CleanAtlantic

Tackling Marine Litter in the Atlantic Area

Análisis de estrategias para la monitorización y evaluación de acúmulos de basura marina en la costa

Action 5.2: Monitoring the presence of ML in the Marine Environment
WP 5: Monitoring and Data Management

Interreg Atlantic Area
European Regional Development Fund
EUROPEAN UNION
Clean Atlantic

WP	5
ACTION	5.2
LAST UPDATED	01/10/2021
VERSION	0.1
AUTHORS	INTECMAR
PARTICIPANTS	INTECMAR

DISCLAIMER

This document covers activities implemented with the financial assistance of the INTERREG Atlantic Area. It only reflects the author´s view, thus the Atlantic Area Programme authorities are not liable for any use that may be made of the information contained therein.

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES 4
2. OBJETIVO 5
3. METODOLOGÍA 5
4. ENTORNO DE ESTUDIO 6
5. ESTRATEGIAS DE MUESTREO DIRECTO 8
5.1. MUESTREO DE OBJETOS ESPECÍFICOS (INDICADORES) 10
5.1.1 Campañas de muestreo 12
5.1.2 Resultados 13
5.1.3 Conclusiones 15
5.2. MUESTREO SISTEMÁTICO DE LAS ZONAS DE ACUMULACIÓN (ACÚMULOS) 16
5.2.1 Campañas de muestreo 17
5.2.2 Resultados 18
5.2.3 Conclusiones 20
6. ESTRATEGIAS DE MUESTREO INDIRECTO 20
6.1. DRONES 20
6.1.1 Campañas de vuelo 21
6.1.2 Obtención de los datos 22
6.1.3 Procesado de las imágenes 23
6.1.4 Resultados 24
6.1.5 Conclusiones 26
6.2. RADAR HF 26
6.2.1 Funcionamiento de los radares HF 27
6.2.2 Aplicación de los radares HF en la localización de la basura marina 27
7. CONCLUSIONES 29
8. REFERENCIAS 30
9. ANEXOS 31
9.1. ANEXO I 31
9.2. ANEXO II 34
9.3. ANEXO III 36
9.4. ANEXO IV 37

Interreg Atlantic Area
European Regional Development Fund
Clean Atlantic

ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS PARA LA MONITORIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE ACÚMULOS DE BASURA MARINA EN LA COSTA

1. ANTECEDENTES

La basura marina ha sido definida por la ONU Medio ambiente como "*cualquier material sólido, persistente, fabricado o procesado que se descargue, evacue o abandone en el medio marino y costero. La basura marina consiste en artículos que han sido fabricados o usados por las personas y que son deliberadamente desechados en los ríos, mares y playas; arrastrados de forma indirecta a través de ríos, aguas sucias, aguas torrenciales o vientos; perdidos, incluido el material perdido en el mar debido al mal tiempo (artes de pesca, carga) o deliberadamente dejado por personas en las playas y las costas*").

La basura marina representa un enorme problema en nuestros océanos, costas y en consecuencia, un grave deterioro medioambiental, efectos sobre la salud y grandes pérdidas económicas de aquellos sectores relacionados con el medio marino.

La Unión Europea, consciente de esta problemática, incluye en su Directiva Marco sobre la Estrategia Marina (MSFD) como uno de los descriptores cualitativos para determinar el buen estado medioambiental "*Las propiedades y las cantidades de deshechos marinos no resulten nocivos para el medio litoral y el medio marino*". Las evaluaciones periódicas del estado del medio marino, el monitoreo y la formulación de objetivos ambientales se perciben como parte del proceso de gestión adaptativa dentro de la MSFD y dentro de los Planes de Acción de la Convención Marítima Regional (RSC), y se ha convertido en una preocupación importante para las Áreas Marinas Protegidas (AMPs).

El proyecto europeo CleanAtlantic tiene como objetivo proteger la biodiversidad y los servicios del ecosistema mejorando las capacidades para prevenir, monitorizar y eliminar la basura marina en el Espacio Atlántico a través de la cooperación regional y contribuir a aumentar la sensibilización entre actores marítimos y a mejorar los sistemas de gestión.

Entre sus objetivos específicos CleanAtlantic pretende proporcionar protocolos, herramientas e indicadores para garantizar una monitorización adecuada de la basura marina. El presente estudio se centra en el caso concreto del litoral marino dónde existen zonas que, debido a su posición geográfica y a las condiciones océano-meteorológicas que soportan, tienden a acumular deshechos flotantes de forma habitual. La evaluación de diferentes estrategias de detección de estas zonas de acumulación puede ser de utilidad para los gestores con el fin de poder minimizar los esfuerzos a la hora de planificar la limpieza y recogida de basura marina.

2. OBJETIVO

Teniendo en cuenta que, una inspección exhaustiva de todo el litoral implica un ingente esfuerzo difícilmente asumible por las administraciones, el presente estudio tiene por objetivo analizar distintas estrategias para la localización de zonas de acumulación de basura marina que puedan incorporarse en protocolos de monitoreo, limpieza y recogida.

3. METODOLOGÍA

Existen diferentes razones por las que una zona litoral puede acumular basura marina como es su proximidad a fuentes de basura (poblaciones cercanas, desembocaduras de ríos, etc.), su exposición a condiciones océano meteorológicas específicas (exposición a vientos y/o corrientes predominantes, etc.) u otras. El cartografiado de estas zonas puede ser abordado a través de diferentes métodos. En el presente estudio se han evaluado dos grupos de estrategias, una estrategia centrada en muestreos directos tradicionales y otra estrategia centrada en la aplicación de tecnologías modernas que de manera indirecta pueden emplearse en la detección de zonas de acumulación.

En el primer caso, se han analizado dos tipos de muestreo directo:

- **muestreo a través de indicadores**: los indicadores, junto con otras medidas y aproximaciones (por ejemplo, corrientes oceanográficas, datos socioeconómicos), se pueden utilizar para detectar tanto la presencia de basura marina en un hábitat determinado (exposición), como para evaluar las tendencias espaciales y temporales de acumulación (sumideros). En este caso, como se explicará más adelante, se seleccionó un objeto plástico relacionado con la acuicultura como son los palillos de las bateas de mejillón como indicador de zonas de acumulación. Además, considerando las ventajas que puede aportar la implicación de la ciudadanía para el muestreo de grandes áreas, se ha llevado a cabo esta evaluación en colaboración con estudiantes de secundaria.

- **caracterización sistemática de zonas de acumulación de basura marina (en adelante, acúmulos)**: mediante esta estrategia se busca realizar una clasificación sistemática, objetiva y homogénea de los acúmulos encontrados en las playas. Para ello, teniendo en cuenta las similitudes que existen entre un evento de contaminación marina accidental (vertido de hidrocarburo u otra sustancia nociva potencialmente peligrosa) y la llegada de basura marina a la costa como otro tipo de contaminación habitual, se ha desarrollado una metodología que adapta la técnica de evaluación de afectación de la costa (SCAT) utilizada habitualmente en los casos de contaminación por hidrocarburos, para el muestreo de basura o elementos de arribazón y. En este caso, los muestreos fueron realizados por personal específicamente entrenado para la búsqueda de zonas de acumulación de basura en el litoral.

En el segundo caso, se han analizado dos tipos de tecnologías para la localización de zonas de acúmulo:

- **vehículos aéreos no tripulados (drones):** la utilización de drones se muestra como una tecnología que permite el reconocimiento de zonas de difícil acceso, además, en los últimos años, su empleo para la detección de objetos ha sido desarrollada también en el campo de la basura marina. Teniendo en cuenta las ventajas que pueden ofrecer estos dispositivos, se llevó a cabo un estudio sobre su efectividad para la localización no dirigida a objetos concretos, sino a zonas de acumulación de basura en el litoral relacionada con patrones océano meteorológicos concretos.

- **radares HF:** La tecnología radar de alta frecuencia, permite conocer en tiempo real las corrientes superficiales marinas. El movimiento de los objetos flotantes, como es el caso de parte de la basura marina, se ve influenciada en gran medida por dichas corrientes. A fin de conocer si esta tecnología puede facilitar el conocimiento de dónde es más factible que se acumule la basura en las zonas costeras, se valoró el uso de los datos de corrientes superficiales, obtenidos por los radares HF para conocer posibles desplazamientos de basura marina en las zonas costeras.

4. ENTORNO DE ESTUDIO

El presente estudio se desarrolló en Galicia (NO de España), que cuenta con una costa cuya longitud es de 2.555 kilómetros que se componen de 1.659 kilómetros de perímetro costero, 432 kilómetros de islas y 464 kilómetros de marismas. Geográficamente, una de las peculiaridades de Galicia es la presencia de rías, indentaciones en la costa en las que el mar anegó valles fluviales por descenso del nivel terrestre (ascenso relativo del nivel marino). Las rías tienen gran importancia pesquera, contribuyendo a que la costa gallega sea una de las zonas pesqueras y marisqueras más importantes del mundo. Además, la mayoría de la población vive en el entorno de las rías atlánticas, donde se encuentran los mayores núcleos urbanos y sus áreas de influencia. Las rías están tradicionalmente divididas en Rías Altas y Rías Baixas, según su posición respecto a Finisterre como punto más occidental de Galicia.

La más extensa de las cuatro Rías Baixas y la de mayor importancia socioeconómica, es la Ría de Arousa razón por la que ha sido escogida como escenario para el presente estudio (ver Figura 1).

Características océano-meteorológicas de la Ría de Arousa

La Ría de Arousa abarca 33.1 km de largo, una superficie de 2.39 x 108 m^2 y un volumen medio de 4.8 x 109 m^3. Su orientación general es EN-S. El ancho de la ría va desde 4 km en la parte más estrecha a los 15 km en la parte más ancha. La Ría de Arousa, no sólo es la más grande sino también la más profunda, alcanzando más de 67 m en su zona central.

Figura 1. Vista área de la Ría de Arousa

La oscilación media del nivel del mar es de alrededor de 3 m, tratándose por tanto de un estuario mesomareal (entre 2 e 4 m de rango de marea). Este rango mareal oscila entre los 3 m en mareas vivas y 1.5 m durante las mareas muertas. Estas variaciones de la altura del nivel del mar dan lugar a movimientos cíclicos de entrada y salida de agua, denominados corrientes de marea, que pueden llegar a ser de gran intensidad.

Por otro lado, si se considera la Ría de Arousa como un estuario parcialmente mezclado y promediando las corrientes durante varios ciclos de marea, la circulación residual obtenida es positiva en dos capas: una corriente de entrada de agua salada por el fondo desde el océano y una corriente de salida de agua salobre por superficie. En la Ría de Arousa existen también varias fuentes de estratificación: los aportes de agua dulce, el flujo de calor a través de la interfaz atmósfera-ría y los intercambios de agua que se establecen entre la plataforma y la ría. Todas ellas dan lugar a gradientes de densidad longitudinal, que actúan como motores de la circulación positiva descrita.

Existe también una gran influencia de los vientos en la variabilidad de la circulación residual tanto en la plataforma como en la Ría, pudiéndose provocar tres escenarios diferentes: circulación positiva reforzada cuando dominan vientos de componente norte, situación de relajación en períodos de transición con una circulación positiva muy lenta mantenida durante días y circulación inversa o negativa favorecida por los vientos del Sur.

En resumen, la Ría de Arousa se comporta como una extensión de la plataforma continental, respondiendo de forma directa al viento costero. Su configuración física permite, además, una elevada producción de fitoplancton, con un flujo marino característico, que hace que esta ría sea famosa por su riqueza marina.

Fuentes de basura marina en el área de estudio

Las principales fuentes de basura marina que cabe suponer en la Ría de Arousa son:

- Basura proveniente de la fachada atlántica y que entra arrastrada en los flujos de agua proveniente de la plataforma
- Núcleos de población asentados en la zona litoral. Entre las que destacan las poblaciones ribereñas más importantes de la Ría de Arousa (Ribeira, Pobra do Caramiñal, Boiro y Rianxo por el norte y Vilagarcía de Arousa, Vilanova de Arousa, Cambados y O Grove por el sur, y Arousa en la isla homónima), que suman entre todas ellas una población de 143.193 habitantes (2019).
- Aporte arrastrado por los ríos que desembocan en la Ría entre los que cabe destacar en su parte más interna el río Ulla, uno de los más caudalosos que desembocan en las Rías Bajas de Galicia con un caudal medio de 78.8 m^{3s-1}. Además de este río, hay que tener en cuenta el río Umia, que desemboca en la parte sur de la Ría con un caudal de 13.4 m^{3s-1}.
- Basura proveniente de las actividades relacionadas con el aprovechamiento uso y disfrute de la Ría. En ella tiene lugar una gran actividad acuicultora y marisquera con 20 polígonos que cuentan con más de 2000 bateas, dedicadas fundamentalmente al cultivo de mejillón, 4 zonas de parques de cultivo de diferentes bivalvos, depuradoras de moluscos y granjas marinas de cultivo de peces. En este sentido, tal y como se menciona más adelante, el elemento utilizado como indicador en una de las estrategias evaluadas en este estudio, proviene del cultivo de mejillón (palillo de batea) por ser ésta la actividad económica de mayor relevancia en la zona. Esta Ría acoge también una importante actividad pesquera y numerosas actividades náuticas de recreo. Asimismo, el tráfico marítimo que soporta esta zona es relevante, con especial importancia el tránsito de buques relacionados con la actividad del puerto de interés general del estado de Vilagarcía de Arousa.

5. ESTRATEGIAS DE MUESTREO DIRECTO

Tal y como se menciona en el apartado 2, el principal objetivo de este estudio es la detección de zonas de acumulación de basura marina en el litoral. En este sentido, la evaluación de las estrategias de muestreo directo se enfocó con la intención de responder a las siguientes preguntas.

- ✓ ¿Dónde se está acumulando la basura en el litoral?
- ✓ ¿Hay alguna zona que resalte sobre las demás?

Para obtener las respuestas se definieron los siguientes criterios:

a) Selección de los puntos de muestreo:

Con el fin de detectar las zonas de acumulación de basura marina en el litoral de la Ría de Arousa se diseñó un plan de muestreo en el que, con el objetivo de poder recoger el mayor número posible de situaciones océano-meteorológicas a lo largo de la costa, la mayor parte de los puntos de muestreo se localizaron en la Illa de Arousa, que debido a su carácter insular aseguraba que existiese costa expuesta a todas las vertientes (ver Figura 2A). Esta isla, es la más poblada de las que están habitadas en la ría, con una población en 2019 de 4.926 habitantes y que cuenta con 7 km^2 de superficie.

Por otro lado, en coordinación con el resto de las actividades de concienciación llevadas a cabo en el proyecto y aprovechando la buena disponibilidad del personal del "Instituto de Enseñanza Secundaria Illa de Arousa" presente en la Isla, se enmarcó el estudio en una iniciativa de ciencia ciudadana con estudiantes de secundaria (Ver Anexo I).

Para el estudio en el litoral del resto de la Ría, los puntos de muestreo fueron escogidos en coordinación con los trabajos de modelado numérico desarrollados en el mismo proyecto CleanAtlantic (mapping and modelling marine litter) con la intención de poder hacer una comparación entre los resultados obtenidos a través del muestreo y los obtenidos tras simulaciones numéricas (ver Figura 2B).

Todos estos puntos se localizan en playas que cumplen con las pautas descritas en el programa de seguimiento de las basuras marinas en playas, del Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico del Gobierno de España, es decir:

- ✓ Estar compuestas por arena o grava y expuestas a mar abierto.
- ✓ Ser accesibles a los muestreadores a lo largo de todo el año.
- ✓ Ser accesibles para facilitar la retirada de basura marina.
- ✓ Preferiblemente, no estar sujeta a otras actividades de retirada de basura.

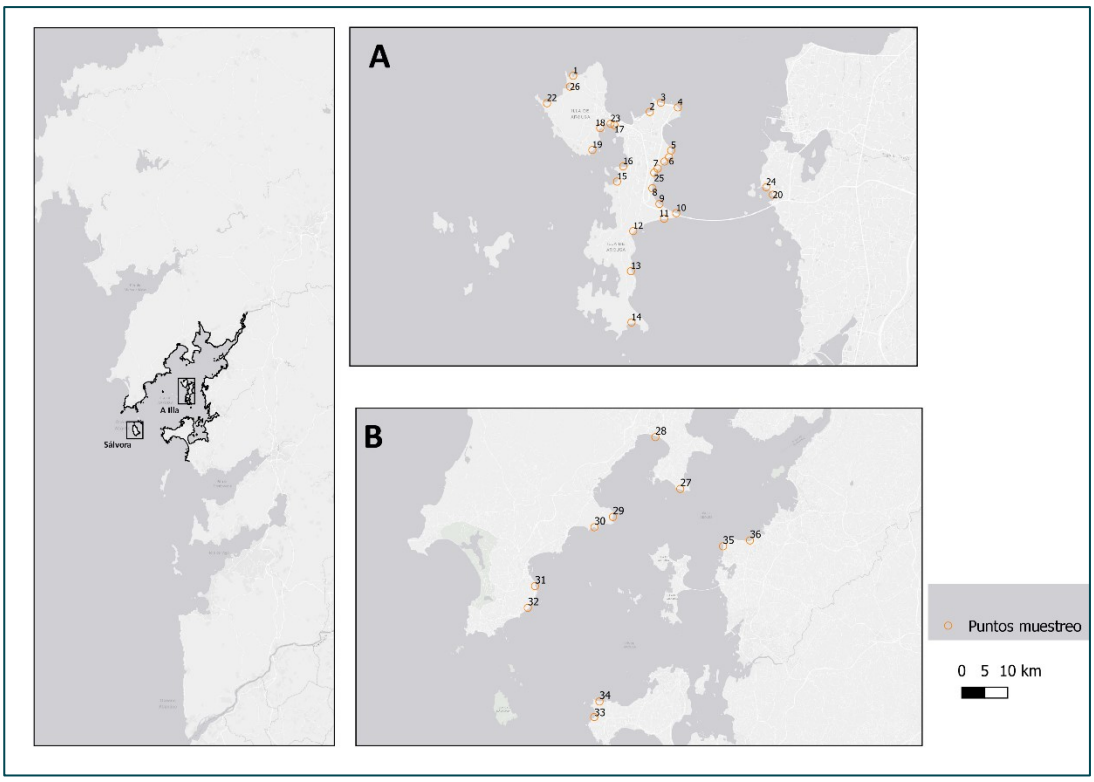


Figura 2. Puntos de muestreo: A) Illa de Arousa, B) Ría de Arousa.

b) Frecuencia de muestreo:

Se determinó una frecuencia de muestreo semanal, donde cada playa fue muestreada siempre por el mismo alumno o muestreador profesional, ya que esto ayuda a homogenizar los datos.

Se recomendó que, en la medida de lo posible, el muestreo se realizase siempre una hora después de la pleamar para evitar que los muestreadores se viesen afectados por la marea entrante.

Durante los muestreos, la seguridad de los muestreadores siempre fue primordial, por tanto, estos se realizaron siempre en horas de luz y se suspendieron en aquellos casos en los que se podía ver comprometida la seguridad (condiciones meteorológicas muy adversas, etc.). Así mismo, se hizo hincapié en que los objetos peligrosos o sospechosos de serlo que se pudieran encontrar en la zona de muestreo, tales como municiones, sustancias químicas y medicamentos, no debían ser manipulados, sino que se debía informar de su existencia a las autoridades responsables.

c) Toma de datos:

Para la recogida de datos se desarrollaron formularios específicos (ver Anexos II y III). Estos formularios fueron diseñados para recopilar la información relativa a las zonas de acumulación de basura varada en la playa. En aquellos casos en los que fue posible, los datos se registraron en un formulario electrónico con la ayuda de *Google forms*. Este formulario contiene los mismos campos que el papel, pero el requerimiento de una buena comunicación telefónica hizo que no siempre fuera posible utilizarlo.

d) Procesado de los datos:

Los datos recogidos durante los muestreos se almacenaron y gestionaron a través de *PostGIS*, software libre y compatible con los estándares de *Open Geospatial Consortium* (OGC), que permite convertir el sistema de base de datos *PostgreSQL* en una base de datos espacial. Este sistema, permite realizar una sencilla

importación y exportación de datos, es rápido, seguro y existe un gran número de clientes GIS de escritorio y servidores de mapas web que pueden trabajar con él. Por ello, se consideró que aportaba una buena solución para el almacenamiento, gestión y mantenimiento de los datos espaciales.

Para la visualización de los datos recogidos en colaboración con los alumnos del IES se desarrolló un visor web (ver Figura 3), que se puede consultar a través del siguiente enlace:
mapas.intecmar.gal/cleanatlanticarousa. Gracias a este visor, tanto los alumnos como todo el personal interesado pudieron consultar, a lo largo del estudio, los datos de los muestreos. Esta herramienta permitió además realizar una labor de concienciación y de difusión del proyecto CleanAtlantic.

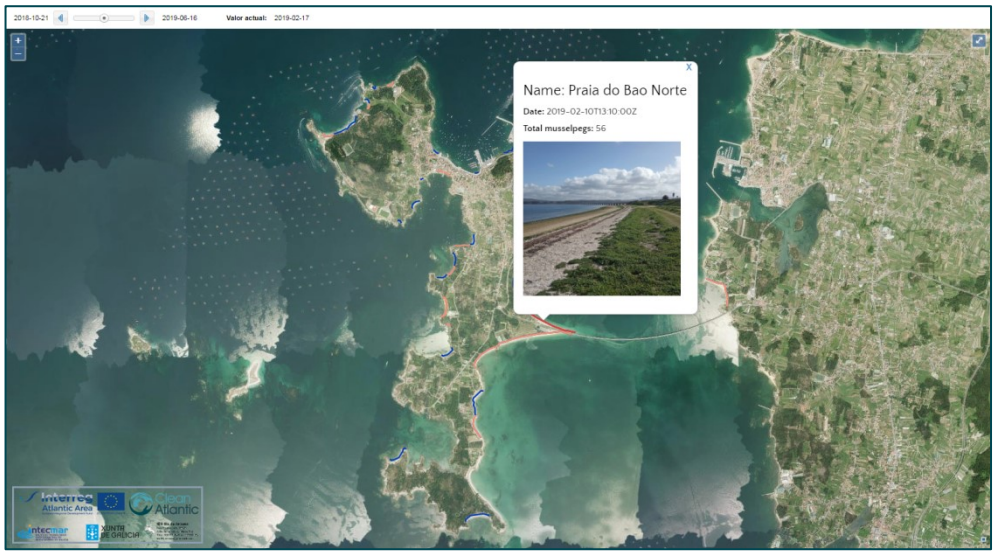


Figura 3. Visor disponible en **mapas.intecmar.gal/cleanatlanticarousa.**

5.1. Muestreo de objetos específicos (indicadores)

Con la intención de obtener un resultado armonizado se decidió realizar el muestreo de objetos que pudieran ser empelados como indicadores de zonas de acumulación. Un indicador proporciona una medida del "estado" del medio ambiente, como, por ejemplo, la abundancia de basura plástica en el océano, empleando datos recopilados mediante el seguimiento en la costa, la superficie del mar, el fondo marino o los compartimentos bióticos.

Tal y como se describe anteriormente, la selección de indicadores, se puede utilizar para detectar la presencia de basura marina en un hábitat determinado (exposición) y las tendencias espaciales y temporales de acumulación (sumideros), así como proporcionar información sobre sus fuentes potenciales o sobre sus impactos posteriores sobre la biodiversidad y los beneficios que la naturaleza brinda a la sociedad.

Una función adicional de los indicadores es la de evaluar la efectividad de las medidas de mitigación. Los indicadores ambientales deben tener las siguientes características (UNEP 2016):

- ✓ Científicamente válido.
- ✓ Fácil de entender por el público y los gestores.
- ✓ Sensible y receptivo al cambio.

- ✓ Económico.

En Galicia, la enorme importancia que tiene la acuicultura de moluscos, fundamentalmente de mejillón, hace que ésta sea la actividad más relevante de la Ría. El mejillón se cultiva en bateas, plataformas flotantes de las que penden cuerdas a las que se fija el mejillón, o en las que en ocasiones se colocan cestos para la cría de otros moluscos, tratándose, por tanto, de cultivos suspendidos que se desarrollan en la columna de agua. Las bateas son agrupadas en polígonos, que son zonas de producción que se sitúan en la lámina de agua (ver Figura 4).

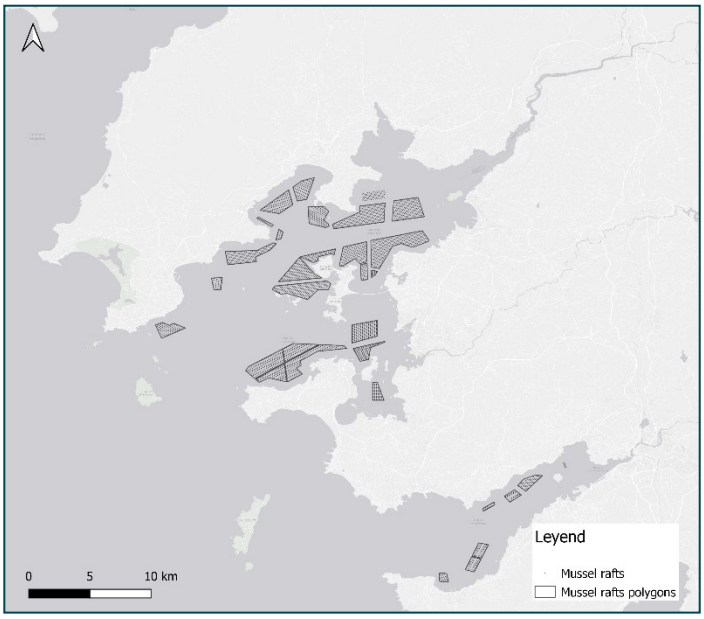


Figura 4. Localización de los polígonos de bateas en la Ría de Arousa.

La batea es un vivero flotante constituido por un entramado de madera de eucalipto, de forma más o menos rectangular, sobre el que se atan las cuerdas de mejillón. La batea se mantiene suspendida mediante un sistema de flotadores.

La mejilla o cría de mejillón se envuelve sobre la cuerda con la ayuda de una fina red biodegradable de rayón, dándole al mejillón el tiempo suficiente para que se fije mediante el biso sobre la cuerda. Tras unos meses, debido al considerable aumento de peso del mejillón, se hace necesario el desdoble de las cuerdas, esto es, la confección de nuevas cuerdas de densidad menor. Cada 30-40 cm de cuerda se sitúan palos de madera (antiguamente) o de plástico (más habituales en la actualidad) entre las hebras de la cuerda para evitar que se desprendan grupos de mejillones. Estos palillos plásticos permiten una mejor sujeción a la cuerda, evita desprendimientos y facilita la fijación del mejillón. Son piezas plásticas de 225 mm de largo x 30 mm ancho (ver Figura 5).

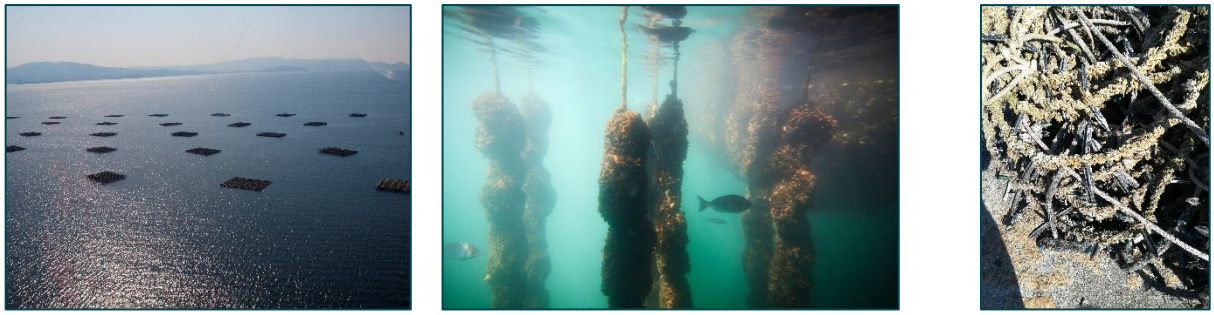


Figura 5. A) imagen de las bateas. B) Vista submarina de las cuerdas. C) Detalle de los palillos en las cuerdas

Las labores de encordado, desdoble y extracción del mejillón, hacen que los palillos de bateas bien enteros, bien partidos, se suelten y accidentalmente caigan al mar convirtiéndose en uno de los tipos de basura marina más habituales en la costa gallega.

Teniendo en cuenta, por un lado, la gran extensión del cultivo, que genera una gran cantidad de estos palillos vertidos al agua y, por otro lado, las características de los mismos (tienen origen conocido, son fáciles de caracterizar, se pueden contar y son de plástico, lo que implica su gran duración temporal) en el presente estudio se decidió utilizarlos como indicadores de basura marina. Para ello, se recogieron y contabilizaron todos los palillos encontrados con el fin de facilitar el estudio de las zonas de acumulación de basura marina.

5.1.1 Campañas de muestreo

Los muestreos realizados para evaluar esta estrategia fueron llevados a cabo en dos campañas:

Illa de Arousa: Realizada entre octubre de 2018 y mayo de 2019, donde se muestrearon, en el marco del proyecto de ciencia ciudadana, los puntos localizados en A Illa de Arousa (Figura 2B, puntos 1-26).

Ría de Arousa: Realizada entre octubre de 2021 – abril 2021, donde se muestrearon los puntos localizados en el litoral de la ría (Figura 2A, puntos 27-36). Estos muestreos fueron realizados por muestreadores profesionales, entrenados para realizar también los muestreos explicados en el siguiente punto.

En cada jornada, los muestreadores recorrieron la playa y recogieron los datos relativos a:

- ✓ Palillos de batea (indicadores). Recogiendo los palillos y anotando en la ficha el número de palillos, tanto enteros como partidos, que se encontraron.
- ✓ Distribución de la basura. Dibujando en la ficha la localización de la basura, y en el caso de encontrar zonas de especial acumulación, cubriendo la información relativa a la composición (agrupados en las siguientes clases: Plástico, metal, madera, textil, goma, restos vegetales, otros) y tamaño (agrupados en tres clases: más de 5m, entre 1 y 5m, y menores de 1m) de cada uno de esos acúmulos.
- ✓ Fotografía. Con la intención de tener un registro de la evolución temporal de cada una de las playas, al inicio de cada jornada se tomó una fotografía, a poder ser siempre desde el mismo punto. Para dar visibilidad al proyecto y que este sirviera de herramienta de concienciacióna través de la red social INSTAGRAM con los hastags: #cleanatlanticwp5, #INTECMAR, #IESAILLADEAROUSA.

5.1.2 Resultados

En la Illa de Arousa se recogieron un total de 9205 palillos de batea, lo que supuso la retirada de 141,245 Kg de plástico del mar (dato estimado a partir de un peso aproximado de 26 g por cada palillo entero). En los muestreos realizados en la Ría el número ascendió a 5428, suponiendo 911,28 kg.

En ambos casos, el número total de palillos recogidos es variable dependiendo de la playa muestreada (ver Figura 6). En el primer caso varía desde 1263 palillos recogidos en la playa 2 (orientada al oeste) hasta los 2 recogidos en la playa 18 (orientada al sur). En los muestreos realizados en la Ría destaca la playa número 27, donde el número de palillos retirados (2125) es muy superior al resto de las playas. En este caso la playa que menos palillos recibe, sólo 10, es la número 29, orientada al este.

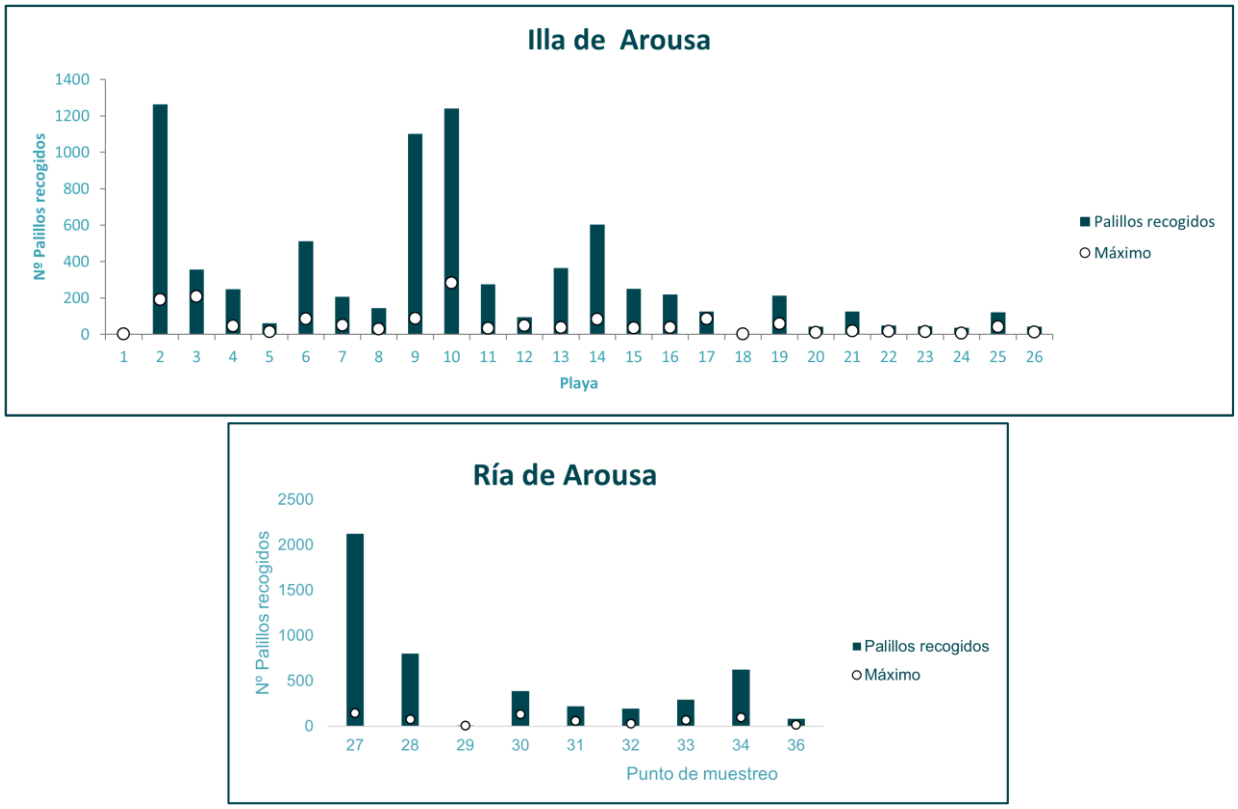


Figura 6. Palillos recogidos en las campañas de A Illa de Arousa y de la Ría de Arousa.

En ambos casos hay playas donde se ve que prácticamente el total de palillos recogidos se corresponden a un aporte puntual en una semana en concreto (valor máximo). Esto sucede por ejemplo en las playas número 3 ,17 y 29.

Estos máximos puntuales se corresponden con situaciones océano-meteorológicas concretas, ante las que esa zona está más expuesta, sin embargo, esto no significa que sea una zona con un claro patrón de acumulación de basura marina (ver Figura 7).

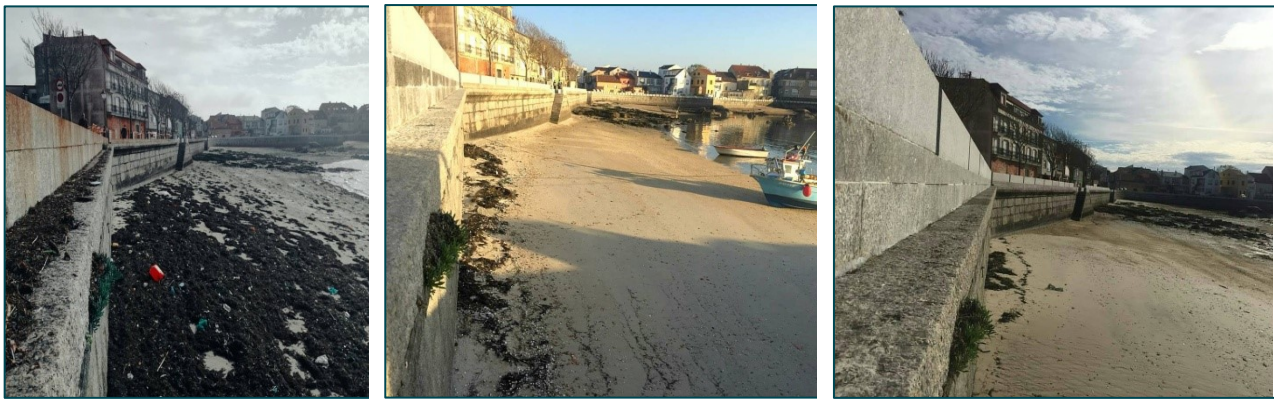


Figura 7. Fotografías tomadas durante los muestreos en la playa número 17 en las que se aprecia un pico de acumulación, que no se repite a lo largo de los muestreos.

Con la intención de revelar cuáles son aquellas playas que están recibiendo basura de manera continuada y no solo eporádicamente, se planteó el cálculo de un umbral de acumulación. El cálculo de este umbral se realiza a través del percentil 80. Este umbral es calculado para cada una de las semanas, y aquellas playas que lo superen, se marcan como zonas de acumulación.

De esta forma se seleccionan las playas con mayor acumulación de basura en cada semana de muestreo. Analizando cuántas veces aparece repetida cada playa entre los máximos semanales se determina si la playa es una zona de acumulación o no.

Se establecieron los siguientes niveles:

Nivel de acumulación	% veces que supera el umbral (P80)
Muy bajo	Menos del 3%
Bajo	Entre el 3 y el 10%
Intermedio	Entre el 10 y el 16%
Alto	Entre el 16% y el 45%
Muy alto	Más del 45%

La Figura 8 muestra el nivel de acumulación que presenta cada una de las playas.

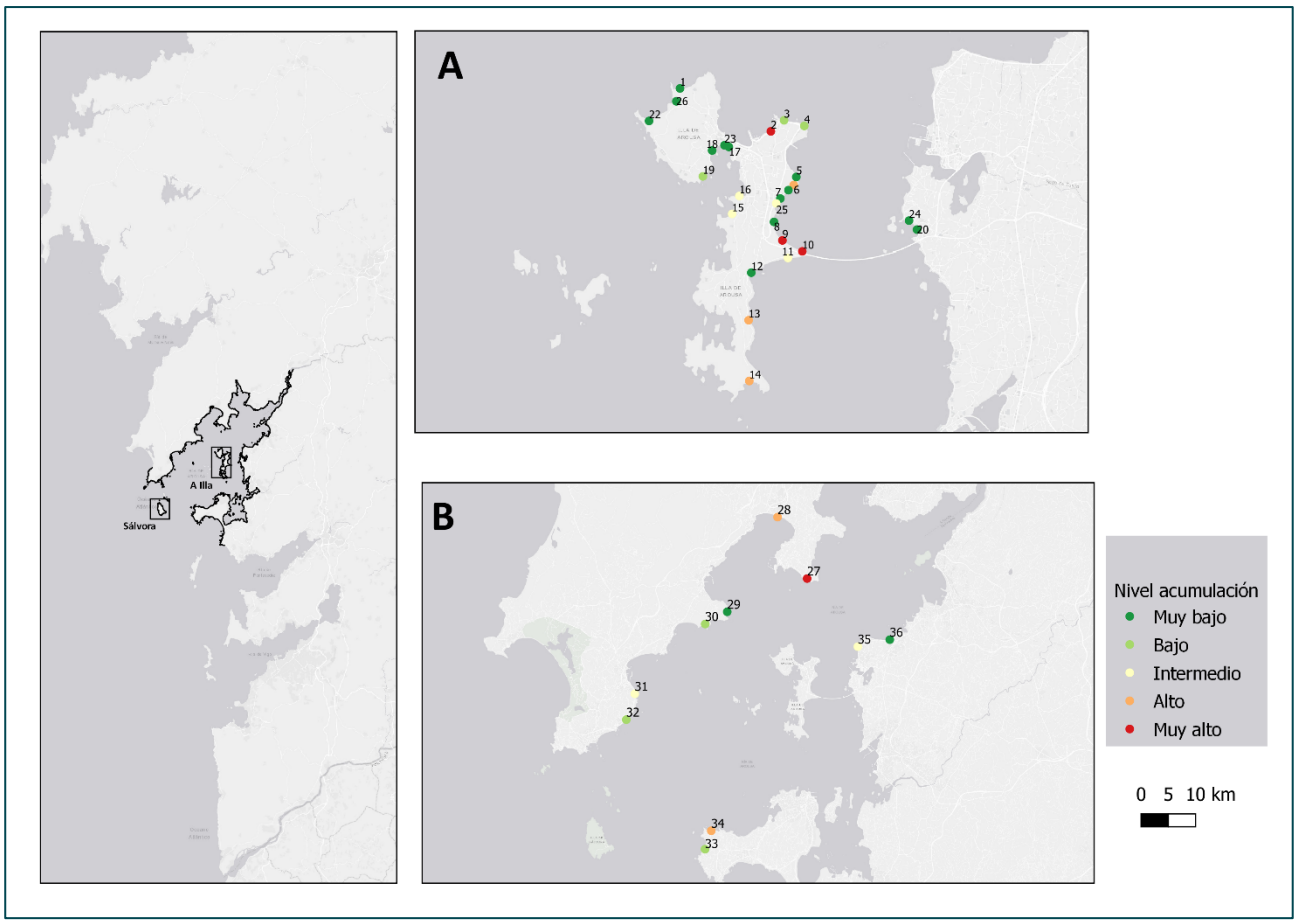


Figura 8. Nivel de acumulación en: A) A Illa de Arousa, B) Ría de Arousa.

En A Illa destacan las playas número 2, 9 y 10 con niveles de acumulación muy alto (marcadas en rojo) y las playas número 6, 13 y 14 con niveles de acumulación alto marcados en naranja.

En el caso de A Ría de Arousa, destacan en los niveles más altos las playas número 27 y 28 (ambas orientadas al sur) y la playa número 34 (orientada al norte). Esta playa no destacaba entre las que mayor número de palillos recibe, sin embargo, sí lo hace al atender al número de veces que supera el umbral de acumulación, esto sucede porque la llegada de palillos a esta playa se produce de manera constante y no en un máximo puntual.

5.1.3 Conclusiones

Tanto en el caso de A Illa de Arousa como en el caso del litoral de la Ría de Arousa se han podido revelar varias zonas donde su acumulación de basura (tomando como indicador los palillos de batea) resalta sobre las demás, por lo tanto, estas zonas podrían tomarse en consideración a la hora de diseñar las estrategias de limpieza.

Gracias a la intensidad del muestreo se han obtenido un gran número de fotografías donde se puede observar la evolución temporal de las distintas playas. A través de las fotografías se puede ver cómo hay momentos donde una playa está completamente limpia y otras donde la playa presenta gran acumulación tanto de basura como de algas. Esto, como es ya conocido, muestra que las condiciones océano-meteorológicas son

claves para localizar áreas potenciales de acumulación de basura marina por lo que se recomienda que sean tenidas en cuenta para definir los días de muestreo.

Las fotografías tienen, además, un gran valor ya que podrán servir de base para realizar otros estudios de zonas de acumulación basados en técnicas de análisis de imagen tal y como se ha hecho en el caso de las imágenes tomadas con los drones.

Uno de los éxitos de esta acción ha sido, sin duda, el poder acercar a los adolescentes al mundo de la ciencia impulsando a su vez la importancia de cuidar los ecosistemas marinos y la lucha contra la contaminación. Por otro lado, la repercusión de este trabajo en la prensa local ha servido para continuar concienciando sobre la importancia del cuidado y conservación del mar en la línea de otras actividades que se han desarrollado en el marco del proyecto CleanAtlantic.

5.2. Muestreo sistemático de las zonas de acumulación (acúmulos)

En este caso se buscaba realizar una clasificación sistemática, objetiva y homogénea de los acúmulos encontrados en las playas.

Para ello nos fijamos en cómo los expertos en dar respuesta los derrames de petróleo o sustancias químicas llevan a cabo el muestreo sistemático de afectación costera, ya que ambos eventos (la llegada de hidrocarburos y la llegada de basura marina) tienen grandes similitudes.

Siguiendo esta filosofía, se desarrolló una metodología que adapta al muestreo de basura o elementos de arribazón, la técnica de evaluación de afectación de las costas (Shoreline Cleanup and Assessment Technique).

Esta técnica fue desarrollada en 1989 durante la respuesta al derrame de petróleo del Exxon Valdez cuando, ante la gran cantidad de costa afectada, surgió la necesidad de documentar de manera sistemática los diferentes impactos del derrame a lo largo de la costa.

La técnica SCAT utiliza terminología estandarizada para documentar las condiciones de contaminación de la costa. Los equipos SCAT incluyen personas entrenadas en las técnicas, procedimientos y terminología de la evaluación de la costa y se utilizan formularios de campo para la recogida de los datos

Para más information consular la web Shoreline Cleanup and Assessment Technique (SCAT) | response.restoration.noaa.gov

En este caso, tomando como inspiración la clasificación realizada en la técnica SCAT para el estudio de los aportes de hidrocarburos durante los vertidos accidentales, se realizó una categorización de los posibles acúmulos de basura. Esta categorización se basa en una matriz de triple entrada que tiene en cuenta el ancho de los acúmulos, su espesor y su cobertura. Así, los acúmulos se clasifican según:

- ✓ Ancho (en dirección perpendicular a la playa):
  - Ancho: *más de 6 m*
  - Medio: *Medio: > 3 - 6 m*
  - Estrecho: Estrecho: *> 0,5 - 3 m*
  - Muy estrecho: *< 0,5 m*
- ✓ Espesor:
  - Muy gruesos: *> 10cm*

- Gruesos: *> 5 - 10cm*
- Medios: *> 1 - 5 cm*
- Finos: *<0,5 - 1 cm*

✓ Cobertura:

- Continuas: *91-100%*
- Fragmentadas: *51-90%*
- Discontinuas: *11-50%*
- Esporádicas *1-10%*
- Aislado <1%

Una vez que cada acúmulo ha sido clasificado en base a estos tres criterios, se midió la longitud del tramo afectado por el acúmulo. Esto permite, por un lado, obtener una estimación del volumen medio (m^3) de cada uno de los acúmulos y por otro, una descripción de éstos en base a cinco niveles: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.

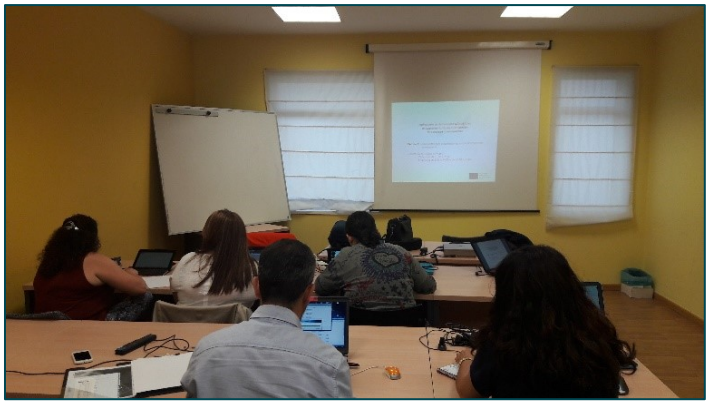
5.2.1 Campañas de muestreo

Los muestreos realizados para evaluar esta estrategia fueron llevados a cabo en una campaña donde se muestrearon los puntos localizados en el litoral de la Ría de Arousa (Figura 2B puntos 27-36).

Los muestreos se realizaron con la colaboración de 5 técnicos expertos en muestreos costeros que habitualmente realizan tanto trabajos de muestreos en las playas seleccionadas, como trabajos de asesoramiento al sector marisquero en el marco de sus funciones cotidianas.

Antes de comenzar con los muestreos, dentro del marco del proyecto CleanAtlantic, se realizó una actividad formativa (ver Figura 9ª) durante la cual el personal fue específicamente entrenado para la búsqueda de zonas de acúmulos de elementos de arribazón en el litoral, con la intención por un lado, de asegurar la homogeneidad en los muestreos realizados y por otro lado, garantizar la calidad de los datos generados con el fin de poder ser usados para la validación de los resultados obtenidos en otro de los estudios llevado a cabo en el proyecto y que está enfocado en el empleo del modelado numérico para el conocimiento del movimiento y acumulación de la basura marina (ver resultados del paquete de trabajo nº6 del proyecto).

Durante esta actividad formativa resultaron de gran utilidad las fotografías tomadas durante los muestreos realizados por los alumnos en el caso descrito en el punto 5.1 llevado a cabo en A Illa de Arousa, ya que sirvieron de guía visual para el entrenamiento del personal.



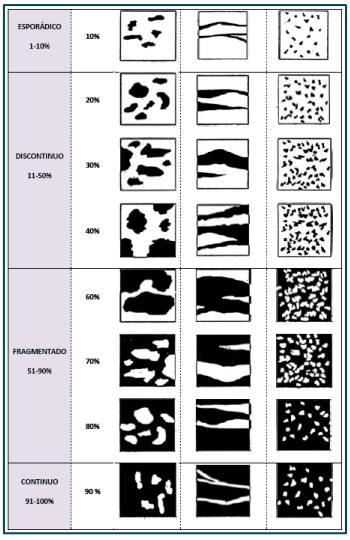


Figura 9. A) Acto formativo con los técnicos B) Planilla SCAT

A lo largo de cada muestreo se tomaron los siguientes datos relativos a los acúmulos:

- ✓ Ancho: Se realizaron varias medidas representativas del ancho del acúmulo en dirección perpendicular a la playa y se calculó la media de todas. En el caso en que el acúmulo no fuese continuo se tuvieron en cuenta los extremos de los diferentes grupos que constituyen la acumulación.
- ✓ Espesor: Se tuvo en cuenta el espesor medio de varias medidas representativas.
- ✓ Cobertura del sedimento de la playa. Para ayudar en la determinación de la cobertura se empleó una planilla de cobertura obtenida de la técnica SCAT (Figura 9B).
- ✓ Longitud: medida de la longitud del acúmulo.
- ✓ Composición (Plástico, metal, madera, textil, goma, restos vegetales, otros).
- ✓ Foto: Se toma una foto de cada uno de los acúmulos que pueda servir para resolver dudas y para futuras acciones, tanto de análisis, de concienciación o como divulgación.

5.2.2 Resultados

Con la intención de poder realizar comparaciones entre los resultados obtenidos en este caso con los que se han obtenido tras los muestreos del punto 5.1, los resultados se trataron de igual manera. Así se calculó el volumen total de acumulación en cada playa y el pico máximo de estas acumulaciones.

Al igual que sucedía con los palillos de batea, el volumen de acúmulos varía de manera importante de una playa a otra siendo la playa número 27, orientada hacia el sur, la que más volumen de acumulación alcanza y la playa número 31 orientada al este la que menos recibe (ver Figura 10).

Atendiendo al máximo estimado en cada playa, destacan la playa número 33, orientada al oeste, donde el 68% del volumen de las acumulaciones se recibieron en una semana. Lo contrario sucede con la playa de 36 o 27 donde el pico máximo supone un porcentaje inferior al 12% del volumen total.

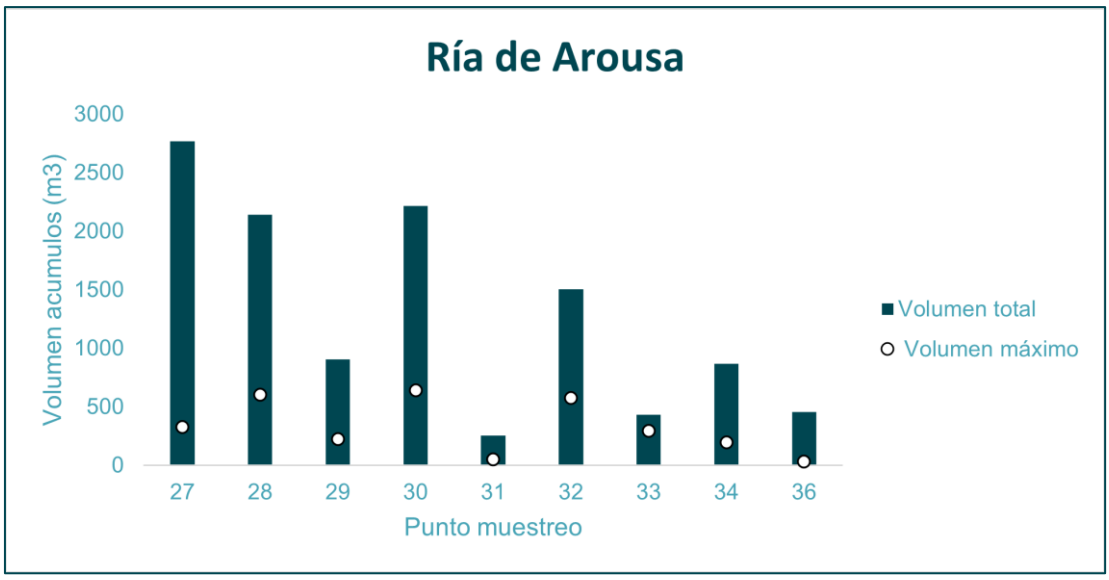


Figura 10. Volumen de acúmulos recogidos

Al igual que en el caso anterior el resultado del nivel de acumulación, basado en el número de veces que cada playa supera el percentil 80, se representa en el siguiente mapa donde destacan las playas número 27 y 28 (ambas orientadas al sur) y la playa número 34 (orientada al norte) con niveles de acumulación alto y muy alto. Cabe destacar que la playa número 34, que, en el caso del volumen total de acumulación, ocupa la posición número 6, sin embargo, pese a no llegar a alcanzar un volumen muy grande de acumulaciones sí que se encuentra recibiendo pequeños acúmulos de manera continuada (ver Figura 11).

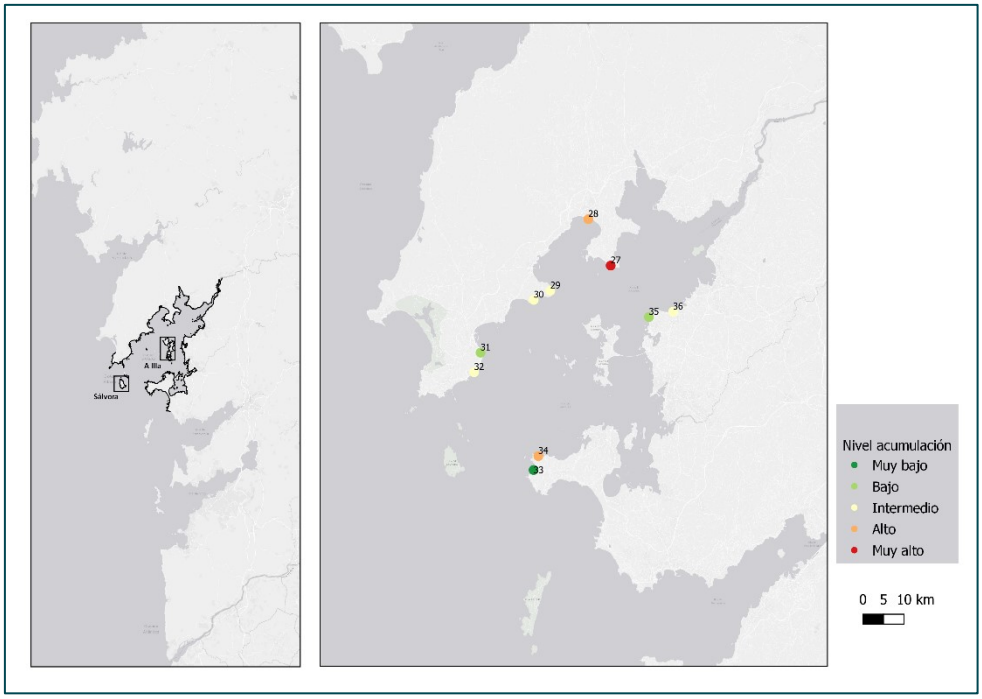


Figura 11. Nivel de acumulación en la Ría de Arousa

5.2.3 Conclusiones

De los muestreos y su posterior análisis, se puede extraer que en ambas estrategias (palillos y estimación de volumen) tres playas, las número 27, 28 y 34 se revelan como zonas cuyo nivel de acumulación se encuentra en niveles muy alto y alto, destacando sobre las demás.

El hecho que ambas estrategias devuelvan el mismo resultado refuerza la idea de que estas tres zonas pueden ser tenidas en cuenta por los diferentes gestores implicados en el diseño de la estrategia de limpieza.

En el resto de las playas, la acumulación varía de nivel muy bajo a medio, siendo también el resultado muy parecido en ambas estrategias. Sólo en el caso de la playa número 29, la diferencia entre ambas estrategias llama la atención (nivel medio en volumen y muy bajo en palillos). Esta sobrestimación puede deberse a un error de muestreo en las primeras semanas, ya que los acúmulos no se retiran de la playa, como sí se hace con los palillos, pudiendo confundir al muestreador que contabiliza parte de las acumulaciones dos veces.

El hecho de que ambas estrategias devuelvan resultados similares hace pensar que ambas son aptas para conocer la distribución espacial de las áreas de acumulación de basura marina a lo largo del litoral. A pesar de que el muestreo de palillos de batea es más rápido que el muestreo del volumen de acúmulos no está probado que en otras zonas con menor presencia de bateas, los palillos sigan resultando un buen indicador y por tanto, podría ser necesario identificar un indicador que se ajuste mejor a la zona de estudio.

6. ESTRATEGIAS DE MUESTREO INDIRECTO

Las técnicas de muestreo directo, en ocasiones, son difíciles de implementar debido a que requieren de gran personal del que no siempre se dispone. La utilización de metodologías que no requieran de gran cantidad de mano de obra en la recogida de datos o tecnologías que permitan de una manera indirecta evaluar amplias zonas, está siendo objeto de numerosos estudios en diferentes campos. La localización y seguimiento de la basura marina flotante es uno de los campos en los que este tipo de tecnologías puede suponer una herramienta de utilidad. En este sentido, el auge que los drones están teniendo en la localización e identificación aérea de objetos, ha supuesto el punto de partida para que en este estudio se plantease la evaluación de esta tecnología en la identificación, no ya enfocada a objetos concretos, sino de una manera más genérica a la localización de zonas de acumulación en el litoral. Por su parte, aprovechando la existencia de un sistema de radares de alta frecuencia en Galicia, se decidió la exploración de la información acerca de corrientes superficiales que genera este sistema para la identificación de zonas a las que la basura marina puede verse arrastrada por dichas corrientes.

6.1. Drones

La utilización de vehículos aéreos no tripulados (drones) se muestra como una tecnología que permite el reconocimiento de zonas de difícil acceso. Teniendo en cuenta las ventajas que pueden ofrecer estos dispositivos, se llevó a cabo un estudio sobre su efectividad para la localización de zonas de acumulación de basura en el litoral, dado que el objetivo es detectar esas zonas de acumulación no se tendrá en cuenta la clasificación de la basura.

El modelo de dron elegido para llevar a cabo este estudio ha sido un DJI Mavic 2 Pro (ver Figura 12A).

Para la realización de los vuelos se eligió la Isla de Sálvora (ver Figura 12B), situada en la boca de la Ría de Arousa. Esta Isla, perteneciente al Parque Nacional Marítimo Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia, tiene 1.9 km2, está deshabitada y divide la Ría en una entrada al sur, la principal y más profunda, con un ancho de 4.6 km y una profundidad de 50 m, y otra al Norte, de 5 m de profundidad, y 3.7 km de ancho.

El perímetro de la isla de Sálvora se ha dividido en 13 transectos, cada transecto es un polígono de 1000 m de largo por 100 m de ancho. El número de transectos se eligió en colaboración con el grupo de modelización del proyecto CleanAtlantic, con la intención de utilizar los resultados de este estudio para la validación de los resultados obtenidos con los modelos numéricos en la misma zona. En esta línea, la dimensión de los transectos se ha establecido para garantizar la mejor reproducción de la costa, ya que una resolución inferior no puede garantizar la definición correcta a lo largo de la costa.

Tras las primeras pruebas, se estableció un protocolo que permite capturar las imágenes de todo el perímetro de forma semiautomatizada, generando transectos fijos que se repiten en cada sesión de vuelo. El dron toma una dirección y avanza a través de él sin volver. Es un vuelo único de ida siguiendo la costa. La altitud de vuelo objetivo, desde el despegue, se fijó a 40 metros por encima del valor de referencia del nivel del mar (este es un valor que coincidiría con la altura media de la marea, el mismo que se utiliza en la aviación comercial).

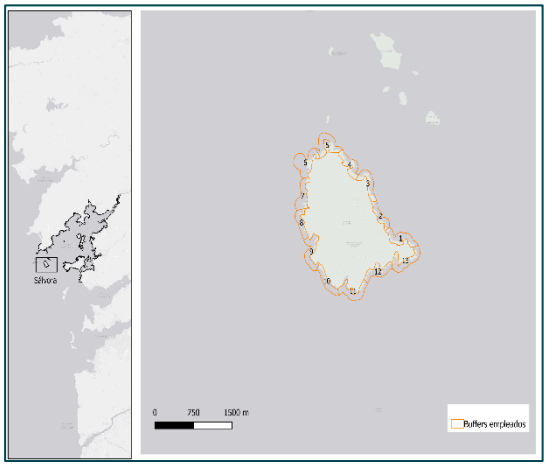


Figura 12. A) Drone DJI Mavic 2 Pro. B)Transectos de vuelo

6.1.1 Campañas de vuelo

Es conocido que las condiciones océano-meteorológicas son claves para localizar las posibles zonas de acumulación de basura. Por lo general, cada situación océano-meteorológica se puede asociar a un patrón de distribución de basura concreto.

Teniendo esto en cuenta, los vuelos se realizaron en el periodo comprendido entre noviembre de 2018 y octubre de 2020, planeándose su ejecución en base a las predicciones meteorológicas de Meteogalicia, (servicio regional de meteorología).

Galicia está claramente influenciada por amplios centros de presión, anualmente las bajas presiones afectan en un 42% de los días, las altas en un 53% de los casos, mientras que en un 5% de los días se vive una transición entre unas y otras.

Las bajas presiones suelen estar asociadas a vientos de componente sur y oeste, de intensidad moderada o fuerte mientras que en las altas presiones los vientos son predominantemente del este y del norte y habitualmente con menor intensidad, incluso con situaciones de calma y de efectos muy locales.

Todas estas configuraciones se pueden agrupar en 8 situaciones meteorológicas típicas con una frecuencia de aparición determinada. Tanto la descripción de estas situaciones como el análisis realizado para su clasificación se pueden consultar en el Anexo IV de este documento.

A modo de resumen la siguiente tabla muestra las fechas de los vuelos y una breve descripción de cada situación:

Número/fecha vuelo	% de aparición de la situación	Descripción
1 14/11/2018	20%	Situación muy habitual en primavera y otoño, con un anticiclón centrado en Centroeuropa con bajas presiones sobre el Atlántico que dejan un día de viento flojo del este, con brisas puntuales en la primera hora de la tarde (y por tanto viento del oeste). La situación llega precedida de muchos días de suroeste apilando agua contra la costa.
2 04/12/2018	13%	Situación muy habitual en invierno con una borrasca acercándose desde el Atlántico y con un anticiclón sobre la Península que bloquea su paso lo que provoca muchos días sucesivos de viento moderado/fuerte del sur-suroeste.
3 13/02/2019	13%	Situación muy habitual del invierno y puntual en verano con un anticiclón al norte de la Península, dejando viento del nordeste intenso al principio del día. Acaba el día con viento del sur flojo, tras varios días de suroeste.
4 13/09/2019	10%	Situación más típica del verano con un anticiclón de bloqueo al norte de Galicia. Viento del este-nordeste, con brisas al mediodía y giro al oeste, tras varios días anticiclónicos "sacando agua" de la Ría.
5 18/02/2020	5%	Situación más habitual en primavera o al final del invierno. Día de noroeste, típico día de transición entre borrascas circulando al norte de Galicia y la llegada de un anticiclón desde el sur.
6 07/03/2020	25%	Situación muy típica del invierno gallego, ocurriendo 1 de cada 3 días en esta estación. Varios días seguidos de bajas presiones con vientos del oeste (variando entre sur-suroeste y noroeste)
7 30/10/2020	14%	Situación más típica de invierno, pero que puede aparecer en cualquier época del año, con borrascas al norte de Galicia dejando vientos de componente sur.
8 27/05/2021	10%	Situación muy típica del final de la primavera y verano con el anticiclón llegando desde las Azores y dejando viento de componente norte

6.1.2 Obtención de los datos

Inicialmente, se llevaron a cabo vuelos experimentales con drones para determinar la velocidad y altura ideales sobre el nivel del mar de los vuelos. Después de realizar pruebas fotográficas estáticas a diferentes

altitudes que van desde 20-120 metros sobre el nivel del mar (ASL) con objetos de referencia de 10 cm, se decidió realizar los vuelos en modo EVlos con un ASL 37-49m.

En este intervalo, viene dado de que, aunque el drone vuele con referencia a 40 metros sobre el nivel del mar, habrá momentos que fotografíe elementos que están más cerca ó más lejos de esa distancia, así como el margen de error del altímetro según las condiciones climáticas. En este rango 37-49m los datos son completamente consistentes.

En este rango seleccionado de alturas, se pueden identificar objetos de longitud superior a 10 cm permitiendo además capturar en un solo vuelo la zona intermareal en la que se produce la posible acumulación de basura marina.

Para utilizar esta metodología de identificación aérea de las acumulaciones de manera eficiente, es importante que el análisis de los desechos acumulados se pueda hacer haciendo un solo vuelo a lo largo de la costa.

La velocidad del dron para estos vuelos se configuró de forma que no superara los 9 km/h de media, manteniendo siempre una batería de reserva para poder volver a una zona segura a la velocidad máxima si fuera necesario.

Se tomó una foto cada 2-4 segundos, con prioridad de apertura, una exposición mínima de 1/200 y un máximo de 1/400 con ISO automático. El foco se calibraba manualmente una vez que el drone había alcanzado la altitud de crucero.

Las fotos se guardaron en formato JPEG de la más alta calidad. Después, de cada uno de los días de vuelo programados, las imágenes de la memoria del drone se clasificaron en carpetas por vuelos realizados V0, V6, utilizando la herramienta DroneMapper para organizar las etapas.

Los metadatos relativos a las imágenes de cada vuelo fueron corregidos (carpeta) usando el programa AnalogExif cuando fue necesario.

6.1.3 Procesado de las imágenes

Para el procesado de las imágenes realizadas se empleó el software *PrecisionMapper*, generándose los ortomosaicos para cada uno de los transectos que sirvieron de base para calcular automáticamente las zonas de acumulación. Para facilitar la manipulación de las imágenes se hizo un re-escalado de las imágenes originales a 1/3. De esta manera se facilita su procesado posterior sin perder resolución para la identificación de objetos de tamaño superior a 10 cm.

Para la selección de acumulaciones en ortomosaicos se ha utilizado Photoshop. La herramienta adecuada para facilitar la selección de las acumulaciones es la "barita mágica". En cada transecto analizado se seleccionaron diferentes muestras de acumulación con un tamaño muestral de 11x11 y una tolerancia de 5.

Las áreas seleccionadas como ocupadas por acumulaciones de origen marino se tornaron a rojo 255-0-0. Este tipo de selección se repitió para cada tipo de acumulación que difería en su color original. Después de la selección automatizada basada en el color de origen de la acumulación, se llevó a cabo una revisión visual y manual de las selecciones para validar el procedimiento.

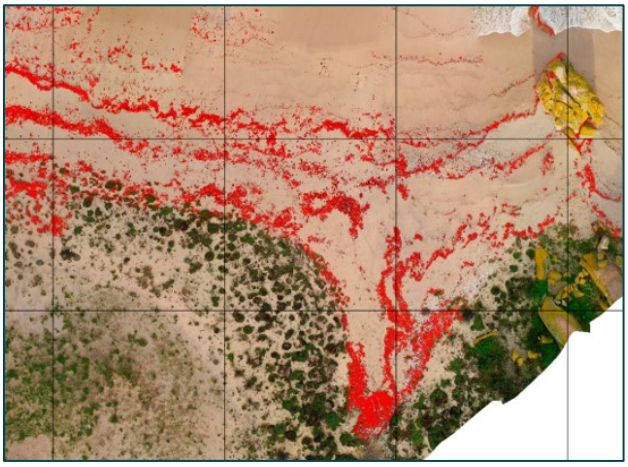


Figure 13. A) Imagen ya procesada

6.1.4 Resultados

El uso de drones ha permitido muestrear el área de estudio, es decir, 6500 metros de costa, inaccesible en algunos casos para las personas, en un corto período de tiempo. Se han obtenido imágenes de alta resolución (10 cm en la identificación de objetos) que se han utilizado ahora y que podrán usarse en el futuro con otras técnicas de procesamiento de imágenes digitales.

El protocolo establecido ha permitido capturar imágenes de todo el perímetro de la Isla de Sálvora de forma semiautomatizada, generando transectos fijos que se repiten en cada sesión de vuelo y que conducen a un muestreo espacialmente consistente.

Tras el procesamiento de las imágenes, explicado anteriormente, se obtiene de manera automática el % de cada transecto ocupado por acumulación de basura o restos de arribazón. Gracias a la capacidad de exportar este % de píxeles con acumulación de ML a GIS se pudieron generar mapas de hotspots.

Estos mapas permiten evaluar la acumulación de cada transecto a lo largo del tiempo. Para una mayor comprensión de los resultados los transectos se han categorizado en cinco niveles (muy alto, alto, intermedio, bajo y muy bajo) utilizando el método de optimización de Jenks sobre porcentaje de píxeles con acumulaciones que presentan (ver Figura 14).

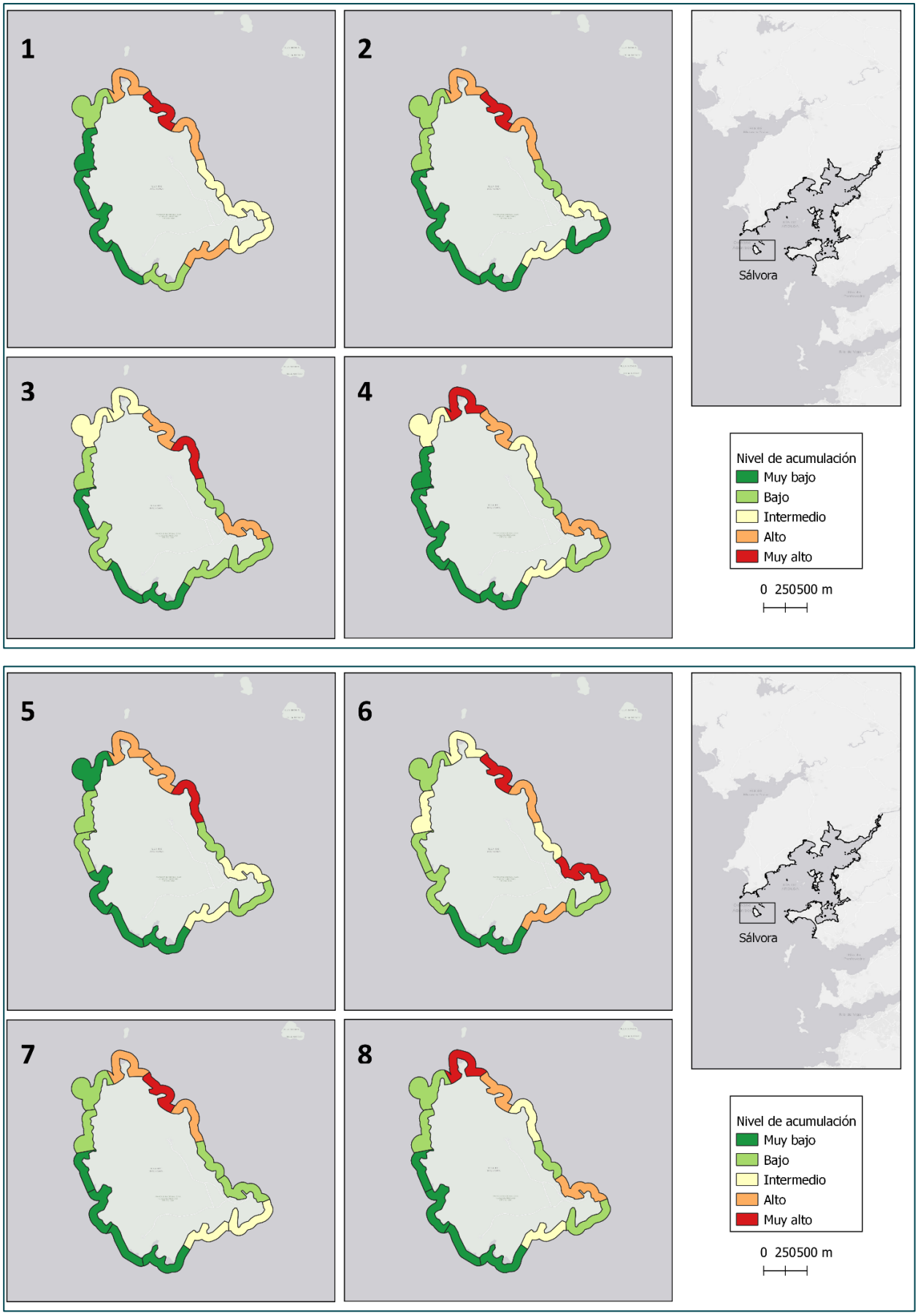


Figura 14. Nivel de acumulación de la Isla de Sálvora en cada uno de los vuelos realizados

Los mapas muestran que las acumulaciones se encuentran en la cara Este de la Isla, destacando en este tramo la parte norte.

Esta distribución es independiente de la condición océano-meteorológica en la que se haya realizado el vuelo. Esto que a priori puede resultar sorprendente, puede explicarse porque el litoral de la isla de Sálvora es muy diferente.

Su lado este está marcado por la presencia de playas de arena y de pequeños bloques graníticos redondeados por los vaivenes de las olas, y en su lado oeste, predominan las zonas rocosas de suave relieve (Guía de visita Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia).

Estás zonas rocosas pueden ser más selectivas, en los tipos de basura que retienen, que las playas y, por lo tanto, son menos representativas (Weideman et al).

6.1.5 Conclusiones

La metodología y protocolo utilizados para implementar la toma de imágenes aéreas de alta resolución, permite realizar todos los vuelos necesarios para cubrir el perímetro de la Isla de Sálvora en un único día, obteniendo imágenes de resolución suficiente para el trabajo posterior de identificación de acúmulos procedentes del mar.

La generación de los ortomosaicos de cada transecto es rápida pudiendo obtenerse los ortomosaicos en 24 horas aproximadamente.

La técnica utilizada para hacer el cálculo de la superficie ocupada por los acúmulos en cada transecto se puede realizar por personal entrenado en unas 40 horas para todo el perímetro de la isla. El protocolo desarrollado permite detectar objetos de forma automática, pero, a pesar de ser rápido, es propenso a errores cuando la composición del fondo no es pura. Por ejemplo, los artefactos como sombras o áreas más oscuras en los acantilados se marcaron como áreas de acumulación cuando en realidad no lo están.

En consecuencia, se recomienda explorar otras técnicas de procesamiento de imágenes, sobre las imágenes ya obtenidas, para identificar con éxito las zonas de acumulación.

6.2. Radar HF

La tecnología High Frequency Radar o Radar de alta frecuencia permite, a través de dispositivos colocados en costa (ver Figura 14), la monitorización remota en tiempo real de corrientes y olas en un área entre cientos y miles de kilómetros cuadrados en base a estaciones compactas que se ubican en tierra. Al colocar dos o más estaciones de radar frente a la misma área del mar, se pueden obtener mapas de corrientes superficiales para esa área. Los datos de corriente obtenidos son representativos de la capa superior del mar a una profundidad de aproximadamente dos metros. Además de medir mapas de corrientes de superficie, la tecnología de radar facilita también datos de altura significante, dirección y período de las olas.

En este caso, el interés de los radares HF radica en su uso para identificar puntos críticos de cobertura y rastrear la basura de la superficie del mar (a través de modelos lagrangianos, ver resultados del paquete de trabajo 6 del proyecto) para definir estrategias de prevención de basura marina flotante antes de su llegada a la costa.

Figura 15. A) Antena de transmisión y antena receptora colocadas en el faro de Cabo Vilán. B) Antena de transmisión C) Antena de recepción.

6.2.1 Funcionamiento de los radares HF

Al igual que el radar convencional, el empleado para el control del tráfico aéreo, el de Alta Frecuencia se basa en la emisión de ondas electromagnéticas y el estudio de su eco tras dar en el blanco para analizar, en este caso la superficie del mar. Una vez recibido el eco de la señal de Alta Frecuencia de la superficie del mar, mediante el cambio en la frecuencia existente entre la señal emitida y la reflejada se puede conocer la velocidad de la superficie del mar, además de utilizar la teoría de la onda la velocidad asociada con la onda y el componente radial de la velocidad (ver Figura 15A).

Cada uno de los radares en la red calcula su mapa de velocidad radial correspondiente y el mapa de campo de corrientes se reconstruye inmediatamente en un servidor central componiéndolos, usando trigonometría simple (ver Figuras 15B,C,D y E).

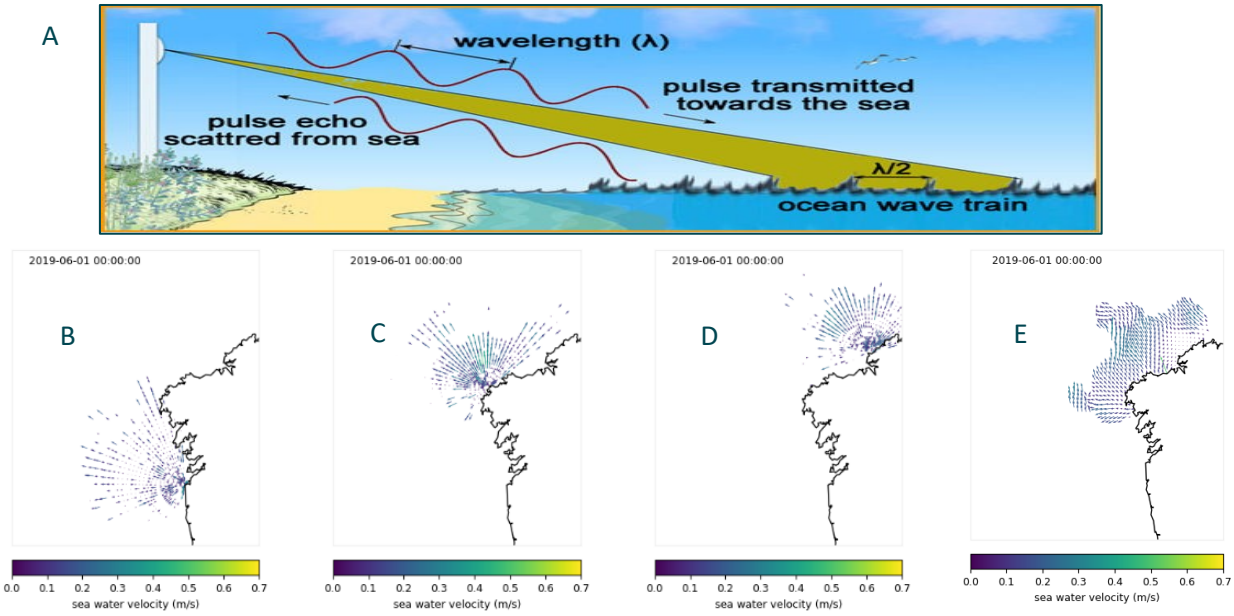


Figura 16. A) Funcionamiento de un radar HF. B-D) Mapas radares de la red gallega E) Composición total

6.2.2 Aplicación de los radares HF en la localización de la basura marina

Hoy en día los datos de Radar HF son utilizados con éxito en una serie de aplicaciones como son la como búsqueda y rescate costero, respuesta a derrames de petróleo, monitoreo de la calidad del agua y navegación marina segura y eficiente.

Lo que no está tan extendido es el análisis de su capacidad para detectar posibles *hotspots* de basura marina. Tras una exhaustiva revisión bibliográfica, entre la que destaca la revisión de las aplicaciones de los Radares HF realizadas por Harlan et al., 2010; Wyatt, 2014, se concluye que la única manera de utilizar los Radares HF para localizar *hotspots* es a través del cálculo del transporte de los campos de corriente superficiales medido por ellos. Estos campos podrán ser usados posteriormente para forzar un modelo lagrangiano.

En esta línea, se encuentra el estudio llevado a cabo por Basurko et al. 2015, donde para reducir el tiempo y el esfuerzo de la búsqueda de basura marina flotante se evalúan los patrones de movimiento de las corrientes superficiales, utilizando datos de radar HF como forzamiento de un modelo lagrangiano. Por otro lado, Declerck et al., 2019 utiliza una combinación de resultados de radar HF a largo plazo con otras mediciones operativas y datos de modelado para investigar el transporte de basura marina flotante introducida por los desagües de ríos locales en la zona costera del sureste del Golfo de Vizcaya.

Una técnica con gran proyección de futuro consiste es la detección de Estructuras Lagrangianas Coherentes (LCS), aplicando está técnica no sólo se determinan las trayectorias de las partículas, sino que también define las zonas de convergencia y acumulación pudiendo ser estas las zonas donde se localicen los *hotspots* de basura marina.

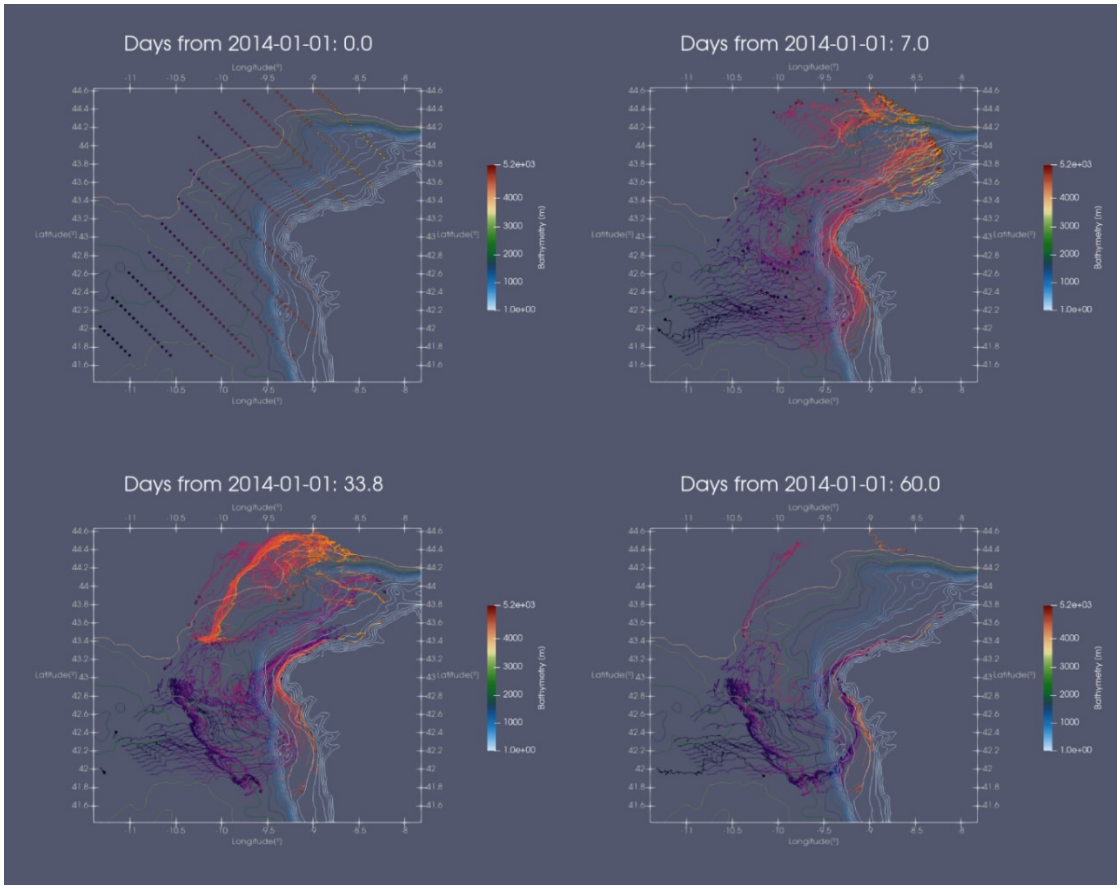


Figura 17. Resultados del modelo lagrangiano forzados por corrientes superficiales generadas por el sistema Radar HF de Galicia. Las partículas simulan la trayectoria general de una posible basura superficial.

La utilización de la información suministrada por los Radares HF se atisba como una herramienta de apoyo útil para conocer el transporte de basura flotante, si bien, son necesarios estudios más detallados para poder implementar su utilidad en los protocolos de gestión habituales.

7. CONCLUSIONES

El presente estudio ha demostrado la posibilidad de utilizar distintas estrategias de muestreo para la localización de zonas en las que la basura marina puede acumularse en el litoral. Todas y cada una de las estrategias evaluadas permiten en mayor o menor medida un cartografiado de zonas de acumulación, si bien, la complementariedad entre los muestreos directos y los indirectos puede facilitar en gran medida ahorrar recursos a la hora de obtener estas cartografías.

Esta cartografía puede servir de base para hacer frente a la basura marina, ya que las zonas de acumulación reveladas pueden ser tenidas en cuenta a la hora de planificar las acciones de limpieza. Estas zonas, además, pueden servir de inicio de estudios de modelización numérica en bactracking, de manera que se obtenga el origen de la basura que se está acumulando en esta zona. Una vez conocido el origen este podría minimizarse o incluso, si es un aporte terrestre, anularse.

La utilización mixta de estrategias por parte de las diferentes administraciones en sus protocolos de localización y retirada de basura marina se plantea como la opción más exitosa, ya que se beneficia de las ventajas de cada una de ellas en función de las necesidades y la posibilidad de acceso a las zonas costeras.

Cabe destacar que el empleo de estrategias enmarcadas en proyectos de ciencia ciudadana además de presentar numerosas ventajas en la recogida de información supone también un buen mecanismo de concienciación por funcionar de altavoces hacia la sociedad circundante de los voluntarios participantes acerca del problema que las actividades humanas generan en relación con la basura marina.

Este estudio ha permitido la localización de diferentes hotspots que se pueden tener en cuenta al planificar las actividades de limpieza. Además, los hotspots revelados podrían utilizarse como punto inicial de simulaciones numéricas en el rastreo para localizar posibles puntos de emisión de desechos marinos que podrían neutralizarse o minimizarse.

8. REFERENCIAS

Basurko O.C., Gabina G., Andres M., Rubio A., Uriarte A., Krug I. , 2015. Fishing for floating marine litter in SE Bay of Biscay: Review and feasibility study. Marine Policy, 61 , pp. 103-112.

Declerck A., Delpey M., Rubio A., Ferrer L., Basurko O. C., Mader J. & Louzao M. ,2019. Transport of floating marine litter in the coastal area of the south-eastern Bay of Biscay: A Lagrangian approach using modelling and observations, Journal of Operational Oceanography, 12:sup2, S111-S125, DOI: 10.1080/1755876X.2019.1611708

Eleanor A. Weideman, V. Perold, Aaniyah Omardien, Lucy K Smyth, P. Ryan Quantifying temporal trends in anthropogenic litter in a rocky intertidal habitat. DOI:10.1016/j.marpolbul.2020.111543.

GESAMP (2019). Guidelines or the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean (Kershaw P.J.,Turra A. and Galgani F. editors), (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. 99, 130p.

Guía de visita Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia.

Harlan, J., Terrill, E., Hazard, L., Keen, C., Barrick, D., Whelan, C., Kohut, J. ,2010. The integrated ocean observing system high-frequency radar network: Status and local, regional, and national applications. Marine Technology Society Journal, 44(6), 122-132. doi:10.4031/MTSJ.44.6.6

Kaplan D. M. and Lekien F., 2007. Spatial interpolation and filtering of surface current data based on open-boundary modal analysis. J. Geophys Res.-Oceans, 112(C12). doi:10.1029/2006JC003984

Lekien, F., C. Coulliette, R. Bank, and J. Marsden, 2004. Open-boundary modal analysis: Interpolation, extrapolation, and filtering, J. Geophys. Res., 109, C12004, doi:10.1029/2004JC002323.

Owens, E.H. and G.A. Sergy. 1994. Field Guide to the Documentation and Description of Oiled Shorelines. Environment Canada, Edmonton, AB, 66 pp.

Paduan, J. D., and M. S. Cook, 1997. Mapping surface currents in Monterey Bay with codar-type HR radar, Oceanography, 10, 49–52.

Sergy, G. & Owens, Edward. (2009). Indices to rate the degree of oiling on shorelines. Proceedings of the 32nd AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response. 1. 167-175.

UN Environment Annual Report 2016

Wyatt, L., 2014: High frequency radar applications in coastal monitoring, planning and engineering. Aust. J. Civ. Eng., 12, 1–15, doi:10.7158/14488353.2014.11463992.

Yaremchuk, M., Sentchev, A, 2011. A combined EOF/variational approach for mapping radar-derived sea surface currents, Continental Shelf Research, 31, 7–8, 15, 758-768, ISSN 0278-4343, http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2011.01.009.

9. ANEXOS

9.1. Anexo I

Introducción

En el marco del paquete de trabajo 5 (Monitorización y gestión de datos) y siendo conscientes de la larga tradición de la utilización del voluntariado como parte de la ciencia ciudadana en la investigación de basura marina (Hidalgo-Ruz and Thiel 2015, Zettler et al. 2017), se consideró oportuno iniciar la colaboración con los estudiantes del Instituto de Enseñanza Secundaria (IES) Illa de Arousa para la realización de muestreos específicos en el entorno de la isla de Arousa.

Según la definición de la Comisión Europea, la ciencia ciudadana se refiere a la participación del público en general en las actividades de investigación científica, en que los ciudadanos contribuyan activamente a la ciencia, ya sea con su esfuerzo intelectual o conocimiento o con sus herramientas y recursos (European Comission, 2014).

Preparación del proyecto

A la hora de diseñar la colaboración entre el equipo de INTECMAR y los alumnos del IES se tuvieron en cuenta las recomendaciones descritas en el siguiente cuadro, incluido en GESAMP 2019.

Recomendaciones para programas exitosos de ciencia ciudadana

- Reclutar activamente
  - Presentación
  - Redes sociales
- Prepare instrucciones sencillas paso a paso con imágenes y video
  - Pruébelos usted mismo
  - Pídales a varios amigos (que no son expertos) que los prueben
  - Modifique las instrucciones en consecuencia
- Hágalo lo más fácil posible para los voluntarios
  - Versiones laminadas y electrónicas de las instrucciones
  - Kits de muestreo completos con envío prepago
  - Confirme su comprensión ANTES del evento de muestreo
  - Hojas de datos fáciles de usar y / o cargas de datos electrónicos
- ¡Proporcione retroalimentación para mantener la motivación!
- Explicación de resultados
- Ayudas visuales para mostrar a los voluntarios sus contribuciones

En una primera reunión, mantenida entre el personal de INTECMAR y la profesora a cargo del proyecto en el IES, se acordó iniciar la colaboración en el mes de octubre de 2019, coincidiendo con el inicio del curso escolar, y se concretó lo siguiente:

- ✓ Los alumnos que participantes en las actividades cursan la asignatura de Tecnología y su edad está comprendida entre los 14 y 15 años.
- ✓ INTECMAR selecciona las playas en las que se realizan los muestreos, teniendo en cuenta que su distribución debe garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos en las tareas de validación.
- ✓ INTECMAR se encarga de preparar el material de muestreo para los alumnos y las fichas para la toma de datos.

- ✓ Se imparte a los alumnos una jornada informativa, donde se explica el proyecto, las características y necesidades de los muestreos, etc.
- ✓ El reparto de las playas entre los alumnos por la profesora teniendo en cuenta las preferencias de cada alumno.

Presentación y seguimiento del proyecto con los alumnos participantes

Siguiendo las recomendaciones anteriormente indicadas y teniendo en cuenta la importancia de la formación y del contacto con los alumnos, se llevaron a cabo dos eventos formativos en las instalaciones del IES.

El primero de ellos tuvo lugar al inicio del proyecto (octubre de 2018) en el que los alumnos expresaron sus inquietudes frente a la problemática de las basuras marinas, conocieron el proyecto CleanAtlantic, especialmente las tareas que dentro de este se desarrollan en INTECMAR, entendieron la importancia de su contribución al proyecto y recibieron el material necesario para llevar a cabo del muestreo de una manera eficiente y segura.

Figura 1 A) Acto formativo con los alumnos del IES. B) Material B distribuido entre los alumnos.

La segunda jornada tuvo lugar tras los 8 primeros muestreos (diciembre de 2018). Durante esta jornada, los alumnos pudieron solventar todas las dudas que fueron surgiendo y sirvió además para poder corregir todas aquellas deficiencias que se encontraron tras la revisión de los primeros datos recogidos.

Figura 2 PowerPoint usado en las jornadas con los alumnos

Clausura del proyecto

Una vez finalizados los muestreos se realizó un evento final donde los alumnos conocieron los principales resultados de su trabajo y recibieron un diploma acreditativo de su participación en el proyecto de manos de la Conselleira do Mar.

Uno de los éxitos de esta acción ha sido, sin duda, el poder acercar a los adolescentes al mundo de la ciencia impulsando a su vez la importancia de cuidar los ecosistemas marinos y la lucha contra la contaminación. Por otro lado, la repercusión de este trabajo en la prensa local ha servido para continuar concienciando sobre la importancia del cuidado y conservación del mar en la línea de las actividades que se han desarrollado en el WP8 del proyecto CleanAtlantic.

Figura 3 A) Diploma entregado a los alumnos. B) Repercusión en la prensa local

9.2. ANEXO II

PRAIA BAO

Fecha:

Hora:

Muestreador:

Nº	Material							Tamaño			Observaciones
	P	Mt	Md	Tx	G	Rv	O	Pq	Md	G	

Palillos de batea	
Enteiros:	Partidos:

Interreg Atlantic Area
European Regional Development Fund
Clean Atlantic

INSTRUCCIÓNS PARA A MOSTRAXE

1

- Achégate sempre a praia en condicións de seguridade (evita temporais e condicións adversas).
- Lembra levar todo o material que precises (metro, fichas, boli, sacos de lixo, roupa axeitada, etc.)
- **O chegar saca unha foto da praia, se é posible sempre dende o mesmo sitio**.

2

- Recorre o teu tramo de praia recollendo os palillos de batea que atopes.
- Anota na táboa cantos palillos de batea enteiros ou partidos atopas**. É moi importante para nos.**

3

- Se no teu recorrido atopas o lixo formando montóns, intenta debuxar no mapa onde están.
- Ponlle un número a cada debuxo e cubre a táboa.

4

Cubre a táboa coa información de cada montón de lixo:

En material marca cunha X os tipos de materiais que atopaches nese motón:

- Plástico (P)
- Metal (Mt)
- Madeira (Md)
- Téxtil (T)
- Goma (G)
- Restos Vexetais (Rv)
- Outro (O). Neste caso anota nas observacións que é o que atopaches.

En tamaño anota se o montón era:

- Pequeno (Pq). Mide menos de 1M
- Mediano (Md). Entre 1 e 5 M .
- Grande (G). > 5 M

5

Cando poidas sube a foto que sacaches o Instagram etiquetando o proxecto:

@cleanatlanticproject

Usa os hashtags**: #CLEANATLANTICWP5. #INTECMAR. #IESDAILLADEAROUSA**

Interreg Atlantic Area
European Regional Development Fund
Clean Atlantic

9.3. Anexo III

CleanAtlantic

Técnico/a								
Nº inspección								
Data e hora								
Praia								
Nº acúmulo								
Coordenadas								
X								
Y								
DATUM								
Lonxitude do tramo								

Materiais (tachar os presentes)

Plásticos	Metais	Madeira	Plásticos	Metais	Madeira	Plásticos	Metais	Madeira
Vidro	Goma	Vexetais	Vidro	Goma	Vexetais	Vidro	Goma	Vexetais
Visitado e sen acúmulos	Textis	Outos	Visitado e sen	Textis	Outos	Visitado e sen	Textis	Outos

Identificadores de fotos			
Categoría do acúmulo			
Nº palillos enteiros			
Nº palillos partidos			

Cometarios

Interreg Atlantic Area
European Regional Development Fund
Clean Atlantic

9.4. Anexo IV

Las condiciones océano-meteorológicas, son el principal forzamiento utilizado por los modelos numéricos para predecir el transporte y dispersión de la basura marina.

De esta manera, podemos afirmar que una adecuada caracterización de las diferentes situaciones océano-meteorológicas, de la frecuencia de aparición de estas y de su distribución en distintas épocas del año, supone un elemento fundamental de cara a conocer la posible ubicación de las zonas de acumulación de basura marina.

Teniendo en cuenta que de entre dichos forzamientos, en buena parte de las situaciones y para los distintos tipos de basuras marinas más frecuentes, el viento supondrá la mayor contribución a su movimiento en este trabajo se propone hacer hincapié en la clasificación de las situaciones asociadas al viento en superficie sobre el mar en el área de estudio. Así, una vez caracterizadas las distintas situaciones de viento y asociadas éstas, y sus frecuencias de aparición, a un conjunto de días tipo, será posible realizar una adecuada simulación completa del sistema océano-atmosférico asociado a ellas.

La metodología, desarrollada en el marco del proyecto MARINER (co-financed by the European Union in the framework of the Union Civil Protection Mechanism. DG-ECHO), consta de las etapas que se detallan a continuación:

A. Selección de los datos disponibles: variables y puntos de estudio
B. Reducción de la dimensionalidad del problema: análisis de componentes principales (PCA)
C. Clasificación climática: análisis “clúster”

Selección de datos disponibles

La primera de las tareas a abordar dentro de esta clasificación climática supuso valorar la adecuación de diferentes fuentes de datos a los objetivos de este. De forma que había que buscar un conjunto de datos con una distribución espacial (número de puntos) suficientemente numeroso para caracterizar las áreas de estudio y con un conjunto de variables capaces de caracterizar el viento en la zona de interés.

En este sentido se valoraron las siguientes fuentes de datos:

- Estaciones de superficie (tierra) y boyas (mar)
- Datos de satélite
- Reanálisis de modelos globales

Para los dos primeros se encontraron los siguientes inconvenientes:

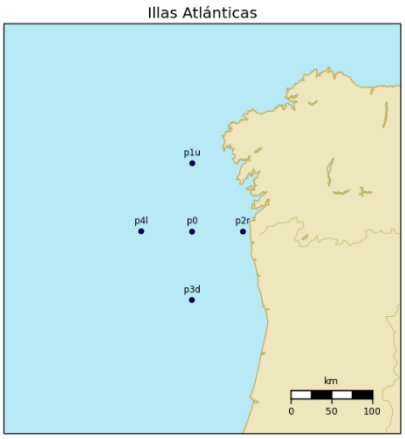
- Escasez de datos de superficie sobre el mar
- Representatividad limitada de los datos sobre tierra para caracterizar el viento local en las zonas de interés
- Huecos en las series temporales de datos (más acusados en las boyas y en los datos de satélite)
- Validez limitada de los datos de satélite en las zonas más próximas a costa

De manera que finalmente, por las características del estudio, se optó por emplear los datos provenientes de reanálisis de modelos globales. Se valoró el emplear la reanálisis del modelo global GFS (del NCEP estadounidense) y los del modelo IFS (del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio, el ECWMF). En ambos casos la accesibilidad de los datos era amplia, así como la longitud de las series, por lo que se decidió optar por los datos del periodo 1985-2014 incluidos dentro del reanálisis ERA Interim del ECMWF por tener un mayor grado de detalle.

El reanálisis ERA Interim, utiliza los datos de observaciones atmosféricas (estaciones de superficie, radiosondeos, satélites, radares, etc.) para generar una representación de las situaciones meteorológicas reales compatibles con la rejilla de 0.75º de resolución horizontal del modelo numérico IFS del ECMWF, considerado como el mejor modelo meteorológico global y con el sistema de asimilación de datos más completo. El ERA Interim es el producto de reanálisis más reciente del ECMWF, cubriendo el periodo desde 1985 hasta la actualidad, y cuyos datos están disponibles bajo una licencia del propio ECMWF que permite tanto su uso para investigación como su uso comercial.

Una vez seleccionada la fuente de datos, y al tratarse de valores en una malla regular, en este caso de resolución horizontal de 0.75º, faltaba seleccionar los puntos concretos de estudio, así como las variables a incluir en el mismo.

En cuanto a la distribución espacial de los puntos, se optó por seleccionar un punto “central” próximo al área de estudio y cuatro puntos alrededor del mismo de manera que cubriesen adecuadamente tanto el área de interés como las zonas en las que se podrían localizar la posible basura marina, tal y como se muestra en la Figura 1.



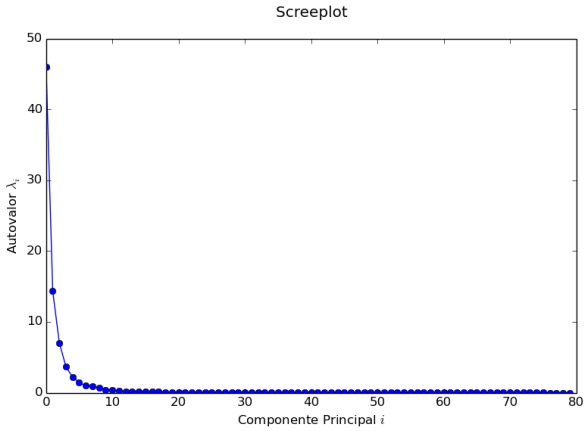
Distribución espacial de los puntos de estudio. Distancias al centro: 0.75º en horizontal y 1.5º en vertical

Finalmente, en cuanto a las variables de estudio se decidió emplear en cada uno de los 5 puntos el viento superficial (separado en sus componentes zonal, u, y meridional, v) y el viento geostrófico (también separado en ambas componentes), como una medida derivada del gradiente de presión superficial. Para recoger en el estudio la variabilidad temporal de estas variables se consideró el uso de los datos correspondientes a las 00h, 12h, 24 y 36 UTC, con el propósito de clasificar posibles comportamientos de un vertido en las próximas 24 horas, ocurriendo este en cualquier momento del día de estudio.

De esta forma, tenemos un problema con 80 dimensiones. 5 puntos, 4 variables en 4 instantes de tiempo distintos.

Reducción de la dimensionalidad: PCA

Según lo descrito en el apartado anterior, tendríamos 80 variables de estudio. Este, es un conjunto adecuado de variables para realizar la caracterización climática del viento en la zona pero resulta evidente que el trabajo de clasificación de los puntos localizados en el espacio definido por estas 80 "coordenadas" podría simplificarse si consiguiésemos analizar adecuadamente las redundancias en los datos, reducir la dimensionalidad de los mismos y llegar por tanto a un nuevo conjunto de datos igualmente representativo.



Autovalores calculados para el área de estudio.
Rodeados con un círculo rojo se muestran los correspondientes a las componentes principales seleccionadas mediante la "regla del codo"

Para ello se optó por realizar un análisis de componentes principales, una técnica consistente en generar un nuevo conjunto de variables obtenidas cada una de ellas como una combinación lineal de las 80 variables de origen, es decir:

$$CPi = a1i*var1 + a2i*var2 + a3i*var3 + \ldots + a80i*var80$$

El análisis de componentes principales (PCA) busca obtener estas nuevas variables (CPi) calculando sus coeficientes (ai) de manera que la primera componente principal explique la mayor parte de la variabilidad de los datos de origen, la segunda componente principal sería la siguiente en explicar la variabilidad de los datos de origen, y así sucesivamente. Para ello la técnica de PCA lo que hace es diagonalizar la matriz de covarianzas de las variables de origen, lo que formalmente da lugar a un nuevo sistema de coordenadas (las componentes principales) con tantas dimensiones como el original (80, en este caso), y con las características anteriores. Para realizar dicha diagonalización se calculan los autovectores y autovalores de la matriz de covarianzas, siendo precisamente estos últimos (autovectores) los que configuran la matriz de cambio de coordenadas entre las variables originales y las componentes principales.

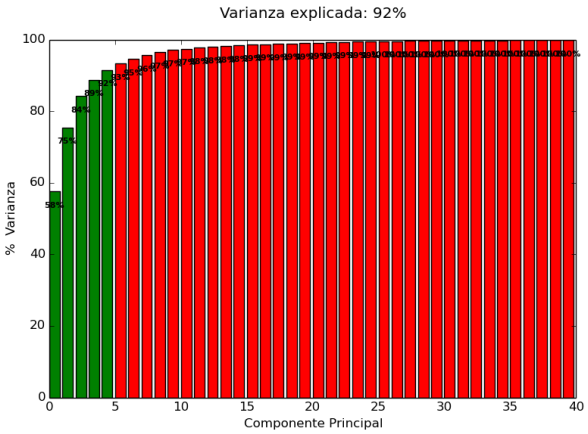
Lo realmente relevante de este análisis es que permite "concentrar" la mayor parte de la variabilidad de los datos de origen en tan sólo unas pocas componentes principales, de manera que se puedan obviar las demás, facilitando por tanto la clasificación climática al pasar de un conjunto de datos con

80 dimensiones a un conjunto de datos prácticamente equivalente con tan sólo 3, 4 ó 5 variables, por ejemplo.

Para esta técnica de reducción de la dimensionalidad existen diferentes criterios para escoger el número de componentes principales con el que quedarse. La mayor parte de estos criterios tienen cierta componente subjetiva en la selección definitiva del número de componentes principales a mantener, y prácticamente todos ellos se basan en el hecho de que cada uno de los autovalores calculados está íntimamente relacionado con la varianza explicada por la componente principal correspondiente.

En este trabajo se empleó una técnica gráfica, “la regla del codo” con el gráfico de sedimentación (“screeplot”), junto a una técnica cuantitativa al escoger un valor de corte para la varianza explicada. La “regla del codo” requiere de encontrar el “codo” en una gráfica, como la mostrada en la figura 2, en la que se representan los autovalores en orden descendente. Para ello se ajustan a una recta los valores más pequeños, y se seleccionarían las componentes principales cuyos autovalores quedasen por encima de dicha recta.

Por otra parte el valor relativo de cada autovalor respecto de la suma de todos ellos nos da una estimación de la varianza explicada por la componente principal correspondiente. Comúnmente se suele considerar un 75% de la varianza como un valor de corte aceptable, aunque en este caso, se estimó que una varianza alrededor del 90% sería deseable, como se puede ver en el ejemplo de la figura 3.

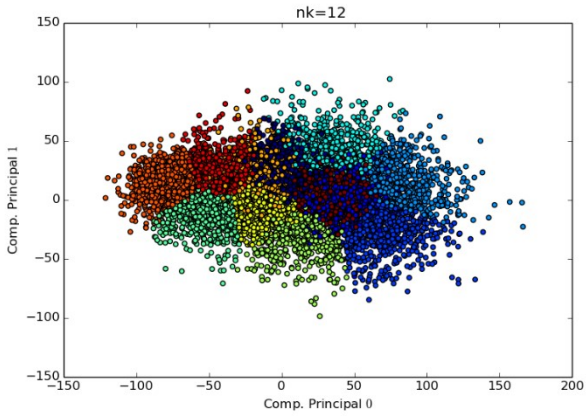


Varianza explicada por las distintas componentes principales del estudio. Con las 5 primeras dimensiones se explica el 92% de los casos.

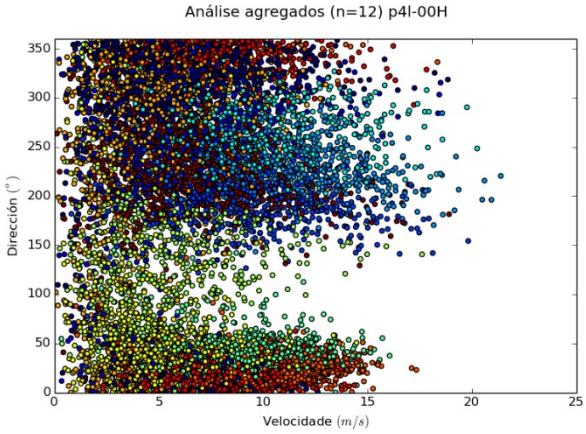
Obteniendo de esta forma que las 5 primeras componentes principales explican el 92% de la varianza total.

Además, las 2 primeras componentes principales ya explican ese 75% por lo que una representación 2D en esa base de coordenadas, como vemos en la figura 4, nos aporta una buena representación gráfica de estas agrupaciones.

Además, si representamos el módulo y dirección de todos los días entre 2012 y 2014 vemos gráficamente como su agrupación en clústeres tiene una relación lógica.



Configuración 2D de las 2 primeras componentes principales



Velocidad y dirección de viento de cada uno de los días de cada clúster

Clasificación Climática: Análisis "Clúster"

Finalmente, una vez reducida la dimensionalidad del problema a 5 variables, faltaría aún hacer la clasificación de las diferentes situaciones meteorológicas asociadas a cada tipo de viento. Para ello se recurrió a un análisis "clúster" de los datos proyectados en las 5 primeras componentes principales.

El objetivo de este análisis es encontrar un número de situaciones diferentes lo suficientemente pequeño para no cargar de cálculo las siguientes etapas del estudio relacionadas con la modelización de la basura marina. Pero por otra parte, el número de configuraciones diferentes ha de ser lo suficientemente elevado para que no aparezcan mezcladas condiciones meteorológicas semejantes y se encuentren estructuras razonables en los patrones de viento, para posteriormente tener bien reflejadas todas las condiciones posibles.

Se consideraron distintas clasificaciones. Finalmente se decidió que 8 clústeres, recogían toda la variabilidad en el caso de la costa oeste gallega.

En un primer momento se pensó en usar solo los datos con módulo superior a 1,5m/s por tener una mayor representatividad, pero viendo que la separación realizada en “clústeres” con el conjunto completo de datos separaba razonablemente bien las situaciones de viento en calma del resto, finalmente se decidió emplear como definitivos los análisis “clúster” del conjunto completo de datos.

Para realizar este análisis se utilizó la técnica denominada “k-medias” que divide el conjunto de datos de partida de manera iterativa en n subconjuntos, cada uno de ellos formado por aquellos puntos cuya distancia al centroide del subconjunto al que pertenecen es menor.

En esta técnica el número de clusters a obtener es subjetivo (se le dice al algoritmo "genérame Nkclusters") y, además, tiene un resultado que depende de los puntos que se utilicen para inicializar el centroide de cada cluster. De forma iterativa, se van asignando cada elemento (día) a su cluster, una vez clasificados todos se calculan los nuevos centroides de cada cluster y se vuelve a empezar: recalcular distancias=>asignaciones a clusters=>nuevos centroides, y así sucesivamente. Este algoritmo no es muy adecuado para según qué clasificaciones, pues el proceso iterativo hace que el algoritmo tienda a agrupar en clusters que acaben conteniendo un número similar de elementos.

Para evitar estas "debilidades" del agrupamiento con k-means, y siguiendo un procedimiento parecido al encontrado en artículos de Martin-Vide (sobre clasificación sinóptica de episodios de nevadas intensas en el Pirineo) en los que también usa PCA+kmeans, se utiliza el significado del resultado del análisis de componentes principales para "dirigir" el funcionamiento del agrupamiento con k-means, en el siguiente sentido:

- Se buscan los días que son "extremos" en cada una de las 80CPs y no lo son en las demás. Es decir, se generan inicialmente 80clusters, y a cada cluster k pertenecen los días para los que la CP[k] tiene un valor que se aleja más de 3 desviaciones estándar de la media de esa CP[k], pero que está dentro de ese intervalo de 3 desviaciones estándar en cada una de las otras 79CPs. Se calcula entre todos los miembros de cada uno de esos clusters iniciales su centroide.
- Se calculan las distancias (en ese espacio de 80 dimensiones) entre cada uno de esos centroides con los demás y se usa el promedio de las distancias de un centroide con los demás como indicador de lo "bien separado" que está ese centroide
- Se escogen sólo los centroides más separados. Para ello, nuevamente, se toma como medidor de "muy separado" que el "alejamiento promedio" de un centroide sea superior a la media de todos los "alejamientos promedio". Con esta selección y con el conjunto de datos analizados quedan 8 centroides
- Una vez tenemos 8 centroides "plausibles", se ejecuta k-means con una sóla iteración, es decir, simplemente se asigna cada día a cada cluster en función de su distancia a ese centroide

- Una vez tenemos todos los días asignados a cada cluster, se calcula el centroide real de ese cluster y se calcula la distancia de cada elemento al centroide del cluster en el que está clasificado.

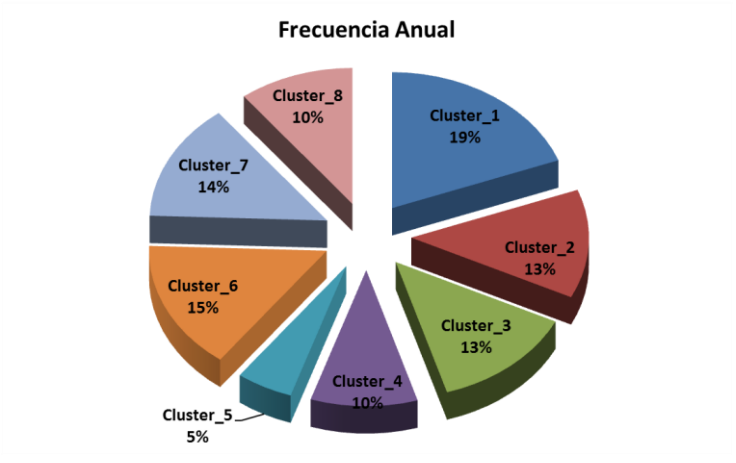
Una vez clasificados todos los días analizados en distintos subconjuntos, se calculó la frecuencia con la que aparecen en cada mes, cada estación y cada año.

De esta forma, una vez elegidos los días representativos de cada clúster, para las posteriores simulaciones, podrán ser promediados todos los resultados en función de estas frecuencias. Se seleccionaron 10 días tipo de cada clúster. Todos ellos entre los años 2012 y 2016 por tener en esas fechas modelos meteorológicos de mayor resolución que nos permitan definir mejor el posterior cálculo de la dispersión de contaminantes.

Resultados

La gran variabilidad de vientos y situaciones sinópticas a las que está sometida Galicia provocó que fueran 8 los clústeres necesarios para recogerla.

Entre los 8 clústeres, 3 se pueden considerar como asociados a bajas presiones (Clúster 2, 6, 7) y otros 4 como de altas presiones (Clúster 1, 3, 4, y 8), junto con otra situación de transición entre bajas y altas presiones (Clúster 5).

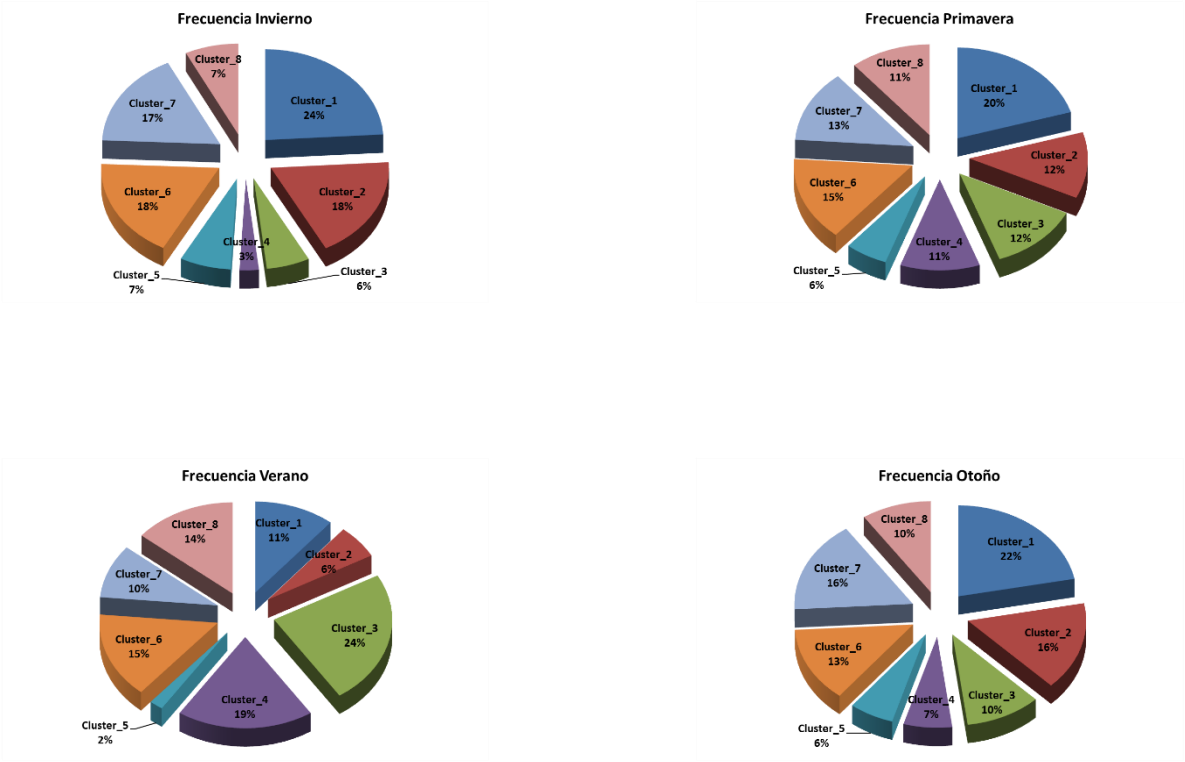


Distribución anual de cada uno de los clústeres definidos.

De la frecuencia anual de aparición de cada clúster obtenemos que un 42% de los días están asociados a bajas presiones, un 53% a altas presiones y un 5% de las situaciones se asocian a una clara transición entre bajas y altas presiones.

La distribución mensual de cada uno de esos clústeres varía mucho, así, mientras que en verano, la suma de los clúster 3 y 4, por ejemplo, se repite un 43% de los días, en invierno estas situaciones solo aparecen en 9 de cada 100 días. A continuación se muestra esta distribución estacional para cada uno de los clústeres.

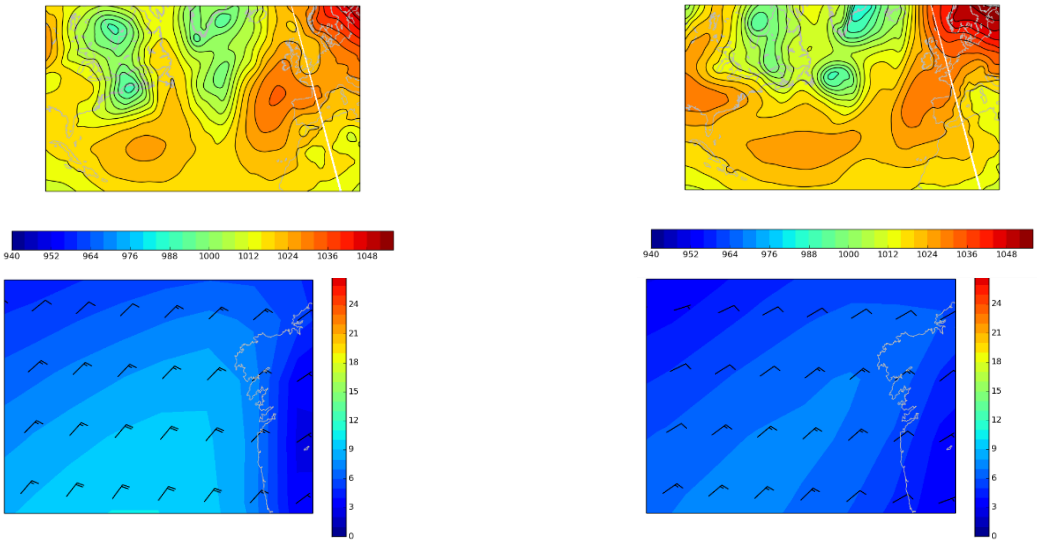
En el siguiente apartado se puede encontrar una descripción detallada de cada clúster.



Distribución estacional de cada uno de los clústeres definidos

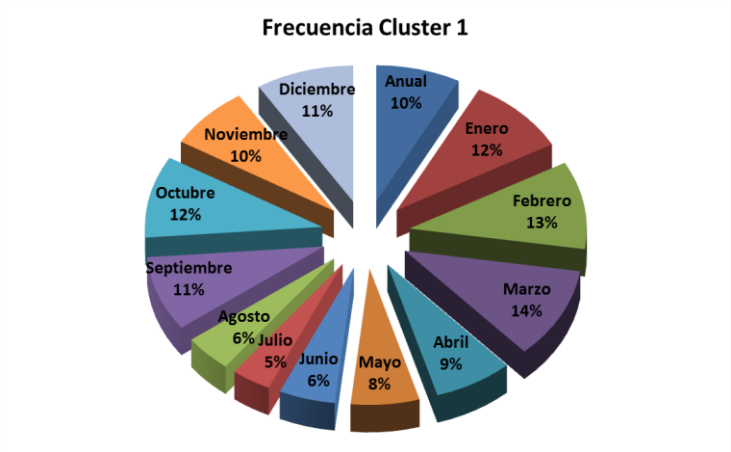
Descripción de cada clúster

Cluster 1



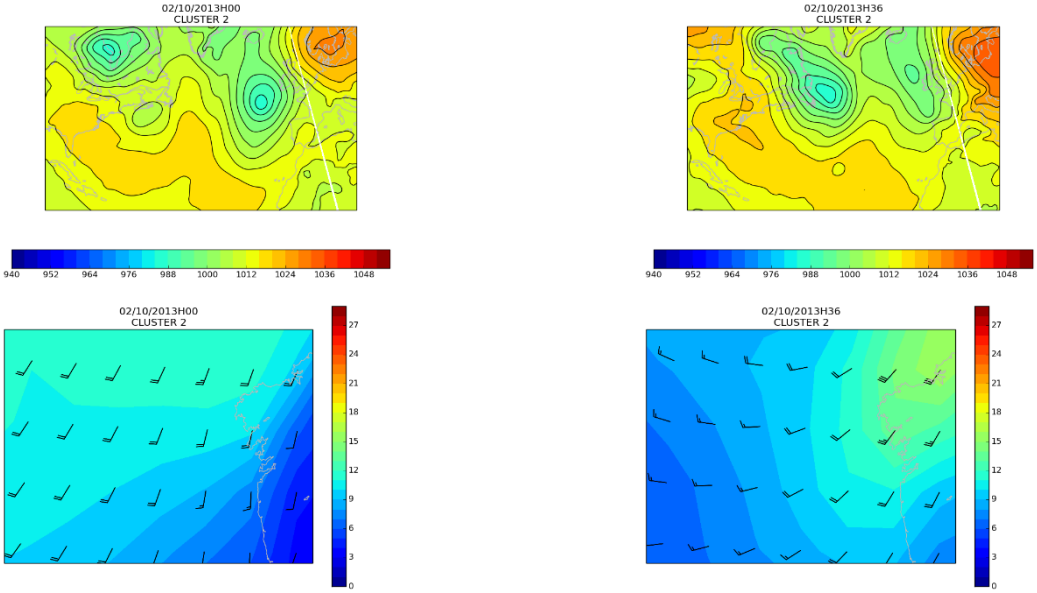
Campo de presión y viento en superficie a las 00h (Izda.) y a las 12h del día siguiente (Dcha.)

El clúster 1 une situaciones anticiclónicas en las que el viento es del nordés, rolando al este debido al asentamiento del anticiclón en el Cantábrico. Además, el giro a vientos del este suele llevar asociado una disminución en la intensidad del viento asociado a la formación de brisas, pero sin perder esa componente este. Esta situación de altas presiones es más propia de la primavera y del otoño. Son los típicos días de sol de esta época del año. No son tan típicos en verano, ya que en verano la diferencia de temperatura entre la tierra y el mar suele ser mayor que en otras épocas y por tanto el efecto de la brisa sería mayor y revertiría ese viento del este a vientos del oeste.



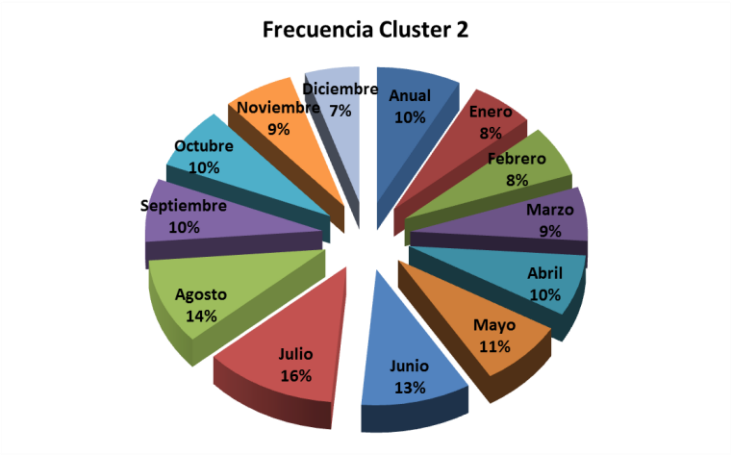
Distribución mensual del Clúster 1

Cluster 2



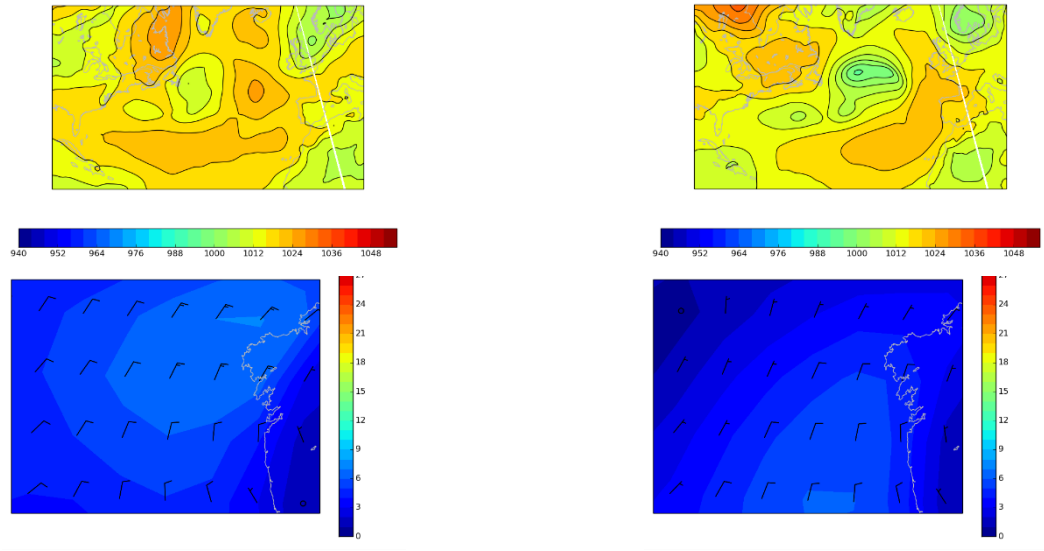
Campo de presión y viento en superficie a las 00h (izquierda) y a las 12h del día siguiente (derecha)

El clúster 2 se caracteriza por la influencia de una borrasca al noroeste de Galicia. En estas situaciones el viento es claramente del suroeste, y además puntualmente con rachas fuertes de viento y precipitaciones puntuales, aunque localmente intensas. Es una situación que se produce escasamente en verano



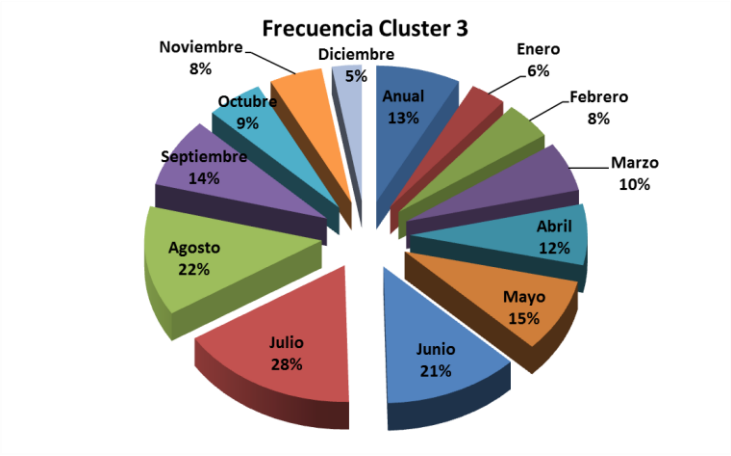
Distribución mensual del Clúster 2

Cluster 3



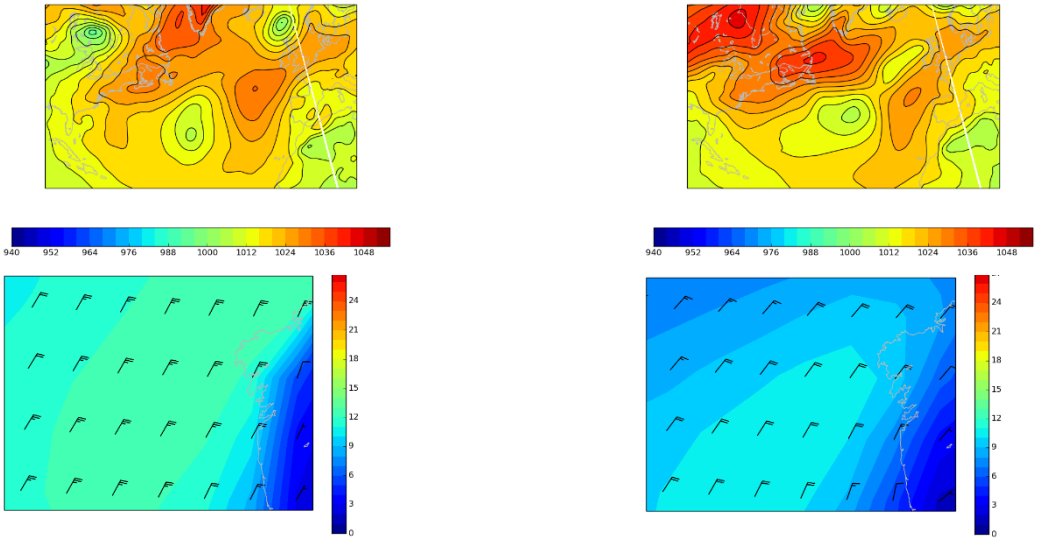
Campo de presión y viento en superficie a las 00h (Izda.) y a las 12h del día siguiente (Dcha.)

Los días asociados al clúster 3 son esos días en los que el anticiclón de las Azores se aproxima a Galicia, pero por latitudes más al norte que en el clúster 8. De esta forma el viento asociado es del nordés en el norte de Galicia, tomando una componente más norte en las Rías Baixas. Es una configuración muy habitual en verano (1 de cada 4 días).



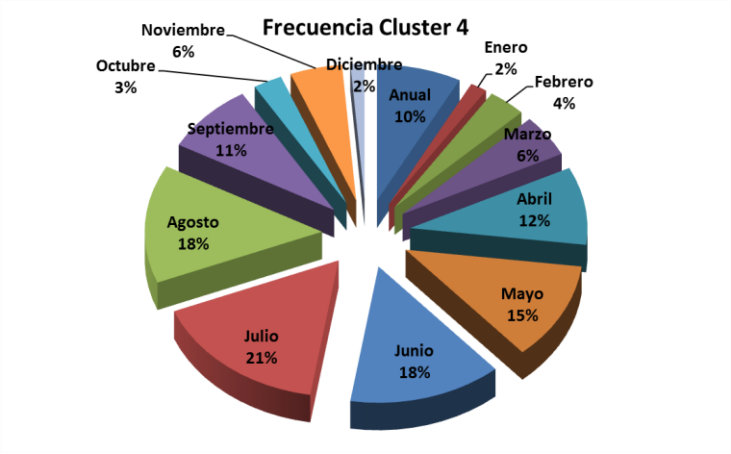
Distribución mensual del Clúster 3

Cluster 4

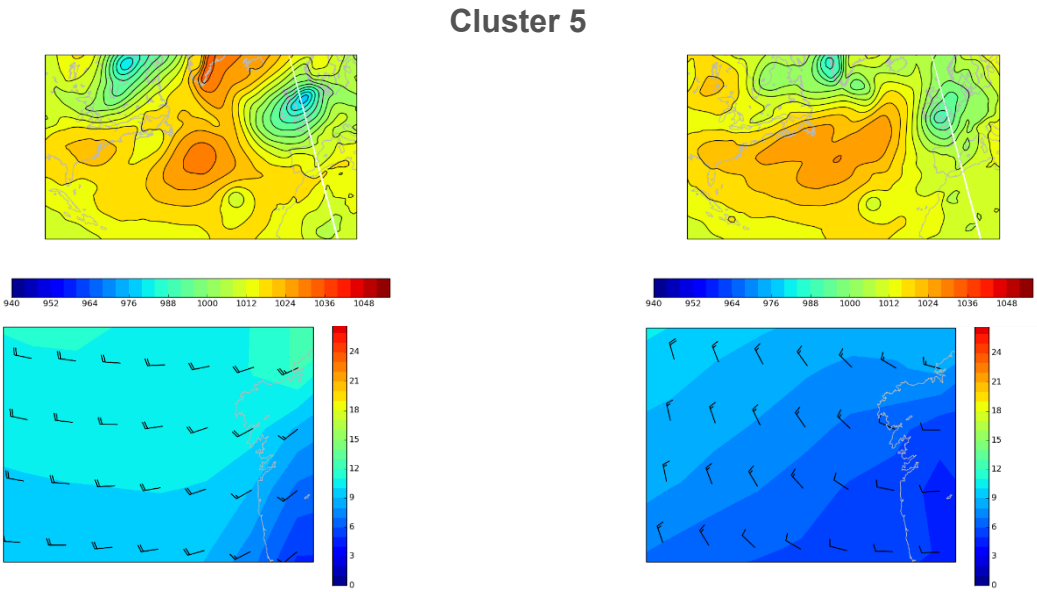


Campo de presión y viento en superficie a las 00h (Izda.) y a las 12h del día siguiente (Dcha.)

En el clúster 4 se agrupan los días con fuerte viento del norte – nordés. Están asociados a situaciones con un potente anticiclón al norte o noroeste de Galicia que suele llevar asociado la presencia de una baja térmica en la Península o en el norte de África, reforzando el gradiente isobárico cerca de Galicia y por tanto la intensidad del viento. Son situaciones mucho más frecuentes en verano. 1 de cada 5 días en los meses de estío pertenecen a esta clasificación, mientras que solo un 2-3% de los días de invierno tenemos esta configuración.



Distribución mensual del Clúster 4



Campo de presión y viento en superficie a las 00h (Idza.) y a las 12h del día siguiente (Dcha.)

El clúster 5 agrupa situaciones de "transición". Es decir, días en los que una borrasca circula por el norte de Galicia, pero su paso es muy rápido y detrás llega una zona de altas presiones. En estos días el viento rola desde el oeste – suroeste al norte – noroeste. Son situaciones que dejan un tiempo muy cambiante, propias del comienzo de la primavera y del otoño y también con una aparición muy ocasional en verano.

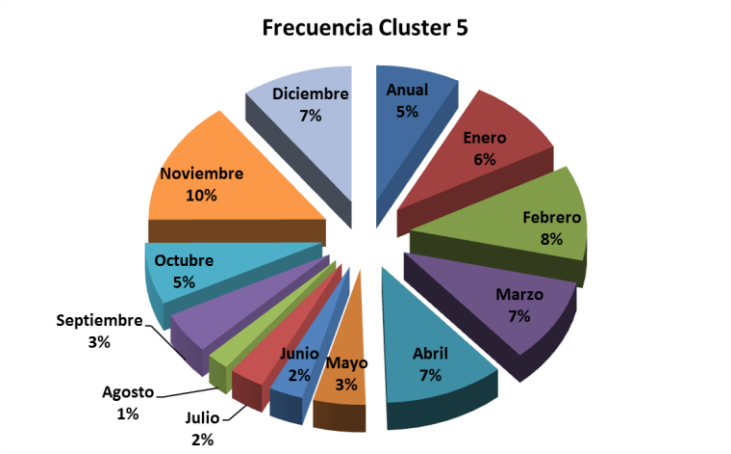
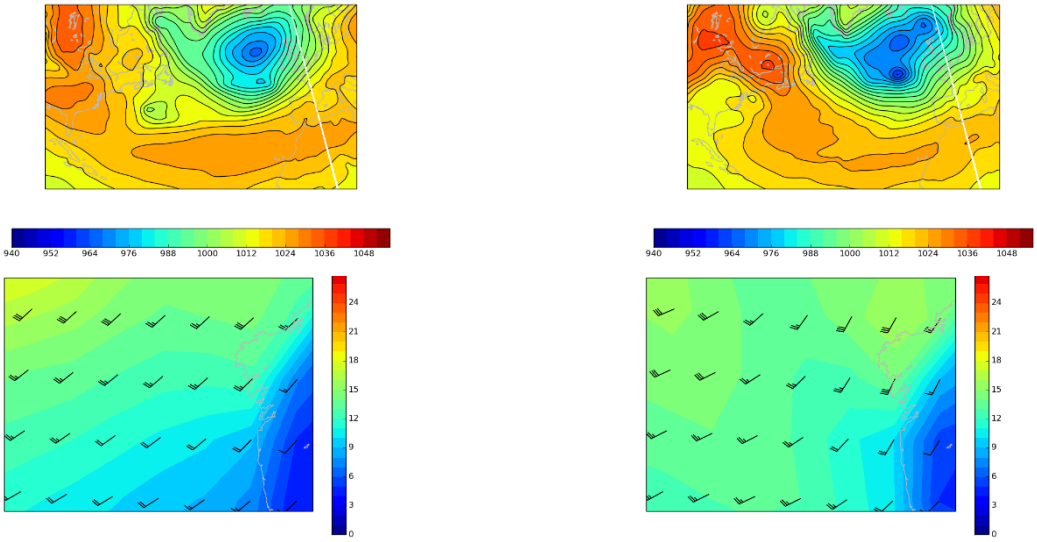


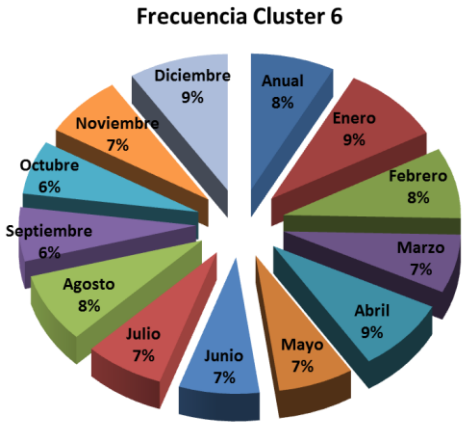
Figura A10.- Distribución mensual del Clúster 5

Cluster 6



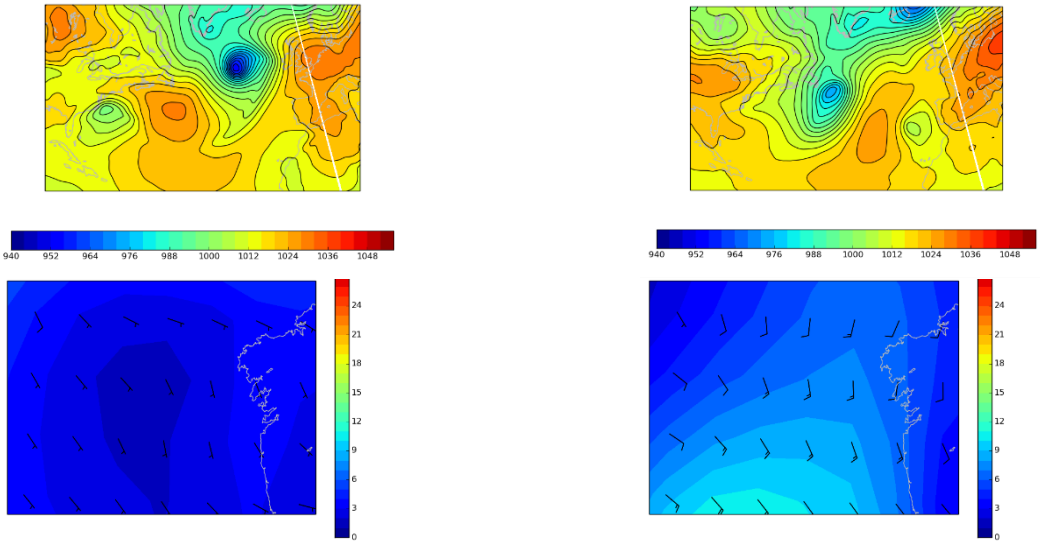
Campo de presión y viento en superficie a las 00h (Izda) y a las 12h del día siguiente (Dcha)

En el clúster 6 también se agrupan situaciones con viento del suroeste y bajas presiones. En este caso son situaciones asociadas a borrascas que ocupan una gran área del Atlántico norte. Dejan en las Rías Baixas rachas de viento muy fuerte, importantes acumulados de lluvia y grandes olas de mar de fondo. Son más frecuentes en los meses de invierno y son muy ocasionales en verano.



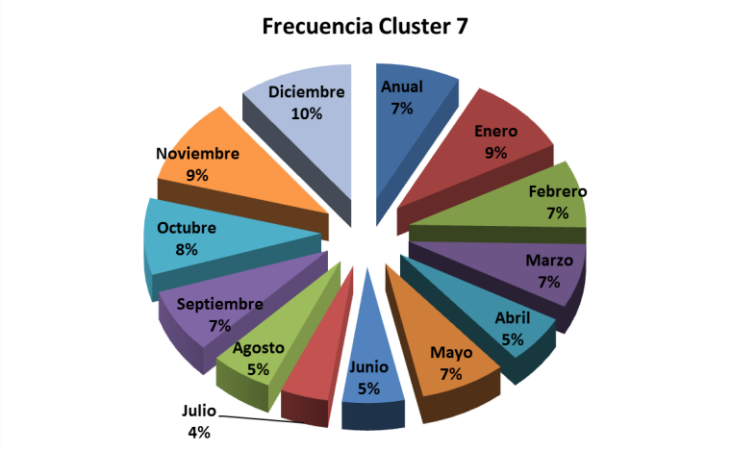
Distribución mensual del Clúster 6

Cluster 7



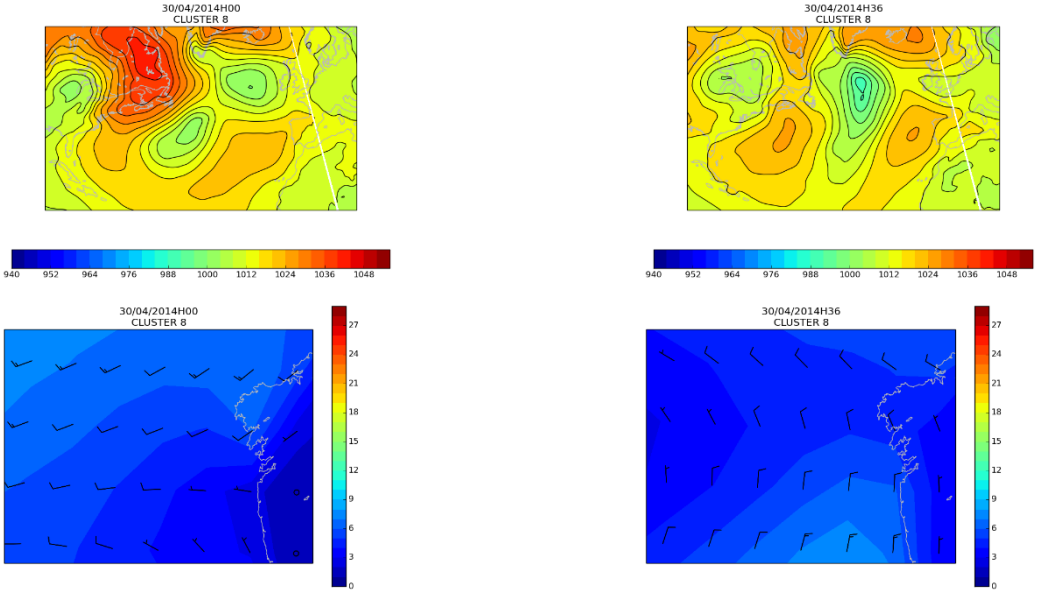
Campo de presión y viento en superficie a las 00h (Izda.) y a las 12h del día siguiente (Dcha)

Los días que se agrupan en el clúster 7 vienen marcados por el viento del sur – sureste. Están caracterizados por la presencia de una borrasca en el Atlántico, bloqueada por la presencia de un anticiclón en el Mediterráneo o sobre la Península que impide su desplazamiento hacia Galicia. Suele dejar lluvias en el mar, enfrente de las Rías Baixas, en muchas ocasiones afectando esas precipitaciones al Parque, pero sin afectar al Continente. Son situaciones típicas del otoño y del invierno y apenas se producen en primavera y verano.



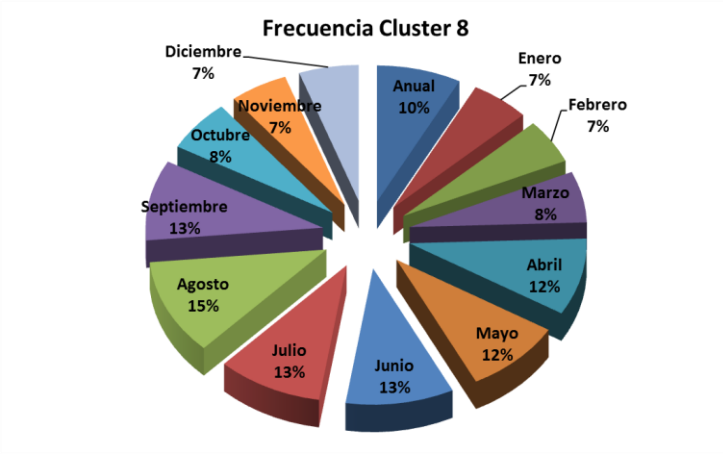
Distribución mensual del Clúster 7

Cluster 8



Campo de presión y viento en superficie a las 00h (Izda.) y a las 12h del día siguiente (Dcha.)

Dentro del clúster 8 se agrupan días en los que el anticiclón de las Azores se extiende hacia Galicia dejando a la mitad sur bajo su influencia, pero con una menor influencia en el norte. Esos días suelen arrancar con vientos del oeste – noroeste rolando al norte. Son días típicos en verano con sol en Rías Baixas y situaciones más nubosas en el norte de Galicia.



Distribución mensual del Clúster 8