



**UST**  
FACULTAT DE CIÈNCIES  
I TECNOLOGIA  
**UVIC-UCC**



## **TRABAJO FINAL DE GRADO**

**Abundancia y distribución de microplásticos y posibles  
impactos sobre el rorcual común  
(*Balaenoptera physalus*) en las costas del Garraf.**

Beatriz Tintoré Pujol-Soliano

**Grado en Biología**

Tutora de la Universidad: Dra. Anna Badosa Salvador

Tutor de EDMAKTUB: Dr. Eduard Degollada

Vic, Setiembre, 2016



# RESUMEN TRABAJO FINAL DE GRADO

## GRADO EN BIOLOGIA

**Título:** Abundancia y distribución de microplásticos y posibles impactos sobre el rorcual común (*Balaenoptera physalus*) en las costas del Garraf.

**Palabras Clave:** Microplástico, rorcual común (*B. physalus*), costa del Garraf

**Autora:** Beatriz Tintoré Pujol-Soliano

**Tutores:** Dr. Eduard Degollada (EDMAKTUB) y Dra. Anna Badosa (UVic-UCC)

**Fecha:** Septiembre 2016

En este Trabajo de Final de Grado se exponen los resultados del estudio realizado con la asociación EDMAKTUB durante el “Proyecto Rorcual”, que tiene como objetivo el estudio del rorcual común (*B. physalus*), que puede encontrarse durante los meses de Febrero a Junio en las costas catalanas del Garraf, cerca de Barcelona. Aprovechando este proyecto, se llevo a cabo un estudio preliminar de la concentración de microplásticos en las aguas superficiales de la costa del Garraf.

Los objetivos principales de este trabajo fueron determinar la abundancia, características (forma, color, medida) y la distribución espacial de los microplásticos en esta zona costera, donde el rorcual común (*B. physalus*) tiene su área de distribución.

Para llevar a cabo el estudio se recogieron un total de 15 muestras con una red cónica de plancton de 60 cm de longitud. Las muestras se analizaron con una lupa estereoscópica y se separaron según su tamaño, color y forma. Además, una vez obtenidos los datos, se creó un mapa mediante un SIG, donde quedaba reflejada la distribución de los microplásticos según su tamaño y la distribución de los avistamientos de rorcual común (*B. physalus*).

El análisis de las muestras ha permitido identificar un total de 514 partículas de microplásticos, de un tamaño predominante > de 2 mm, de las cuales la gran mayoría eran fibras de colores fríos como azul o negro. Además, mediante el uso de SIG, se ha comparado la distribución de avistamientos de rorcual común (*B. physalus*) con la distribución de microplásticos en la zona. Los resultados han demostrado que existe un riesgo de que el rorcual común (*B. physalus*) se esté alimentando de estas micropartículas de forma involuntaria.

# SUMMARY FINAL DEGREE PROJECT

## DEGREE IN BIOLOGY

**Title:** Microplastics abundance, distribution and potential impacts on fin whales (*Balaenoptera physalus*) on the Garraf coast.

**Key words:** Microplastics, Fin whale (*B. physalus*), Garraf coast.

**Author:** Beatriz TintoréPujol-Soliano

**Advisors:** Dr. Eduard Degollada (EDMAKTUB) and Dra. AnnaBadosa (UVic-UCC)

**Date:** September 2016

This Final Degree Project shows the results of the study done with EDMAKTUB association during the “Fin whale Project”. The main goal of this project is to study the fin whale (*B. physalus*) that can be found between February and June on the coast of Garraf near Barcelona. Taking advantage of this project, we have done a preliminary study of the concentration of microplastics in surface waters of the Garraf coast.

The main goal of this project is to determine the abundance, characteristics (size, color, shape) and the spatial distribution of microplastics in the area of study, where the fin whale (*B. physalus*) has its distribution area.

To carry out this study we collected 15 samples, with a conical net of plankton. The samples were analyzed with a stereomicroscope and separated by size, colour and shape. Once the data was obtained, a map was created by GIS software to show the distribution of the microplastics according to the size and also the distribution of the fin whale (*B. physalus*)

The analysis of samples showed a total of 514 particles of microplastics with a predominant size of > 2 mm, of which the vast majority were fibers of cool colors like blue or black. In addition, by using GIS, it has been possible to compare the distribution of fin whale (*B. physalus*) sightings with the distribution of microplastics in the area. The results have shown that there is a risk that fin whales (*B. physalus*) were unintentionally feeding of these microplastics.

# Índice

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 La contaminación por plásticos.....	1
Los microplásticos y sus efectos sobre la fauna marina .....	4
1.2 Microplásticos en el Mediterráneo .....	6
1.3 El Proyecto Rorcual .....	7
2. OBJETIVOS .....	8
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	9
3.1. Especie de interés: el rorcual común .....	9
3.2. Área de estudio .....	11
3.3. Clima.....	12
3.4. Metodología .....	14
3.4.1. Muestreo de microplásticos.....	14
3.4.2. Recuento y caracterización de los microplásticos.....	15
3.4.3. Avistamientos de rorcual común .....	16
3.4.4. Análisis de los datos .....	17
4. RESULTADOS.....	18
4.1. Abundancia de microplásticos .....	19
4.1.1. Abundancia de microplásticos según su tamaño .....	20
4.1.2. Abundancia de microplásticos según su color .....	22
4.1.3. Abundancia de microplásticos según su forma.....	23
4.1.4. Relación entre la forma y el color de los microplásticos.....	24
4.2. Avistamientos de rorcual común .....	24
4.3. Relación entre los avistamientos de rorcual y la presencia de microplásticos.....	26
5. DISCUSIÓN.....	28
5.1. Los microplásticos en la costa del Garraf .....	28
5.2. El rorcual común ( <i>B. physalus</i> ) en la costa del Garraf.....	29
5.3. Se ve afectada por microplásticos el área de alimentación del rorcual común en la costa del Garraf? .....	30

6. CONCLUSIONES.....	32
7. BIBLIOGRAFIA.....	33
ANEXO 1: Fotos de los efectos de los macroplásticos en la fauna marina .....	37
ANEXO 2: Diagrama de Gaussén del 2014 y 2015.....	39
ANEXO 3: Protocolo de muestreo y análisis de microplásticos .....	40
ANEXO 4: Resumen de las inmersiones de la red de plancton durante los muestreos.....	43
ANEXO 5: Imágenes satélite de la clorofila-a .....	44
8. AGRADECIMIENTOS.....	45

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 La contaminación por plásticos

Los plásticos son polímeros orgánicos sintéticos que se forman por la polimerización de monómeros extraídos del petróleo (M. Cole et al., 2011). La principal característica que hace este material atractivo para el ser humano es su durabilidad, a la vez es también su mayor problema ya que es extremadamente resistente a su degradación (Derraik., 2002).

Se estima que el polipropileno, un tipo de plástico que se usa habitualmente, como por ejemplo en los tapones de botellas o en los envases de yogurt, puede tardar de 100 a 300 años en degradarse de manera natural. Respecto a otros tipos de plásticos, como por ejemplo el PET (Tereftalato de polietileno) que se encuentra en botellas o el PVC (Policloruro de vinilo) que se puede encontrar en tubos y cañerías entre otros, pueden llegar a tardar hasta 1.000 años. Las bolsas de plástico que utilizamos cada día necesitan unos 150 años en degradarse, mientras que las botellas de plástico podrían necesitar un mínimo de 450 años (León y Ávila., 2015).

En el documental realizado por Cunningham et al. (2015), Algunos expertos como el Dr. Mike Biddle de MBA Polymers, el Dr. Marcus Eriksen de 5GYRE Institute, el Capitán Charles Moore de ALGALITA marine research and education y el Capitán Paul Watson fundador de SEA SHEPERD conservation society, entre otros, denominan la era actual como la del plástico, y es un hecho que podemos encontrar contaminación de residuos plásticos hasta en los rincones más remotos de la tierra. Anualmente, se crean alrededor de 288 millones de toneladas de plástico y, a diferencia del papel, metal, cristal o madera, este material no se oxida o biodegrada y mayoritariamente acaba en el fondo de nuestros océanos.

Aunque muchos plásticos son reciclados - en 2011 se registró una tasa de reciclaje de plástico en España del 56% (SGAPC, 2014) - la mayoría acaban en el medio natural donde pueden pasar siglos hasta que se rompan y se descompongan del todo (M. Cole et al., 2011).

En 1999, en el "Great Pacific Garbage Patch", acumulación de plástico que se forma en el océano Pacífico a causa de las corrientes oceánicas, el Capitán Charles Moore hizo un estudio comparativo de partículas de plástico que se encontraban respecto a los individuos de plancton y encontró un promedio de 6 partículas por individuo. En

2009, se encontró un promedio de 36 partículas por individuo y se estimó que en 2015 se llegaría a un promedio de 100 partículas de plástico por cada individuo de plancton (Cunningham, et al., 2015).

Las partículas contaminantes entran en el medio marino principalmente desde fuentes terrestres (p.ej. a través de los ríos, desechos que se dejan directamente en la playa, etc.) pero también pueden entrar por actividades marítimas como por ejemplo la pesca y por infraestructuras marinas como las plataformas petrolíferas o las piscifactorías. Las mayores entradas de residuos plásticos en el medio marino se producen en zonas densamente pobladas o en áreas industriales. La predominancia de residuos plásticos entre la basura marina varía entre el 60% y el 80% (Derraik., 2000).

Aunque la contaminación de los mares por plásticos es un problema que preocupa desde hace años, aún no existe una estimación de la cantidad de este material que acaba en los océanos cada año. El hecho de que la mayoría de los residuos se hundan y acumulen en los sedimentos o se incorporen a la cadena alimenticia, dificulta llegar a una estimación aproximada de la cantidad de residuos plásticos que se encuentran en nuestros mares y océanos (Jambeck et al., 2015).

La contaminación por plásticos se ha podido observar en todos los océanos, incluso en las zonas más remotas, pero las concentraciones más elevadas de partículas flotantes de plástico se han observado en las áreas centrales del océano Atlántico Norte y del Pacífico, donde las corrientes superficiales oceánicas provocan su acumulación (Barnes et al., 2009; Cózar et al., 2014; Eriksen et al., 2014). Un ejemplo de estas acumulaciones las encontramos en una playa de Hawái, donde se ha comprobado que los residuos que llegan provienen de diferentes partes del mundo como Japón y Estados Unidos (Cunningham, et al., 2015).

Los efectos que los grandes plásticos (>0.05 m), denominados macroplásticos (Fossi et al., 2012) pueden tener sobre el medio marino han sido ampliamente estudiados, sobre todo por el problema estético y las repercusiones económicas que representan (Barnes et al., 2009; Gregory., 2016). Sin embargo, se han de tener más en cuenta los problemas medioambientales que provocan. Los más comunes son lesiones y muerte de pájaros marinos, mamíferos, peces y reptiles, provocados por enredos o por la propia ingestión (de Stephanis et al. 2013; Gregory., 2016). En varias ocasiones, se han observado imágenes de animales enredados en plásticos o con una amputación a causa del problema comentado (Ver Anexo 1).



Por ejemplo, la ingestión de plástico por parte de peces provoca un desarrollo más lento respecto a los individuos de su misma especie, provocando así, que sea más fácil su captura (Lönnstedt y Eklöv., 2016). Otro problema grave que pueden causar los macroplásticos es el transporte indirecto de larvas de peces que quedan enganchadas en ellos y que pueden acabar convirtiéndose en especies invasoras (M. Cole et al., 2011). Stephanis et al. (2013) analizó el estomago de un cachalote (*Physeter macrocephalus*) que quedó varado en una playa cerca de Granada (España) y concluyó que la causa más probable de la muerte de ese individuo había sido la ingestión masiva de macroplásticos, muchos de ellos procedentes de los invernaderos de la zona. Este estudio resalta la importancia del análisis estomacal de los individuos de cetáceos que se encuentran varados.

No obstante, en los últimos años ha crecido la preocupación de la contaminación por microplásticos en el medio marino (Cózar et al., 2014), ya que se ha podido comprobar que la contaminación por parte de estas micropartículas de plástico es muy elevada (Rochman et al., 2013).

Los microplásticos se originan por la degradación de los macroplásticos presentes en el medio marino desde principios de “La Era del Plástico” (M.C.Fossi et al., 2012). Esta degradación se produce principalmente por la exposición de los macroplásticos a la radiación solar y por su fragmentación a causa de las olas (Barnes et al., 2009).

Durante el estudio realizado por Eriksen et al. (2014) se comprobó que se encontraban plásticos de todos los tamaños en todos los océanos. Además, se observó que la cantidad de plásticos encontrada en el hemisferio sur entraba en el mismo rango que la cantidad encontrada en el hemisferio norte. Cosa sorprendente ya que en el hemisferio norte hay más entradas de residuos al océano que en el hemisferio sur. Este dato les llevó a pensar que en el hemisferio sur debe haber importantes fuentes de contaminantes plásticos aun desconocidas.

En este mismo estudio se estimó una distribución global de microplásticos flotando en la superficie de 35.500 toneladas métricas. Estos datos representan muchos menos microplásticos de los esperados, por lo que lleva a pensar que el destino final de los microplásticos no está en la superficie si no en las profundidades.

## **Los microplásticos y sus efectos sobre la fauna marina**

El rango de tamaños atribuido a los microplásticos ha variado ampliamente según los distintos estudios, en los cuales se consideraban microplásticos aquellas partículas con diámetro < 10 mm, o < 5 mm (Barnes et al., 2009), entre 2-6 mm (Derraik, 2002), < 2 mm y < 1 mm (Fossi et al., 2016).

Esta falta de definición ha provocado problemas a la hora de comparar datos referentes a los microplásticos. Por ese motivo Andrady. (2011) sugirió añadir el término “mesoplástico” para diferenciar los pequeños plásticos que eran visibles a simple vista de los microplásticos, que solo podían visualizarse con el microscopio.

Dentro de los microplásticos se pueden distinguir los microplásticos primarios de los microplásticos secundarios. Los primarios son aquellos que ya han sido fabricados para ser de un tamaño microscópico, como por ejemplo los que se encuentran en productos de limpieza o de cosmética (Cole et al., 2011). Por otra parte, los microplásticos secundarios son aquellos plásticos de pequeño tamaño que derivan principalmente de la fragmentación de macroplásticos tanto en el mar como en la tierra (Barnes et al., 2009).

En cuanto al efecto de los microplásticos sobre la fauna marina se han realizado diversos estudios que demuestran la ingesta de estas partículas por parte de diferentes especies. Los microplásticos tienen un tamaño muy similar al zooplancton, organismos de los que se alimentan muchas especies, y se puede dar una ingesta directa de estos contaminantes durante la predación, por ejemplo por especies como peces, o una ingesta indirecta por parte de organismos filtradores de zooplancton como por ejemplo cetáceos misticetos o bivalvos.

Además, la ingestión de los microplásticos, así como de presas contaminadas y macroplásticos, produce la bioacumulación de toxinas químicas en los organismos tanto filtradores como depredadores. La mayoría de los microplásticos contienen un compuesto químico denominado PBT (Polibutilenotereftalato) que tiene una baja solubilidad en agua de mar y por lo tanto, tiende a concentrarse en la superficie donde puede ser absorbida por filtración y bioacumularse en los organismos (Fossi et al., 2016).

El estudio de Boerger et al. (2010), basado en el análisis del contenido estomacal de 670 peces pertenecientes a 5 especies mesopelágicas (viven entre los 200-1000 m de profundidad) y 1 epipelágica (vive entre la superficie y los 200 m), confirmó la

ingesta de microplásticos por parte de los peces y estimó la cantidad de plástico ingerida en 1375 piezas.

Lönnstedt y Eklöv. (2016) demostraron experimentalmente que la ingesta de partículas de plástico de menos de 5 milímetros por parte de las larvas de peces, puede causar problemas reproductivos y amenazas en su supervivencia.

Tanaka et al. (2013) también demostró el impacto de estos contaminantes en aves marinas ya que analizó el contenido estomacal de diferentes especies y encontró partículas de plástico en todas ellas.

Igualmente, organismos filtradores como los bivalvos se ven afectados. En un estudio realizado por Li et al. (2015), se analizó la abundancia y los tipos de microplásticos presentes en 9 de las especies de bivalvos que más se comercializan en Shanghái, China. A partir de los resultados llegaron a la conclusión de que había altos niveles de contaminantes en los bivalvos y que es importante el control de los microplásticos en el marisco ya que representa un riesgo para la salud humana.

Un estudio reciente (Hall et al. 2015) también ha demostrado que los corales se alimentan de manera indirecta o directa de microplásticos, aunque, no han podido demostrar cómo estos microplásticos afectan al crecimiento de los corales.

Lusher et al. (2015) realizó el primer estudio de identificación de microplásticos en el tracto digestivo de un cetáceo. En concreto, se realizó en zifios (*Ziphius cavirostris*) que habían varado en la costa norte y oeste de Irlanda y la mayoría de microplásticos que encontraron fueron fibras. Al ser el primer estudio realizado no se pudieron comparar los resultados, aunque sí permitió comprobar que los cetáceos ingieren los microplásticos directamente de la columna de agua o indirectamente cuando depredan pequeños peces.

## 1.2 Microplásticos en el Mediterráneo

El mar Mediterráneo ha sido considerado durante siglos como un medio para la cohesión de diferentes culturas, sin embargo, durante el último siglo se ha convertido en un vertedero de los residuos antropogénicos creados por los 22 países costeros. Hecho que ha provocado un mar altamente contaminado (Eriksen et al., 2014).

Se estima que 62 millones de partículas de plásticos están flotando en el mar Mediterráneo y las densidades medias de microplásticos flotantes es de más de 100.000 uds/km<sup>2</sup> (Fossi et al., 2016). Estos datos demuestran la importancia del estudio de esta amenaza para la conservación del mar Mediterráneo.

No obstante, apenas existen estudios en el Mediterráneo sobre la contaminación por microplásticos y sus posibles efectos sobre la fauna marina. Los únicos estudios conocidos se concentran en la cuenca del Mediterráneo noroccidental.

En uno de los tres estudios, realizado por Collignon et al. (2012) en la zona del Mediterráneo noroccidental, entre el golfo de León y el mar de Liguria, se encontró que el 90% de las 40 muestras recogidas en aguas superficiales, contenían partículas de microplásticos y se contabilizaron un total 4.371 microplásticos. Dada la falta de estudios previos, no se pudo llegar a una conclusión sobre los posibles efectos de estas micropartículas sobre la fauna marina.

Los otros dos estudios conocidos fueron realizados por Fossi y colaboradores. El primero analizó si los misticetos, cetáceos con barbas, se veían afectados por los microplásticos en el mar Mediterráneo. Se analizaron un total de 23 muestras superficiales de zooplancton, y se observó que 13 de las muestras contenían microplásticos. Teniendo en cuenta los resultados y que muchas de las muestras fueron recogidas en “Hotspots” de biodiversidad, los autores llegaron a la conclusión de que hay un alto riesgo de ingestión de estos microplásticos por parte de los cetáceos que habitan en la zona (Fossi et al., 2012). En un segundo estudio se recogieron un total de 36 muestras de zooplancton y microplásticos en el mar de Liguria, en el Santuario Pelagos, el área protegida más grande del Mediterráneo (UICN, 2016). Los resultados permitieron comprobar que el área de distribución del rorcual común (*B. physalus*) y el área de distribución de los microplásticos coincidían. Por tanto, llegaron a la conclusión de que en el Santuario Pelagos esta especie de cetáceo está expuesta a un alto riesgo de contaminación por microplásticos (Fossi et al. 2016).

### 1.3 El Proyecto Rorcual

El Proyecto Rorcual es un estudio científico que desarrolla la Asociación EDMAKTUB, una organización sin ánimo de lucro con sede en Barcelona que se dedica a la divulgación y a la investigación de los cetáceos (EDMAKTUB., 2016).

El proyecto, financiado por Fundació Barcelona Zoo y Fundación Biodiversidad, se inició en el año 2014 con el objetivo de estudiar la presencia del rorcual común (*B. physalus*) en el área comprendida entre Barcelona y Tarragona (costa del Garraf) y, a la vez, fomentar su preservación ya que se trata de una especie en peligro de extinción (EDMAKTUB., 2016). Las campañas de campo se realizan entre los meses de febrero y junio, ambos incluidos, ya que es la época en que se producen los avistamientos de esta especie en la zona.

El rorcual común se alimenta de zooplancton por filtración y en cada bocanada de agua puede atrapar aproximadamente 70.000 litros de agua. Este cetáceo tiene un gran riesgo de ingerir microplásticos de manera directa ya que se alimenta tanto en la superficie como en la columna de agua (Fossi et al., 2016). No obstante, también pueden ingerir estas macropartículas de forma indirecta ya que se han encontrado microplásticos dentro del zooplancton (Cozar et al., 2014).

Dentro del Proyecto Rorcual se diferencian distintas líneas de investigación dirigidas por los diferentes miembros de la asociación. El Dr. Eduard Degollada, presidente de la asociación, se encarga de la administración del proyecto y actualmente está desarrollando nuevas técnicas para el estudio de los cetáceos mediante la utilización de drones, de forma que sean menos invasivas para el animal. La investigadora Natalia Amigó se encarga de la gestión de proyectos científicos, coordinación de Voluntarios y Asistentes de Investigación además de la identificación y monitoreo de aves marinas. La investigadora Margarita Junza se encarga de la foto-identificación de los individuos observados. Esta línea de investigación permite comprobar si los individuos avistados durante la temporada son los mismos año tras año. La investigadora Cristina Martín se encarga principalmente de la relación con los pescadores, que permite ampliar el área de estudio y tener una distribución más detallada del rorcual común en la costa catalana.

Por último, la Asociación también colabora con el Laboratorio de Aplicaciones Bioacústicas (LAB) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), en una línea de investigación que pretende registrar las vocalizaciones de las ballenas en la zona, mediante una boya-hidrófono.

## 2. OBJETIVOS

Dada la falta de datos sobre la contaminación por microplásticos en la costa catalana y el potencial efecto de éstos sobre el rorcual común (*Balaenoptera physalus*), (Fossi et al., 2016), se ha aprovechado la existencia del Proyecto Rorcual para llevar a cabo este estudio preliminar sobre la presencia de microplásticos en las costas del Garraf, que forman parte del área de distribución de este cetáceo.

El principal objetivo de este estudio es determinar la abundancia, las características (tamaño, color y forma) y la distribución de microplásticos en las aguas superficiales de las costas del Garraf. A la vez, se pretende analizar la distribución espacial de los microplásticos en el área de alimentación del rorcual común.

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1. Especie de interés: el rorcual común

El rorcual común (*Balaenoptera physalus*) es un mamífero marino perteneciente al suborden de los Mysticetos o cetáceos con barbas, unas láminas queratinosas que cuelgan de la mandíbula superior y que actúan como filtro. El rorcual común es el único de este suborden que habita en el Mediterráneo y es el segundo animal más grande en el mundo. El tamaño medio del adulto es de 18-20 metros pudiendo llegar hasta los 25m, siendo las hembras mayores que los machos (Aguilar., 1985)

Para la identificación de este animal se ha de tener en cuenta su soplo a través del espiráculo (Fig. 1) que es recto y alto, la presencia de una aleta dorsal muy atrasada en el cuerpo y una coloración asimétrica siendo la mitad derecha de la mandíbula inferior blanca y la mitad derecha de la cabeza con un patrón de marcas claras y oscuras (Cañadas., 2014).



**Figura 1.** En la imagen superior se puede observar la aleta dorsal de un rorcual común (*B. physalus*) (Fuente: Cris Martín). En la inferior, se observa el espiráculo en un individuo de la misma especie (Fuente: Natalia Amigó).

Respecto a su alimentación, los rorcuales comunes son filtradores y se alimentan de pequeños invertebrados planctónicos, especialmente crustáceos (p.e. misidáceos, krill) y ocasionalmente de peces y calamares. Se alimentan abriendo las mandíbulas mientras nadan y tragando enormes bocanadas de agua. Entonces comprimen sus mandíbulas para que el agua sea expulsada a través de las barbas, donde quedará retenido el alimento. Un adulto puede llegar a ingerir hasta 40 millones de krill en un día y pueden alimentarse en la superficie o en aguas profundas (Aguilar., 1985; Reeves et al., 2003).

El área de distribución de este mamífero en el Mediterráneo se encuentra en el Mediterráneo occidental y central con una concentración estival en el mar de Liguria y Tirreno. Es muy rara la presencia de este animal en la cuenca oriental y en el mar Adriático (Aguilar et al., 2002).

Existe una diferenciación genética entre el rorcual común del Atlántico y del Mediterráneo, constituyendo esta último una subpoblación aislada. Bérubé et al. (1998) compararon genéticamente ejemplares del Atlántico Norte con ejemplares del Mediterráneo, obteniendo diferencias significativas en el ADN nuclear entre estos últimos y los de la parte oeste del océano.

Según la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) esta subpoblación Mediterránea es considerada Vulnerable y en peligro de extinción a nivel global. Las principales amenazas que sufre esta especie y que muchas de ellas son causas directas de mortalidad en el Mediterráneo, son las colisiones con barcos de gran tonelaje, el ruido y la perturbación por el tráfico marítimo, las operaciones de observación comercial de cetáceos poco reguladas, los altos niveles de contaminantes y también la gran dependencia de especies como el krill, que a su vez son vulnerables a los efectos del cambio climático (Cañadas., 2014).

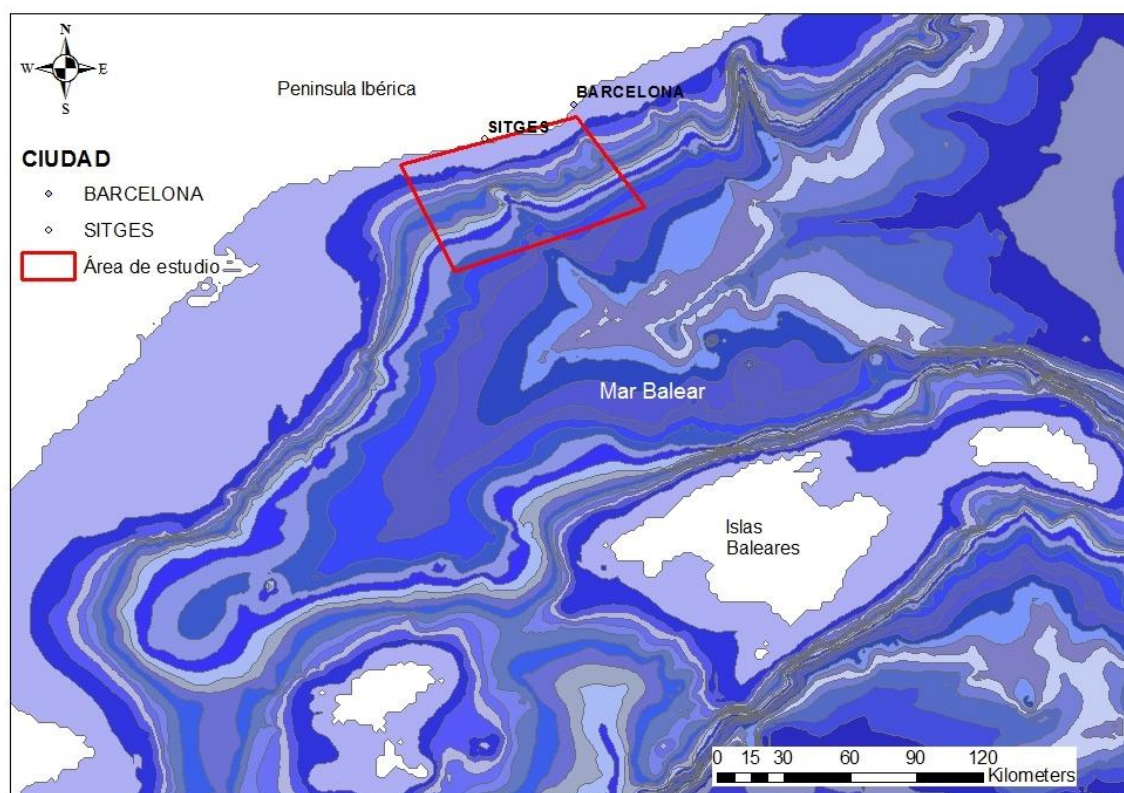


### 3.2. Área de estudio

El Mar Mediterráneo es el mayor y más profundo de los mares interiores del planeta, es un mar bastante cerrado que comunica con el océano Atlántico por el estrecho de Gibraltar, con el mar Negro a través del Bósforo y con el mar Rojo a través del canal de Suez (Ballesteros y Llobet, 2015). Es un mar cálido-templado, con temperaturas superficiales invernales mínimas que oscilan entre los 10 y los 17°C. Las temperaturas máximas estivales superficiales alcanzan los 22°C y superan los 28°C al sureste (El tiempo., 2016).

El área de estudio del proyecto se situó en la costa del Garraf, costa central de Catalunya (NE de la Península Ibérica), concretamente entre los municipios de Sitges y Cunit, en las comarcas del Garraf y el Baix Penedès respectivamente. La zona de estudio cubrió un área de 840 km<sup>2</sup> y se extendió hasta 9 millas de la costa (Fig. 2)

La costa del Garraf es una zona de reconocida importancia ecológica ya que está declarada como Lugar de Importancia Comunitaria (LIC), Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) y, a la vez, pertenece a la Red Natura 2000 y al Plan de Espacios de Interés Natural (PEIN) (Intecsa-Inarsa, 2011).



**Figura 2.** Mapa del Área de estudio (Fuente: Beatriz Tintoré)

La presencia de cañones submarinos en esta zona forman corrientes ascendientes de agua que provocan un intercambio de masas de agua y un aporte de nutrientes a la superficie, hecho que favorece el desarrollo de comunidades planctónicas en la zona. Otra de las circunstancias que puede favorecer la elevada concentración de plancton es el aporte de descargas fluviales del río Llobregat y otras rieras temporales que se forman en caso de lluvias abundantes (Intecsa-Inarsa, 2011). Se cree que esta elevada concentración de nutrientes y plancton es el motivo de la elevada presencia del rorcual común (*B. physalus*) en la zona. Se les ha visto en diversas ocasiones alimentándose y permaneciendo en la misma área varios días seguidos.

A parte del rorcual común, en la zona de estudio pueden observarse otras especies de cetáceos como el calderón gris (*Grampus griseus*), el calderón común (*Globicephala melas*) y las tres especies de delfines presentes en el mar Mediterráneo, el delfín listado (*Stenella coeruleoalba*), el delfín común (*Delphinus delphis*) y el delfín mular (*Tursiops truncatus*). De hecho, ha habido avistamientos de todas estas especies durante el período de estudio.

### **3.3. Clima**

La zona de estudio, mayoritariamente en la comarca del Garraf, se encuentra afectada por un clima Mediterráneo litoral, que afecta al litoral Mediterráneo de España, incluyendo las costas de Cataluña. (El tiempo., 2016).

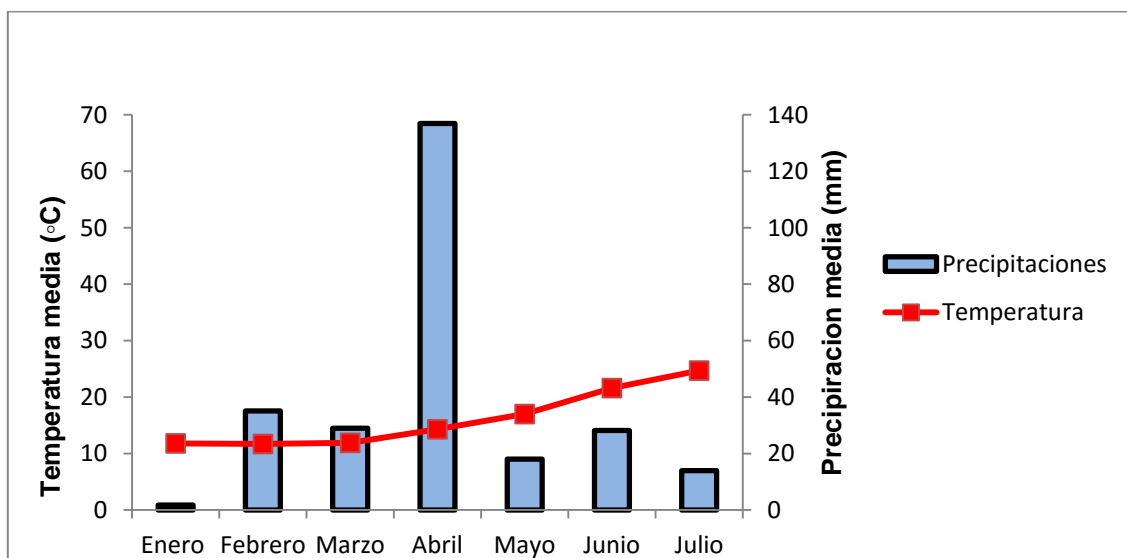
Las precipitaciones en estas zonas son en general escasas, registrándose los valores máximos en otoño y los mínimos en invierno y verano. El verano es la época más árida del año y se produce lo que se denomina sequia estival. Respecto a la temperatura, éstas se mantienen suaves durante todo el año debido a la presencia del mar. En invierno las temperaturas son moderadas con una media entre los 7°C y los 9°C y los veranos son calurosos con unas temperaturas entre los 22 °C y los 24 °C (El tiempo., 2016).

En la figura 3 se muestra el diagrama de Gaussen del año 2016 para los meses en los que se han realizado las campañas de campo de este estudio (enero-julio2016). Los datos meteorológicos se han obtenido de la estación meteorológica del Aeropuerto de Barcelona, la más cercana a la zona de estudio (El tiempo., 2016).

En el diagrama se observa que las temperaturas medias fueron muy constantes desde enero hasta el mes de mayo, alrededor de los 12°C, y que fueron aumentando a la llegada del verano.

Respecto a las precipitaciones medias, éstas fueron bastante escasas durante todos los meses, no superando los 40mm, excepto en el mes de abril cuando se llegó a una máximo de 140 mm.

En comparación con los diagramas de Gausen del año 2014 y 2015 (ver Anexo 2), las temperaturas medias entre los meses de enero a julio registradas en 2016 son más bajas que las registradas en 2015 aunque muy similares a las del 2014. Respecto a las precipitaciones medias entre los meses de enero a julio, en el 2016 se registraron las precipitaciones más elevadas respecto a los dos últimos años, aunque en 2014 la media de precipitaciones totales es mayor que la registrada en el 2015.



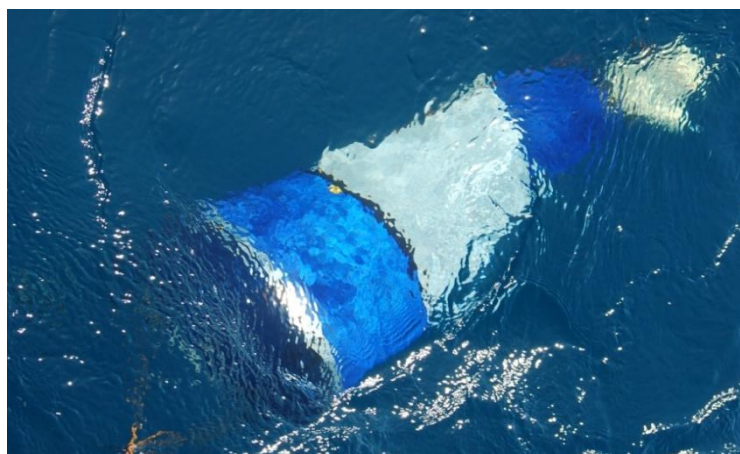
**Figura 3.** Diagrama de Gausen de los datos climáticos del período en que se realizaron las campañas del presente estudio, de enero a julio del 2016. (Fuente de los datos: El tiempo., 2016).

### 3.4. Metodología

#### 3.4.1. Muestreo de microplásticos

El muestreo de microplásticos se realizó siguiendo un protocolo diseñado especialmente para este estudio y basado en la metodología descrita en Fossi et al., 2016 (ver Anexo 3 para un protocolo más detallado). La plataforma utilizada para el muestreo ha sido la embarcación MAKTUB, un catamarán Catana 471 de 14,4 m de eslora, cuyo puerto base está situado en Vilanova i la Geltrú. Las campañas de campo se realizaron entre los meses de enero y junio de 2016.

Una vez se salía del puerto y llegada la profundidad de 30 metros, se comenzaba el transecto para los avistamientos de cetáceos. A continuación y en una ubicación que nos parecía la indicada por la presencia de rorcual común (*B. physalus*) o por ser una zona de interés, se realizaba el muestreo de microplásticos. Las muestras se recogían a lo largo de un transecto de 20 minutos, con una red cónica de plancton de 60 cm de diámetro y luz de malla de 100 micras (Fig. 4) que llevaba un peso atado para llegar a la profundidad deseada. Así mismo, se utilizó un reloj de buceo atado al peso para tener constancia de la profundidad real a la que se había recogido las muestras (ver Anexo 4 para el resumen de las inmersiones). La red se arrastraba a una velocidad de 3 nudos a motor y una vez pasados los 20 minutos, las muestras se guardaban en un bote de 200 ml y se fijaban en etanol al 70% para su conservación y posterior análisis en el laboratorio.



**Figura 4.** Imagen de la recogida de muestras de microplásticos mediante la red de plancton durante un transecto (Fuente: Beatriz Tintoré).

### 3.4.2. Recuento y caracterización de los microplásticos

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de la Universidad de Vic según el protocolo diseñado para este estudio. Así pues, cada muestra de microplásticos se separó con la ayuda de tres tamices de 2 mm, 1mm y 0.5mm de malla respectivamente. De esta forma se logró separar cada muestra en tres grupos de tamaño (A, B, C respectivamente, Fig. 5) y cada submuestra se colocó en una placa de Petri para su posterior recuento y análisis en la lupa estereoscópica (ver Anexo 3 para más detalles).

De cada submuestra se obtuvo el número total de microplásticos y cada uno de ellos se caracterizó según la forma y el color que tenían. Estas características son importantes ya que puede hacer que el animal confunda estas partículas con el propio zooplancton y se lo coma (Boerger et al., 2010).

Respecto a la forma de los microplásticos, éstos se clasificaron en fibras o formas irregulares. En cuanto a los colores de los microplásticos, éstos se clasificaron en cálidos y fríos, siendo los colores cálidos el blanco, naranja, rojo, amarillo o púrpura y los colores fríos el azul, negro, cian, verde y violeta.

Esta clasificación de microplásticos se llevó a cabo según metodología descrita en estudios anteriores como el de Boerger et al. (2010); Fossi et al. (2016) y Lusher et al. (2015).



**Figura 5.** Representación de una muestra de microplásticos dividida por tamaños. La submuestra A contiene los microplásticos > 2mm, la muestra B entre 2 – 1 mm y la muestra C entre 1 – 0.5 mm (Fuente: Beatriz Tintoré).

### 3.4.3. Avistamientos de rorcual común

Una vez se llegaba a la profundidad de 30 metros saliendo del puerto base en Vilanova i la Geltrú se comenzaba el protocolo de actuación tanto para la recogida de muestras de microplásticos (ver apartado 3.3.1) como para el avistamiento de los rorcuales.

El esfuerzo de búsqueda de los cetáceos era realizado por los científicos o voluntarios que estaban distribuidos en cada extremo de la embarcación cubriendo así todos los ángulos. Se establecían turnos de 30 minutos en cada posición y al finalizar cada turno se anotaban en el cuaderno de bitácora las siguientes variables: la localización GPS, la velocidad de la embarcación, la profundidad, datos meteorológicos como la velocidad y dirección del viento según la escala de Beaufort (Beaufort., 1806) y datos oceanográficos como el estado del mar calculado según la escala Douglas (Douglas., 1907).

En caso de avistamiento de algún cetáceo se rellenaba una ficha para tener constancia de que especie se trataba, del número de ejemplares observados, de cuál era su comportamiento, etc.

Los datos obtenidos en cada avistamiento fueron georeferenciados para poder obtener un mapa de la distribución del rorcual común (*B. physalus*) en la zona de estudio.

Además, se llevó a cabo la foto-identificación de cada individuo observado, que se realiza mediante el programa Darwin que permite hacer un perfil de la aleta dorsal. Un claro ejemplo del éxito de esta línea de investigación del proyecto es un individuo (Bp\_005) que se ha observado durante los 3 años que lleva en marcha el proyecto, y que en esta temporada del 2016 se ha llegado a observaren tres días diferentes.

#### **3.4.4. Análisis de los datos**

Los datos obtenidos a partir de las muestras de microplásticos se analizaron estadísticamente con el programa R-studio. Para un análisis descriptivo de los datos se realizaron diferentes gráficos con el programa Microsoft Office Excell 2007.

R-studio (Saez Castillo., 2010) es un programa que lee lenguaje de programación R y está especialmente indicado para el análisis estadístico. Incluye una consola que permite instalar diferentes paquetes según la función que quieras realizar. En concreto, para este estudio se utilizó el paquete R-commander (Rcmdr) que es un interfaz tipo ventana que cubre la mayor parte de los análisis estadísticos (Saez Castillo., 2010).

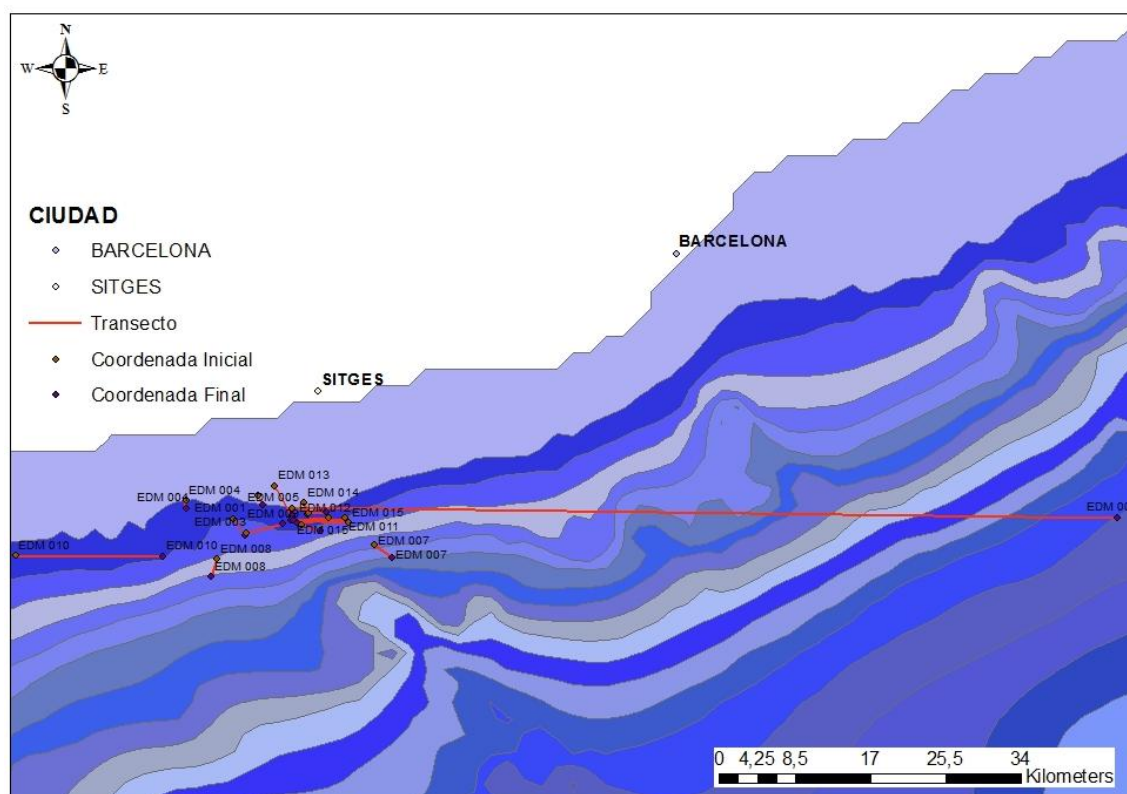
Se utilizó un SIG (Sistema de Información Geográfica) para la elaboración de los mapas de distribución de las muestras de microplásticos según su tamaño y de los avistamientos de rorcual común registrados. Un SIG es un sistema para la gestión, análisis y visualización de conocimiento geográfico (Esri., 2012). Concretamente, se utilizó el programa ArcMap 10.02 y se utilizó la extensión “3D Analysts” de herramientas y se creó una capa IDW dentro del “rasterinterpolation” (Esri., 2010).



#### 4. RESULTADOS

Durante las campañas de campo, que abarcaron de enero a julio del 2016 se navegó un total de 51 días, recorriendo un total de 1.919 kilómetros y una superficie aproximada de 840 km<sup>2</sup>, y se realizó un esfuerzo de avistamiento de cetáceos de 242 horas.

Los factores meteorológicos como el estado del mar y el viento condicionaron la toma de muestras de microplásticos. Finalmente, se pudieron realizar un total de 15 transectos, concentrados entre abril y junio, recolectando una muestra en cada uno de ellos. Los transectos se realizaron con una frecuencia de 2-3 veces a la semana si el tiempo lo permitía. En la figura 6 se muestra un mapa con la ubicación de los 15 transectos realizados.



**Figura 6.** Mapa de la ubicación de los 15 transectos realizados en la zona de estudio para la obtención de las muestras de microplásticos (Fuente: Beatriz Tintoré).



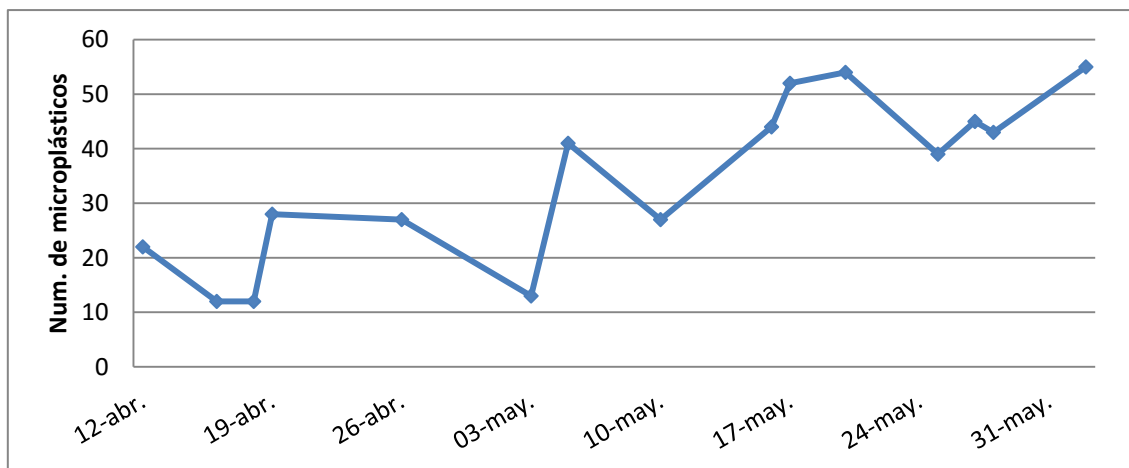
#### 4.1. Abundancia de microplásticos

En la tabla 1 se puede observar que en el total de las 15 muestras, que se recogieron a una profundidad media de 15.1 metros y entre los meses de abril y junio, se encontraron un total de 514 partículas de plástico. La media del número de plásticos por transecto ha sido de 34.

**TABLA 1.** Tabla resumen de las 15 muestras de agua obtenidas para el análisis de los microplásticos.

nº de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
fecha	12-Abr	16-Abr	18-Abr	19-Abr	26-Abr	03-My	05-My	10-My	16-My	17-My	20-My	25-My	27-My	28-My	02-Jun
Prof. (m)	11.5	12.4	13.5	20.3	17.2	10.3	14.6	9.5	9.1	17	15.9	20.5	18.7	17.2	18.7
nº total de microplást.	22	12	12	28	27	13	41	27	44	52	54	39	45	43	55

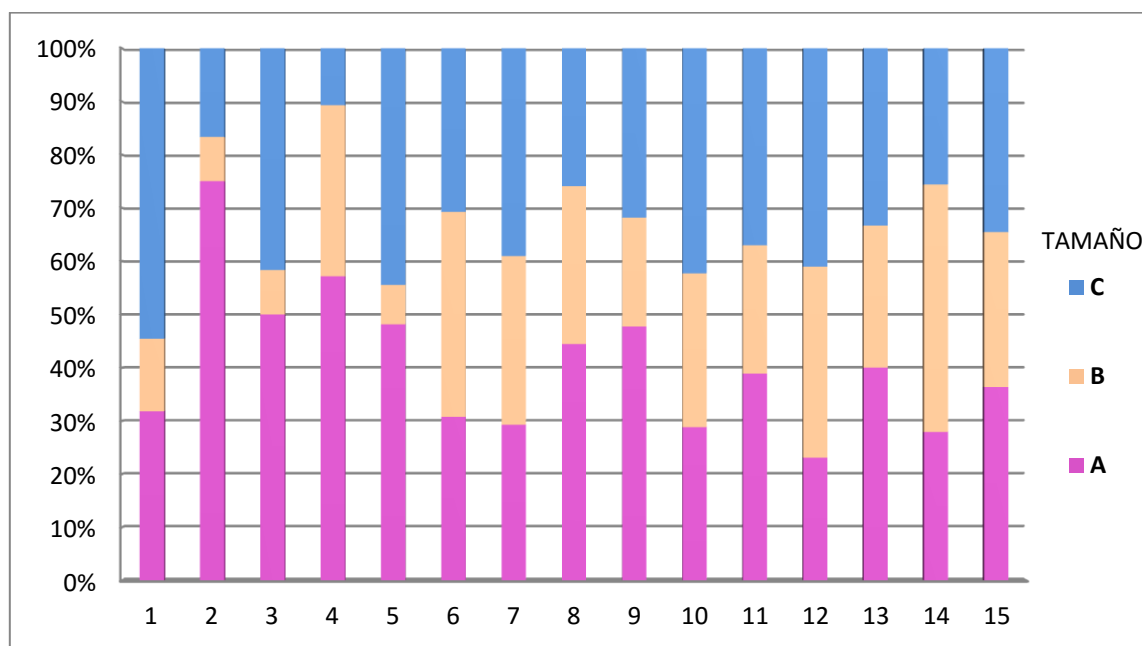
Respecto a la evolución temporal del contenido de microplásticos en las muestras, en la figura 7 se observa que hay un incremento de los microplásticos encontrados a lo largo del período de estudio.



**Figura 7.** Gráfico de la evolución temporal del número total de microplásticos encontrados en cada muestra a lo largo del período de estudio.

#### 4.1.1. Abundancia de microplásticos según su tamaño

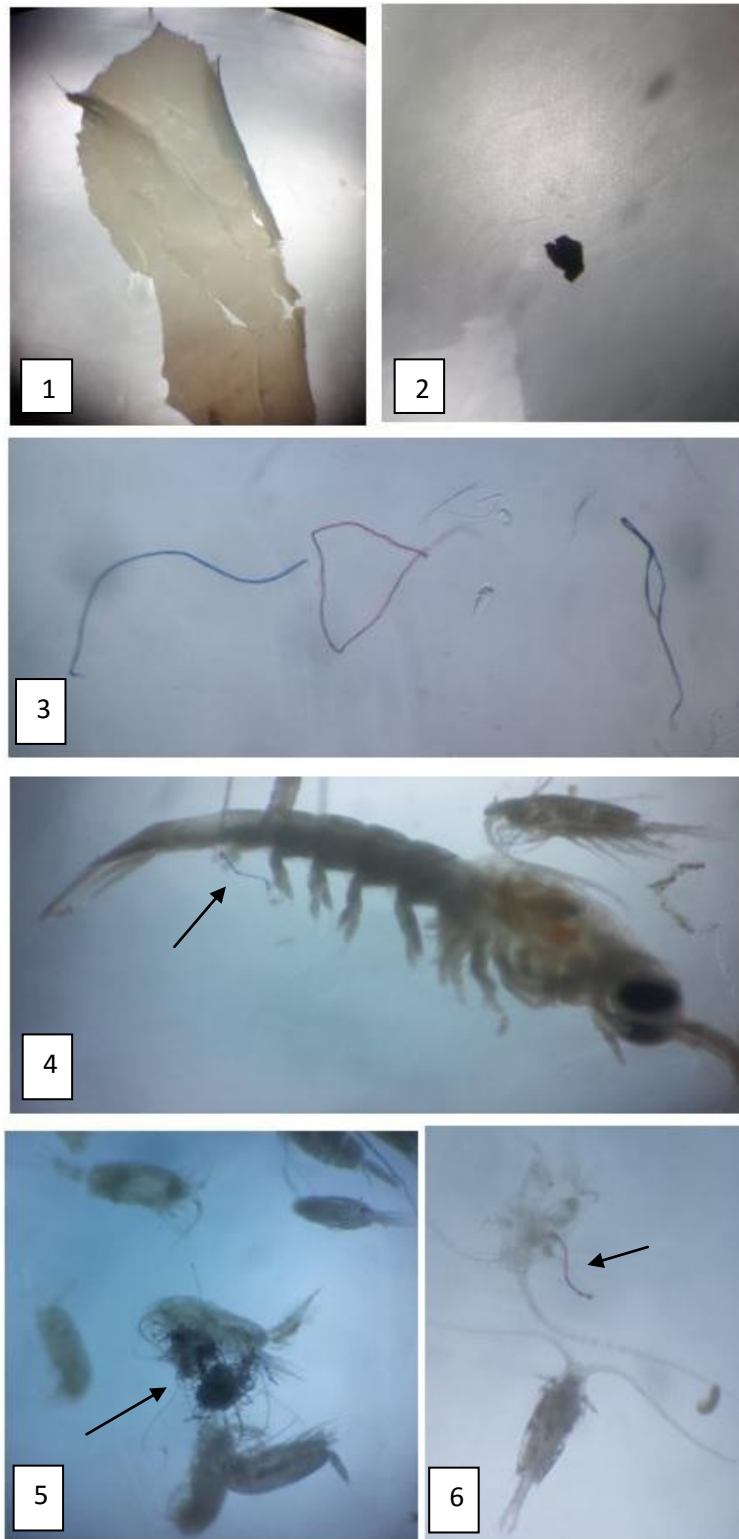
Para el análisis de predominancia de algún tamaño concreto de microplásticos en las muestras, se ha representado en la figura 8 el porcentaje de microplásticos encontrados en cada muestra según su tamaño. Cabe recordar que la medida A corresponde a aquellas partículas de un tamaño mayor de 2 mm, la medida B corresponde a tamaños entre 1 y 2 mm y la medida C corresponde a un tamaño entre 1 y 0.5 mm.



**Figura 8.** Representación del porcentaje de microplásticos encontrados en cada muestra según su tamaño.

Como se observa en la figura 8, la medida A es la predominante en casi todas las muestras de microplásticos, seguida por la medida C y por último por la B. Hablando en términos numéricos, para el total de los microplásticos encontrados, se observó un 37.94% de microplásticos de la medida A, un 27.43% de la medida B y un 34.63% de la medida C. El promedio por transecto del número de plásticos de la medida A ha sido de 13, el de la medida B de 9 el de la medida C de 12.

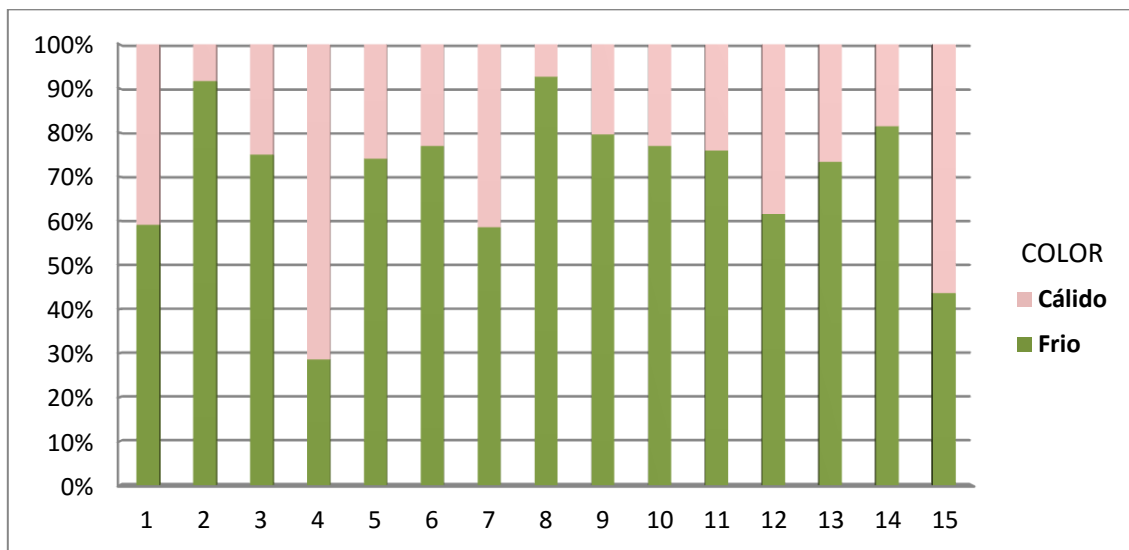
En la figura 9 se muestran fotografías de los distintos tamaños de plásticos encontrados en las muestras.



**Figura 9.** En las imágenes 1 y 2, se puede observar dos microplásticos de forma irregular el de la imagen número 1 estaría dentro de los del tamaño A y el de la imagen 2, del tamaño B. En la imagen 3 se observan tres fibras de color azul, rojo y negro de izquierda a derecha. En la imagen 4 se observa un individuo de zooplancton del orden de las Euphasiaceas que tiene enredado en las patas una pequeña fibra. Por último, en las imágenes 5 y 6, se observan copépodos al lado de fibras.

#### 4.1.2. Abundancia de microplásticos según su color

En la figura 10 se muestra el porcentaje de microplásticos encontrados en cada muestra según su color. Cabe recordar que se han clasificado como fríos los colores azul, negro, verde, cian y violeta y como cálidos los colores blanco, naranja, rojo, amarillo y púrpura. En la figura 9 se muestran algunas imágenes como ejemplos.

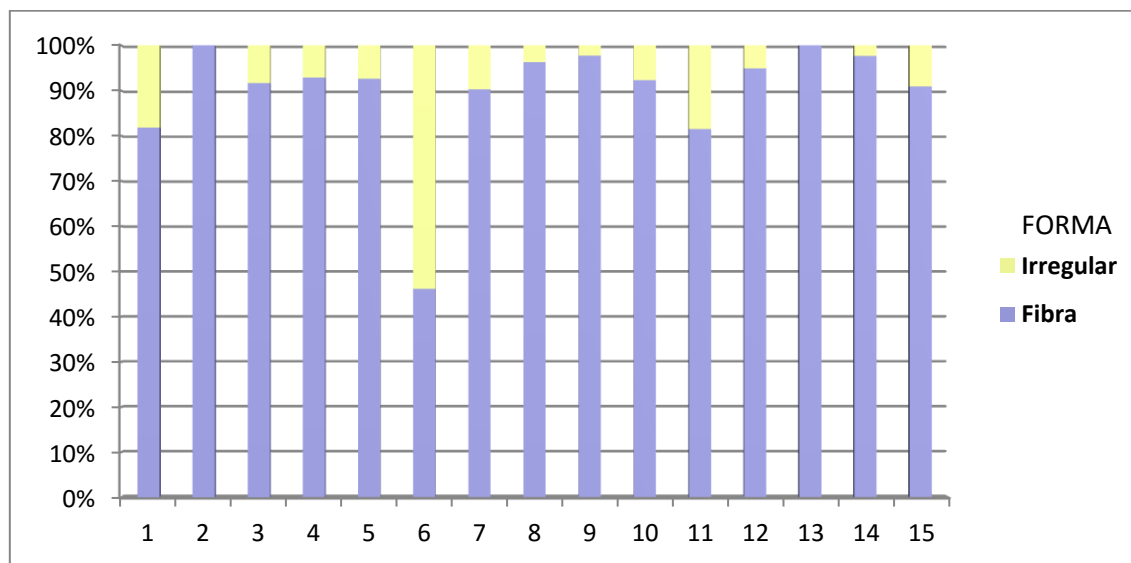


**Figura 10.** Representación del porcentaje de microplásticos encontrados en cada muestra según su color.

El porcentaje total de microplásticos de colores fríos fue de 70.82%, muy superior al de los cálidos que fue del 29.18%. En casi todas las muestras, los colores fríos dominaban en más del 50%. En concreto, dentro del rango de colores fríos, el azul y el negro fueron los dominantes. Respecto al rango de colores cálidos, el rojo y el blanco fueron dominantes. El promedio por transecto de plásticos de color frío fue de 24 y el de plásticos de colores cálidos de 10.

### 4.1.3. Abundancia de microplásticos según su forma

En las muestras observadas, como puede verse en la figura 9, los microplásticos se encontraban en forma de fibras o de partículas irregulares. En la figura 11 se ha representado, para cada muestra, el porcentaje de partículas de plástico según su forma.



**Figura 11.** Representación del porcentaje de microplásticos encontrados en cada muestra según su forma.

El porcentaje total de microplásticos en forma de fibras, con un 91.44%, es mucho mayor que el porcentaje total de microplásticos con forma irregular, con un 8.56%. En todas las muestras excepto en la número 6, el porcentaje de fibras es mucho mayor al de microplásticos irregulares superando el 75% en todos los casos. El promedio por transecto de fibras ha sido de 31 y el de formas irregulares de 3.

#### 4.1.4. Relación entre la forma y el color de los microplásticos

Con el objetivo de comprobar si había alguna relación entre las variables de forma y color en los microplásticos se llevó a cabo una Xi-cuadrado para así determinar si estas dos variables cualitativas estaban o no asociadas (Saez Castillo., 2010). Se formularon las siguientes hipótesis nula ( $H_0$ ) y alternativa ( $H_1$ ):

$H_0$  = No hay asociación entre las variables

$H_1$  = Hay asociación entre las variables

y se entraron los datos en una tabla de contingencia de doble entrada:

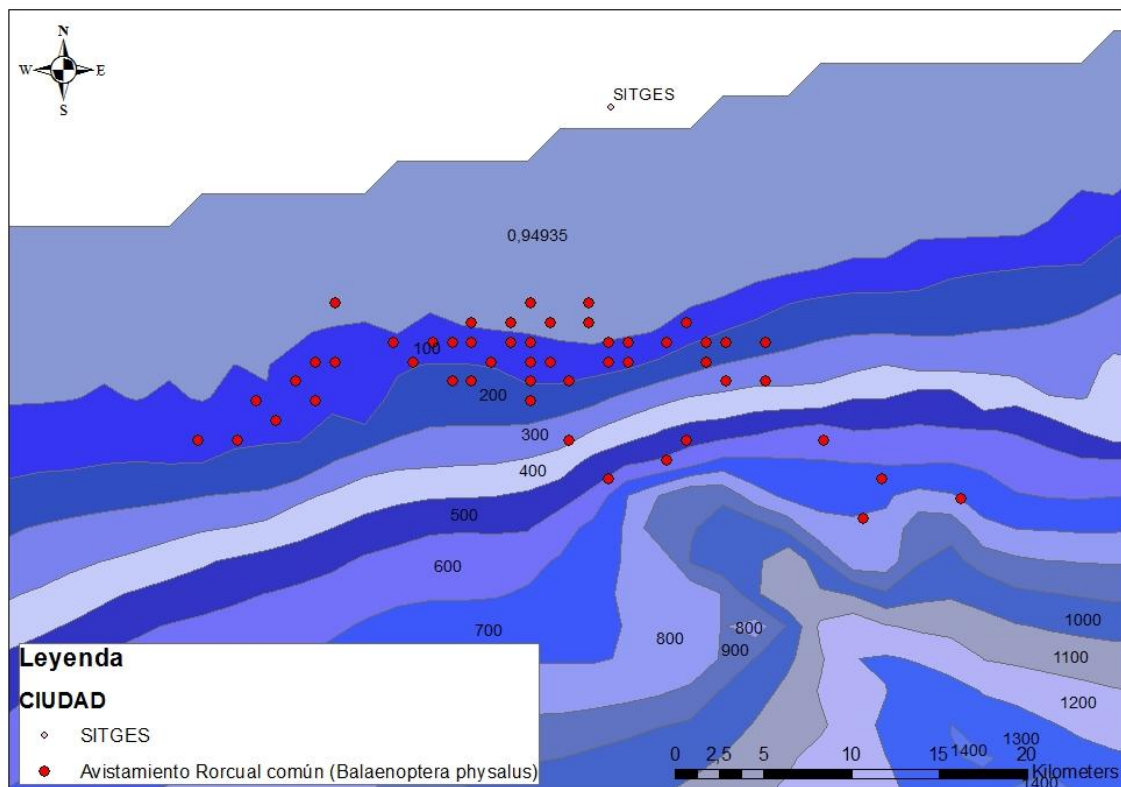
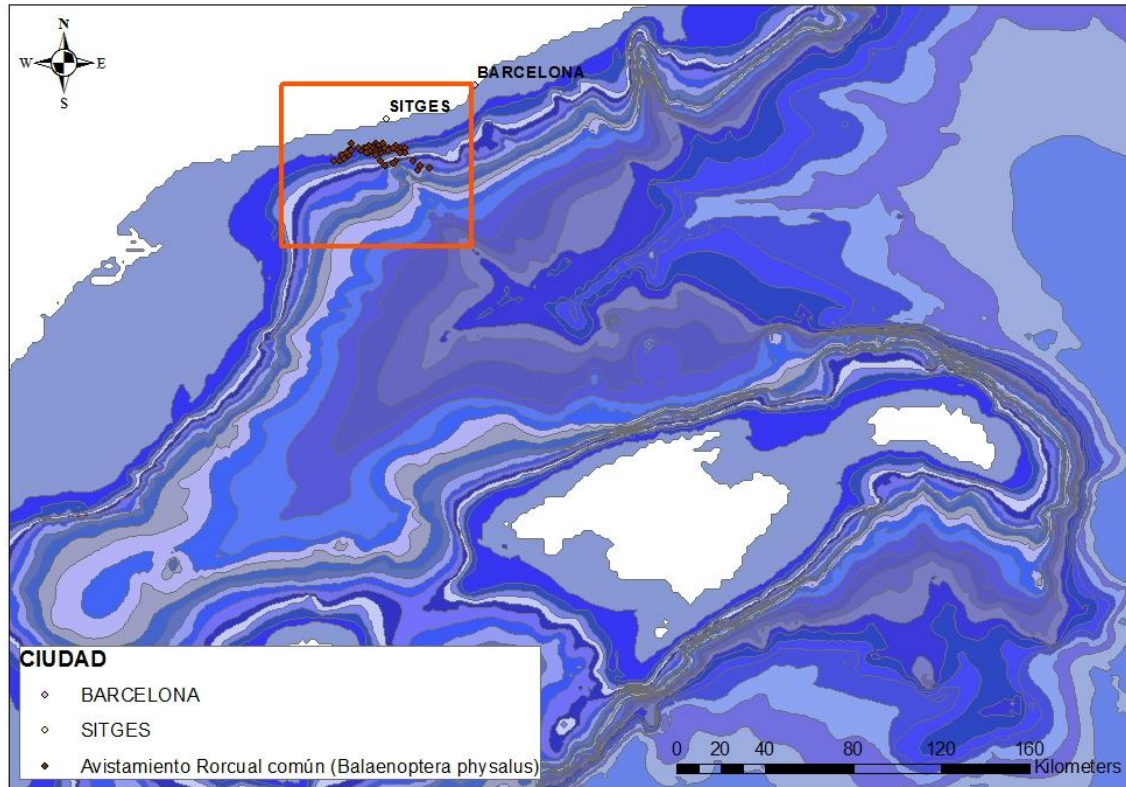
	FIBRA	IRREGULAR
FRIO	330	34
CÁLIDO	140	10

El resultado obtenido, a un nivel de significación  $\alpha = 0.05$ , fue no significativo ya que el *p-value* del estadístico obtenido  $\chi^2 = 0.97034$  fue de 0.3246, mayor de 0.05, y por tanto se rechaza la  $H_1$ . Así puede afirmarse que en nuestras muestras no existe relación entre el color y la forma de los microplásticos encontrados.

#### 4.2. Avistamientos de rorcual común

Durante los 51 días de campaña se registraron un total de 62 avistamientos de rorcual común (*B. physalus*): 14 en el mes Marzo, 37 en el mes de Abril y 11 en el mes de Mayo. De los 62 avistamientos, se pudieron identificar un total de 43 individuos, 28 de los cuales no se habían observado anteriormente. En total, el catálogo de identificación de rorcuales comunes de EDMAKTUB ya incluye 86 individuos.

En el mapa de distribución de los 62 avistamientos (Fig. 12) puede observarse que todos se encuentran en la misma zona y la gran mayoría en el mismo rango de profundidad, entre 100 y 200 metros. Aunque se registraron avistamientos a mayor profundidad, éstos fueron minoritarios.



**Figura 12.** En el mapa superior se representan los avistamientos de rorcual común en la zona de estudio. En el mapa inferior, la zona de avistamiento aparece ampliada y con los rangos de profundidad (Fuente: Beatriz Tintoré).

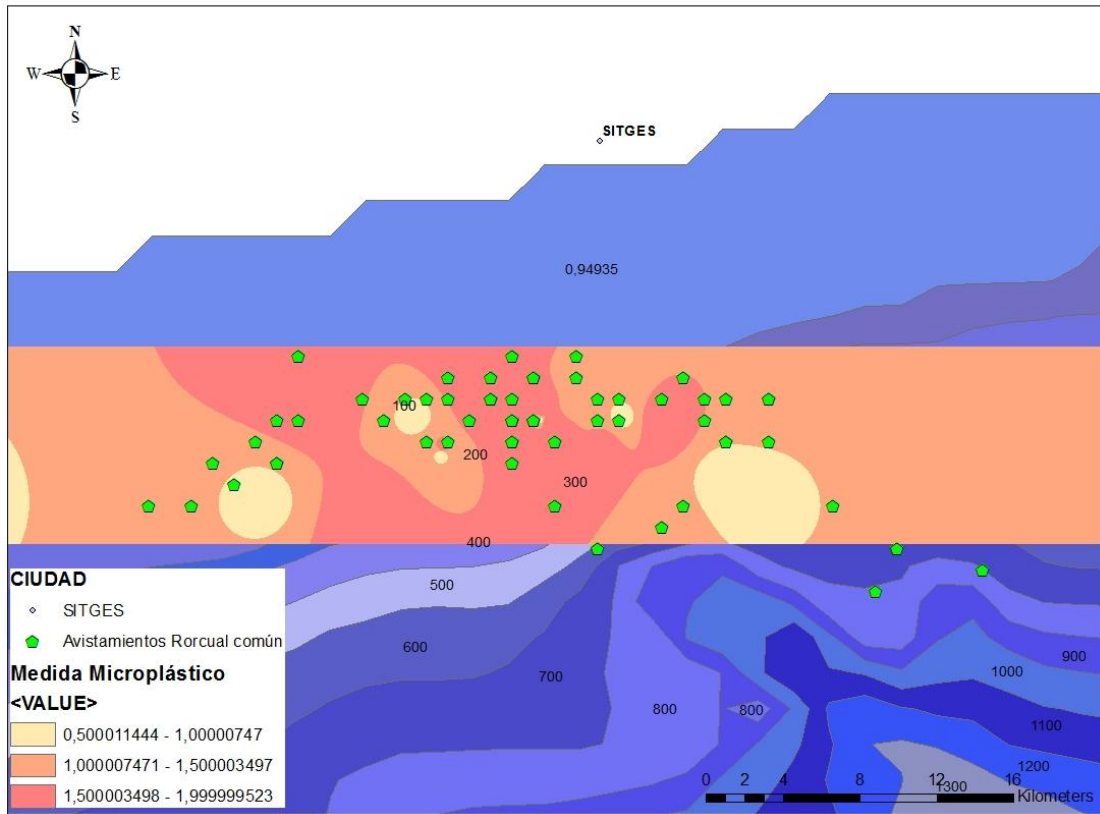
### **4.3. Relación entre los avistamientos de rorcual y la presencia de microplásticos**

En el mapa de la figura 13 se representa la distribución espacial de los microplásticos, clasificados por su medida, y los avistamientos de rorcual común (*B. physalus*) en la zona de estudio.

Como se indica en la leyenda, la franja naranja corresponde a la distribución espacial de los microplásticos siendo el color más claro aquellas zonas donde predominan los microplásticos del tamaño más pequeño (> 0.5 mm, medida C) y el color más oscuro aquellas zonas donde predominan los de tamaño más grandes (> 2mm, medida A).

Los avistamientos de rorcual común registrados, que están representados por puntos verdes, coinciden mayoritariamente en el área de distribución de los microplásticos de mayor tamaño, el área dibujada de color rojo. En total, se observaron 26 avistamientos en el área donde predominan los microplásticos de la medida A (color rojo), un total de 24 avistamientos donde predominan los microplásticos de la medida B (color naranja), y por último, un total de 7 avistamientos que coinciden con el área donde predominan los microplásticos de la medida C (color amarillo). Solo 5 de los avistamientos registrados no coincidieron con la franja del área de microplásticos.





**Figura 13.** Mapa de la distribución espacial de los microplásticos según su tamaño (en mm) y de los avistamientos de rorcual común (*B. physalus*) en la zona de estudio. (Fuente: Beatriz Tintoré).

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1. Los microplásticos en la costa del Garraf

El presente estudio representa uno de los primeros análisis conocidos de la presencia y caracterización de microplásticos contaminantes en aguas superficiales del Mediterráneo occidental, concretamente en las costas del Garraf.

Todas las muestras analizadas en este estudio contenían microplásticos. Se encontraron un total de 514 partículas, con un promedio de 34 microplásticos por muestra, observándose un incremento del número de partículas por muestra hacia el final del período de estudio.

En el estudio de Collignon et al. (2012) realizado en el Mediterráneo noroccidental se encontraron 4371 microplásticos en un total de 40 muestras, con un promedio de 109 microplásticos por muestra.

Aunque habría que ampliar el estudio para demostrarlo, el aumento del número de microplásticos observado a lo largo del período de estudio en la costa del Garraf podría ser debido a la llegada del buen tiempo ya que aumenta el turismo en las playas y el número de embarcaciones de recreo.

A pesar de que en la actualidad se conoce muy poco sobre los efectos directos de los microplásticos sobre la fauna marina, sí se sabe que una de las principales vías por las que los organismos adquieren los microplásticos es por la alimentación (Rochman et al., 2013). Esto es debido a que los microplásticos son de un tamaño similar al zooplancton. Por ejemplo, los copépodos, que son el mayor grupo dentro de los pequeños crustáceos, pueden tener un tamaño entre 1 - 5 mm en la zona de estudio (EDMAKTUB., 2016). Además, cuando los microplásticos son de colores blancos, claros o azules, son muy difíciles de diferenciar para los organismos que los depredan (p.ej. peces) (Boerger et al., 2011).

En general, los microplásticos más abundantes en la costa del Garraf fueron los del tamaño más grande (> 2 mm, medida A). En cambio, en el estudio de Collignon et al. (2012), realizado en el Mediterráneo noroccidental, los microplásticos más abundantes fueron los de tamaños comprendidos entre 1 y 0.05 mm (medida C). En el estudio de Fossi et al. (2016), realizado en el mar de Liguria, también dominaron los tamaños más grandes siendo el 49.7% de las partículas analizadas de tamaños entre 1-2 mm (medida B) y el 37% de tamaños >2mm (medida A).

Según el modelo predictivo descrito en Eriksen et al. (2014), los tamaños de microplásticos encontrados en este estudio están dentro del rango de tamaños predicho para las aguas superficiales del mar Mediterráneo, que es de 0.33 mm hasta 200 mm y entran en el rango de medidas del zooplancton. Por lo tanto, se considera que todos los microplásticos encontrados en la costa del Garraf suponen un peligro para los cetáceos que, como el rorcual común, se alimentan de zooplancton (Lusher et al., 2015).

Respecto a la forma de los microplásticos encontrados en la costa del Garraf se observó una predominancia de las fibras, que representaron un 91.44% del total, respecto a las formas irregulares, que representaron un 8.56%. Lusher et al. (2015), en un estudio del contenido estomacal de tres zifios (*Ziphius cavirostris*) que habían varado en la costa norte y oeste de Irlanda, encontró que el 89% de los microplásticos eran fibras.

Por último, en cuanto a los colores dominantes en los microplásticos encontrados en este estudio, los colores fríos dominaron respecto a los de colores cálidos. En concreto, en el rango de colores fríos dominó el color negro y el azul. Estos resultados contrastan con el estudio realizado por Boerger et al. (2010) en la zona del “North Pacific Central Gyre”, donde se encontró un porcentaje de microplásticos de color blanco del 58.2%, seguido por un porcentaje de colores claros del 16.7% y un porcentaje del 11.9% de color azul.

## **5.2. El rorcual común (*B. physalus*) en la costa del Garraf**

La distribución del rorcual común (*B. physalus*) se ve influenciada, entre otras, por diferentes variables como la latitud, la temperatura del agua, la salinidad, la concentración de clorofila y la densidad de zooplancton (Aguilar., 1985).

Aunque los movimientos migratorios del rorcual común en el mar Mediterráneo son especulativos, según Castellote (2010) el global de la población mediterránea no presenta un patrón migratorio definido, sino que se trataría de un conjunto de movimientos estacionales aplicables a pequeñas porciones de la población. Esto implica que la población mediterránea tiene un carácter generalista en su dieta y, por tanto, adapta su comportamiento al tipo de recurso que se encuentre en la zona que ocupa.

Durante el período de estudio, el equipo de investigación EDMAKTUB registró un total de 62 avistamientos, muchos más que los registrados en los últimos dos años pese a que este año se han realizado 10 días menos de campaña que el año pasado y se han recorrido menos km (un total de 1.919 km). En 2014, con 51 días de campaña y 2.289 km recorridos, se registró un total de 48 avistamientos mientras que en 2015, con 61 días de campaña y 2.532 km recorridos, se registraron un total de 22 avistamientos (EDMAKTUB., 2016).

Esta diferencia en los avistamientos registrados se puede deber a las variaciones entre años que se han producido en variables como las condiciones climáticas o la concentración de clorofila, que influyen a la presencia de esta especie. Respecto a las precipitaciones, en 2016 han sido más elevadas que en los dos años anteriores, por tanto, se habrá producido un mayor aporte de nutrientes al mar procedente de la escorrentía terrestre y fluvial. Además, mediante el análisis de imágenes satélite (ver Anexo 5), en el 2016 se ha podido detectar un alto nivel de clorofila en la zona, que al igual que el aporte de nutrientes, favorece el desarrollo del zooplancton.

Así pues, según los cambios descritos en variables como las precipitaciones y la clorofila, y de acuerdo con Castellote (2010), se puede explicar el porqué del incremento en 2016 de los avistamientos de rorcual común respecto a los otros años.

A diferencia de otras zonas donde los avistamientos de rorcual común se producen en aguas profundas, aunque raramente por debajo de los 2000m (Castellote., 2010), en el presente estudio la mayoría de los rorcuales se detectaron entre los 100-200 metros de profundidad. Este resultado está vinculado a la topografía de la zona de estudio con la presencia de cañones submarinos (Intecsa-Inarsa., 2011) ya que se producen picos de plancton en el talud de los cañones (Castellote., 2010) que suponen grandes cantidades de alimento para esta especie. Además, cabe añadir que estos picos suelen darse en el mes de abril.

Los avistamientos tuvieron lugar entre los meses de marzo y junio, coincidiendo con el pico de plancton en la zona de estudio. Estas condiciones son idóneas para que se dé la presencia de este animal en las costas catalanas.

### **5.3. Se ve afectada por microplásticos el área de alimentación del rorcual común en la costa del Garraf?**

Durante las campañas de campo se ha podido observar al animal alimentándose, y teniendo en cuenta que vuelve cada año a la misma zona, se puede afirmar que la

costa del Garraf es claramente zona de paso y de alimentación para el rorcual común (EDMAKTUB., 2016).

Como han mostrado los resultados del presente estudio es un hecho que hay microplásticos en la zona de alimentación de esta especie en la costa del Garraf. Los microplásticos son demasiado pequeños como para ser detectados por los cetáceos y por eso, si están presentes en la columna de agua, pueden ser ingeridos cuando éstos cazan a sus presas (Lusher et al., 2015). La ingestión indirecta de microplásticos se produciría cuando los cetáceos ingieren pequeños peces o zooplancton contaminados con microplásticos (Fossi et al., 2012).

La distribución de los plástico en los mares y océanos se ve principalmente afectada por las corrientes superficiales de agua (Barnes et al., 2009; Cozar et al., 2014) y, respecto a los microplásticos que se pueden encontrar en una zona, éstos dependen principalmente de tres variables: cuencas hidrográficas, densidad de población y actividades marítimas (Eriksen et al., 2014).

La procedencia de los microplásticos detectados en la costa del Garraf puede ser debida a residuos vertidos en las playas o en los ríos que tras las lluvias son arrastrados hasta el mar. Las actividades marinas que se realizan, tanto la pesca profesional como actividades de ocio, también dejan residuos de fibras de microplásticos como por ejemplo las redes de pesca, la cuerda que une el esquiador a la barca, etc.

Como se describe en el estudio de Fossi et al., 2016 realizado en el mar de Liguria, la existencia de un solapamiento entre el área de distribución del rorcual común (*B. physalus*) y el área de distribución de microplásticos supone un riesgo potencial para estos grandes filtradores que se alimentan de zooplancton. Tal y como sugieren Rocham et al., 2013, se necesitan más estudios para poder investigar los efectos de los plásticos en las especies que viven en libertad, especialmente porque la cantidad de contaminantes en nuestros mares y océanos está aumentando. Cada vez es mayor el volumen de residuos que se genera y menor la capacidad del planeta para asimilarlo (SGAPC., 2014).

## 6. CONCLUSIONES

Los resultados del estudio, de carácter preliminar, han permitido demostrar la presencia de microplásticos en la costa del Garraf donde se concentran los avistamientos de rorcual común (*B. physalus*).

En el análisis de las 15 muestras recogidas en las campañas de campo se encontraron un total de 514 microplásticos, con un promedio de 34 partículas por muestra. La mayoría de microplásticos encontrados tenían forma de fibra, superaban los 2 milímetros y eran de color negro o azul.

Se registraron un total de 62 avistamientos de rorcual común (*B. physalus*) en la zona de estudio, superando los avistamientos obtenidos en los dos años anteriores. La dependencia de este animal por el alimento, lleva a pensar que este año se han dado mejores condiciones para el desarrollo del zooplancton por lo que ha aumentado la presencia de este cetáceo en la zona.

Las muestras de microplásticos fueron recogidas en una zona de alimentación del rorcual común (*B. physalus*) y, por tanto, algunos de estos animales han podido ingerir estas partículas mediante su alimentación por filtración. Así pues, sería conveniente ampliar el proyecto para poder estudiar como los microplásticos afectan a esta especie y buscar soluciones para la conservación de la misma.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, A. (1985). *Biología y Dinámica Poblacional del rorcual común (Balaenoptera physalus) en las aguas atlánticas ibéricas*. (Tesis Doctoral). Universidad de Barcelona, Cataluña.
- Aguilar, A., Borrell, A., Reijnders, P.J.H. (2002). Geographical and temporal variation in levels of organochlorine contaminants in marine mammals. *Marine Environmental Research*, 53, 425-452.
- Ballesteros, E., Llobet, T. (2015). *Fauna i flora de la mar Mediterrània*. Girona: Brau Edicions
- Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C., Barlaaz, M. (2009) Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Phil. Trans. R. Soc. B* 364, 1985-1998. doi:10.1098/rstb.2008.0205
- Barnes, D.K.A., Walters, A., Gonçalves, L. (2010). Macroplastics at sea around Antarctica. *Marine Environmental Research*, 70, 250-252. doi:10.1016/j.marenvres.2010.05.006
- Bérubé, M., Aguilar, A., Dendanto, D., Larsen, F., Di Sciara, G.N., Sears, R., Sigurjónsson, J., Urban-R, J., Palsboll, P.J. (1998). Population genetic structure of North Atlantic, Mediterranean Sea and Sea of Cortez fin whales, *Balaenoptera physalus* (Linnaeus 1758): analysis of mitochondrial and nuclear loci. *Blackwell Science Ltd*, 585-599.
- Boerger, C.M., Lattin, G.L., Moore, S.L., Moore, C.J. (2010). Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. *Marine Pollution Bulletin* 60, 2275–2278.
- Castellote, M. (2010). PATRÓN MIGRATORIO, IDENTIDAD POBLACIONAL E IMPACTO DEL RUIDO EN LA COMUNICACIÓN DEL RORCUAL COMÚN (*Balaenoptera physalus* L. 1758) EN EL MAR MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL. (Tesis Doctoral). Universidad Complutense de Madrid, Madrid.

- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T.S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin* 62, 2588–2597.
- Collignon, A., Hecq, J.H., Glagani, F., Voisin, P., Collard, F., Goffart, A. (2012) Neustonic microplastic and zooplankton in the North Western Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 64, 861-864.
- Cózar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, J.I., Irigoien, X., Úbeda, B., Hernández-León, S.,...Duarte, C.M. (2014). Plastic debris in the open ocean. *PNAS*, 1-6. Consultado el 5 Mayo 2016 des de: [www.pnas.org/lookup/suppl/doi:10.1073/pnas.1314705111/-/DCSupplemental](http://www.pnas.org/lookup/suppl/doi:10.1073/pnas.1314705111/-/DCSupplemental)
- Cunningham, K.; Sumner, J. (2015, abril 15). *The plastic age* [Video]. Consultado el 25 mayo 2016, des de <https://www.youtube.com/watch?v=Pt6KIPCX1BU>
- De Sptephanis, R., Giménez, J., Carpinelli, E., Gutierrez-Exposito, C., Cañadas, A. (2013). As main meal for sperm whales: Plastic debris. *Marine Pollution Bulletin* 69, 206–214.
- Derraik, J.G.B. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris : a review. *Marine Pollution Bulletin*, 44, 842–852.
- EDMAKTUB. (2016). Consultado 14 abril 2016, des de <http://www.edmaktub.org/>
- El tiempo. (2016). Consultado 5 marzo 2016, des de <https://www.eltiempo.es/>
- Eriksen M, Lebreton LCM, Carson HS, Thiel M, Moore CJ, et al. (2014) Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS ONE* 9(12): e111913. doi:10.1371/journal.pone.0111913
- Eriksen, M., Maximenko, N., Thiel, M., Cummins, A., Lattin, G., Wilson, S.,...Rifman, S. (2013). Plastic pollution in the South Pacific subtropical gyre. *Marine Pollution Bulletin* 68, 71–76.
- Esri (2012). Tutorial de edición. *ArcGIS*.
- Esri. (2010). Introduction to the ArcGis 3D Analyst tutorial. *ArcGIS*.



- Fossi, M.C., Marsili, L., Bains, M., Giannetti, M., Coppola, D., Guerranti, C. ...Panti, C. (2016). Fin whales and microplastics: The Mediterranean Sea and the Sea of Cortez scenarios. *Environmental Pollution* 209, 68-78.
- Fossi, M.C., Panti, C., Guerranti, C., Coppola, D., Giannetti, M., Marsili, L., Minutoli, R. (2012). Are baleen whales exposed to the threat of microplastics? A case study of the Mediterranean fin whale (*Balaenoptera physalus*). *Marine Pollution Bulletin* 64, 2374–2379.
- Gregory, M.R. (2009). Environmental implications of plastic debris in marine settings- entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 364, 2013-2025. doi:10.1098/rstb.2008.0265
- Hall, N.M., Berry, K.L.E., Rintoul, L., Hoogenboom, M.O. (2015). Microplastic ingestion by scleractinian corals. *Springer*. DOI 10.1007/s00227-015-2619-7
- Intecsa-Inarsa.(2011). Cartografia de les comunitats de les fanerògames marines situades a l'espai costes del Garraf(Red Natura 200) davant dels termes municipals de Cunit, Cubelles, Vilanova i la Geltrú, Sant Pere de Ribes i Sitges. *Diputació de Barcelona*, 150pp.
- J. G. Acker and G. Leptoukh, "Online Analysis Enhances Use of NASA Earth Science Data", *Eos, Trans. AGU*, **Vol. 88, No. 2** (9 January 2007), pages 14 and 17.
- Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K.L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347, 768-770. Consultado el 31 Agosto 2016 des de: <http://science.sciencemag.org/>
- Krause, J.C., Nordheim, H.V., Bräger, S. (2006). *Marine Nature Conservation in Europe 2006: Proceedings of the Symposium held in Stralsund, Germany, 8<sup>th</sup>-12<sup>th</sup> May 2006*. Consultado el 25 Julio 2016, des de: [https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/meeresundkuestenschutz/downloads/Fachtagungen/Marine-Nature-Conservation-2006/Proceedings\\_Marine\\_Nature\\_Conservation\\_in\\_Europe\\_2006.pdf](https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/meeresundkuestenschutz/downloads/Fachtagungen/Marine-Nature-Conservation-2006/Proceedings_Marine_Nature_Conservation_in_Europe_2006.pdf)
- León, C.A.Á., Ávila, J.M.R. (2015). Proceso de conversión de residuos plásticos en combustible. *Jóvenes en la CIENCIA: Verano de la Investigación Científica*, 1(2), 1252-1256.

- Li, J., Yang, D., Li, L., Jabeen, K., Shi, H. (2015). Microplastics in commercial bivalves from China. *Environmental Pollution* 207, 190-195.
- Lönnstedt, O.M., Eklöv, P. (2016) Environmentally relevant concentrations of microplastic particles influence larval fish ecology. *Science* 352 (6290), 1213-1216. doi: 10.1126/science.aad8828
- Lusher, A.L., Hernandez-Milian, G., O'Brien, J., Berrow, S., O'Connor, I., Officer, R. (2015). Microplastic and macroplastic ingestion by a deep diving, oceanic cetacean: The True's beaked whale *Mesoplodon mirus*. *Environmental Pollution* 199,185-191.
- Reeves, Randall R., Smith, Brian D., Crespo, Enrique A. and Notarbartolo di Sciara, Giuseppe (compilers). (2003). *Dolphins, Whales and Porpoises: 2002–2010 Conservation Action Plan for the World's Cetaceans*. IUCN/SSC Cetacean Specialist Group. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. ix + 139pp.
- Rochman,C.M., Browne,M.A. (2013). Classify plastic waste as hazardous. *COMMENT* 494, 169-171.
- Sáez Castillo, A.J. (2010). *Métodos Estadísticos con R y R commander*. Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Universidad de Jaén, España.
- SGAPC (2014). Diagnóstico del Sector Residuos en España. *Análisis y Prospectiva: Serie Medio Ambiente, 7*.
- Tanaka, K., Takada, H., Yamashita, R., Mizukawa, K., Fukuwaka, M-a., Watanuki, Y. (2013). Accumulation of plastic-derived chemicals in tissues of seabirds ingesting marine plastics. *Marine Pollution Bulletin* 69, 219–222.
- UNEP-MAP-RAC/SPA. 2014. Status and conservation of cetaceans in the Alboran Sea. By A. Cañadas. Draft internal report for the purposes of the Mediterranean Regional Workshop to Facilitate the Description of Ecologically or Biologically Significant Marine Areas, Malaga, Spain, 7-11 April 2014

## ANEXO 1: Fotos de los efectos de los macroplásticos en la fauna marina

En la primera imagen se puede observar dos especies diferentes de mamíferos enredados en macroplásticos. La imagen (a) se trata de un lobo marino (*Otaria flavescens*) y la (b) de un elefante marino (*Mirounga sp.*) ambas imágenes fueron captadas en el océano Antártico (Walter et al., 2010).

En la segunda imagen se observa un zifio de cuvier (*Ziphius cavirostris*) enredado en una red de deriva en el mar de Alborán en 2009 (UNEP-MAP-RAC/SPA., 2014).

En la tercera imagen se observa una cigüeña blanca (*Ciconia ciconia*) atrapada en una bolsa de plástico (Rocham et al., 2013).

**Imagen 1:**



**Imagen 2:**

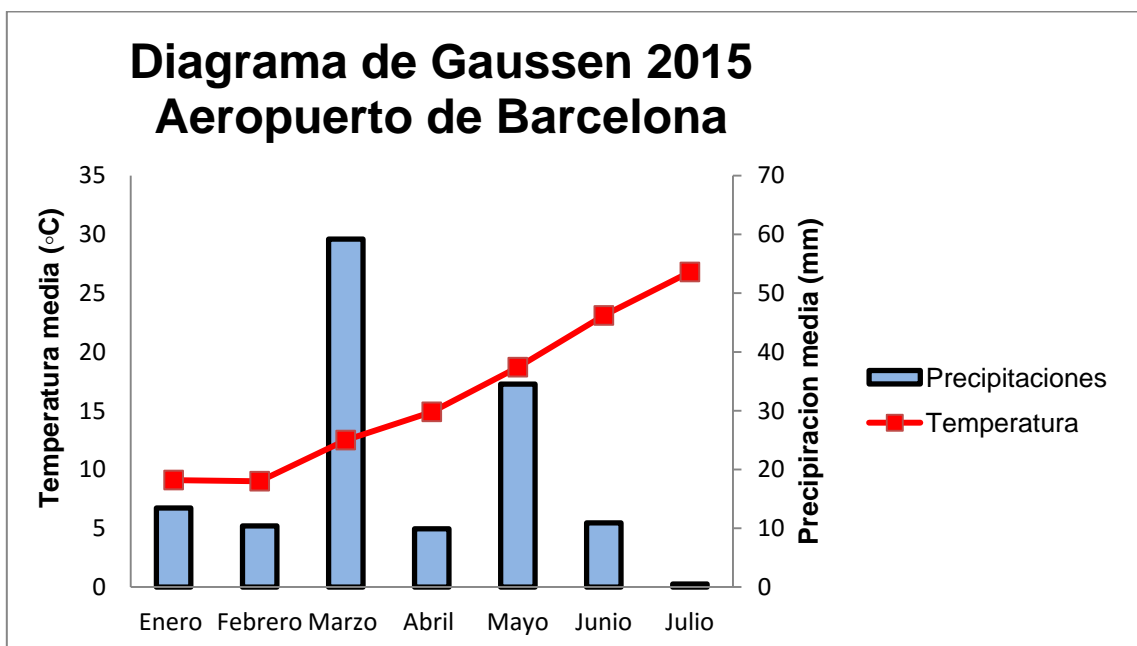
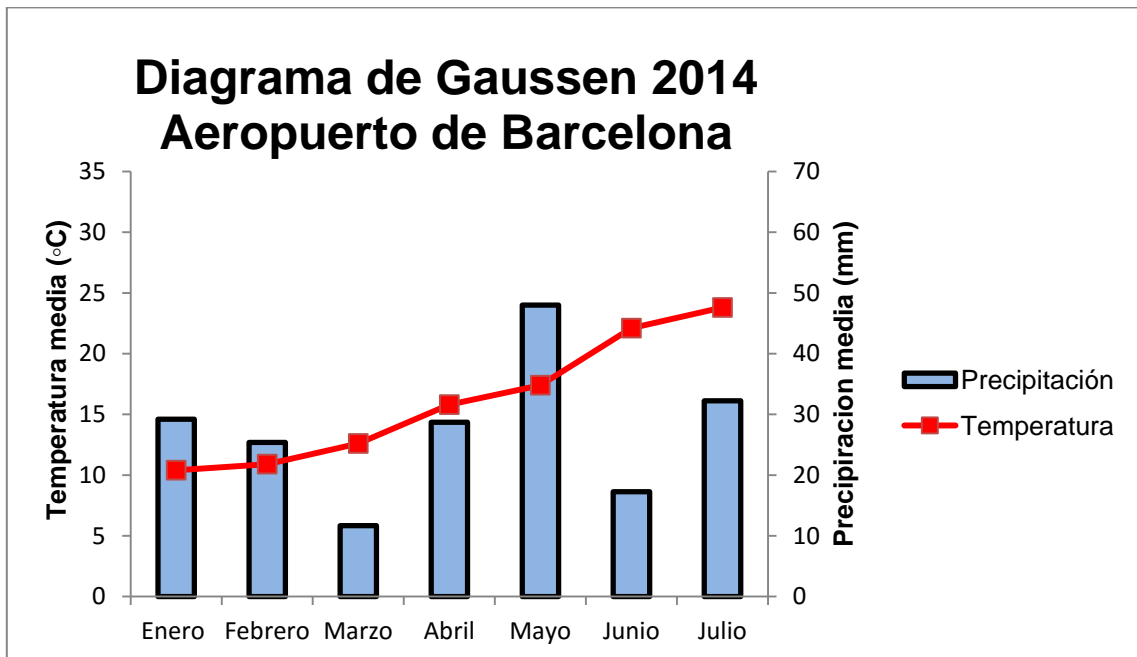


**Imagen 3:**



## ANEXO 2: Diagrama de Gausson del 2014 y 2015

A continuación, se muestran los diagramas de Gausson del año 2014 y 2015. Los datos climáticos se obtuvieron de la estación meteorológica del aeropuerto de Barcelona ya que era la que se encontraba más cerca de la zona de estudio. Los datos para realizar los diagramas se obtuvieron de la pagina web; el tiempo (2016).



### **ANEXO 3: Protocolo de muestreo y análisis de microplásticos**

El siguiente protocolo fue creado por Beatriz Tintoré con la ayuda de Natalia Amigó, expresamente para este Trabajo Final de Grado ya que no existía ningún estudio previo de microplásticos en la zona. Dicho protocolo se realizó en base a la metodología descrita por Fossi et al. (2016).

## **PROTOCOLO DE MUESTREO Y ANÁLISIS DE MICROPLASTICOS EN AGUA DE MAR**

### **Introducción**

Los plásticos son polímeros orgánicos, derivan de la polimerización de los monómeros extraídos mayoritariamente, del petróleo (Cole et al., 2011). La durabilidad de este material, que lo hace tan atractivo para el uso humano, es también una problemática por el hecho de que es muy resistente a la degradación (Barnes et al., 2009).

Se considerará microplástico a todas las partículas de este material, con un tamaño máximo de 5 milímetros de diámetro (Fossi et al., 2012). Estas pequeñas partículas se han empezado a estudiar recientemente a causa de los posibles efectos negativos que pueden tener sobre la fauna marina y el ecosistema (USEPA., 2004).

**Para llevar a cabo el muestreo de los microplásticos se seguirán lo siguientes pasos: muestreo, tratamiento de muestras y análisis de las muestras.**

### **Objetivo**

Obtención de una muestra cualitativa de los microplásticos > 100 µm presentes en las aguas superficiales.

## **Material**

- Embarcación
- Red cónica de plancton de 60cm de diámetro y luz de malla de 100 micras.
- Botes de plástico de 200 mL
- Lupa estereoscópica y/o microscopio invertido
- Tamices

### **Reactivos:**

- Etanol 70%
- Agua destilada

## **Toma y conservación de la muestra**

Los puntos de muestreo serán aleatorios y se recogerá una muestra de la columna de agua. La muestra será recogida siempre que el estado de la superficie del mar lo permita, con una red de arrastre cónica en posición horizontal respecto a la superficie, a 60 metros de distancia de la embarcación, una velocidad de 3 nudos y durante un tiempo de 15-20 minutos. El tiempo de arrastre de la red podrá variar según las condiciones. La colocación de un medidor de corriente unido a la red de arrastre permitirá estimar el volumen de agua filtrado por cada muestra y así, obtener una medida cuantitativa de la concentración de microplásticos (p.ej. piezas/L; gramos/L, etc.).

Si hay alguna variación del protocolo, se anotará en la ficha de muestreo de microplásticos, al igual que también se anotarán la ubicación, condiciones fisicoquímicas, el oleaje y la transparencia de la columna de agua.

La frecuencia de muestreo debería ser preferiblemente dos veces por semana: a principios y a finales de la semana, para poder comprobar el efecto del aumento de embarcaciones durante el fin de semana.

Para garantizar la conservación de la muestra, y evitar la degradación de la parte orgánica, se fijará la muestra obtenida con un volumen 10 veces mayor al de la muestra. El reactivo que se utilizará será etanol al 85%, ya que se calcula que quedará un poco de agua de mar junto a la parte orgánica y de esta forma, se asegura la fijación con etanol al 70%.

## **Procesado y análisis de las muestras**

En este paso se llevaran a cabo los procedimientos necesarios para analizar las muestras recogidas en el laboratorio.

Primero se eliminará el fijador de la muestra por filtración y se pondrá la muestra en agua para su observación en el microscopio.

Se utilizará una lupa estereoscópica y/o un microscopio invertido para poder diferenciar los microplásticos del resto de organismos y/o otras partículas (orgánicas e inorgánicas) que se encuentren en la muestra.

Los microplásticos se clasificarán en distintos grupos según su tamaño: 0.1-0.5 mm, 0.51-1 mm, 1.01-2.5 mm y de 2.51-5 mm. Para poder llevar a cabo esta clasificación se utilizarán unos tamices de diferente luz de malla.

Además, por cada muestra, se rellenará una ficha en la que se diferencian diferentes columnas; tamaño, color y forma, en la que se habrán establecido tres formas generales tales como, fibra, cuadrada o irregular.



## ANEXO 4: Resumen de las inmersiones de la red de plancton durante los muestreos

A continuación, se observa el resumen de todas las inmersiones o transectos que se realizaron a lo largo del proyecto. En concreto, las inmersiones realizadas para la recolección de las 15 muestras son: la 2, 4, 5, 6, 8 y de la 10 a la 19. El cálculo de la profundidad media en el trabajo se ha realizado a partir de estos datos.

### Información sobre las inmersiones 21/06/2016

Suunto DM5

Total  
**19**  
Inmersiones

Total de duración  
**6:57**  
horas

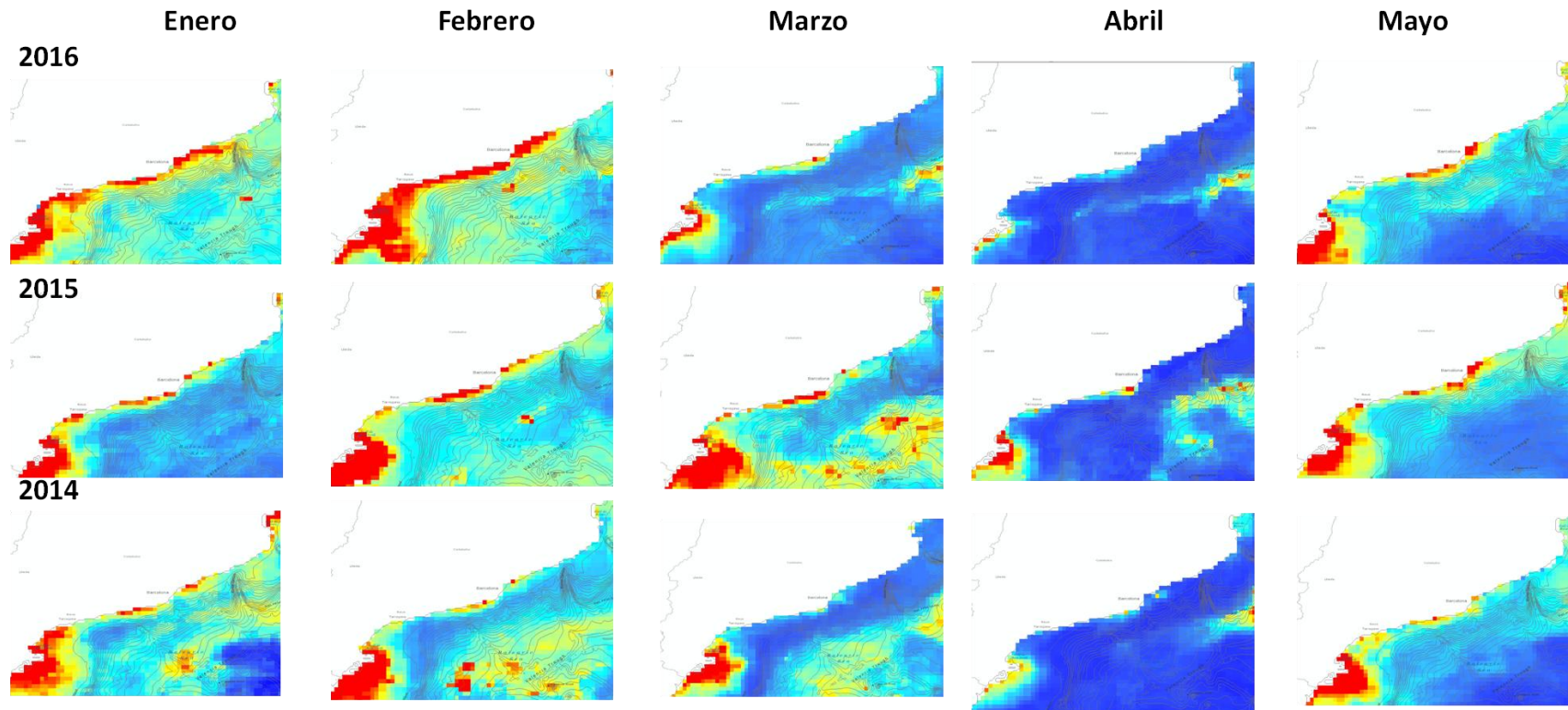
Profundidad  
**88,4**  
m

### Inmersiones

Nº de...	Fecha	Hora	Tiempo de...	Prof. máx.	Prof. media	Tipo de in...	Comp. de i...
1	06/04/2006	17:29	0:02'40	67,4 m	36,9 m	Aire	Vyper
2	12/04/2006	16:32	0:20'40	21,6 m	11,5 m	Aire	Vyper
3	12/04/2006	17:02	0:03'00	88,4 m	48,5 m	Aire	Vyper
4	16/04/2006	16:01	0:19'00	37,2 m	12,4 m	Aire	Vyper
5	18/04/2006	15:01	0:23'40	23,2 m	13,5 m	Aire	Vyper
6	19/04/2006	16:26	0:32'20	29,9 m	20,3 m	Aire	Vyper
7	23/04/2006	16:23	0:23'20	27,4 m	18,2 m	Aire	Vyper
8	26/04/2006	15:45	0:26'20	36,6 m	17,2 m	Aire	Vyper
9	06/04/2016	12:30	0:20'00	36,9 m	21,3 m	Aire	Vyper
10	03/05/2016	13:57	0:22'00	21,0 m	10,3 m	Aire	Vyper
11	05/05/2016	15:17	0:26'20	18,0 m	14,6 m	Aire	Vyper
12	10/05/2016	14:15	0:27'20	25,3 m	9,5 m	Aire	Vyper
13	16/05/2016	16:02	0:26'20	22,0 m	9,1 m	Aire	Vyper
14	17/05/2016	19:42	0:29'20	34,4 m	17,0 m	Aire	Vyper
15	20/05/2016	14:32	0:20'00	27,7 m	15,9 m	Aire	Vyper
16	25/05/2016	12:40	0:23'20	28,7 m	20,5 m	Aire	Vyper
17	27/05/2016	15:27	0:22'20	25,6 m	18,7 m	Aire	Vyper
18	28/05/2016	16:55	0:23'40	25,6 m	17,2 m	Aire	Vyper
19	02/06/2016	14:14	0:25'40	37,8 m	18,7 m	Aire	Vyper

## ANEXO 5: Imágenes satélite de la clorofila-a.

A continuación, se muestran las imágenes satélite de la concentración de clorofila-a en la zona de estudio durante los años 2014, 2015 y 2016 en los meses de presencia de rorcual común (*B. physalus*). Los colores rojos representan una mayor concentración de clorofila-a en el agua (Acker y Leptoukh., 2007).



## **8. AGRADECIMIENTOS**

Hay mucha gente a la que quiero agradecer su apoyo y ayuda durante mi trabajo final de grado.

Primero de todo querría agradecer su ayuda y predisposición a mi tutora de la Universitat de Vic, la Dra. Anna Badosa, ya que siempre he podido contar con ella incluso en sus meses de vacaciones, para cualquier consejo y corrección.

También, quisiera agradecer a todos los miembros de la asociación EDMAKTUB por darme la oportunidad de formar parte del Proyecto Rorcual, sobre todo por hacerme sentir desde el primer día un miembro más del equipo. Además, he podido ampliar mis conocimientos sobre la biodiversidad del Mediterráneo, no solo de cetáceos sino también de pájaros y peces. Quisiera agradecer al Dr. Eduard Degollada toda la paciencia y ayuda con la recolección de las muestras, entre otras cosas. También, a Cristina Martín, Margarita Junza y Natalia Amigó por haberme acogido y enseñado todo sobre el proyecto.

Finalmente, agradecer a mi familia y amigos por su apoyo y ánimos durante todo el transcurso del proyecto y la confección de la memoria.