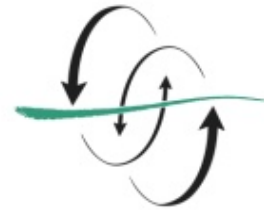


FACULTAD  
DE CIENCIAS  
DEL MAR



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS  
DE GRAN CANARIA

## **Estudio de la contaminación por microplásticos mediante análisis de imagen**

**Javier García Viso**

**Curso 2016/2017**

**Alicia Herrera Ulibarri**

**May Gómez Cabrera**



Grupo de Ecofisiología  
de Organismos Marinos



ECOAQUA

Trabajo Fin de Título para la obtención  
del título de Máster Interuniversitario en  
Oceanografía



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS  
DE GRAN CANARIA

## Trabajo de Fin de Título

### Máster Interuniversitario en Oceanografía Facultad de Ciencias del Mar

Trabajo presentado por Javier García Viso para la obtención del título de Máster Interuniversitario en Oceanografía en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y dirigida por la Doctoras Doña Alicia Herrera Ulibarri y Doña May Gómez Cabrera, grupo de investigación Ecofisiología de los Organismos Marinos (EOMAR), Instituto Universitario ECOAQUA.



Universidad de Las Palmas de Gran Canaria  
En Las Palmas a 15 de diciembre de 2017

El alumno  
Fdo.: Javier García Viso

Las Directoras  
Fdo.: Alicia Herrera Ulibarri

Fdo.: May Gómez Cabrera

---

## **Resumen**

Se analizaron 93 muestras de residuos plásticos colectados durante un año en la playa de Las Canteras, que se cuantificaron y clasificaron de forma automática mediante ZooImage, un software utilizado principalmente con zooplancton. En primer lugar, se analizó el error del programa, los datos obtenidos con ZooImage se compararon con muestras cuantificadas manualmente con un acierto del 100%. Sin embargo, la clasificación de las muestras mostró un error en la identificación de entre 32 y 76.2%, que podría solucionarse mejorando el entrenamiento del programa para el reconocimiento automático de las partículas. Se analizó el número de partículas de la serie anual, dando como resultados que la llegada de residuos plásticos presenta una gran variabilidad, con valores extremos en otoño, primavera y verano. Las muestras están mayoritariamente compuestas por microplásticos (menos de 5 mm), la mayor parte de los cuales son fragmentos. Sin embargo, dado el elevado error en la clasificación, los datos referentes al tipo de residuo no pueden ser tomados como válidos. Respecto a la relación entre masa y número de partículas, se observa que en muestras con poca masa (g) hay un mayor número de partículas relativo, lo que indicaría que están compuestas por partículas más pequeñas.

## **Introducción**

Los plásticos han tomado cada vez más importancia desde los años 50, duplicando su producción cada década en Europa (PlasticsEurope - Association of Plastics Manufacturers., 2015). Los plásticos son polímeros orgánicos sintéticos elaborados a partir del petróleo usando un proceso de polimerización (Derraik, 2002; Rios et al., 2007). La durabilidad y la ligereza son dos de las características que hacen deseables los plásticos, lo que presenta un importante riesgo en el medio ambiente cuando son desechados. Los plásticos pueden permanecer en el medio durante tiempos muy prolongados, además de transportarse a lugares muy lejanos a la fuente y concentrarse produciendo graves problemas ambientales (Thompson et al., 2009). Los dos primeros investigadores que dieron la voz de alarma sobre los peligros de la contaminación de los plásticos fueron E. J. Carpenter y K. L. Smith en 1972. E. J. Carpenter, en su publicación en Science sobre la presencia de pellets en la superficie del Atlántico Norte, afirmó: “La creciente producción de plásticos, combinada con las actuales prácticas de eliminación de residuos, probablemente conducirá a unas mayores concentraciones en la superficie del mar” (Carpenter and Smith, 1972). Pero la contaminación por plásticos se agrava por la aparición de los microplásticos en los medios acuáticos procedentes de productos plásticos más grandes, degradados por la acción combinada de fotodegradación, abrasión mecánica y oxidación, productos cosméticos o tejidos sintéticos, entre otros. En 2004, el

término “microplástico” se empezó a usar para fragmentos de plástico muy pequeños ( $\mu\text{m}$ ), pero en 2009 se propuso que se incorporaran a la clasificación todos los tamaños menores de 5 mm (Arthur et al., 2009; Thompson, 2004). Los residuos plásticos tienen una distribución global a todos los niveles en el medio marino y afectan a todos los ecosistemas que engloba (Andrady, 2011; Browne et al., 2011; Derraik, 2002; Hammer et al., 2012; Van Cauwenberghe et al., 2013).

Los microplásticos, ya que son sustancias lipofílicas, adsorben en sus paredes toxinas como bifenilos policlorados (PCB), organoclorados (DDE) y nonilfenoles (NP) presentes en las aguas de zonas más industrializadas en mayores concentraciones (Ogata et al., 2009). Se han evaluado diferentes parámetros para observar que tipo de microplásticos concentran más contaminantes atendiendo principalmente al color y a la degradación determinando que los microplásticos más degradados y con colores más oscuros concentran mayores concentraciones de toxinas (Frias et al., 2010). Posiblemente, los PCB's sean la toxina más estudiada y más extendida, encontrándose en todos los plásticos y microplásticos muestreados en todo el mundo, con concentraciones registradas de entre 4 a 980 ng/g (Ogata et al., 2009). Existen estudios que demuestran la entrada de los PCB's en las cadenas tróficas mediante la ingestión de plásticos a través de modelados en diversos organismos marinos, y por métodos experimentales en aves (Teuten et al., 2009). La bioacumulación de toxinas como los PCB's es un problema para los organismos produciendo alteraciones en la supervivencia, su actividad, su tamaño y peso corporal (Besseling et al., 2013). Los PCB's también son considerados como disruptores endocrinos que producen alteraciones sexuales y metabólicas en organismos marinos y en sus poblaciones, poniéndolas en peligro (Rochman et al., 2014).

Los microplásticos entran en la cadena trófica ya que los organismos los ingieren, ya sea de forma directa, confundiéndolos con comida o mezclado con su alimento; como indirecta, alimentándose de otros organismos que se han alimentado de microplásticos. Este fenómeno está ampliamente demostrado en la comunidad científica en numerosos organismos, como por ejemplo:

- *Tigriopus japonicus*, un copépodo, que incorpora microplásticos en su dieta y se produce mortalidad con concentraciones de 12.25  $\mu\text{g}/\text{ml}$  (Lee et al., 2013).
- *Mytilus edulis* y *Crassostrea gigas*, dos bivalvos de consumo humano, en los que se encontraron partículas de plásticos (Van Cauwenberghe et al., 2015; Van Cauwenberghe and Janssen, 2014).
- *Holothuroidea*, clase de equinodermo que ingiere grandes cantidades de microplásticos de hasta 4 mm (Graham and Thompson, 2009).
- El estudio de más de 100 ejemplares de peces de 27 especies, donde se encontraron plásticos en un 9.2% de sus estómagos (Davison and Asch, 2011).

- 8 especies de *Procellariiformes*, aves acuáticas, que consumían en su totalidad micro y mesoplásticos y presentaban de 68.0 a 99.0 ng/g en sus tejidos (Colabuono et al., 2010).
- *Arctocephalus spp.*, focas, con gran concentración de micro y mesoplásticos en sus últimos estadios de abrasión incorporadas a través de la cadena trófica (Eriksson and Burton, 2003).

Estos son algunos ejemplos de toda una línea de investigación y a todos los niveles tróficos y ecosistémicos. La transmisión de microplásticos a través de la cadena trófica y su capacidad de adsorción de toxinas podrían afectar al ser humano en última instancia ya que existe un gran número de especies afectadas que tienen interés comercial.

En resumen, el peligro potencial de los microplásticos se basa en su persistencia en el medio ambiente y su omnipresencia, tanto en el medio ambiente acuático y costero como en las cadenas tróficas, pero sobre todo actúan como adsorbentes de toxinas preconcentrándolas y afectando a los organismos cuando entran en su dieta.

Actualmente, los plásticos son una de las principales preocupaciones en la comunidad científica respecto a la contaminación del medio ambiente acuático, y es de esperar que un alto porcentaje acabe en las costas y playas. La presencia de microplásticos se ha documentado en gran parte de las playas de todo el mundo, como por ejemplo en Canadá (Gregory, 1983), el golfo arábigo (Khordagui and Abu- Hilal, 1994), el mediterráneo (Turner and Holmes, 2011) o en sitios tan remotos como el Ártico (Obbard et al., 2014) o en playas de la Antártida (Barnes, 2005). Los microplásticos que se encuentran en las playas pueden proceder por acción directa humana, viento, sistemas de drenaje, ríos o directamente del océano, empezando a ser reportado desde los años 70 y sufriendo un aumento exponencial desde los 90 (Carpenter and Smith, 1972; Derraik, 2002).

Las playas canarias también están siendo afectadas por la contaminación de microplásticos, encontrando concentraciones de hasta 100 g por L de sedimentos en puntos de Lanzarote, Fuerteventura o La Graciosa con orientación noreste expuestas a la Corriente de Canarias. Los residuos plásticos provienen de mar adentro con un origen desconocido (Baztan et al., 2014). Herrera et. al. (2017) presenta un estudio que pone de manifiesto la contaminación por microplásticos en tres playas de arena de las islas canarias expuestas al viento y oleaje predominantes del Norte-Noreste:

- Famara, playa de Lanzarote con gran afluencia turística pero poca población.
- Lambra, playa de la isla de La Graciosa que está muy aislada y tiene poca afluencia.
- Las Canteras, playa urbana de Las Palmas de Gran Canaria con una gran afluencia de público, tanto turístico como local.

El artículo estudia la composición de los microplásticos, y las variaciones espaciales y temporales en relación con variables ambientales. Herrera et. al., (2017) demuestran que la acumulación de microplásticos depende principalmente de la orientación de la playa y sus condiciones ambientales, como oleaje y vientos en la zona, pero aún más importante, demuestra que la acumulación de esta contaminación procede del océano, lo que quiere decir que no es contaminación local, sino procedente de la Corriente de Canarias. La playa más contaminada con microplásticos y petróleo fue la playa más aislada, remota y con menor afluencia de público, tanto local como turístico, situándose a niveles de regiones mucho más industrializadas y contaminadas.

El principal objetivo de los estudios sobre microplásticos se basan en determinar su distribución espacial (Yamashita and Tanimura, 2007), aunque existen estudios con otros objetivos:

- Proporción respecto a otros tipos de plásticos en plancton (Moore et al., 2001);
- Dispersión (Browne et al., 2010);
- Comparación entre metodologías (Ogi and Fukumoto, 2000);
- Cambios temporales en su abundancia (Thompson, 2004);
- Degradación (Biesinger et al., 2011);

La separación por densidad es la técnica de separación más utilizada, consiste en usar la densidad específica del plástico para discriminarlo del resto de la muestra, fundamentalmente de la arena. La densidad de los plásticos varía entre 0.8 y 1.4 g cm<sup>-3</sup>, aunque existen excepciones, y se diferencia lo suficiente de la del sedimento como para que floten en soluciones hipersalinas, acompañado de agitación (Hidalgo-Ruz et al., 2012). La solución más usada es con cloruro sódico (NaCl) (Corcoran et al., 2009), aunque también hay otras soluciones como el tungstato sódico (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>•2H<sub>2</sub>O) (Andrady, 2011). Posteriormente, se utiliza el filtrado para la separación de los microplásticos. Se suelen usar filtros de entre 1 y 2 μm acompañadas de vacío para facilitar el proceso (KIMO Sweden, 2007).

El tamizado consiste en usar varios tamaños de poro de malla para separar plásticos de una muestra en fracciones. Este proceso no solo se usa en sustratos, también en muestras de agua de mar, y tiene la ventaja de separar por tamaños los plásticos (Claessens et al., 2011).

En todos los trabajos mencionados hasta ahora las muestras se contaron y clasificaron manualmente, lo que supone un enorme esfuerzo. En el trabajo de Herrera *et al.*, (2017), las muestras solamente se pesaron, no se contó el número de partículas debido a la gran cantidad de muestras obtenidas. La cuantificación manual de un número elevado de

muestras consume mucho tiempo y recursos humanos. Esta es una de las grandes dificultades que plantean los estudios de contaminación por microplástico.

Para este trabajo se propone el software “*ZooImage*” para cuantificar y clasificar microplásticos, ya que dicho software se usa para la identificación automática de zooplancton, pero aún no se ha utilizado para este campo de estudio.

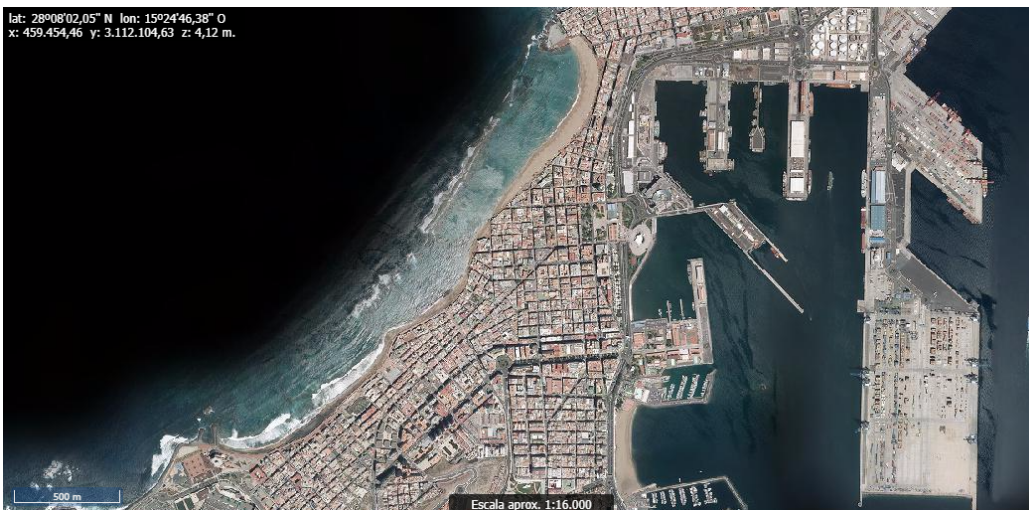
Los objetivos específicos del presente trabajo son:

1. Probar el uso de un software de análisis de imagen para la cuantificación e identificación de microplásticos.
2. Usando el software *ZooImage*, contar y clasificar automáticamente las partículas en las muestras obtenidas en la playa de Las Canteras para el estudio de Herrera *et al.* (2017).
3. Comparar los datos de número de partículas obtenidos en el presente estudio, con los de peso (g) presentados por Herrera *et al.* (2017).

## **Material y métodos.**

### *Área de estudio*

El estudio se realizó con muestras obtenidas en la playa de *Las Canteras*, en las Palmas de Gran Canaria, situada a 28° 08' N y 15° 26' O, con orientación noroeste. Se trata de una playa urbana con una longitud de 3100 m (*fig. 1*). La playa de *Las Canteras* cuenta con la bandera de la Q de Calidad Turística además de la bandera azul de la Unión Europea.



*Fig. 1:* Playa de las canteras (Las Palmas de Gran Canaria).

### *Obtención y tratamiento de las muestras*

Las muestras se tomaron desde el 03/09/2015 hasta el 07/09/2016. La recogida de muestras se llevó a cabo durante las mareas más altas para evitar la variabilidad debida al

coeficiente de marea. Estas muestras fueron utilizadas previamente en el estudio de Herrera *et al.* (2017). En dicho estudio, debido a la gran cantidad de muestras recogidas, solo se estudió el peso (g) de las muestras. En el presente estudio, se pretende mediante un método automático de cuantificación contar el nº de microplásticos, lo que nos permitirá comparar con los datos previamente obtenidos por Herrera *et al.* (2017).

Para la recogida de muestras se ha seguido el protocolo recomendado por la guía de monitorización de basuras marinas en mares europeos (MSDF Technical Subgroup on Marine Litter, 2013), con las modificaciones de Herrera *et al.*(2017). Se tomaron 3 réplicas separadas por al menos 5 m, recogiendo una capa de 1 cm de arena dentro de un cuadrado de  $50 \times 50$  cm ( $0.25 \text{ m}^2$ ) a lo largo de la línea de pleamar (*fig. 2*). Las muestras se trataron en el laboratorio para separar la arena de los plásticos por densidad utilizando una solución saturada de NaCl. En el caso de las muestras que presentaran mucha materia orgánica, se secaron durante 24 horas a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  y se separó la fracción orgánica por densidad usando una solución de etanol al 96 % (Herrera *et al.* 2017).



*Fig. 2.* Colecta de muestras en la playa de Las Canteras.

Las muestras de plásticos se clasificaron siguiendo el código identificativo MCA.YYYY/MM/DD.x:

- MCA: Muestra perteneciente a la playa de las Canteras.
- YYYY/MM/DD: Fecha con el formato año/mes/día.
- X: Réplica de la muestra clasificada desde “a” hasta “c”.

Existían muestras con una gran cantidad de masa y presentaba un obstáculo para la obtención de la imagen a analizar, por lo tanto, se dividieron en fracciones significativas.



Para obtener las imágenes digitales el escáner usado es “Epson perfection V850 pro” (*fig. 4*) con bandeja de metacrilato (*fig. 3*) especialmente preparada para escanear las muestras. Cada muestra requirió una media de 15 minutos de escaneo debido a la calidad escogida en los parámetros de configuración. El software usado para el escáner es “VueScan” con los parámetros configurados:

- 24 bits por pixel a color.
- Modo transparencia.
- Formato .jpg.
- 900 ppp.

Se trabajaron 93 muestras físicas de las cuales se obtuvieron las imágenes digitales (*fig. 4*). Después se procedió a su tratamiento con “ZooImage”.

De las 93 muestras, 7 se descartaron por no poder tratarse con el software ZooImage, ya que no tenían contenido detectable o generaban problemas al obtener los datos y metadatos. En ese caso, se consideró el contenido como 0 partículas, ya que el peso de las muestras era de entre 0 y 0.002 g. Las muestras descartadas son MCA.2015-09-06.c, MCA.2015-09-23.a, MCA.2015-09-23.b, MCA.2015-09-23.c, MCA.2015-11-19.b, MCA.2016-05-21.a y MCA.2016-05-21.b.

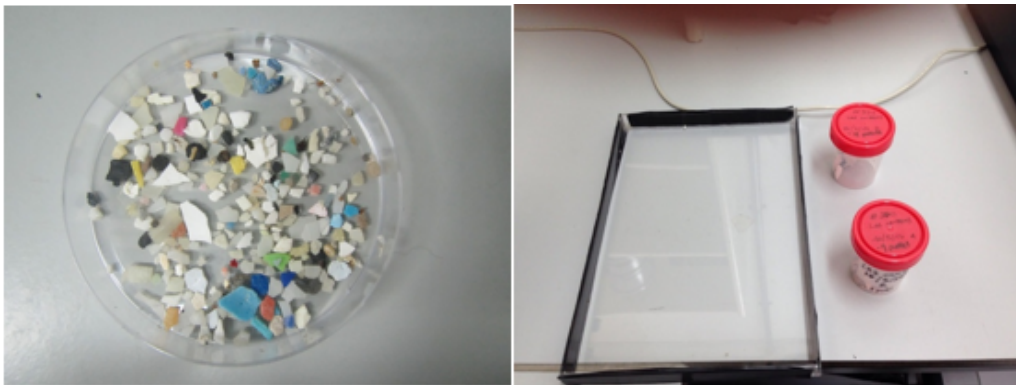


Fig. 3: Ejemplo de muestra y bandeja usada para escanear las muestras de residuos plásticos en el escáner.



Fig. 4: Ejemplos de imágenes obtenida con Epson perfection V800 a partir de una muestra de residuos plásticos (MCA.2016-06-06.c y MCA.2016-05-10.a).

### *Procesamiento de muestras con ZooImage.*

Para realizar este trabajo lo que se plantea es un método de cuantificación y clasificación automática de residuos plásticos usando el software “ZooImage”. ZooImage es un software gratuito (de código abierto) para analizar imágenes digitales de zooplancton. Se trata de un sistema de procesamiento de imágenes digitales para la clasificación automática de taxones, y finalmente, cuenta muestras de plancton (<https://cran.r-project.org/web/packages/zooimage/zooimage.pdf>).

El procedimiento que se ha seguido para realizar el estudio comienza con una calibración por parte de *ImageJ* con la ruta “Analyze ➡ Set Scale” (fig. 5). Para realizar la calibración debemos medir un milímetro y traducirlo en pixels. En el caso de este trabajo, un milímetro coincidía con 24 pixels, lo que nos daba como resultado 0.044 milímetros por pixel. La calibración es esencial para que las dimensiones a la hora de trabajar con *ZooImage* sean correctas.

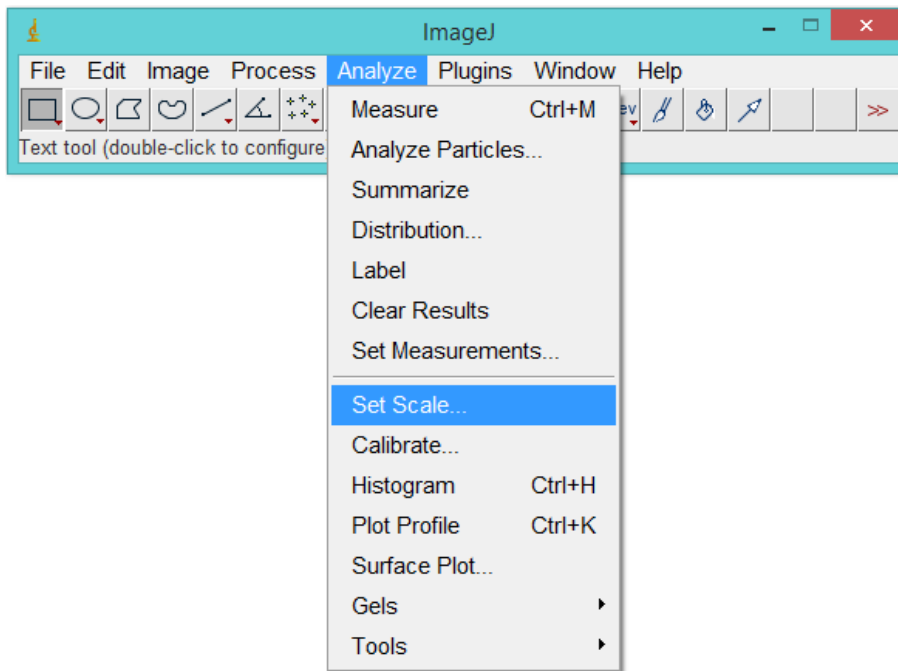


Fig. 5: Ruta de *imageJ* para realizar la calibración.

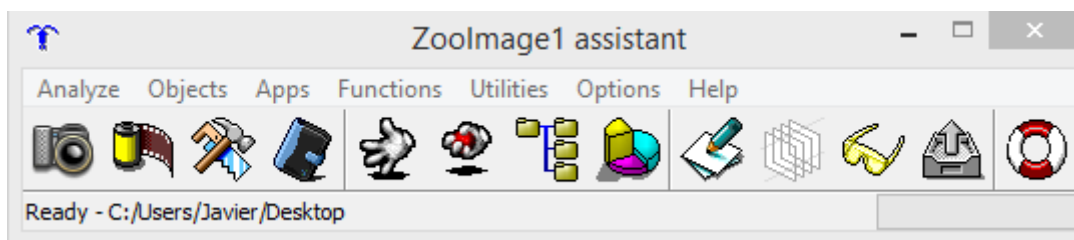




Fig. 6: Interfaz de ZooImage.

El interfaz de *ZooImage* (fig. 6) consta de 13 botones con diferentes utilidades. Para llevar a cabo el entrenamiento del software se siguieron los siguientes pasos:

 *Importar imágenes existentes:* Las imágenes son cambiadas de formato y de nombre a un formato aceptable para ser procesas.

 *Procesamiento de imágenes:* Para este paso del proceso se usa *ImageJ*, otro software de código abierto para análisis de imagen (fig. 7), que separa los componentes de la imagen uno a uno. Las imágenes pasan a ser archivos *.zim* (archivo de metadatos) y las imágenes originales se trasladan, junto con el resto de archivo esenciales para el proceso de entrenamiento, a una carpeta llamada *.raw*.

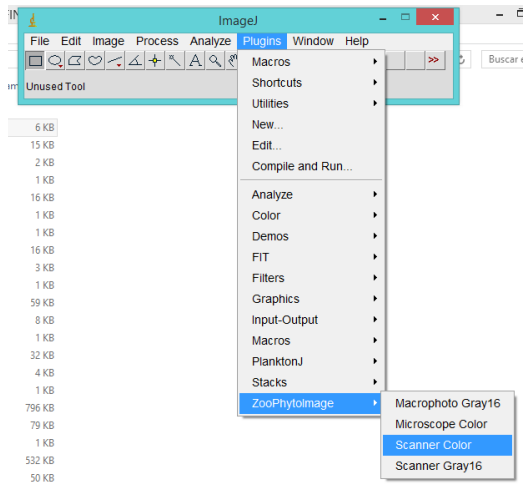


Fig. 7: Ruta a seguir para el procesamiento de imágenes con ImageJ.



*Creación de archivo .zid:* Contienen todo lo que se necesita para el resto del tratamiento, es decir, imágenes de cada individuo, sus medidas y los metadatos correspondientes.



*Creación de un set de entrenamiento:* El entrenamiento consiste en crear una biblioteca de imágenes con la que comparar las muestras reales y clasificarlas, posteriormente, por similitud. La ruta para crear o editar un entrenamiento existente en *ZooImage* es *(C:\Program Files (x86)\ZooImage\bin\R\R-2.4.1\library\zooImage\etc)* (fig. 8) que corresponde a un sistema operativo *Windows 8.1*<sup>®</sup>. El archivo a modificar sería *Detailed.zic*, que se trata de un archivo para generar carpetas para el entrenamiento (fig. 9). Con esta función se abre un directorio (fig. 10) donde se usaron fotografías específicas (fig. 11) para generar el entrenamiento. Las imágenes separadas y tratadas con la función anterior se separan en diferentes carpetas para usarlas posteriormente para analizar las imágenes de las muestras del estudio.

# Estudio de la contaminación por microplásticos mediante análisis de imagen

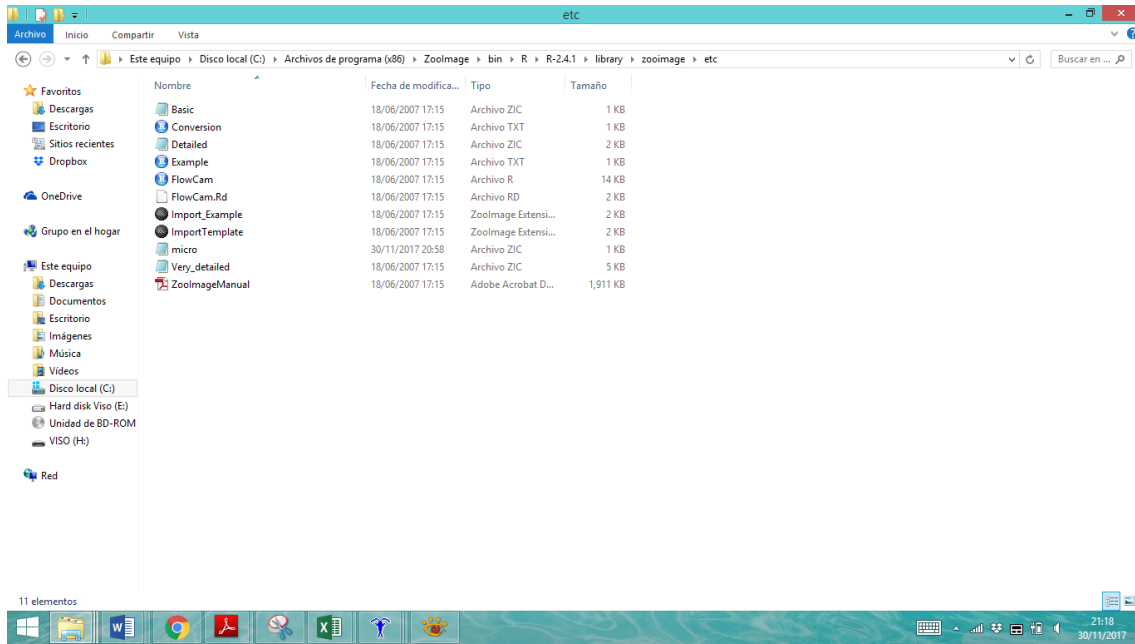


Fig. 8: Directorio donde modificar el formato del entrenamiento, en este caso se modificaría el archivo *Detailed.zic*.

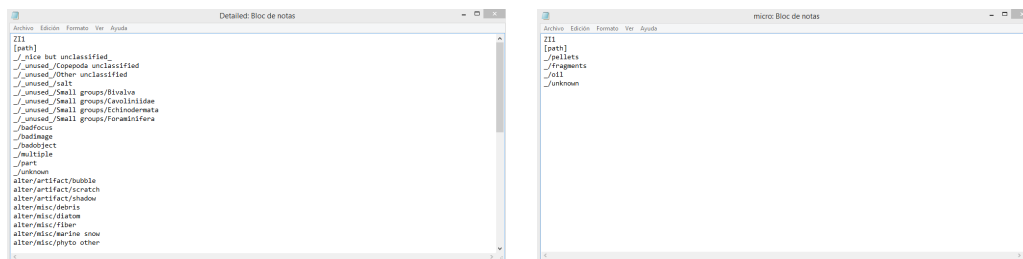


Fig. 9: Modificación de *Detailed.zic*.

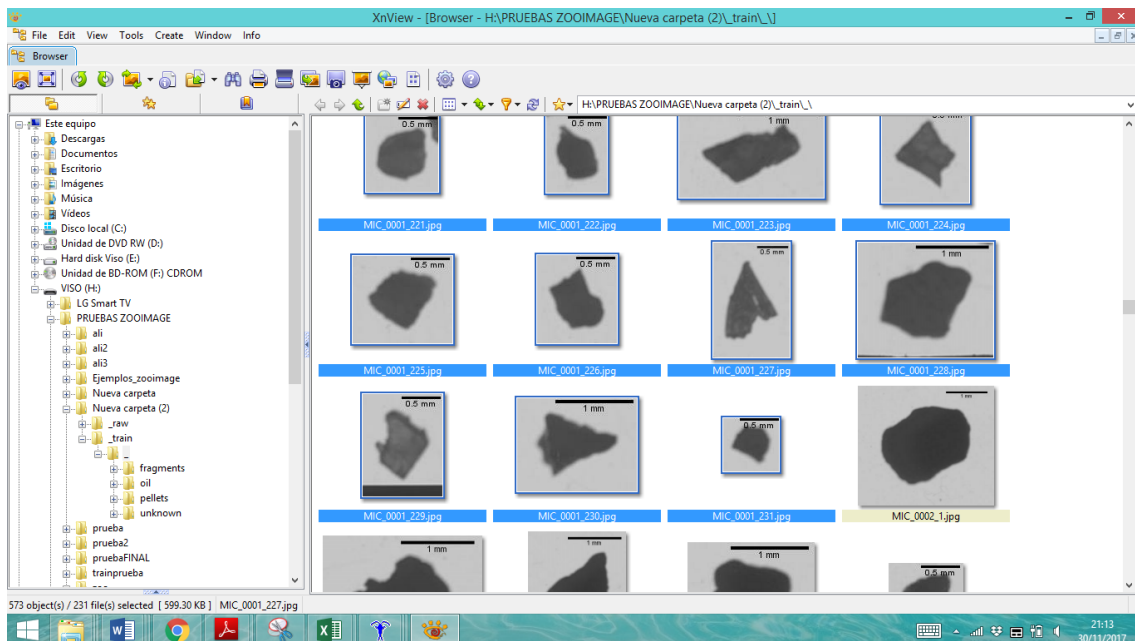
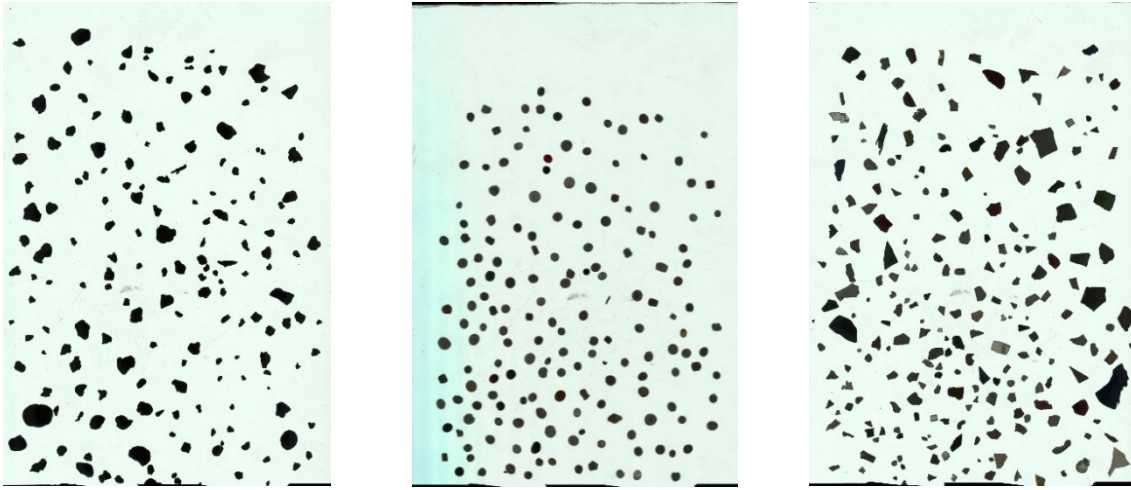


Fig. 10: Creación de un set de entrenamiento (interfaz).

El entrenamiento se llevó a cabo a partir de tres imágenes que corresponden, exclusivamente, a pellets, petróleo y fragmentos (*fig. 11*) obtenidas a partir de otras muestras disponibles en el laboratorio. De estas muestras se discriminaron las fracciones de residuos de interés para obtener la imagen usando el escáner “Epson perfection V800”. Las imágenes se procesaron y se dividieron en el directorio creado para clasificar las fracciones. El entrenamiento cuenta con un banco de imágenes de 174 fragmentos, 129 partículas de petróleo y 164 pellets.



*Fig. 11:* Imágenes de petróleo, pellets y fragmentos.

### *Proceso de análisis de imágenes.*

Una vez efectuado el “entrenamiento” del software, el siguiente paso es ponerlo a prueba con muestras reales. Para empezar el proceso debemos tener una serie de archivos aislados en una carpeta:

- *Archivo.txt* (guardar como archivo texto (MS-DOS)).
- *Archivo.xls*.
- *ImportTemplate.zie* (*fig. 12*), archivo que contiene parámetros como la calibración, tipo de imagen, nombre del autor, etc.
- Imágenes de las muestras en .jpg o .tif (*fig. 15*).

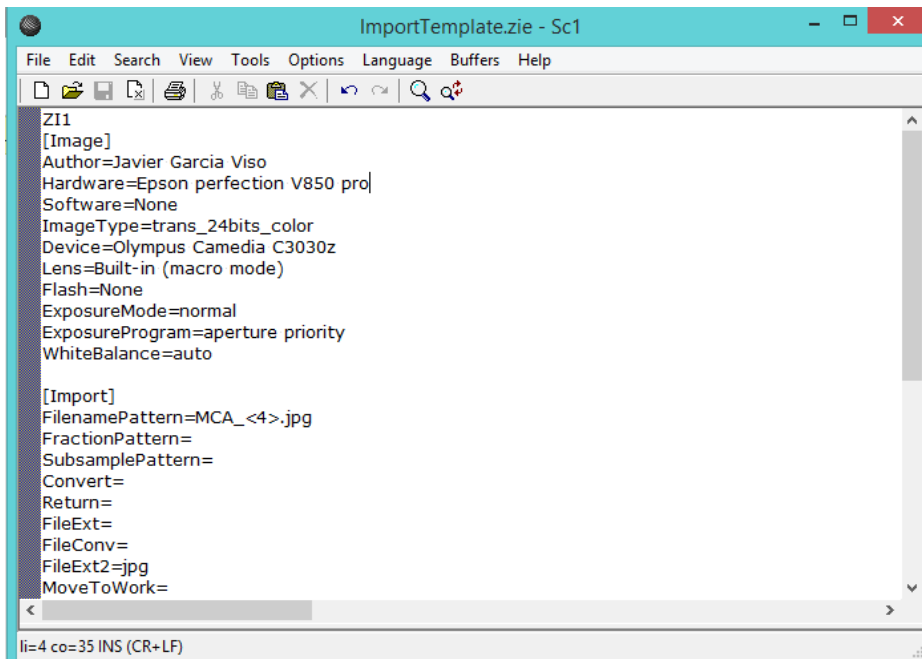


Fig. 12: ImportTemplate.zie usado en el proceso.



Lectura del set de entrenamiento: Una vez creado el “set de entrenamiento” de forma manual, la función recoge esta información y se vuelve funcional para usarlo con muestras reales. Para empezar a usar se debe elegir el lugar donde se realizó el entrenamiento, donde se generaron dos archivos (Zitrain y Ziclass por defecto), que contienen la información necesaria para avanzar al siguiente paso.



Realizar un clasificador: Convierte el entrenamiento manual en un clasificador automático con algoritmos de clasificación. Esta función permite obtener resultados estadísticos al final del proceso.



Análisis del clasificador: Esta función genera un mapa de confusión (fig. 13), que analiza lo preciso que es el entrenamiento. Este diagrama indica con código de colores (de blanco a rojo) que indica el error en la identificación o la confusión que existe entre varias fracciones de residuos plásticos. La tercera sección usa este clasificador y las mediciones hechas en todos los objetos identificados en las imágenes de las muestras (primera parte) para calcular automáticamente las abundancias, biomásas y espectros de tamaño en todas sus muestras. Las funciones que se presentan a continuación se pueden usar para visualizar resultados o exportarlos.



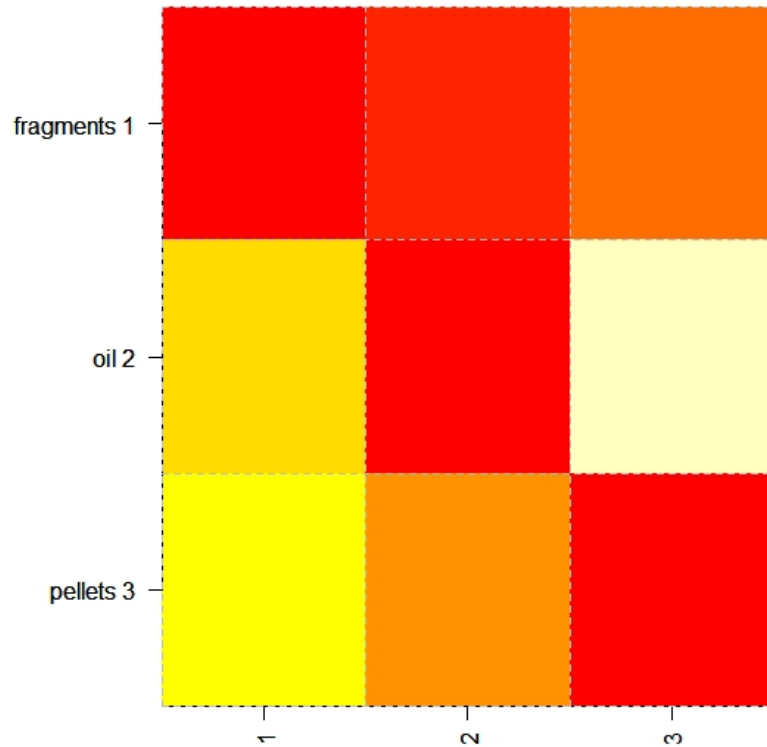


Fig. 13: Mapa de confusión.



Editar descripción: Esta función edita una lista de atributos específicos (fig. 14), además de metadatos como profundidad, salinidad, temperatura, etc. Este tipo de metadatos no fueron necesarios para el estudio realizado. La función permite analizar una serie larga de muestras de forma automática.

Series	Name	Project	Institution	Country	Location	Contact	
CA	micro		AZTI Technalia	Spain	Bay of Biscay	Xabier Ingo	
Cruises	ShipName	ShipType	ShipCallSign	PortDeparture	PortReturn	Captain	
Stations	Code	Location	Latitude	Longitude	Start	End	Frequency
Samples	label	Code	SCS	Series	Cruise	Station	Date
ICA.01.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-09-03
ICA.02.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-09-03
ICA.03.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-09-03
ICA.04.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-09-06
ICA.05.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-09-06
ICA.10.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-09-28
ICA.11.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-09-28
ICA.12.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-09-28
ICA.13.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-10-05
ICA.14.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-10-05
ICA.15.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-10-05
ICA.16.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-10-14
ICA.17.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-10-14
ICA.18.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-10-14
ICA.19.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-10-27
ICA.20.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-10-27
ICA.21.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-10-27
ICA.22.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-11-05
ICA.23.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-11-05
ICA.24.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-11-05
ICA.25.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-11-12
ICA.26.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-11-12
ICA.27.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-11-12
ICA.28.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-11-15
ICA.30.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-11-15
ICA.31.1	1	MCA	MCA	MCA			2015-11-26

Fig. 14: Tabla de atributos específicos para series de muestras de residuos plásticos.



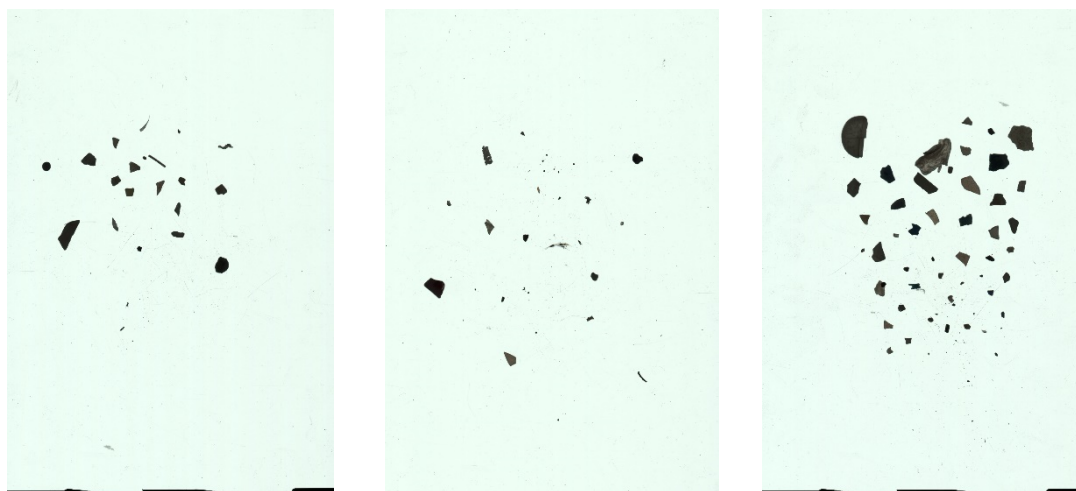


Procesamiento de series/muestra: Se trata de una función que procesa una serie de muestras una a una. Genera los archivos que contienen los datos tales como área, largo, ancho, clasificación, nombre del objeto, etc.

Una vez obtenidos los resultados se procede al análisis de los datos usando los programas *IBM SPSS Statistics 22*<sup>®</sup>, R y Excel 2013<sup>®</sup>. Se realizaron cálculos estadísticos tales como los máximos, mínimos y medias del número de partículas lo largo del año muestreado, y por estaciones; realizar y analizar la serie temporal, analizar las diferencias entre estaciones mediante el test de Kruskal-Wallis, y observar y analizar la composición de las muestras (*pellets, fragmentos y partículas de petróleo*).

Para testear el uso de un software para análisis de imagen para la cuantificación e identificación de microplásticos y mesoplásticos se contaron e identificaron manualmente 3 muestras para establecer si existen diferencias significativas con los resultados obtenidos con ZooImage o, por el contrario, es factible el uso de este software para la cuantificación y clasificación automática. Las muestras (*fig. 15*) escogidas fueron:

- **MCA.76.1** (MCA.2016-06-22.a), 25 partículas.
- **MCA.44.1** (MCA.2016-01-14.b), 29 partículas.
- **MCA.82.1** (MCA.2016-07-23.a), 60 partículas.



*Fig. 15:* Muestras cuantificadas a mano que se comparan en ZooImage (MCA.2016-06-22.a, MCA.2016-01-14.b y MCA.2016-07-23.a, respectivamente).

Para la comparación estadística se usó *IBM SPSS Statistics 22*<sup>®</sup> y se seleccionaron muestras aumentando el número de partículas de microplásticos y mesoplásticos observables y cuantificables.

## **Resultados**

### *ZooImage*

En primer lugar se analiza el número de partículas contadas manualmente y mediante ZooImage, reflejados en la tabla 1. Los valores obtenidos, tanto para la cuantificación manual como automática, fueron 24, 29 y 60 partículas en las muestras MCA.2016-06-22.a, MCA.2016-01-14.b y MCA.2016-07-23.a, respectivamente (tabla 1). Es decir, se obtuvo un 100% de acierto en la cuantificación automática de las muestras.

Respecto a la identificación del tipo de residuos (*fig. 16*) se observan claras diferencias entre la clasificación manual y la automática. En la muestra *MCA.76.1* se contaron manualmente un 8.33% de pellets, 79.17% de fragmentos y 12.5% de partículas de petróleo, disminuyendo en la cuantificación automática el porcentaje de partículas de petróleo (4.17%) haciendo aumentar el porcentaje de pellets (16.67%). Un total de 8 partículas se clasificaron erróneamente, lo que representa un error del 32%.

En la muestra *MCA.44.1* se contaron manualmente un 89.66% de fragmentos y 10.34% de partículas de petróleo, disminuyendo considerablemente en la cuantificación automática el porcentaje de fragmentos (51.72%), traduciéndose en una identificación errónea de pellets (34.48%) que no existían realmente en la muestra. En total se clasificaron mal 16 partículas, lo que representa un error en la clasificación del 76.2%.

Finalmente, en la muestra *MCA.82* se contaron manualmente un 96.67% de fragmentos y 3.33% de partículas de petróleo, en la clasificación automática sucede lo mismo que con la muestra anterior, disminuyendo el número de fragmentos (68.33%) e identificando erróneamente un alto porcentaje de pellets (34.88%) que no había en la muestra. En total se clasificaron de forma errónea 21 partículas, dando como resultado un error del 35% en la identificación. La diferencia principal que se puede observar es la aparición de pellets que en una cuantificación manual no se identifican como tales.

Sample	Date	ident Manual	Ident Autom	Sample	Date	ident Manual	Ident Autom
MCA.76.1	22/06/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.76.1	22/06/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.76.1	22/06/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	pellets
MCA.76.1	22/06/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.76.1	22/06/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	pellets
MCA.76.1	22/06/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.76.1	22/06/2016	fragment	pellets	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.76.1	22/06/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.76.1	22/06/2016	fragment	pellets	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.76.1	22/06/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.76.1	22/06/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.76.1	22/06/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.76.1	22/06/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments

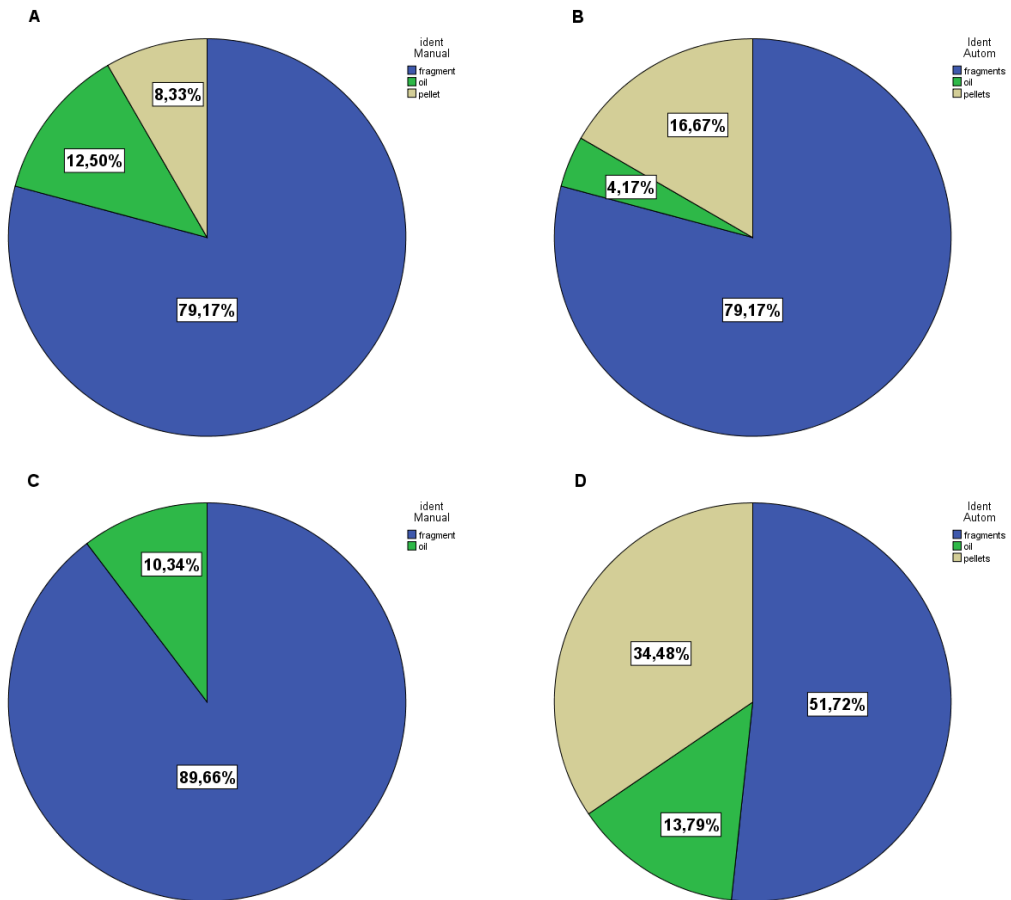
Estudio de la contaminación por microplásticos mediante análisis de imagen

MCA.76.1	22/06/2016	fragment	pellets	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.76.1	22/06/2016	fragment	pellets	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	pellets
MCA.76.1	22/06/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	pellets
MCA.76.1	22/06/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.76.1	22/06/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.76.1	22/06/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.76.1	22/06/2016	oil	oil	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.76.1	22/06/2016	oil	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	pellets
MCA.76.1	22/06/2016	oil	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.76.1	22/06/2016	pellet	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	pellets
MCA.76.2	23/06/2016	pellet	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	oil	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	pellets
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	pellets
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	oil	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	pellets	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	pellets	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	pellets
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	pellets	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	pellets	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	pellets	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	pellets	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	pellets
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	pellets	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	oil
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	oil	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	pellets
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	pellets	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	oil	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	pellets
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	pellets
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	oil
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	pellets	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.44.1	14/01/2016	fragment	pellets	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.44.1	14/01/2016	oil	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.44.1	14/01/2016	oil	fragments	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.44.1	14/01/2016	oil	pellets	MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
				MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments

Estudio de la contaminación por microplásticos mediante análisis de imagen

MCA.82.1	23/07/2016	fragment	pellets
MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.82.1	23/07/2016	fragment	fragments
MCA.82.1	23/07/2016	oil	fragments
MCA.82.1	23/07/2016	oil	fragments

Tabla 1: Cuantificación manual y automática de las muestras MCA.2016-06-22.a (MCA.76), MCA.2016-01-14.b (MCA.44) y MCA.2016-07-23.a (MCA.82). En amarillo se muestran los errores de clasificación del programa ZooImage.



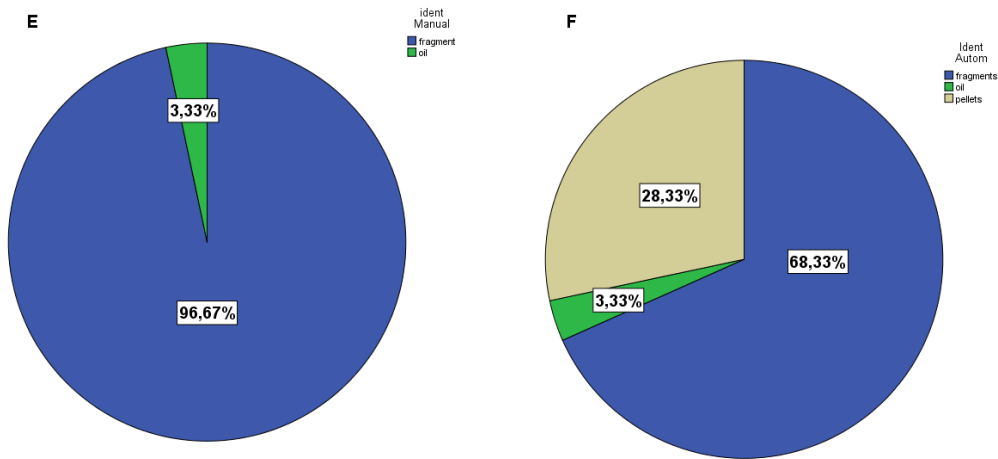


Fig. 16: Gráficos circulares que reflejan los datos obtenidos usando una cuantificación manual (A, C y E) y automática usando Zoolmage (B, D y F). A) Cuantificación manual de la muestra MCA.2016-06-22.a (MCA.76). B) Cuantificación automática de la muestra MCA.2016-06-22.a (MCA.76). C) Cuantificación manual de la muestra MCA.2016-01-14.b (MCA.44). D) Cuantificación automática de la muestra MCA.2016-01-14.b (MCA.44). E) Cuantificación manual de la muestra MCA.2016-07-23.a (MCA.82). F) Cuantificación automática de la muestra MCA.2016-07-23.a (MCA.82).

El mapa de confusión (fig. 13) indica que los mayores errores durante la cuantificación se producen durante el procesamiento de identificación entre:

- Fragmentos y petróleo, principalmente por su parecido, en ocasiones, con bordes redondeados y tamaños muy variables.
- Fragmentos y pellets, ocasionado por el mismo motivo que el anterior, a veces, los fragmentos pueden presentar una variedad de tamaños y de morfologías, tanto redondeadas como angulosos, que podrían ser confundidos en ocasiones con pellets.

El resto de errores al cuantificar es menor comparado con el resto de los errores anteriormente presentados. El mapa de confusión refleja este resultado en base al número de muestras usadas en el set de entrenamiento, que podría cambiar variando su número.

### *Contaminación por microplásticos en Las Canteras*

El número total de partículas recogidas durante la serie anual asciende a 10067 partículas de residuos plásticos (tabla 2). En el análisis de los datos obtenidos en Las Canteras, se puede observar (tabla 3) que existe un mínimo de 0 que indica la ausencia de residuos plásticos, pero existen máximos de hasta 1584 partículas de residuos plásticos por muestra que podría corresponder a un evento puntual, ya que la media de todas las muestras obtenidas es de 246,03 partículas de residuos plásticos.

**Estadísticos descriptivos**

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Curtosis	
							Error estándar
Width	10067	,396	33,308	3,53490	2,655794	5,466	,049
Height	10067	,440	53,504	3,95031	3,328115	13,623	,049
N válido (por lista)	10067						

*Tabla 2:* Datos estadísticos descriptivos. Valor mínimo, máximo, media, desviación estándar y curtosis de todos los datos de anchura y longitud de las muestras.

**Estadísticos descriptivos**

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Curtosis	
							Error estándar
TOTAL MP	93	,0	1584,0	246,032	366,7642	5,126	,495
N válido (por lista)	93						

*Tabla 3:* Datos estadísticos descriptivos. Valor mínimo, máximo, media, desviación estándar y curtosis del número de partículas plásticas cuantificadas de las muestras.

Respecto al tamaño de las partículas, se pueden observar mínimos de menos de un milímetro que corresponden a microplásticos, pero los máximos reflejan la presencia de mesoplásticos mayores de 5 mm, aunque la media indica que la mayoría de los residuos plásticos presentes en las muestras escaneadas entran dentro del rango de microplásticos menores de 5 mm (*tabla 2*).

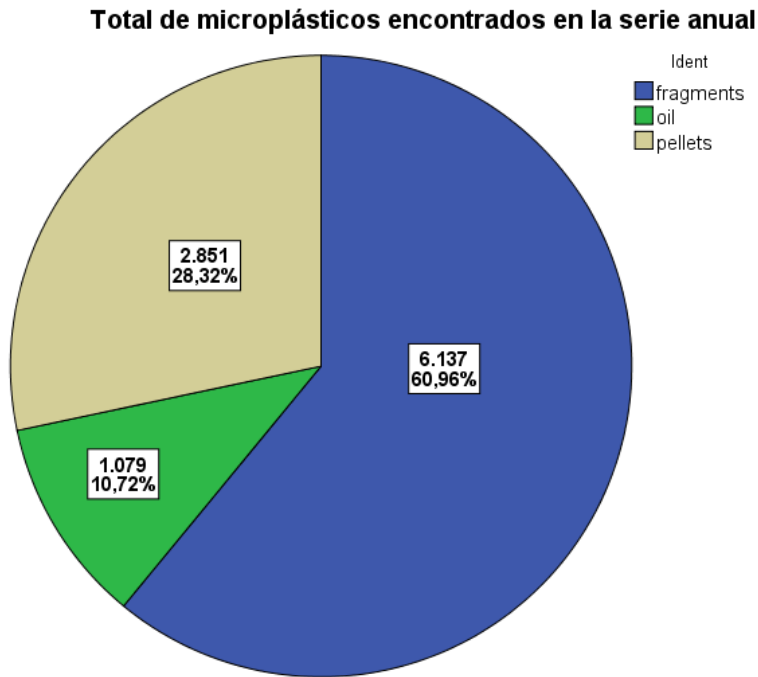
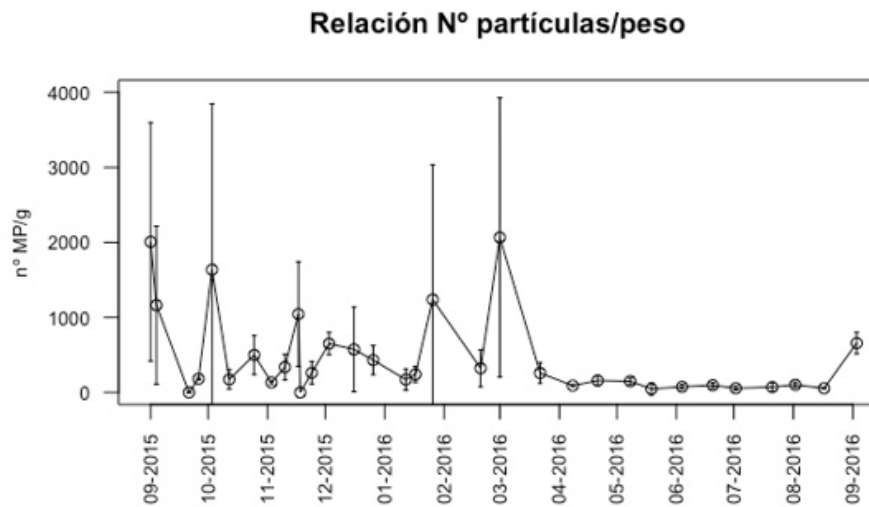


Fig. 17: Composición de los detritos encontrados totales (% y nº partículas) en la playa de Las Canteras.

Basándonos únicamente en los datos obtenidos por medio de la cuantificación automática (fig. 17) y asumiendo un error manifestado en el apartado anterior, podemos observar que los residuos plásticos procedentes de mar abierto tienen una fracción mayoritaria correspondiente a fragmentos de microplásticos y mesoplásticos, aunque es posible que el porcentaje sea aún mayor. Los pellets de resina serían la siguiente fracción en porcentaje, pero teniendo en cuenta el error manifiesto, el valor posiblemente este sobreestimado acercándose más a los residuos de petróleo. Por lo tanto, dado los errores en la clasificación mostrados en el apartado anterior (32-76.2%) no se pueden considerar válidos los valores reportados respecto al tipo de partícula.

A



B

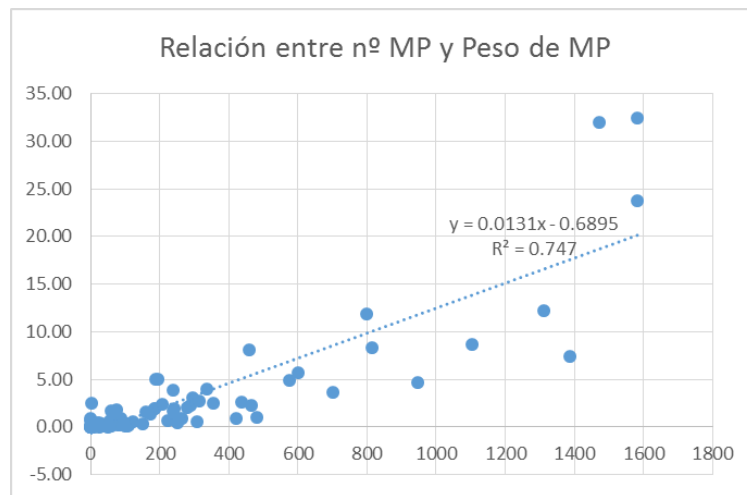


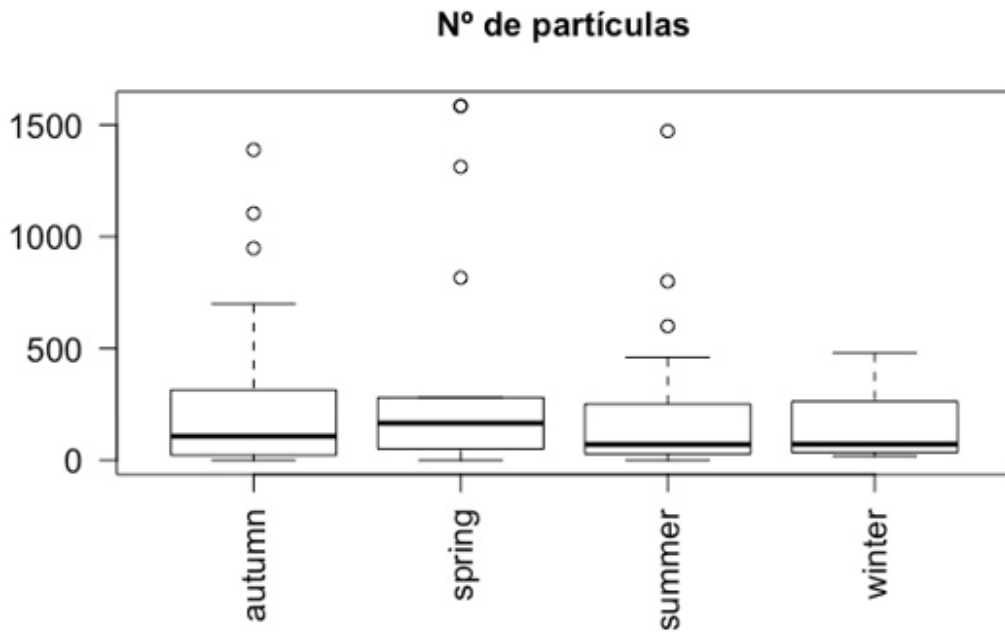
Fig. 18: A) Número de partículas (MP) por gramo de muestra. B) Relación entre la masa en g y el número de residuos plásticos.

Al analizar la relación entre el número de partículas y el peso de la muestra, se observan desvíos estándar elevados, lo que evidencia una gran variabilidad entre las muestras. También se observa una gran variabilidad entre las muestras en el tamaño de las partículas y, por lo tanto, en la relación n° partículas/g.

En la *fig. 18B* se puede observar como el número de partículas y la masa en gramos, tiene una buena correlación ( $R^2 = 0.75$ ), aunque existen puntos en los que encontramos un gran número de partículas en masas pequeñas. En esos casos, el tamaño de las partículas es menor. Las muestras de menor peso (*fig. 20*), presentan un mayor número de partículas relativo (*fig. 18A*), lo que indicaría que el tamaño de las partículas es mas pequeño en estas muestras.



A



B

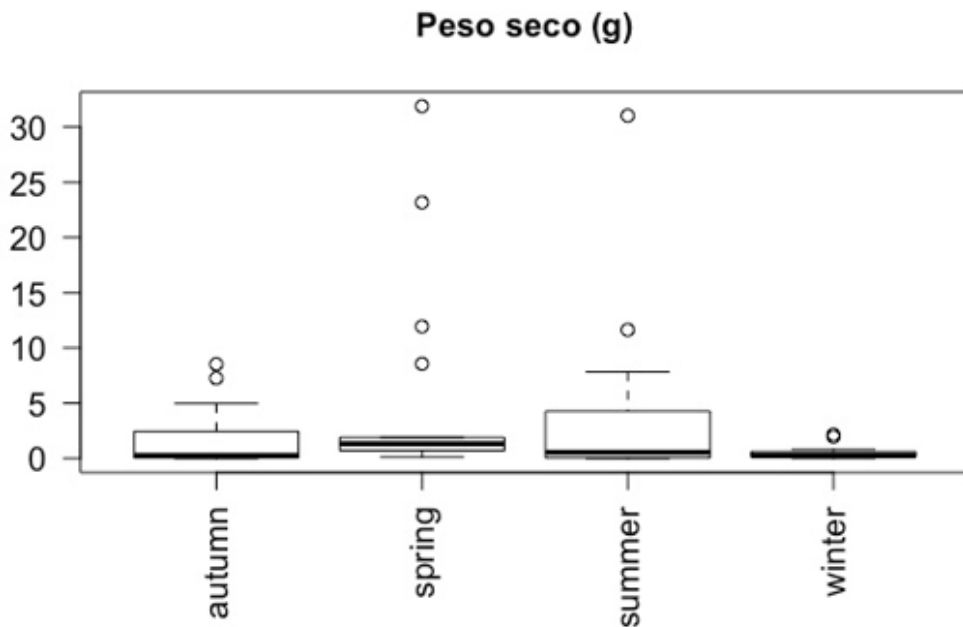


Fig. 19: Análisis de las diferencias entre estaciones.

En la *fig. 19A* podemos observar una distribución de las partículas de residuos de plásticos repartidos por estaciones (otoño, primavera, verano e invierno, respectivamente) atendiendo a la fecha de recogida de las muestras. Se obtuvieron valores extremos en el número de partículas en otoño, primavera y verano, pero en general existe una gran variabilidad por lo que no se observan diferencias significativas entre las estaciones (Kruskal-Wallis test  $p > 0.05$ ). Los valores extremos en el número de partículas observados en otoño (*fig. 19A*), no se ven representados en la masa (g) en el mismo período (*fig. 19B*).

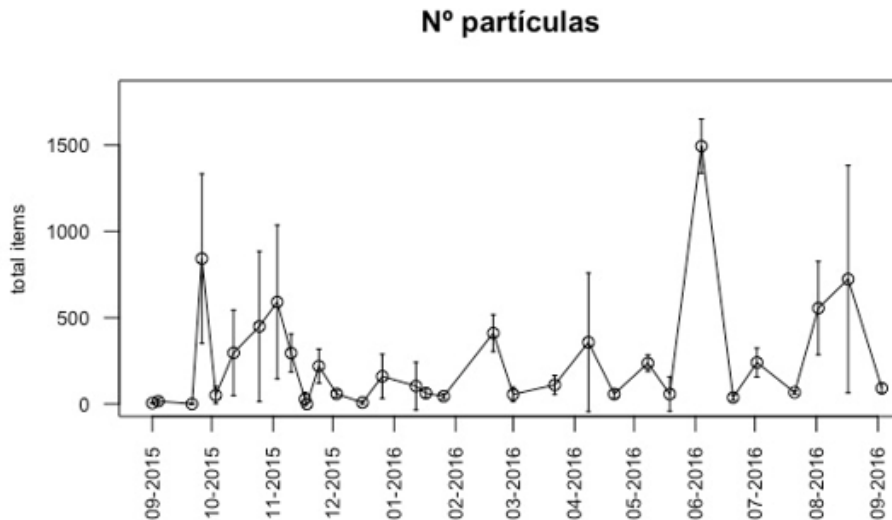


Fig. 20: Serie temporal anual del número de partículas plásticas cuantificadas.

Con los datos obtenidos se elaboró una serie anual con la media de las réplicas de cada fecha (*fig.*: 20). Se pueden observar máximos en la llegada de residuos en otoño, primavera y verano, que corresponden a los valores extremos observados previamente en la *fig.* 19A.

## **Discusión**

### *ZooImage*

ZooImage es un software de código abierto, y por eso, está diseñado para adaptarse a las necesidades de los usuarios. Un gran número de propiedades básicas se pueden reconfigurar para maximizar el rendimiento. Este software se usa, principalmente, en ecología y biología (Bell and Hopcroft, 2008). Teniendo en cuenta las características del software, se ha reconfigurado para que pueda cuantificar, de la misma manera, residuos plásticos, tanto microplásticos como mesoplásticos.

El momento más crítico de la cuantificación automática es el establecimiento de un set de entrenamiento y la evaluación del clasificador, ya que determina la precisión de los datos obtenidos. Esta precisión aumenta cuantos menos campos o fracciones se analicen y cuanto mayor sea el número de las viñetas en cada fracción. Se recomienda que cada fracción o clase tenga un número de viñetas superior a 50 para evitar una tendencia a disminuir la precisión (Gislason and Silva, 2009).

En el presente trabajo, el número de campos es solamente de 3 (fragmentos, petróleo y pellets) y se incluyeron 174 fragmentos, 129 partículas de petróleo y 164 pellets respectivamente, sin embargo, el error cometido en la clasificación fue bastante elevando, entre 32% y 76.2%.

Existe un error en la comparativa reflejada en la *fig. 13* que podría deberse a la gran diversidad de morfologías y la similitud en muchas de ellas, especialmente entre fragmentos de micro y mesoplásticos y las partículas de petróleo. La cuantificación manual es mejor en algunos aspectos, tales como, diferenciar grados de desgaste o erosión, como en los pellets, además de diferenciar fragmentos de colores oscuros de partículas de petróleo. Este tipo de cuantificación lleva mucho más tiempo para una persona que la automática, que es capaz de cuantificar un gran número de muestra en mucho menos tiempo, ahorrando ese tiempo, pero disminuyendo la precisión de la cuantificación. Algo a tener en cuenta es que el ser humano comete también errores, y depende de la experiencia del especialista y del tiempo que se dedique a cuantificar. El ser humano aumenta su error conforme aumenta el cansancio al procesar las muestras, que es algo que no pasa con la cuantificación automática.

En el mapa de confusión se observa que la clasificación automática fue mucho menos exitosa diferenciando fragmentos de pellets (en primer lugar) y fragmentos de petróleo (en segundo lugar), mientras que entre pellets y petróleo demuestra ser más exacta. El error puede deberse a las morfologías redondeadas que pueden presentar los fragmentos, en ocasiones, comunes en partículas de petróleo y pellets de resina. Sin embargo, no existe casi error entre pellets y partículas de petróleo. Esto demuestra que el proceso de aprendizaje del software es complejo y cuenta con una gran cantidad de propiedades de identificación que usa simultáneamente en la clasificación.

En definitiva, la cuantificación automática, en comparación con la cuantificación manual, tiende a subestimar los fragmentos en un 27.18% respecto a las otras fracciones, en contraposición, las partículas de petróleo se sobreestiman en un 12.5% y los pellets en un 93,54%. Sin embargo, en la cuantificación del número total se obtuvo un 100% de aciertos, por lo tanto, este método automático resulta adecuado para contar las partículas totales, pero no para clasificarlas, y puede ahorrar mucho tiempo y recursos humanos.

### *Contaminación por microplásticos en la playa de Las Canteras.*

Herrera y colaboradores analizaron una serie temporal en la playa de Las Canteras, obteniendo una media de 9,7 g/m<sup>2</sup> (Herrera et al., 2017). Baztan *et al.*, (2014) reportó datos, también, sobre un gran número de playas de Fuerteventura, Lanzarote y La Graciosa, obteniendo unos datos de entre menos de 1 g/L a más de 40 g/L. Los valores más altos se correspondieron con playas con orientación noreste y noroeste. La playa de Las Canteras tiene una orientación noroeste, con lo que correspondería con la orientación de las playas más contaminadas por residuos plásticos, y sin embargo no fue el caso en el estudio de Herrera *et al.* (2017).

Cuando hablamos de fracciones de plásticos, vemos que las dimensiones varían entre 0.396 mm y 33.08 mm de anchura y entre 0.44 mm y 53.5 mm de altura, que engloba

micro (menor a 5 mm) y mesoplásticos (5 a 25 mm) y fracciones superiores (Arthur et al., 2009). En el presente estudio, la media de tamaños corresponde a microplásticos (3.53 mm de anchura y 3.93 de altura), que indica que existe un predominio de esta fracción como se refleja en el trabajo de Herrera *et. al.* (2017)

Respecto a la clasificación de los residuos plásticos podemos ver que en este trabajo tenemos un 60.96% de fragmentos (6137), 10.78% de partículas de petróleo (1079) y 28.32% de pellets (2851) (*fig. 17*). Herrera *et. al.* (2017) reportó un 94.3% de fragmentos y una minoría del resto de fracciones, 3.7% de pellets y 1.9% de partículas de petróleo. Sin embargo, teniendo en cuenta que la metodología de cuantificación es diferente y que el error recogido por la cuantificación automática fue de entre 32 y 76.2%, no podemos confiar en la veracidad de nuestros datos respecto al tipo de partículas.

Cuando analizamos por estaciones la afluencia de residuos plásticos a la playa de Las Canteras observamos que en verano y primavera se deposita el mayor número de dichos residuos, mientras que el menor se sitúa durante el invierno. Para observar que sucede en la época estival y primaveral con mayor detalle debemos observar la serie temporal, ya que son datos atípicos. En la serie anual se observan unos valores relativamente estables menos en dos puntos muy marcados en primavera y verano; y algunos máximos durante el otoño. Estos máximos durante la primavera y el verano fueron reportados también por Herrera *et. al.*, (2017) (*fig. 20*), que explica que se debió a una combinación de campos de viento locales fuertes y las condiciones hidrodinámicas que provocaron el depósito de grandes cantidades de residuos plásticos en el área de estudio. Sin embargo, los máximos en el número de partículas que se observan en otoño en la *fig. 19A* se observan más discretamente en la masa (g) de residuos depositados (*fig. fig. 19B*). Estos máximos observados en la cantidad de partículas durante el otoño podrían deberse a una afluencia de microplásticos más pequeños (menores a 5 mm) ya que no corresponden con máximos en masa (*fig. 19B*).

## **Conclusiones**

1. El software ZooImage resulta adecuado para la cuantificación automática de basuras marinas, ya que el acierto fue del 100% en el número total de partículas.
2. La clasificación de los tipos de residuos plásticos presentó un error elevado de entre 32 y 76.2%, que podría reducirse incrementando el número de viñetas usadas en el set de entrenamiento. Aun así, se plantea seguir investigando en la mejora del software, ya que si tenemos en cuenta el ahorro en el tiempo de tratamiento de las muestras y la eliminación de limitaciones humanas que aumentan el error (como cansancio), la clasificación automática sería un gran aporte en el campo de estudio de la contaminación marina por microplásticos.

3. La contaminación es, principalmente, producida por microplásticos (menos de 5 mm) y dentro de estos, de fragmentos de plástico, en comparación a los pellets y partículas de petróleo, con un origen no establecido.
4. Existen diferencias observables entre las masas de residuos plásticos y el número de éstos, debido a la relación de tamaños encontrados. Aparentemente las muestras de menor peso, presentaron un mayor número de partículas relativo, lo que indicaría que están compuestas por partículas de menor tamaño.

### **Agradecimientos**

Gracias a toda la ULPGC por darme la oportunidad de realizar el master en Oceanografía, con tan grandes profesionales, y especialmente a mi tutora Alicia Herrera, cotutora May Gómez y a EOMAR y todo su equipo, por su paciencia y apoyo inestimable. Agradecer también a toda esa gente que me ha apoyado y ha estado conmigo durante este maravilloso camino, mis compañeros de promoción, mi familia y mis amigos. Gracias a todos.

### **Bibliografía**

- Andrady, A.L., 2011. Microplastics in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 1596–1605. doi:10.1016/j.marpolbul.2011.05.030
- Arthur, C., Baker, J., Bamford, H., 2009. Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris. Group 530.
- Barnes, D.K.A., 2005. Remote Islands Reveal Rapid Rise of Southern Hemisphere Sea Debris. *Sci. World J.* 5, 915–921. doi:10.1100/tsw.2005.120
- Baztan, J., Carrasco, A., Chouinard, O., Cleaud, M., Gabaldon, J.E., Huck, T., Jaffrès, L., Jorgensen, B., Miguelez, A., Paillard, C., Vanderlinden, J.P., 2014. Protected areas in the Atlantic facing the hazards of micro-plastic pollution: First diagnosis of three islands in the Canary Current. *Mar. Pollut. Bull.* 80, 302–311. doi:10.1016/j.marpolbul.2013.12.052
- Bell, J.L., Hopcroft, R.R., 2008. Assessment of ZooImage as a tool for the classification of zooplankton. *J. Plankton Res.* 30, 1351–1367. doi:10.1093/plankt/fbn092
- Besseling, E., Wegner, A., Foekema, E.M., Van Den Heuvel-Greve, M.J., Koelmans, A.A., 2013. Effects of microplastic on fitness and PCB bioaccumulation by the lugworm *Arenicola marina* (L.). *Environ. Sci. Technol.* 47, 593–600. doi:10.1021/es302763x
- Biesinger, M.C., Corcoran, P.L., Walzak, M.J., 2011. Developing ToF-SIMS methods for investigating the degradation of plastic debris on beaches, in: *Surface and Interface Analysis*. pp. 443–445. doi:10.1002/sia.3397

- Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., Thompson, R., 2011. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: Sources and sinks. *Environ. Sci. Technol.* 45, 9175–9179. doi:10.1021/es201811s
- Browne, M.A., Galloway, T.S., Thompson, R.C., 2010. Spatial Patterns of Plastic Debris along Estuarine Shorelines. *Environ. Sci. Technol.* 44, 3404–3409. doi:10.1021/es903784e
- Carpenter, E.J., Smith, K.L., 1972. Plastics on the Sargasso sea surface. *Science* 175, 1240–1241. doi:10.1126/science.175.4027.1240
- Claessens, M., Meester, S. De, Landuyt, L. Van, Clerck, K. De, Janssen, C.R., 2011. Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 2199–2204. doi:10.1016/j.marpolbul.2011.06.030
- Colabuono, F.I., Taniguchi, S., Montone, R.C., 2010. Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in plastics ingested by seabirds. *Mar. Pollut. Bull.* 60, 630–634. doi:10.1016/j.marpolbul.2010.01.018
- Corcoran, P.L., Biesinger, M.C., Grifi, M., 2009. Plastics and beaches: A degrading relationship. *Mar. Pollut. Bull.* 58, 80–84. doi:10.1016/j.marpolbul.2008.08.022
- Davison, P., Asch, R.G., 2011. Plastic ingestion by mesopelagic fishes in the North Pacific Subtropical Gyre 432, 173–180. doi:10.3354/meps09142
- Derraik, J.G.B., 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris. *Mar. Pollut. Bull.* 44, 842–852. doi:10.1016/s0025-326x(02)00220-5
- Eriksson, C., Burton, H., 2003. Origins and Biological Accumulation of Small Plastic Particles in Fur Seals from Macquarie Island. *AMBIO A J. Hum. Environ.* 32, 380. doi:10.1639/0044-7447(2003)032[0380:OABAOS]2.0.CO;2
- Frias, J.P.G.L., Sobral, P., Ferreira, A.M., 2010. Organic pollutants in microplastics from two beaches of the Portuguese coast. *Mar. Pollut. Bull.* 60, 1988–1992. doi:10.1016/j.marpolbul.2010.07.030
- Gislason, A., Silva, T., 2009. Comparison between automated analysis of zooplankton using ZooImage and traditional methodology. *J. Plankton Res.* 31, 1505–1516. doi:10.1093/plankt/fbp094
- Graham, E.R., Thompson, J.T., 2009. Deposit- and suspension-feeding sea cucumbers (Echinodermata) ingest plastic fragments. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 368, 22–29. doi:10.1016/j.jembe.2008.09.007
- Gregory, M.R., 1983. Virgin plastic granules on some beaches of Eastern Canada and Bermuda. *Mar. Environ. Res.* 10, 73–92. doi:10.1016/0141-1136(83)90011-9
- Hammer, J., Kraak, M.H.S., Parsons, J.R., 2012. Plastics in the marine environment: The dark side of a modern gift. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* doi:10.1007/978-1-4614-3414-6\_1
- Herrera, A., Asensio, M., Martínez, I., Santana, A., Packard, T.T., Gómez, M., 2017. Microplastic and tar pollution on three Canary Islands beaches: An annual study. *Mar. Pollut. Bull.* in press.
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R.C., Thiel, M., 2012. Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and

Quantification.

- Khordagui, H.K., Abu- Hilal, A.H., 1994. Industrial plastic on the southern beaches of the Arabian Gulf and the western beaches of the Gulf of Oman. *Environ. Pollut.* 84, 325–327. doi:10.1016/0269-7491(94)90143-0
- KIMO Sweden, 2007. Small plastic particles in Coastal Swedish waters. *N-Research* 11.
- Lee, K.W., Shim, W.J., Kwon, O.Y., Kang, J.H., 2013. Size-dependent effects of micro polystyrene particles in the marine copepod *tigriopus japonicus*. *Environ. Sci. Technol.* 47, 11278–11283. doi:10.1021/es401932b
- Moore, C.J., Moore, S.L., Leecaster, M.K., Weisberg, S.B., 2001. A comparison of plastic and plankton in the North Pacific Central Gyre. *Mar. Pollut. Bull.* 42, 1297–1300. doi:10.1016/S0025-326X(01)00114-X
- MSDF Technical Subgroup on Marine Litter, 2013. Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas. doi:10.2788/99475
- Obbard, R.W., Sadri, S., Wong, Y.Q., Khitun, A.A., Baker, I., Thompson, R.C., 2014. Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice. *Earth's Futur.* 2, 315–320. doi:10.1002/2014EF000240
- Ogata, Y., Takada, H., Mizukawa, K., Hirai, H., Iwasa, S., Endo, S., Mato, Y., Saha, M., Okuda, K., Nakashima, A., Murakami, M., Zurcher, N., Booyatumanondo, R., Zakaria, M.P., Dung, L.Q., Gordon, M., Miguez, C., Suzuki, S., Moore, C., Karapanagioti, H.K., Weerts, S., McClurg, T., Burres, E., Smith, W., Velkenburg, M. Van, Lang, J.S., Lang, R.C., Laursen, D., Danner, B., Stewardson, N., Thompson, R.C., 2009. International Pellet Watch: Global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in coastal waters. 1. Initial phase data on PCBs, DDTs, and HCHs. *Mar. Pollut. Bull.* 58, 1437–1446. doi:10.1016/j.marpolbul.2009.06.014
- Ogi, H., Fukumoto, Y., 2000. A sorting method for small plastic debris floating on the sea surface and stranded on sandy beaches. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 51, 71–93.
- PlasticsEurope - Association of Plastics Manufacturers., 2015. *Plastics - the Facts 2015* An analysis of European plastics production, demand and waste data.
- Rios, L.M., Moore, C., Jones, P.R., 2007. Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. *Mar. Pollut. Bull.* 54, 1230–1237. doi:10.1016/j.marpolbul.2007.03.022
- Rochman, C.M., Kurobe, T., Flores, I., Teh, S.J., 2014. Early warning signs of endocrine disruption in adult fish from the ingestion of polyethylene with and without sorbed chemical pollutants from the marine environment. *Sci. Total Environ.* 493, 656–661. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.06.051
- Teuten, E.L., Saquing, J.M., Knappe, D.R.U., Barlaz, M.A., Jonsson, S., Bjorn, A., Rowland, S.J., Thompson, R.C., Galloway, T.S., Yamashita, R., Ochi, D., Watanuki, Y., Moore, C., Viet, P.H., Tana, T.S., Prudente, M., Boonyatumanond, R., Zakaria, M.P., Akkhavong, K., Ogata, Y., Hirai, H., Iwasa, S., Mizukawa, K., Hagino, Y., Imamura, A., Saha, M., Takada, H., 2009. Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 364, 2027–2045. doi:10.1098/rstb.2008.0284

- Thompson, R.C., 2004. Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science* (80-. ). 304, 838–838. doi:10.1126/science.1094559
- Thompson, R.C., Swan, S.H., Moore, C.J., vom Saal, F.S., 2009. Our plastic age. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 364, 1973–1976. doi:10.1098/rstb.2009.0054
- Turner, A., Holmes, L., 2011. Occurrence, distribution and characteristics of beached plastic production pellets on the island of Malta (central Mediterranean). *Mar. Pollut. Bull.* 62, 377–381. doi:10.1016/j.marpolbul.2010.09.027
- Van Cauwenberghe, L., Claessens, M., Vandegehuchte, M.B., Janssen, C.R., 2015. Microplastics are taken up by mussels (*Mytilus edulis*) and lugworms (*Arenicola marina*) living in natural habitats. *Environ. Pollut.* 199, 10–17. doi:10.1016/j.envpol.2015.01.008
- Van Cauwenberghe, L., Janssen, C.R., 2014. Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environ. Pollut.* 193. doi:10.1016/j.envpol.2014.06.010
- Van Cauwenberghe, L., Vanreusel, A., Mees, J., Janssen, C.R., 2013. Microplastic pollution in deep-sea sediments. *Environ. Pollut.* 182, 495–499. doi:10.1016/j.envpol.2013.08.013
- Yamashita, R., Tanimura, A., 2007. Floating plastic in the Kuroshio Current area, western North Pacific Ocean. *Mar. Pollut. Bull.* 54, 480–485. doi:10.1016/j.marpolbul.2006.11.016



## **VALORACIÓN PERSONAL**

### **I.I Actividades desarrolladas**

A lo largo del Trabajo de Fin de Título (TFT), se han desarrollado una serie de actividades que pueden resumirse según lo descrito en la temporalización de TFT realizada. Según lo señalado en la misma, estas actividades se pueden determinar de la siguiente manera: la búsqueda bibliográfica de información sobre el tema a tratar en el trabajo, la familiarización con software especializado, la ampliación de conocimiento sobre contaminación por plásticos y su cuantificación y clasificación y, finalmente, la redacción del propio proyecto.

Durante la primera fase del proyecto, se realizó la obtención de muestras digitales y la familiarización con el software que se usó. Tal obtención se elaboró a partir de equipo informático y de laboratorio proporcionados por el equipo de investigación bajo el que se tuteló este TFT. Una vez obtenidas todas las muestras y familiarizado con el software se pasó a realizar el trabajo.

El proceso de tratamiento de las muestras digitalizadas elaborando un set de entrenamiento y obteniendo datos en bruto.

Finalmente, y como parte esencial del proceso, se procedió a la realización del estudio de los resultados; el cual consistía en realizar una cuantificación manual de algunas muestras para compararlo con los resultados obtenidos, y el análisis de los resultados de la cuantificación realizando una serie temporal.

Una vez finalizado el proceso de laboratorio se procedió a la redacción del presente TFT, realizando los cálculos y la interpretación durante la misma redacción.

### **I.II Formación recibida**

Aunque si bien podría no reconocerse como una formación, propiamente dicha, en este apartado puede ser considerable nombrar toda la información proporcionada para realizar el trabajo, el aporte de manuales sobre el software, así como, recomendaciones generales dentro del proceso.

También es necesario nombrar cierta formación recibida en programación y tratamiento de datos, desarrollo de gráficos, etc. durante la realización de este TFT en los programas informáticos como R.

### **I.III Nivel de integración e implicación dentro del departamento y relaciones con el personal**

La integración dentro del departamento puede considerarse completa desde el comienzo del TFT. Desde el primer día se me suministró ayuda tanto a nivel bibliográfico como a nivel de material.

A nivel departamental, la integración puede definirse como óptima, siguiendo siempre un sistema basado en la cordialidad y el respeto, puedo declarar no haber tenido problema con ninguno de los investigadores y demás miembros del departamento de Biología en ningún momento, durante la realización de este TFT.

### **I.IV Aspectos positivos y negativos más significativos relacionados con el desarrollo del TFT**

A la hora de valorar los aspectos positivos y negativos del TFT, es conveniente ser lo más objetivo posible y dar las razones más coherentes en las puntualizaciones adjudicadas a cada una de las características del mismo.

Entre los valores de la realización de un Trabajo de Fin de Título (a nivel general y no particularizando para el caso que aquí se presenta) destaca el hecho de aprender a elaborar trabajos de investigación, más propios de un científico que de un alumno y, por tanto, proporciona al alumno la posibilidad de ver que le espera en el mercado laboral de su carrera. Los TFT sirven además como plataforma de ampliación de conocimientos sobre el tema de interés del alumno.

Respecto a los aspectos negativos, es posible destacar por encima del resto de debilidades que se pueden presentar a lo largo de la realización de un TFT el poco tiempo disponible para la realización del mismo, lo cual influye directamente en los estudios a realizar, como fue mi caso.

### **I.V Valoración personal del aprendizaje conseguido a lo largo del TFT.**

La valoración personal del TFT dependerá de todas las fortalezas y debilidades que posea el mismo basándose en su propio contenido como asignatura y dentro de la titulación cursada, así como a partir de las competencias adquiridas y las situaciones vividas a lo largo del tiempo de elaboración del mismo.

### 1. Aspectos positivos generales de un TFT para el máster cursado:

1.1 Realización de un proyecto con un enfoque más directo a la investigación científica, ajustándose a las líneas de trabajo que ofrece el máster; esto se traduce en:

1.1.1 Adquisición de capacidades propias de un investigador.

1.2.1 Aprender a trabajar en un grupo de investigación de manera correcta y cooperativa.

1.3.1 Ser capaz de buscar, sintetizar y redactar ideas para llegar a un objetivo concreto.

1.4.1 Capacidad de solucionar problemas inesperados y/o de última hora que puedan surgir en cualquier momento.

1.5.1 Aprender a organizar y ordenar de forma adecuada y coherente un trabajo de investigación científico en un tiempo determinado.

1.2 La carencia de obligación de redacción y lectura del mismo en un idioma concreto (por consiguiente, libertad de elección de idioma).

### 2. Aspectos negativos generales de un TFT para el máster cursado:

2.1 Disminución del tiempo disponible para la realización del TFT. Esto incluye:

2.1.1 Ajuste de un trabajo de investigación de pequeña magnitud a las horas establecidas según los créditos ECTS de la asignatura.

2.1.2 Impedimento (no imperativo) para la realización de un estudio de magnitud similar o mayor al de un TFT de grado, hecho que algunos tutores puedan no llegar a inferir para la titulación que se cursa.

2.1.3 Disminución general de las horas presenciales, repercutiendo de manera directa, más en los trabajos meramente experimentales que en aquellos de interpretación y análisis de datos.

### 3. Aspectos particularizados para el TFT del trabajo aquí expuesto:

3.1 Realización de un proyecto de investigación sobre contaminación por residuos plásticos de cara a mejorar futuros estudios, declarándose las siguientes consecuencias:

3.1.1 Focalización de cara a un trabajo perteneciente al tercer ciclo del rango de titulaciones impartidas por la universidad.

3.1.2 Adquirir nuevos conocimientos sobre contaminación por residuos plásticos.

3.1.3 Aprender a renovar los conocimientos sobre la contaminación por residuos plásticos, conforme se van descubriendo aspectos nuevos del mismo.

3.2 Compartir la experiencia del trabajo en grupo, compañerismo dentro de un grupo de investigación y saber resolver los problemas de forma rápida y eficaz.