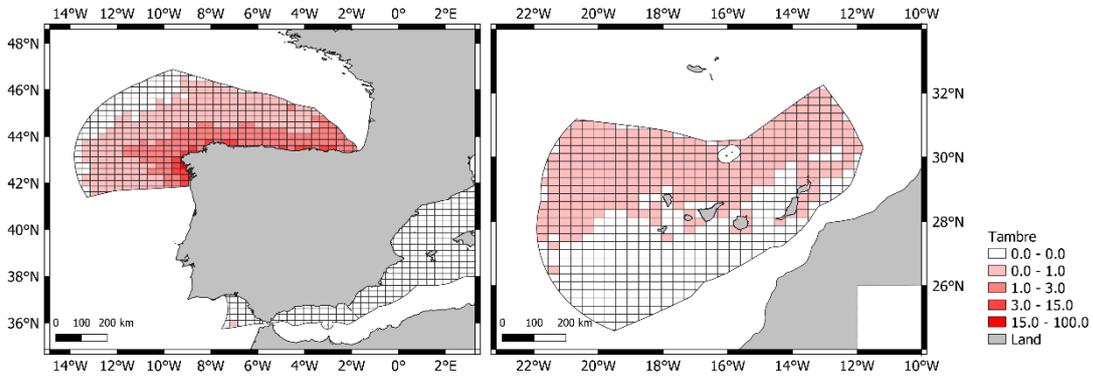
3.4. Río Masma



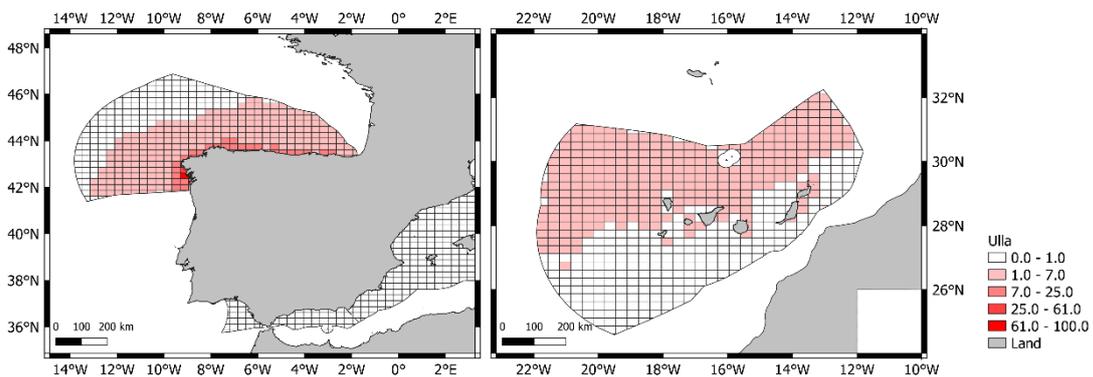
3.5. Río Mero



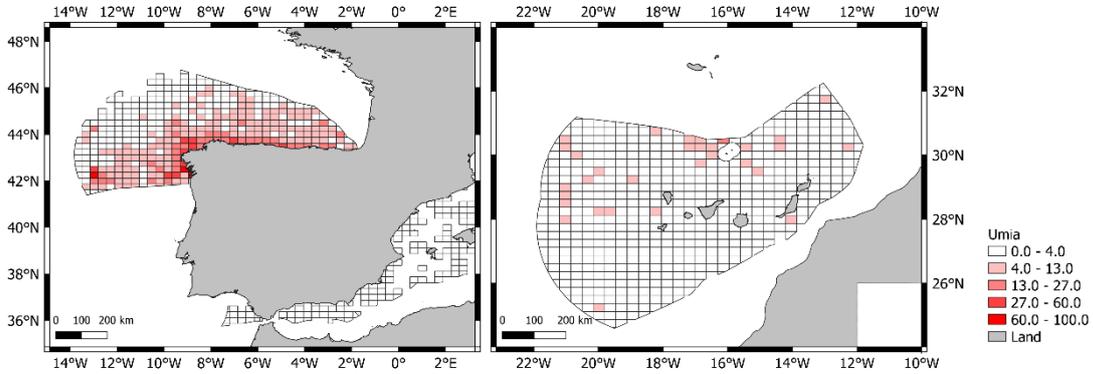
3.6. Ría Tambre



3.7. Río Ulla

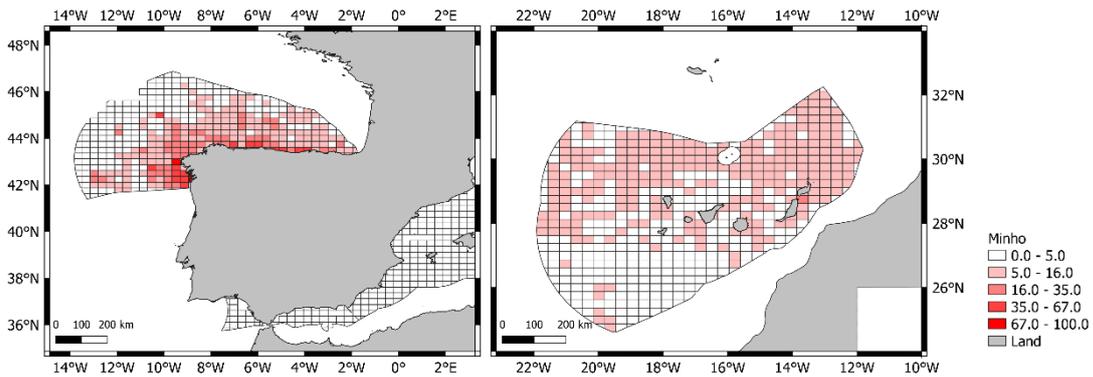


3.8. Río Umia



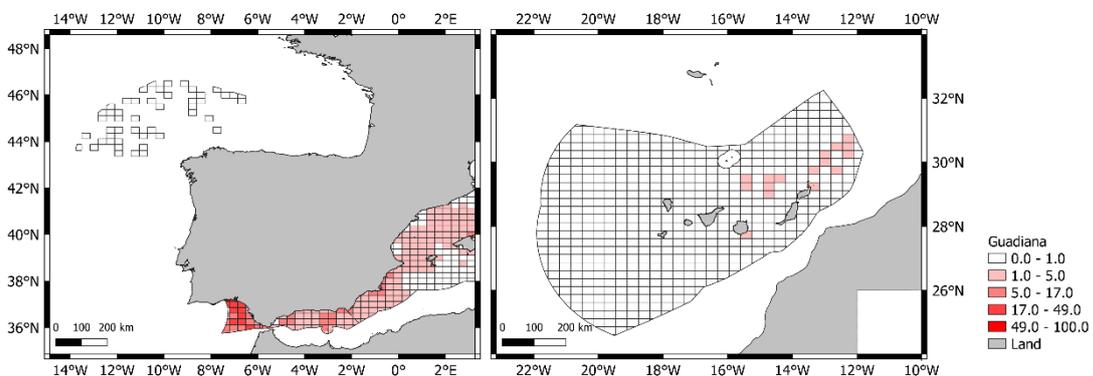
4. Demarcación Hidrográfica Miño-Sil

4.1. Río Miño



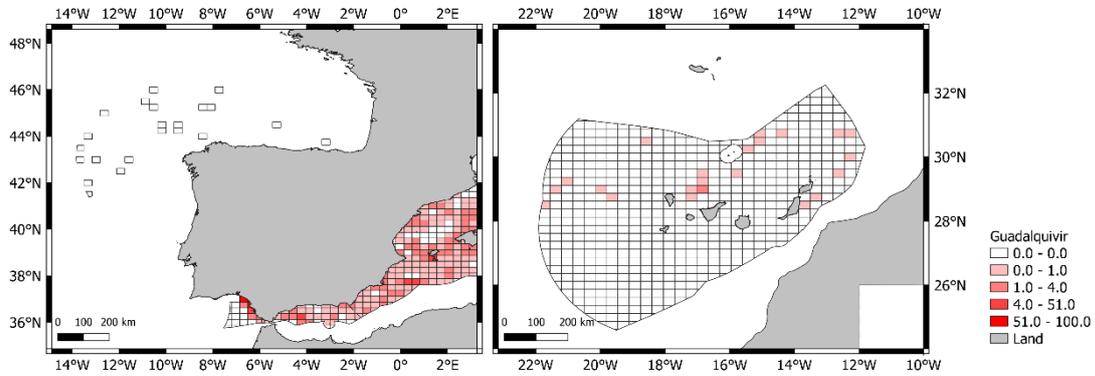
5. Demarcación Hidrográfica del Guadiana

5.1. Río Guadiana



6. Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir

6.1. Río Guadalquivir

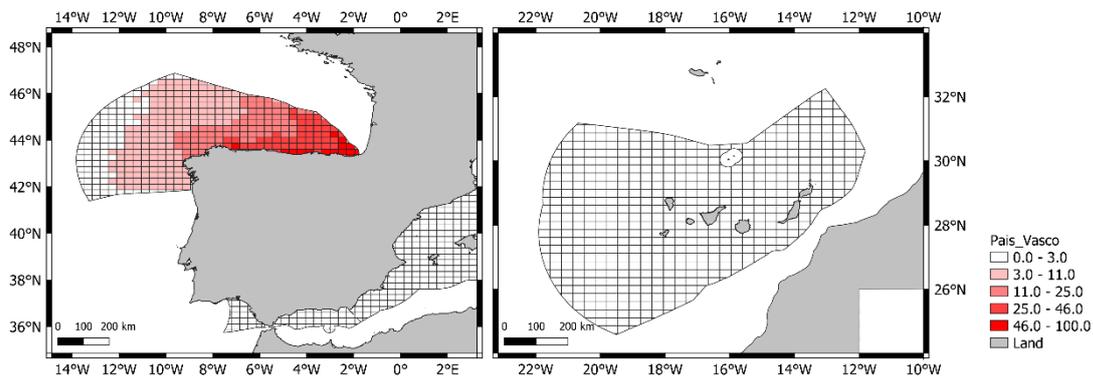


Anexo 5: Zonas de acumulación: emisiones por fuentes marítimas

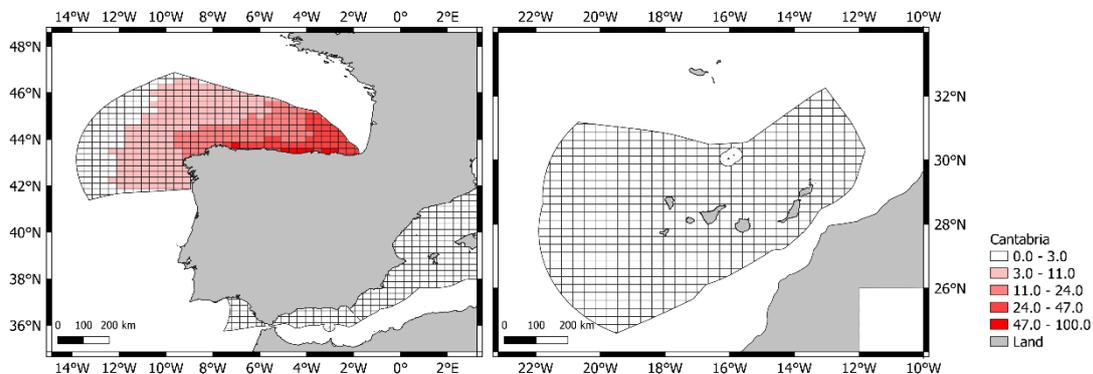
A continuación se presentan los mapas con las zonas de mayor acumulación de partículas de fuentes marítimas en las tres demarcaciones atlánticas (ver la localización de las fuentes en las figuras 3 y 4). Estos mapas muestran una fotografía del destino de las partículas que se han estado emitiendo durante los 7 años considerados en la simulación. Los resultados se muestran como **porcentaje de acumulación** en una determinada zona (la unidad básica de división es una celda de 20 x 30 km). Este porcentaje de acumulación (valores normalizados por el número de partículas acumuladas en la celda con mayor concentración) se ha dividido en distintas categorías (indicadas en la leyenda de cada mapa) aplicando las rupturas naturales de Jenks.

1. Demarcación noratlántica

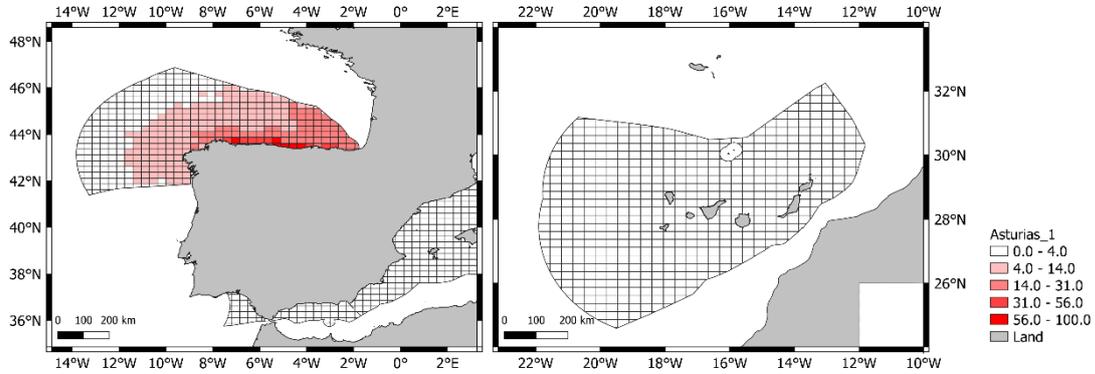
1.1. Zona País Vasco



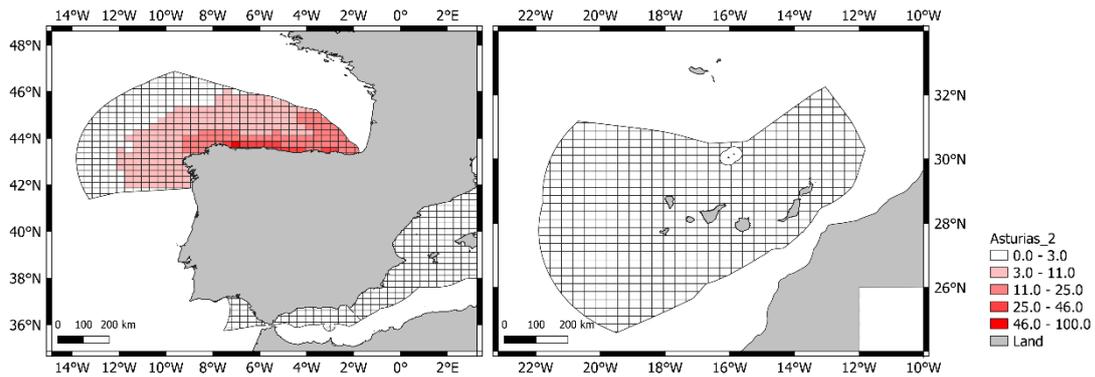
1.2. Zona Cantabria



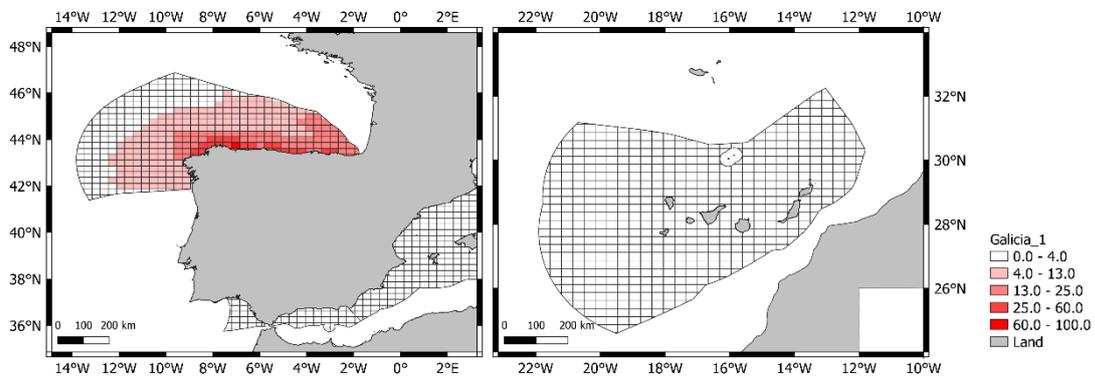
1.3. Zona Asturias 1



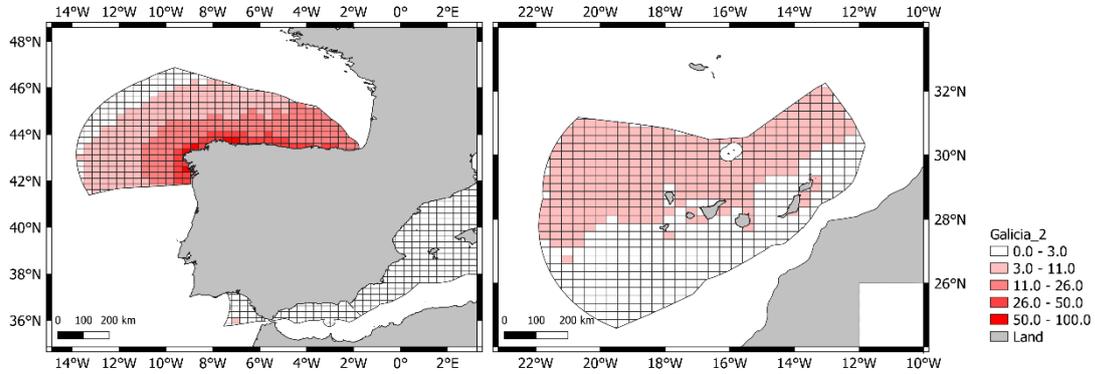
1.4. Zona Asturias 2



1.5. Zona Galicia 1

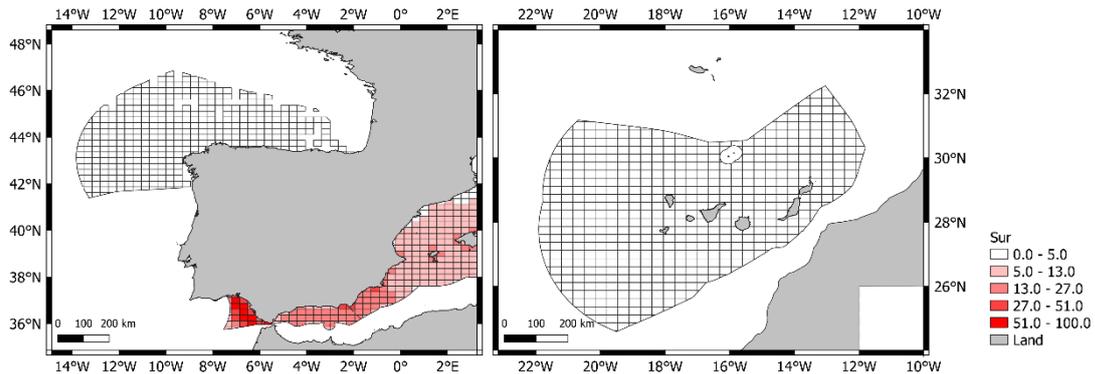


1.6. Zona Galicia 2



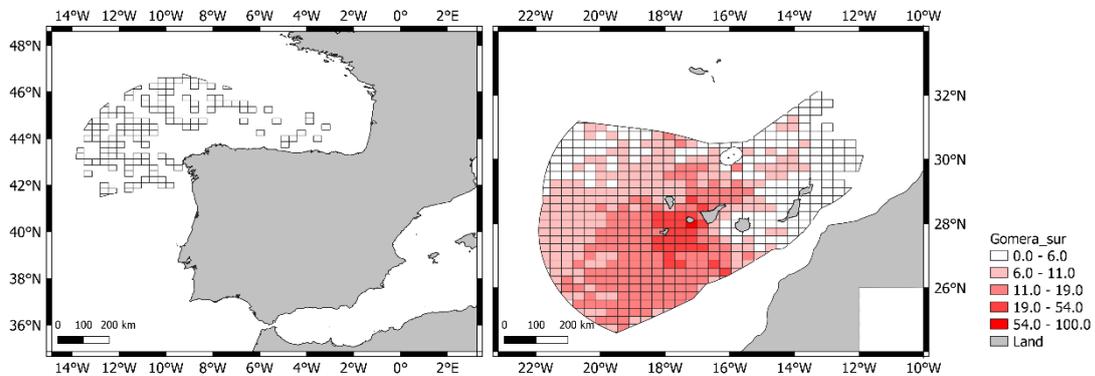
2. Demarcación sudatlántica

2.1. Zona Sur

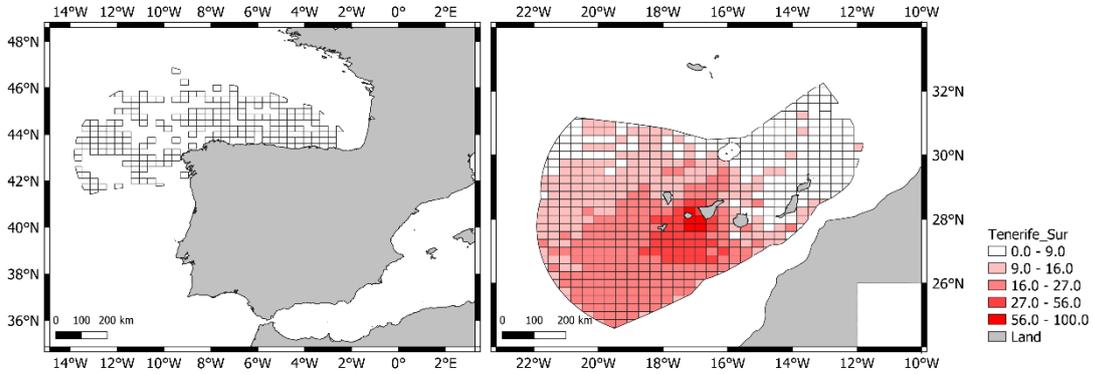


3. Demarcación canaria

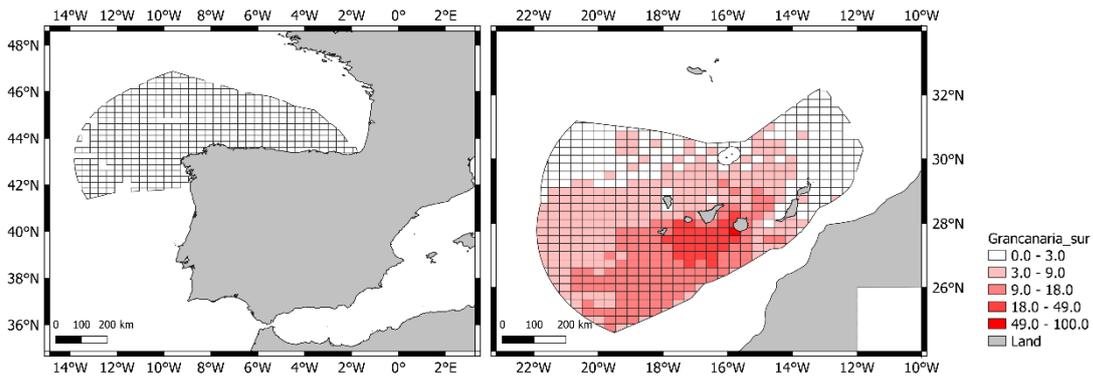
3.1. Zona Gomera Sur



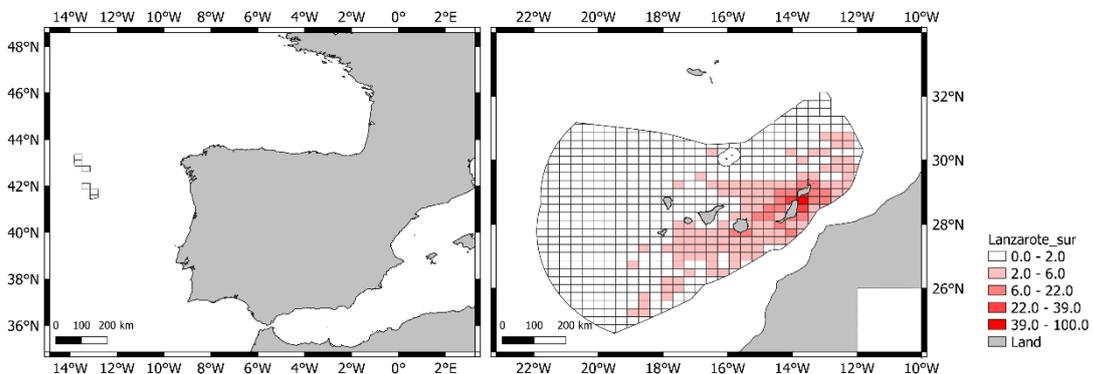
3.2. Zona Tenerife Sur



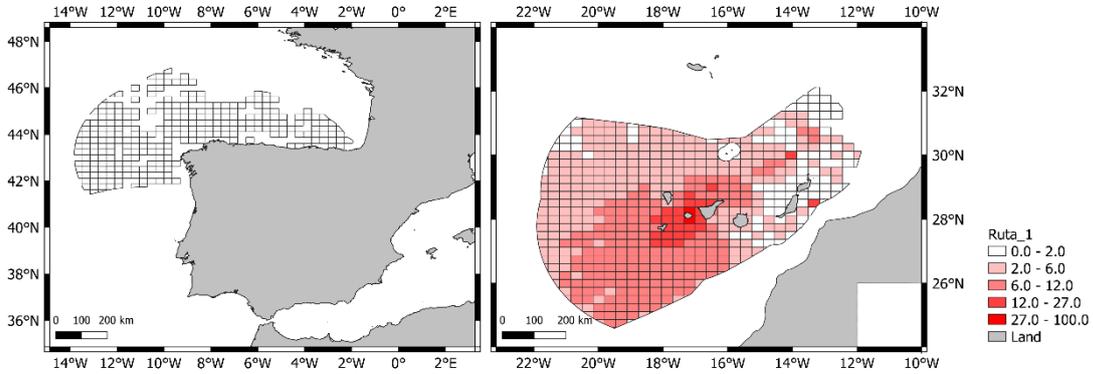
3.3. Zona Gran Canaria Sur



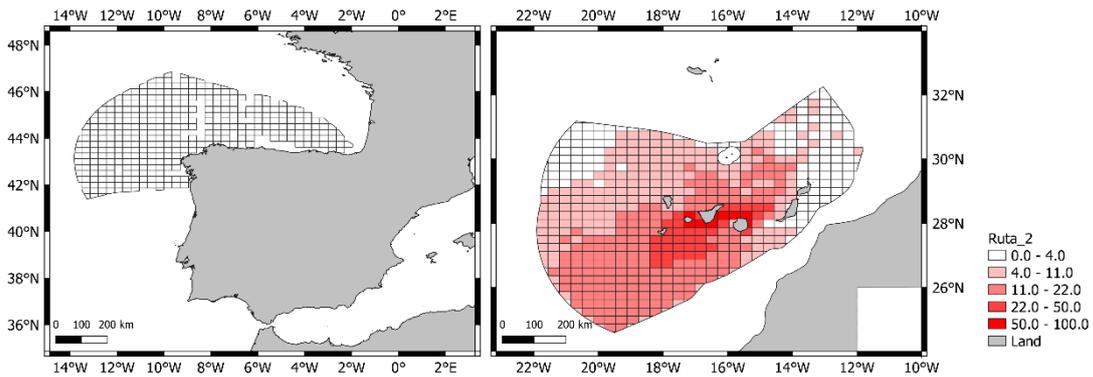
3.4. Zona Lanzarote Sur



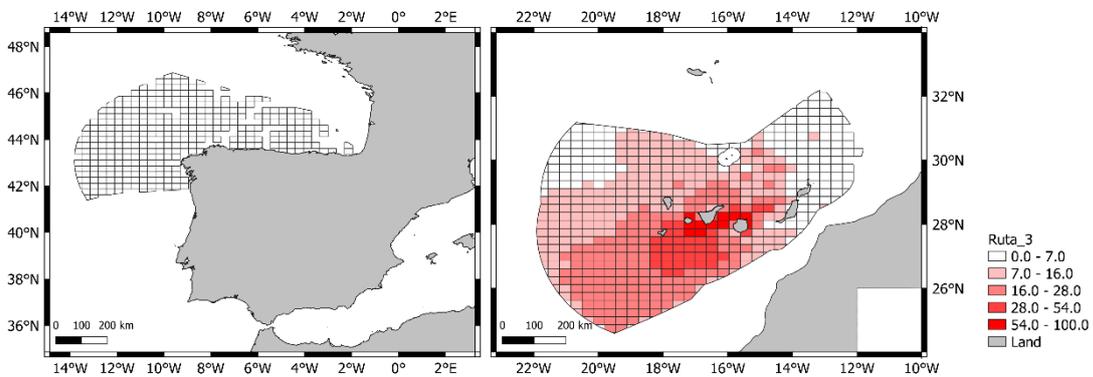
3.5. Zona Ruta 1



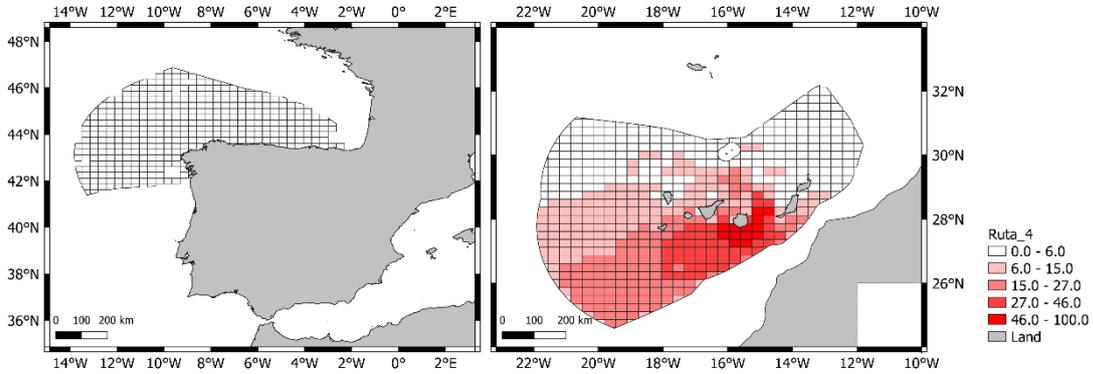
3.6. Zona Ruta 2



3.7. Zona Ruta 3

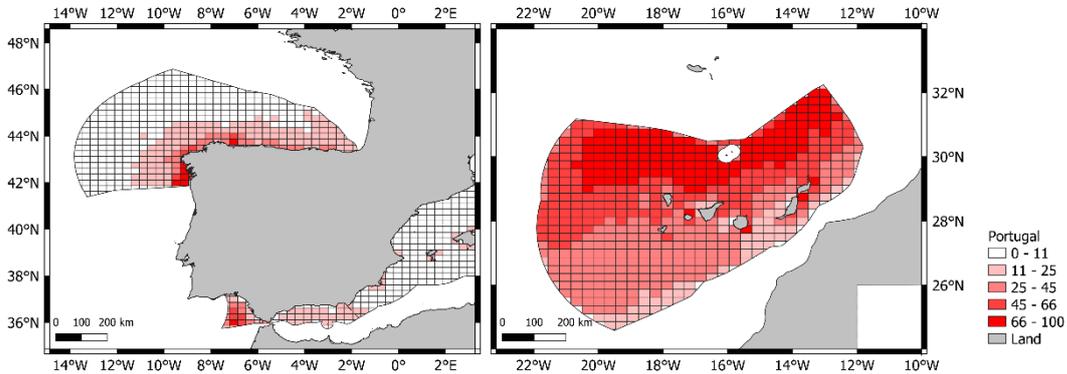


3.8. Zona Ruta 4

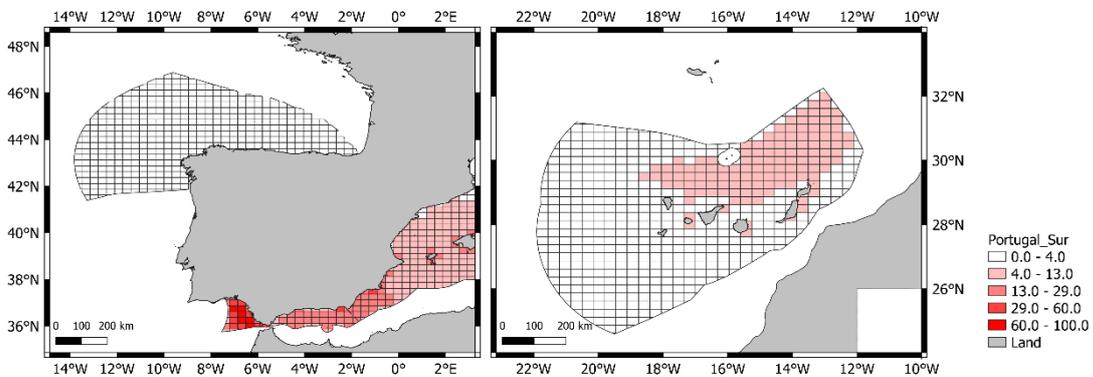


4. Zona Portugal

4.1. Zona Portugal (costa oeste)

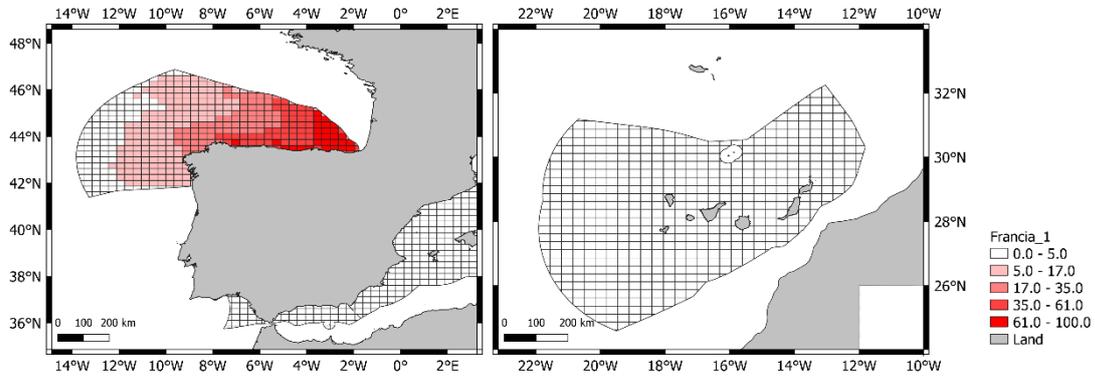


4.2. Zona Portugal Sur

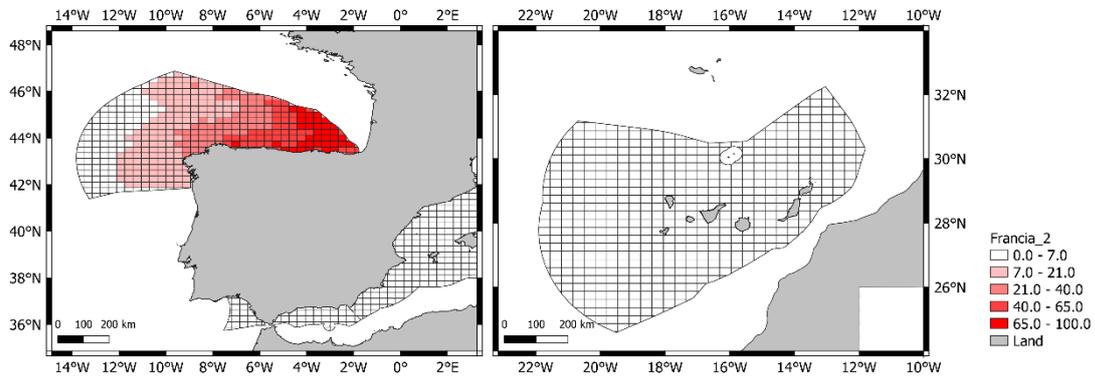


5. Zona Francia

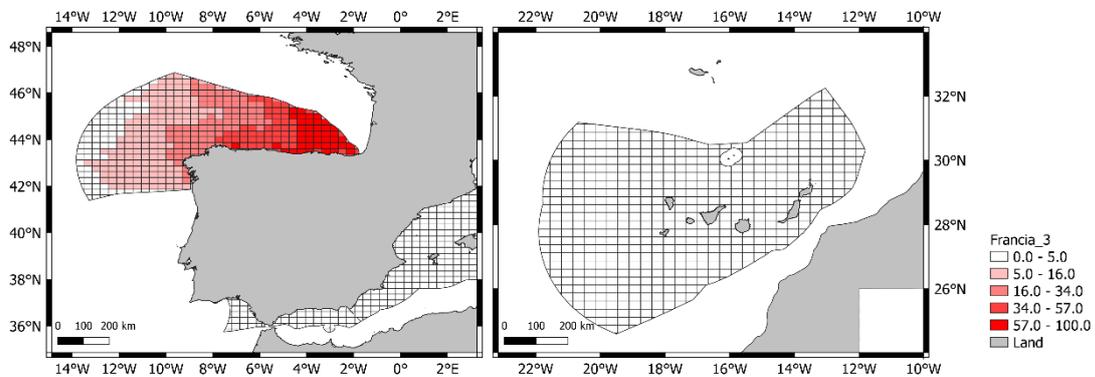
5.1. Zona Francia-1



5.2. Zona Francia-2



5.3. Zona Francia-3



5.4. Zona Francia-4

