

***ESTADO DEL CONOCIMIENTO ECOSISTÉMICO,  
SANITARIO, AMBIENTAL Y OCEANOGRÁFICO  
ASOCIADO A LAS POBLACIONES DE CETÁCEOS DE  
LA MACARONESIA***

MARCE 



**Interreg**

Fondo Europeo de Desarrollo Regional



# **CAPÍTULO V**

## ***PRESENCIA DE CONTAMINANTES QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS EN EL MEDIO MARINO Y EN ESPECIES DE CETÁCEOS DE LA REGIÓN DE LA MACARONESIA***

***Revisión científica realizada por***

***Grupo de Investigación de Tecnologías, Gestión y Biogeoquímica  
Ambiental de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.***

***Contacto: Tania Montoto Martínez, [tania.montoto@ulpgc.es](mailto:tania.montoto@ulpgc.es)***



**Tecnologías, Gestión  
y Biogeoquímica Ambiental**  
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

## Tabla de contenidos:

1. Ámbito de estudio .....	3
2. La calidad de las aguas .....	5
2.1. Proyectos y bases de datos que abordan la calidad de las aguas en la Macaronesia .....	7
2.2. Legislación española en materia de calidad de aguas para la región canaria .....	8
2.3. Legislación portuguesa en materia de calidad de aguas para las regiones de Azores y Madeira .....	8
2.4. Legislación de Cabo Verde relacionada con la calidad de las aguas .....	9
2.5. Otra legislación a considerar .....	9
3. Los cetáceos como especies centinela frente a la contaminación marina .....	11
4. Contaminantes químicos .....	13
4.1. Contaminación química del medio y toxicidad en cetáceos .....	13
4.1.1. Metales Pesados .....	13
4.1.2. Compuestos Orgánicos Persistentes .....	14
4.2. Entradas al medio y posibilidades de monitorización de la calidad ambiental .....	14
4.2.1. El plástico como entrada de estas sustancias al medio .....	15
4.3. (Micro)plásticos como vectores de contaminación .....	17
4.4. Estudios e investigaciones sobre contaminación por microplásticos en el medio y por presencia de éstos en cetáceos .....	18
4.4.1. En la región macaronésica .....	19
4.4.2. Otros estudios, fuera de la zona de estudio, interesantes para la revisión científica ...	21
5. Contaminantes biológicos .....	23
5.1. Contaminación biológica del medio y su relación con la salud de los océanos .....	23
5.2. Entradas al medio y posibilidades de monitorización de la calidad ambiental .....	23

5.3. Estudios e investigaciones sobre biotoxinas en el medio y su relación con la salud de los cetáceos .....	23
5.3.1. Estudios en la Región Canaria .....	25
6. Referencias citadas .....	27

## 1. **Ámbito de estudio**

El ámbito de estudio de la presente revisión científica se define en la región de la Macaronesia, comprendiendo a su vez cinco archipiélagos del Atlántico Norte: Azores, Madeira, Canarias, Cabo Verde e Islas Salvajes. Además, dado el contexto en el que se realiza esta investigación, enmarcada en el Proyecto MARCET, de Cooperación Territorial MAC 2014-2020, se ha tenido en cuenta el área correspondiente al enclave macaronésico africano: la zona costera y oceánica entre las Islas Canarias y Cabo Verde (entre la costa del Sáhara Occidental y el río Gambia, aproximadamente), comprendiendo así en el ámbito de estudio a Mauritania y Senegal.

Además del filtro de la situación geográfica, se han tenido en cuenta de manera prioritaria las especies de cetáceos habituales y citadas en la región. Según se recoge en el documento de trabajo del grupo de cetáceos de las Estrategias Marinas (ver Tabla 1), en concreto, en el archipiélago canario se han citado 30 especies de cetáceos, pertenecientes a 7 familias. Esta cifra supone el 34,5% de las 87 especies descritas en el planeta, haciendo de la zona una de las regiones con mayor biodiversidad del Atlántico Norte. La mayoría son especies oceánicas, poco conocidas, y representativas, en general, de la región macaronésica (Estrategias Marinas. Grupo Mamíferos Marinos. Evaluación inicial y buen estado ambiental., 2012).

En el mismo documento, en base a la revisión realizada durante la creación de los Planes de Conservación de Cetáceos de Canarias, se identifican para estos animales, entre otras presiones e impactos, la ingestión de plásticos, la degradación del hábitat, y la observación turística de los mismos. Los tres puntos de vista son abordados en el Proyecto MARCET en colaboración con los agentes interesados de los diferentes sectores, incluidas las Universidades y las empresas de avistamiento de cetáceos de la región. Para ello, y partiendo de la premisa de cómo los animales pueden ser buenos centinelas de los efectos de la exposición por contaminación del medio ambiente (Reif 2011), se aborda el estudio sanitario de los cetáceos a través de los varamientos, una herramienta ecopatológica reconocida muy útil para valorar la calidad del medio marino donde habitan. Así pues, los cetáceos son especies centinela muy convenientes dada su larga esperanza de vida, el hecho de alimentarse a un alto nivel trófico y tener depósitos grasos con elevada capacidad para bioacumular tóxicos de origen antrópico (Bossart 2011).

En último lugar, se ha realizado una revisión sobre los contaminantes ambientales considerados como principales inmunotóxicos, comprendiendo metales pesados y compuestos

orgánicos (Cámara et al. 2006), ahondando más específicamente en aquellos que, en base a los trabajos de investigación desarrollados desde el campo de la veterinaria, se han identificado como más trascendentales en relación a los efectos sobre la salud de los cetáceos (Arbelo-Hernandez 2007; Díaz-Delgado 2015).

De esta manera, esta revisión del estado de la investigación para el Proyecto MARCET pretende ofrecer una exploración preliminar sobre los contaminantes ambientales considerados como principales inmunotóxicos, haciendo especial incidencia en aquellos descritos previamente en cetáceos y para los cuales se esté desarrollando algún tipo de estudio o seguimiento en la región macaronésica. Así, se han establecido ambos criterios para la búsqueda y selección de la información, con el objetivo de crear un denominador común y contribuir a correlacionar la salud de los cetáceos con la del medio marino.

Tabla 1 Especies de cetáceos citadas en la demarcación canaria y frecuencia de aparición en esta demarcación. Fuente: Estrategias Marinas. Grupo Mamíferos Marinos. Evaluación inicial y buen estado ambiental, 2012

Especies	Nombre común	Presencia en aguas canarias
<i>Eubalaena glacialis</i>	Ballena franca boreal	Rara
<i>Balaenoptera physalus</i>	Rorcual común	Común
<i>Megaptera novaeangliae</i>	Ballena jorobada	Rara
<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Rorcual aliblanco	Ocasional
<i>Balaenoptera borealis</i>	Rorcual norteño	Ocasional
<i>Balaenoptera edeni</i>	Rorcual tropical	Común
<i>Balaenoptera musculus</i>	Ballena azul	Ocasional
<i>Physeter macrocephalus</i>	Cachalote	Común
<i>Kogia breviceps</i>	Cachalote pigmeo	Ocasional
<i>Kogia sima</i>	Cachalote enano	Común
<i>Ziphius cavirostris</i>	Zifio de Cuvier	Común
<i>Mesoplodon europaeus</i>	Zifio de Gervais	Común
<i>Mesoplodon densirostris</i>	Zifio de Blainville	Rara
<i>Hyperoodon ampullatus</i>	Zifio nariz de botella	Rara
<i>Mesoplodon bidens</i>	Zifio de Sowerby	Rara
<i>Mesoplodon mirus</i>	Zifio de True	Rara
<i>Delphinus delphis</i>	Delfín común	Común
<i>Lagenodelphis hosei</i>	Delfín de hocico blanco	Rara
<i>Stenella frontalis</i>	Delfín moteado atlántico	Común
<i>Stenella coeruleoalba</i>	Delfín listado	Común
<i>Stenella longirostris</i>	Delfín tornillo	Rara
<i>Tursiops truncatus</i>	Delfín mular	Común
<i>Steno bredanensis</i>	Delfín de dientes rugosos	Común
<i>Grampus griseus</i>	Delfín gris	Común
<i>Globicephala melas</i>	Calderón común	rara
<i>Globicephala macrorhynchus</i>	Calderón tropical	Común
<i>Orcinus orca</i>	Orca	Rara
<i>Pseudorca crassidens</i>	Falsa orca	Ocasional
<i>Feresa attenuata</i>	Orca enana	Ocasional
<i>Phocoena phocoena</i>	Marsopa	Rara

## 2. La calidad de las aguas

Para los archipiélagos europeos de la Macaronesia, el control de calidad de las aguas marinas está regulado a través de las directivas europeas cuya transposición a las legislaciones nacionales ha dado lugar a distintas normativas que se resumen al final de este apartado.

La implementación de la Directiva Marco del Agua 2000/60/CE (DMA) establece el objetivo de *“prevenir el deterioro, proteger y mejorar el estado de las aguas; establecer medidas específicas para reducir la contaminación por sustancias prioritarias; y garantizar un suministro de agua suficiente en buen estado”*. La aplicación de la DMA tiene como fin último alcanzar el buen estado o potencial ecológico y químico de todas las aguas. Adoptada en el año 2000, presenta un planteamiento pionero de la protección del agua, definiendo las cuencas hidrográficas en base a formaciones geográficas naturales. Por otra parte, la Directiva definía unos plazos concretos, con el año 2015 como año límite en el que todas las aguas europeas debían estar en buenas condiciones.

En España, es el Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre el que transpone la DMA en cuanto a criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. Para los territorios portugueses de la Macaronesia, es el Decreto Ley 77/2006, de 30 de marzo el que realiza la transposición de dicha directiva.

El seguimiento ambiental de las aguas es, por tanto, una parte importante de las tareas que se derivan de la aplicación de esta Directiva y que requiere el uso de indicadores que permiten la evaluación del estado ecológico y químico. Los indicadores son herramientas que permiten llevar un seguimiento del estado de calidad de las aguas utilizando criterios cuantitativos y comparables, y que facilitan la toma de decisiones en materia de gestión de las cuencas hidrográficas.

La definición de estado ecológico hace referencia a la abundancia de flora acuática y fauna piscícola, al contenido de nutrientes y a aspectos tales como la salinidad, la temperatura y la presencia de contaminantes químicos. Existen cinco categorías de estado ecológico: excelente, bueno, aceptable, deficiente y malo. Un estado «excelente» indica que no existe presión humana, o que esa presión es muy baja. Un estado «bueno» implica que existe una «ligera» desviación con respecto al estado excelente; un estado «aceptable» responde a una desviación moderada, y así sucesivamente.

El buen estado químico se establece a través de la medida de contaminantes químicos para los cuales se han establecido las normas de calidad ambiental respaldadas por otros textos



legislativos de la UE, como la reglamentación REACH sobre productos químicos, la Directiva de emisiones industriales (DEI) y la reglamentación de la UE sobre pesticidas.

A su vez, la DMA se complementa con otras leyes europeas más específicas:

- ✓ La Directiva sobre normas de calidad ambiental (2008)
- ✓ La Directiva marco sobre la estrategia marina (2008)
- ✓ La Directiva sobre inundaciones (2007)
- ✓ La Directiva de aguas superficiales (2006)
- ✓ La Directiva de aguas de baño (2006)
- ✓ La Directiva de agua potable (1998)
- ✓ La Directiva sobre aguas residuales urbanas (1991)
- ✓ La Directiva sobre nitratos (1991)

Aunque el control de la calidad de las aguas marinas está regulado normativamente, son escasas las publicaciones científicas indexadas sobre la evaluación de la calidad ambiental del agua de mar en el marco de la aplicación de la DMA en la zona de la Macaronesia. Las referencias encontradas se focalizan, principalmente, en establecer indicadores específicos para el seguimiento de la calidad de las aguas costeras de acuerdo con las características propias de los ecosistemas estudiados. Así, por ejemplo, Wallenstein et al. 2013 estudiaron las comunidades de macroalgas de la zona rocosa intermareal en las islas de Santa María y Graciosa (Azores) para establecer la calidad ecológica de las masas de agua costeras en el marco de la DMA, generando una propuesta de un índice ecológico nuevo que podría ser aplicado en las islas macaronésicas. Del mismo modo, también se ha propuesto el uso de biomarcadores bioquímicos como indicadores de la toxicidad, por ejemplo, de los sedimentos portuarios (Ramos-Gómez et al. 2011).

Con respecto a la presencia de contaminantes químicos y su impacto en las poblaciones de cetáceos, un estudio toxicológico realizado sobre 11 delfines mulares varados en Canarias en el periodo 1997-2005 encontró que los niveles de PCBs y DDTs en el hígado y grasa hipodérmica eran similares a los hallados en el Norte de Europa, con un caso cuya concentración estaba cercana a la asociada a efectos adversos en mamíferos marinos (Carballo et al. 2008).

En el caso de los parámetros microbiológicos para el control de la calidad de agua, la legislación se focaliza en regular la monitorización de las aguas de baño y el riesgo sanitario potencial



asociado a la contaminación fecal. En este caso, deberá tomarse en consideración la Directiva 2006/7/CEE, que deroga a la anterior Directiva 76/160/CEE. La Directiva 2006/7/CEE establece las disposiciones para: a) el control y la clasificación de la calidad de las aguas de baño; b) la gestión de la calidad de las aguas de baño; c) el suministro de información al público sobre la calidad de las aguas de baño.

## 2.1 Proyectos y bases de Datos que abordan la calidad de las aguas en la Macaronesia

Algunos ejemplos en la región de la Macaronesia de **proyectos que han abordado la problemática de la calidad de las aguas**:

- ISLHÁGUA (MAC/3/193), su objetivo principal es promover la sensibilización respecto al uso del agua potable, reforzar las capacidades de control de calidad de los recursos hídricos, fomentar el tratamiento y reutilización de las aguas depuradas y la desalación de agua más eficiente y con el uso de las energías renovables. Instituciones de Canarias y Cabo Verde han participado en el proyecto.

- ESTRAMAR (MAC/3/C177), a través de la promoción de la I+D+i Marino-Marítima de las regiones Macaronésicas europeas y africana, uno de sus objetivos es el aumento de la protección de las zonas costeras, de los recursos y la biodiversidad marina. La red de socios y colaboradores incluye instituciones de Azores, Madeira, Canarias y Cabo Verde.

- CARMAC (MAC/2/C011), proyecto para la mejora de la calidad de agua de baño llevado a cabo por instituciones de Canarias, Azores y Madeira, mediante el desarrollo de herramientas de gestión de las zonas de baño, específicamente de los perfiles de baño en varias de las islas participantes, de acuerdo con la Directiva comunitaria 7/2006/CE. Entre los resultados del proyecto destaca el análisis químico de contaminantes emergentes en aguas marinas cercanas a las zonas de emisarios submarinos y filtros solares en distintas zonas de baño de la isla de Gran Canaria.

Algunas de las **bases de datos y redes en la región de la Macaronesia** que recogen información **relativa a la calidad de aguas** son:

- La Plataforma Oceánica de Canarias (PLOCAN) da soporte a la red marino-marítima de la Macaronesia. En [siboy.plocan.eu](http://siboy.plocan.eu) se puede encontrar información meteo-oceanográfica de la región que ha sido recopilada por distintos proyectos internacionales.

- La web [redlaboratoriosmacaronesia.org](http://redlaboratoriosmacaronesia.org) señala que su principal objetivo es servir de punto de encuentro al personal técnico de empresas y entidades públicas o privadas relacionadas con la

gestión, evaluación y control de la calidad de las aguas dentro del ámbito geográfico de la Macaronesia (Canarias, Azores, Cabo Verde y Madeira).

## 2.2 Legislación española en materia de calidad de aguas para la región canaria

### Aguas de Baño

- Directiva 2006/7/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de febrero de 2006, relativa a la gestión de la calidad de las aguas de baño y por la que se deroga la Directiva 76/160/CEE.
- Real Decreto 1341/2007, de 11 de octubre, sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño.

### Aguas superficiales

- Real Decreto 258/1989 de 10 marzo sobre vertidos de sustancias peligrosas desde tierra al mar.
- Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 diciembre de 2008, relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas.
- Directiva 2013/39/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 12 de agosto de 2013 por la que se modifican las Directivas 2000/60/CE y 2008/105/CE en cuanto a las sustancias prioritarias en el ámbito de la política de aguas.
- Directiva 2014/101/UE de la Comisión de 30 de octubre de 2014 que modifica la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.

## 2.3 Legislación portuguesa en materia de calidad de aguas para las regiones de Azores y Madeira

- Decreto Ley 208/2008, de 28 de octubre (Decreto-Lei n.º 208/2008, de 28 de outubro) Establece el régimen de protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.

- Decreto Ley 77/2006, de 30 de marzo (Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de março) Complementa la transposición de la Directiva 2000/60/CE, de 23 de octubre, que establece el marco comunitario de actuación en materia de contaminación del agua.
- Decreto Ley 135/2009, de 3 de junio (Decreto-Lei n.º 135/2009, de 3 de junho) Establece el régimen de identificación, gestión, monitorización y clasificación de la calidad de las aguas de baño y de la prestación de información pública sobre las mismas, transposición de la Directiva 2006/7/CE, del Parlamento Europeo, de 15 de febrero, relativa a la gestión de la calidad de las aguas de baño.
- Decreto Ley 236/98, de 1 de agosto (Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto) Normas de calidad para proteger el medio acuático y mejorar la calidad de las aguas.
- Decreto Ley 306/2007, de 27 de agosto (Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de agosto) Establece el régimen de la calidad del agua destinada al consumo humano, sustituye al Decreto Ley 243/2001, de 5 de septiembre, transposición de la Directiva 98/83/CE, del Consejo Europeo.

#### 2.4 Legislación de Cabo Verde relacionada con la calidad de las aguas

- Decreto Ley 7/2004, de 23 de febrero (Decreto-Lei nº 7 /2004 de 23 de Fevereiro) Normas de descarga de las aguas residuales desde poblaciones y todos los sectores de actividad humana productores de aguas residuales domésticas, urbanas o comunitarias.
- Decreto Ley 8/2004, de 23 de febrero (Decreto-Lei nº 8 /2004 de 23 de Fevereiro) Criterios y normas de calidad de agua y su clasificación, así como, sistemas de control, régimen sancionador y medidas de vigilancia para la protección del medio acuático y mejora de la calidad del agua para el consumo humano.
- Decreto Ley 30/2015, de 18 de mayo (Decreto-Lei nº 30 /2015 de 18 de Maio) Normas que regulan el uso y la gestión de las zonas de baño, incluyendo los planes de monitorización.

#### 2.5 Otra legislación a considerar

Leyes y decretos a nivel autonómico de las Comunidad de Canarias que afectan a la protección de cetáceos:

- Ley 4/2010, de 4 de junio, del Catálogo Canario de Especies Protegidas. Decreto 178/2000, de 6 de septiembre, por el que se regulan las actividades de observación de cetáceos.
- Ley 7/1995, de 6 de abril, de Ordenación del Turismo de Canarias.

- Orden ARM/2417/2011, de 30 de agosto, por la que se declaran zonas especiales de conservación los lugares de importancia comunitaria marinos de la región biogeográfica Macaronésica de la Red Natura 2000 y se aprueban sus correspondientes medidas de conservación.

### 3. Los cetáceos como especies centinela frente a la contaminación marina

La contaminación de las aguas es un fenómeno cada vez más extendido y de creciente preocupación. En base a esta situación, uno de los objetivos del proyecto MARCET es atender a esta realidad y ahondar en torno a la potencial correlación entre la calidad ambiental de los océanos, y en concreto, del medio marino en el ámbito de estudio, con la salud de los cetáceos que lo habitan.

De una parte, se ha reconocido el papel de los cetáceos como *centinelas marinos*, dada su larga esperanza de vida, su residencia en aguas costeras compartiendo hábitats comunes con los humanos, su posición alta en los niveles tróficos (se alimentan de muchas especies de consumo humano) y su alta cantidad de depósitos grasos que favorecen la acumulación de contaminantes y toxinas (Bossart 2011).

Por otro lado, la calidad del agua hace referencia a su composición y la medida en la que ésta puede verse afectada por la concentración de sustancias tanto de origen natural como antrópico. En ese sentido, el tipo de contaminantes que pueden afectar a la calidad de las aguas son diversos (ver Tabla 2), y muchos son considerados como indicadores de la aptitud de las masas de agua para distintos usos, tal y como se refleja en la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE).

Tabla 2 Tipo de contaminante, origen y consecuencias sobre la calidad de las aguas. Fuente: Gobierno de Canarias – Medioambiente. (Recurso web accedido 28/06/2017)

Tipo de contaminante	Origen	Consecuencias
Agentes patógenos (bacterias, virus, protozoos...)	Aguas fecales, desechos orgánicos contaminados	Enfermedades infecciosas, riesgos de epidemias
Sustancias orgánicas biodegradables con alta demanda de oxígeno	Desechos industriales alimentarios	Son descompuestas por bacterias presentes en el agua que utilizan gran cantidad de oxígeno en el proceso. Al agotarse el oxígeno disuelto en el agua, otros organismos mueren.
Otras sustancias orgánicas	Petróleo, plásticos, plaguicidas, detergentes...	Sustancias altamente tóxicas para los seres vivos. Los plásticos pueden generar barreras físicas que limiten la vida de animales acuáticos.
Sustancias inorgánicas (ácidos, metales pesados...)	Vertidos industriales	Acidifican el agua causando daños en los seres vivos. Los metales pesados son altamente tóxicos para los seres vivos.
Sales inorgánicas	Agricultura (abonos químicos)	El exceso de nutrientes y sales inorgánicas provoca un excesivo crecimiento de plantas acuáticas (eutrofización) que agotan el oxígeno del agua y causan la muerte de especies marinas.
Sedimentos	Vertidos, movimientos de tierra, fenómenos de erosión...	Enturbian el agua, impidiendo que la luz solar penetre y las algas puedan realizar la fotosíntesis.
Sustancias radiactivas	Fugas de centrales nucleares, vertidos de material radiactivos a las aguas...	Malformaciones congénitas, cáncer.
Calor	Emisiones de agua caliente de tipo industrial	Disminuye el contenido en oxígeno.

De todos los anteriores, se abordan a continuación aquellos contaminantes con mayor potencial de correlación entre la salud de los océanos y la de los cetáceos. De esta manera, se ha hecho una revisión de los contaminantes químicos, prestando especial atención a los microplásticos como vectores de contaminación química y, por otro lado, de las biotoxinas que afectan principalmente a estos animales.

## 4. Contaminantes químicos

### 4.1 Contaminación química del medio y toxicidad en cetáceos

Los cetáceos son animales que además de encontrarse en el punto más alto de la cadena trófica del medio marino, poseen diferencias en su metabolismo en relación a otros mamíferos marinos que les impiden o disminuyen su capacidad para detoxificar algunos compuestos. Estas dos causas, hacen que sean animales con una gran predisposición a bioacumular, e incluso en algunos casos, para biomagnificar los compuestos tóxicos presentes en el medio marino (Arbelo-Hernandez 2007). La información bibliográfica constata la presencia de diversos tipos de contaminantes químicos en cetáceos y, por lo general, los contaminantes presentes en los tejidos de los cetáceos también han sido detectados en el medio marino. A pesar de que resulta difícil interpretar hasta qué punto la exposición de estos animales a los contaminantes ambientales presentes en el medio en el que habitan, se sospecha que muchas poblaciones dependientes de la calidad del agua, pueden estar sufriendo el efecto inmunosupresor de los xenobióticos presentes en el medio marino, sin que en la actualidad se conozca el alcance de esa situación ni se pueda valorar la responsabilidad de ese factor en la disminución observada de la supervivencia de muchas especies (Cámara et al. 2006).

Entre los contaminantes químicos presentes en el medio marino, y aquellos considerados como principales inmunotoxicológicos y descritos previamente en cetáceos, cabe prestar atención a los metales pesados y los compuestos orgánicos.

#### 4.1.1 Metales Pesados

Los metales pesados son elementos con un peso atómico elevado y una densidad de al menos 5 veces la del agua. Su multifuncionalidad en el campo industrial, doméstico, agrícola, médico y tecnológico ha provocado que estos elementos estén distribuidos en el medio ambiente a niveles a los que pueden causar serios daños para la salud (Tchounwou et al. 2012).

Entre los metales pesados que pueden producir efectos adversos sobre la salud, destacan, en primer lugar, aquellos que no cumplen ningún papel biológico (metales no esenciales), como el mercurio, cadmio, plomo y níquel. Estos elementos han sido clasificadas como Sustancias Prioritarias (SP) (*Decision No 2455/2001/EC 2001*) y como Sustancias Persistentes, Bioacumulativas y Tóxicas (PBT) por su elevada toxicidad y capacidad de persistencia en el medio, con su consecuente poder de bioacumulación (European Chemical Bureau 1996). Según estudios más especializados, destacan los casos de la asociación en el hígado de moléculas de mercurio y selenio (Hg-Se), y también su



presencia en el pulmón y nódulos linfoides mediastínicos por su inhalación de la atmósfera como partículas preformadas, así como la asociación del metilmercurio con grupos sulfidrilos de enzimas (Arbelo-Hernandez 2007). Estos elementos interactúan con el medio de diferentes formas, pudiendo conllevar procesos de adsorción, desorción, degradación, precipitación, disolución, etc., que van a definir su comportamiento ambiental y repercutir decisivamente en la biodisponibilidad del metal para ser absorbido por un organismo (Cámara et al. 2006). Asimismo, su toxicidad, influida por los factores anteriores, también dependerá de la especie, la edad y el estado nutricional del animal afectado, entre otras consideraciones (Tchounwou et al. 2012). Por otro lado, los metales que, en concentraciones traza pueden ser esenciales para la vida, también pueden producir efectos adversos sobre la salud. Entre éstos, destacan el cobre, el hierro, el cinc o el selenio (Cámara et al. 2006).

#### 4.1.2 Compuestos Orgánicos Persistentes

Simultáneamente, existen otra serie de compuestos orgánicos de origen antropogénico que generan impacto sobre la salud ambiental y con repercusión en mamíferos marinos. Se trata, entre otros, de los conocidos como Compuestos Orgánicos Persistentes (COPs), y que incluyen desde los compuestos organometálicos como los organoestánicos, los compuestos organoclorados (OCs) como los bifenilos policlorados (PCBs) y determinados plaguicidas e insecticidas, así como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs). Todos estos compuestos se caracterizan en general por su lipofilia, su capacidad de bioacumulación, efecto inmunosupresor y de disrupción endocrina, asociados a su expresión de cronicidad. En definitiva, son caracterizados como tóxicos, persistentes y bioacumulables (TPBs) y debido a su peligrosidad, se encuentran dentro de la lista de sustancias prioritarias (SP) mencionada anteriormente (*Decision No 2455/2001/EC* 2001).

#### 4.2 Entradas al medio y posibilidades de monitorización de la calidad ambiental

Todas estas sustancias se encuentran muy frecuentemente en el medio, ya que son utilizadas de ordinario por la industria química en la producción de un amplio espectro de mercancías que van desde productos de la industria farmacéutica, hasta productos químicos como pesticidas e insecticidas, además de ser utilizados en numerosos procesos de fabricación de materiales plásticos para conferirles las propiedades deseadas en cuanto a su textura, resistencia a la temperatura, maleabilidad, estabilidad, brillo, etc. (Andrady 2017; UNEP 2003).

#### 4.2.1 El plástico como entrada de estas sustancias al medio

La versatilidad del plástico y su resistencia hacen de este material el idóneo para la fabricación de todo tipo de objetos y materiales cotidianos. Consecuentemente, en nuestro día a día, producimos, usamos y tiramos ingentes cantidades de plástico, muy difíciles de cuantificar, pero que se sitúan en torno a los 8 millones de toneladas al año. Se ha llegado a estimar que del total de basuras de plástico que generamos, el 10% acaba en los océanos, donde pueden representar un peligro para la salud como para el medio ambiente (Cole et al. 2011; Derraik 2002; Moore 2008). Las entradas al medio marino se producen desde diferentes fuentes y en un amplio rango de tamaños, de micras a metros (Barnes et al. 2009), y las interacciones que se producen entre las basuras marinas y el medio ambiente marino son diversas y complejas. Por un lado, las de mayor tamaño, además de producir interferencias estéticas, pueden llegar a causar daños económicos y sociales por interacciones con la pesca, aparejos y otras actividades marítimas (Newman et al. 2015). Así mismo, son cada vez más numerosos los impactos en el conjunto de la biota marina (Barnes et al. 2009; Derraik 2002; Kühn, Bravo Rebolledo, y van Franeker 2015).

Los microplásticos son pequeñas partículas de plástico, citados por primera vez a principio de los años 70 en la literatura científica (Carpenter y Smith 1972). A pesar de que hay evidencias de su presencia e impacto en la fauna marina, en concreto, desde los años 60, en estómagos de aves (Rothstein, S.I. 1973), no ha sido hasta décadas más tarde que alcanzaron mayor relevancia (Thompson et al. 2004). Desde entonces, tanto la investigación sobre estas partículas como su concentración en el medio marino no ha cesado de crecer, y existen citas de presencia de microplásticos en todo tipo de ambientes, incluso los considerados como más vírgenes o alejados de las fuentes de producción de estos materiales como las profundidades de los océanos o el hielo del Ártico (Rojo-Nieto y Montoto-Martínez 2017).

En definitiva, su presencia en la diversidad de hábitats oceánicos, y acuáticos en general, no hace sino incrementar, tanto en número de ecosistemas como de organismos vulnerables a su exposición (Wright, Thompson, y Galloway 2013). Los microplásticos están presentes en el medio ambiente marino y costero, y accesibles para la ingestión por gran variedad de organismos, algo que ya ha sido constatado además por varios estudios de incorporación de estos materiales en la cadena trófica marina, partiendo de la ingestión de estos por organismos filtradores (Van Cauwenberghe et al. 2015), zooplankton (Cole et al. 2013), y peces (Miranda y de Carvalho-Souza 2016). Sin embargo, para el caso de los mamíferos marinos, los únicos registros publicados son relativos a la ingesta de

pequeños fragmentos de plástico por focas en el Mar del Norte y en Australia (Eriksson y Burton 2003). Hasta la fecha, la ingesta de microplásticos por cetáceos ha sido solamente documentada en un par de estudios, en el Mediterráneo y en el Atlántico Norte, donde, además, resulta difícil garantizar si la ingestión es directa o se produce a través de las presas de las que se han alimentado previamente (Lusher et al. 2015).

Bajo la constatación del aumento de la concentración de microplásticos (Andrady y Neal 2009), se prevé que se produzca una acumulación gradual y significativa en el litoral y medio ambiente marino, suponiendo así una amenaza a nivel global (Rojo-Nieto y Montoto-Martínez 2017). A nivel europeo se han dado algunos pasos para la identificación, cuantificación y para la propuesta de medidas para paliar el problema que supone el aumento de las basuras marinas en los océanos y la exposición a ellas. Por ejemplo, se abordan de forma integrada para la protección del medio marino en la Directiva Marco de Estrategia Marina (DMEM, MSFD en sus siglas en inglés) (European Parliament 2008). Esta Directiva establece un marco para que cada Estado Miembro ponga en marcha acciones para alcanzar el Buen Estado Ambiental (BEA) en el medio marino para el año 2020. La DMEM define una serie de descriptores que representan conjuntamente el estado y funcionamiento del medio marino (Borja et al. 2010). El Descriptor 10 está exclusivamente dedicado a las basuras marinas, dando idea de la relevancia del problema. Este descriptor se centra en las cantidades, tendencias, fuentes y composición de estos objetos, como método para determinar su efecto sobre el medio ambiente marino, en referencia tanto a daños ecológicos como a económicos y/o sociales.

Basándose en una evaluación de lo que podría definirse como BEA, la Comisión Europea identifica cuatro indicadores diferentes para el Descriptor 10:

- i) la evolución de la cantidad de basura arrastrada por las olas y/o depositada en las costas;
- ii) las tendencias en la cantidad de basura en la columna de agua;
- iii) las tendencias en la cantidad, distribución y, cuando sea posible, la composición de micropartículas;
- iv) las tendencias en la cantidad y composición de los desechos ingeridos por los animales marinos.

De esta manera, esta revisión de la contaminación química de los cetáceos y el medio marino en la región de estudio se ha basado en la presencia, abundancia y distribución de microplásticos como vectores de contaminación.

### 4.3 (Micro)plásticos como vectores de contaminación

Las interacciones que se producen entre el medio marino y los plásticos son diversas y complejas. Además de los impactos de los microplásticos derivados de la ingestión y enredamiento por los organismos marinos, se ha constatado además que las basuras plásticas marinas adsorben contaminantes orgánicos persistentes (COPs), actuando como vectores de contaminación (Hirai et al. 2011; Mato et al. 2001; Teuten et al. 2009). Entre los COPs detectados por los diferentes estudios, destacan los compuestos organoclorados, los PCBs, plaguicidas y los PAHs.

La región de estudio, y más en particular la región del archipiélago canario, es una zona de elevado tránsito de tráfico marítimo, que ya de por sí genera un impacto en las poblaciones de cetáceos (Carrillo y Ritter 2010). Existen varios estudios que relacionan la presencia de aguas contaminadas por crudo dada la aparición de partículas de alquitrán pelágico o arribadas de pelotas de alquitrán a las playas, o hilos de combustible en las superficies del océano (De Armas, J.D., Braun, J.G., y Real, F. 1979). La necesidad de establecer programas de monitorización ambiental en la zona se ha señalado como conclusión de numerosas investigaciones, especialmente relacionándolo con la elevada actividad turística de la zona y la explotación de los recursos pesqueros (Peña-Méndez, Astorga-España, y García-Montelongo 2001).

Si bien hay pocas investigaciones dirigidas a la afección de los cetáceos por los contaminantes derivados de la producción del plástico, es sabido que algunos metales pesados se encuentran en los plásticos en altas concentraciones debido a su uso como retardantes de llama, estabilizantes y colorantes. En un reciente estudio se analizaron los plásticos, espumas y cabos recogidos de algunas playas en el sur de Inglaterra (Turner 2016). Se encontraron altos niveles de bromo en los plásticos muestreados y de bromo y cloro en las espumas, siendo en ambos casos atribuidas a los retardantes de llama que se les añaden a estos productos en los procesos de manufactura. En cuanto a los metales pesados, el Cadmio y el Plomo son destacados en este estudio como los más relevantes desde un punto de vista ambiental, alcanzando concentraciones de hasta 17.500  $\mu\text{g/g}$  y 1.000  $\mu\text{g/g}$  respectivamente, debido principalmente a su uso tradicional como estabilizantes y colorantes en la industria de plástico.

En la misma línea, en Hirai et al. (2011) se toman muestras de fragmentos de plástico de la zona de influencia del Giro del Pacífico Norte, tanto del océano abierto como de playas, detectándose en los análisis PCBs, PAHs, DDTs, PBDEs, alquilofenoles y bisfenol A en concentraciones de 1 a 10,000 ng/g. Las concentraciones mostraron una elevada variabilidad entre los distintos fragmentos. Al estudiar la procedentes de los contaminantes como el nonylfenol, bisfenol A y PBDEs, de confirma que proceden principalmente de los aditivos que se añaden en el proceso de fabricación de los propios plásticos, mientras que para el caso de los PCBs y los PAHs son principalmente absorbidos del propio medio, el agua de mar.

#### **4.4 Estudios e investigaciones sobre contaminación por microplásticos en el medio y por presencia de éstos en cetáceos**

Las dificultades científico técnicas encontradas en el ámbito de estudio relacionado con la ocurrencia y distribución de los microplásticos en el medio acuático son conocidas (Hidalgo-Ruz et al. 2012). En esta línea, el proyecto MARCET pretende contribuir con una aportación experimental al reto en el campo de la innovación tecnológica de facilitar la adquisición de datos y conocimiento sobre la calidad de las aguas superficiales marinas, en cuanto a concentración y distribución de microplásticos en las mismas, factor que afecta tanto a la calidad del medio marino como de los organismos que lo habitan, poniendo el foco en este caso sobre las especies de cetáceos más frecuentes en la región macaronésica.

La ubicuidad de las basuras marinas – y en concreto los microplásticos- en los diferentes compartimentos acuáticos es bien conocida y está documentada profusamente (*Marine Antropogenic Litter*, s. f.). A pesar de esto, no hay muchos estudios sobre la presencia, distribución y abundancia de microplásticos en concreto en la región macaronésica. Cabe mencionar la necesidad de ahondar en esta materia dado que la zona de estudio, que comprende los cinco archipiélagos, linda con el giro subtropical que, según algunos estudios basados en el lanzamiento de boyas de deriva y modelado, se identifica como una de las cinco zonas del planeta de máxima convergencia de basuras marinas, dada su localización, en la zona subtropical y de convergencia de las corrientes de Ekman (Maximenko, Hafner, y Niiler 2012).

Si bien no se han encontrado datos sobre la distribución de microplásticos en la columna de agua y organismos marinos de la zona de trabajo del proyecto MARCET, sí cabe mencionar algunos estudios que han atendido a la problemática desde el punto de vista de su presencia en las playas y costas de distintas islas de la macaronesia. Algunas de las razones que nos llevan a esta falta de

información vienen dadas por las propias dificultades metodológicas a la hora de extraerlos del medio acuático, dado, entre otros factores, su pequeño tamaño. Los métodos de extracción y determinación de microplásticos están aún en desarrollo, siendo numerosos los gestores ambientales y científicos que afirman que existe una falta de armonización y una clara necesidad de incrementar la eficiencia de las técnicas de muestreo y caracterización estas partículas.

#### 4.4.1 En la región macaronésica

##### *Canarias*

En 2014 se publicó el primer estudio de contaminantes en cetáceos en libertad de las Islas Canarias (García-Alvarez et al. 2014). La zona destaca por encontrarse sobre ella 12 Zonas de Especial Conservación (ZECs) con la presencia de delfines mulares, como especie emblemática que justifica su declaración como zona protegida, entre otras especies marinas. Estos animales fueron los elegidos como indicadores, sobre los que se realizaron 64 biopsias entre 2003 y 2011. Los resultados revelaron concentraciones de 18 PCBs, 23 pesticidas organoclorados (OCPs) y 16 hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs). Se encontraron altos niveles de muchos de estos contaminantes, y algunos de ellos fueron detectados en el 100% de las muestras. Una vez más, se recomendó, en base a las pautas que establece la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina, continuar con los estudios en la región, dado su elevado valor como zona de residencia de mamíferos marinos.

En Mayo de 2016 tuvo lugar en Lanzarote la Conferencia Internacional sobre Microplásticos, una oportunidad para impulsar entre los agentes locales de la región las iniciativas llevadas a cabo en el ámbito de la investigación y en torno a los microplásticos desde muchas vertientes diferentes (modelado, transporte de contaminantes químicos, ingestión, distribución, etc.).

Como resultado de un proyecto de investigación que comenzó en el año 2008, y estando previsto que continúe hasta el año 2020, en 2014 se publicó el primer diagnóstico de la contaminación por microplásticos en la zona de estudio, concretamente, en tres de las islas del archipiélago canario: Fuerteventura, Lanzarote y La Graciosa (Baztan et al. 2014). En este diagnóstico se determinó la concentración de microplásticos en 125 playas de estas tres islas encontrando niveles de contaminación que alcanzan concentraciones mayores de 100 g de plástico en 1 L de sedimento. Algunas de las conclusiones que arroja este estudio son:

- (1) Que las playas más contaminadas son las ubicadas en las caras nortes de las islas, con un azimut de entre 240° y 120°.

(2) Que, además, comparten además de la orientación, la exposición a las corrientes del Océano Atlántico, determinando que probablemente, la mayoría de la contaminación por microplásticos se hubiera generado a miles de kilómetros de distancia, en el océano abierto.

Además, cabe mencionar, desde la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, el proyecto MICROTROPIC, en ejecución desde 2014, que tiene como objetivo principal evaluar la abundancia y variabilidad estacional de los microplásticos presentes en el sedimento intermareal, tomando como puntos de muestreo determinadas playas del archipiélago canario. También en la misma Universidad, en el Grupo de Investigación de Tecnologías, Gestión y Biogeoquímica Ambiental, se están desarrollando trabajos de investigación relacionados con la presencia, abundancia y determinación de microplásticos en el medio marino en relación a la calidad de las aguas. Desde este grupo, en colaboración con la Plataforma Oceánica de Canarias se ha apuntado la necesidad de mejorar las metodologías de control y seguimiento de estas partículas, y más en particular de los nanoplásticos (Vega-Moreno et al. 2017), haciendo hincapié en la necesidad de desarrollar un nuevo método que permita muestrear volúmenes mayores de agua, entre otras necesidades en cuanto a la metodología de determinación e identificación.

### **Azores**

A pesar de su ubicación, geográficamente aislada de grandes núcleos de población, el archipiélago de Azores no resulta inmune a la contaminación por plásticos procedentes de las basuras marinas.

En 2015 se publicó el primer estudio dedicado a las basuras marinas en el archipiélago de Azores (Pieper et al. 2015). Los resultados de la categorización de estas basuras marinas mostraron cómo los plásticos eran los materiales dominantes, con una elevada presencia de fragmentos de este material. En concreto, se estudió la densidad, el tipo y la tendencia temporal de las basuras marinas en dos playas de arena de Faial (Azores, N-E Atlántico). En el caso de ambas playas, la mayor densidad (1.940 ítems por metro cuadrado) se alcanzó en el mes de febrero, probablemente relacionado con los vientos predominantes y el *swell*.

Por otro lado, en Azores se han realizado un estudio, basado en el análisis de las imágenes de un ROV tomadas durante 56 transectos en las profundidades de Faial-Pico. La media de la densidad de basuras marinas encontradas en la zona fue de 0.26±0.03 ítems por 100 metros, donde



la mayoría eran aparejos de pesca abandonados, fundamentalmente de materiales plásticos (Rodríguez y Pham 2017).

A través del proyecto AZORLIT (*Establishing a baseline on marine litter in the Azores*) se ha hecho un seguimiento de la ingestión de plástico en algunas especies de aves, peces y tortugas. Se encontraron plásticos en los estómagos del 93% de las aves muestreadas y en el 30% de las tortugas; mientras que no se encontraron plásticos en los peces. En este proyecto no se estudió ninguna especie de mamífero marino.

#### **Zonas de la región de estudio no cubiertas por estudios previos**

En Madeira, Cabo Verde y la Costa Africana no se han encontrado estudios específicos.

#### **4.4.2 Otros estudios, fuera de la zona de estudio, interesantes para la revisión científica**

Como se ha visto, hasta la fecha, no existen estudios específicos que aborden el tema de la contaminación por microplásticos en especies de cetáceos en la Macaronesia. No obstante, existen dos antecedentes que, a pesar de estar fuera de la zona de estudio, se considera interesante destacar, en el Atlántico y el Mediterráneo:

En 2015, Lusher publicó el primer estudio a nivel global con el que se identificaron microplásticos (<5mm) en una especie de cetáceo (Lusher et al. 2015). No fue posible determinar con certeza si la procedencia de estos microplásticos fue directa, o indirecta a través de las presas ingeridas. La autora desarrolló un método para la identificación de microplásticos ingeridos por mamíferos marinos y lo puso en práctica con tres ejemplares de Zifio de True que vararon en las costas de Irlanda en mayo del 2013. Siendo una de las claves que se desprenden del estudio el aprovechar la oportunidad que brindan los cetáceos varados para la determinación del impacto de los microplásticos en estas especies marinas, en el marco del proyecto MARCET se desarrollarán metodologías similares para atender a esta cuestión también en la región Macaronésica.

Hasta el artículo de Fossi en 2012, no había datos publicados sobre los impactos en cetáceos derivados de la ingestión de plásticos debido a su alta capacidad de adsorción de contaminantes químicos. En este estudio se analizaron las concentraciones de ftalatos y organoclorados en muestras de grasa y músculo de cinco rorcuales comunes (*Balaenoptera physalus*) varados en las costas italianas entre 2007 y 2012 (Fossi et al. 2014). En las conclusiones, se sospecha que las concentraciones de MEHP (*ftalato de bis(2-etilhexilo)*), que resultaron ser el doble en las muestras de cetáceos que las de los peces cartilaginosos, pueden estar relacionadas con la ingestión de

microplásticos, tal como ya sugería la autora en un estudio preliminar en el que indicaba que los ftalatos pueden ser un trazador de la ingestión de microplásticos por parte de las especies de cetáceos filtradoras, como el rorcual común, especie biológica utilizada en ambos casos de estudio (Fossi et al. 2012).

## 5. Contaminantes biológicos

### 5.1 Contaminación biológica del medio y su relación con la salud de los océanos

Como hemos visto hasta ahora, los mamíferos marinos están expuestos a un creciente número de contaminantes de muy diversa naturaleza, tanto de origen antrópico como natural. Abordamos en este apartado de los parámetros de contaminación por agentes patógenos (como las aguas fecales o los desechos orgánicos contaminados), la turbidez o el aumento de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno (ligado a la creciente aplicación de plaguicidas u fertilizantes), que disminuye a su vez la disponibilidad de oxígeno en el agua. Todos estos factores de contaminación difusa son estudiados en el cuadro de la Directiva Marco de Aguas (2000/60/CE) y sus programas de seguimiento. Además, muchos de ellos son parámetros que se miden para el control de las Aguas de Baño (2006/7/CE). O incluso parámetros como la concentración de oxígeno disuelto, esenciales para todas las formas de vida acuática, que a su vez varía con la temperatura, salinidad, turbulencia, presión atmosférica y la actividad fotosintética de las algas y las plantas entre otros factores.

### 5.2 Entradas al medio y posibilidades de monitorización de la calidad ambiental

Para la mayoría de los parámetros nombrados en el apartado anterior resulta complejo determinar si guardan o no relación directa en el binomio "salud de los océanos-salud de los cetáceos". Si bien, cabe esperar que la variación de los parámetros que se abordan en las directivas y normas que regulan la calidad de las aguas afecten a la calidad de vida y salud de los cetáceos, al igual que afectan al medio y a los ecosistemas que albergan en su conjunto.

Sin embargo, las posibilidades de relacionar estos indicadores de calidad del agua, con los efectos sobre la salud de los cetáceos son mínimas. Incluso si se quisiera establecer esta relación de manera directa, nos encontramos con la dificultad de que la calidad de las aguas se suele monitorizar en zonas que están expuestas a un uso concreto, como puede ser las aguas de consumo, o de zonas de baño, pero no en zonas de mar abierto, hábitat de la mayoría de las especies de cetáceos.

### 5.3 Estudios e investigaciones sobre biotoxinas en el medio y su relación con la salud de los cetáceos

Entre los contaminantes biológicos de mayor relación con la salud de los cetáceos se encuentran las biotoxinas algales generadas en el propio medio marino y los agentes patógenos (bacterias, virus, esporas de hongos, etc.). La degradación del medio ambiente y la modificación de factores ambientales debido a las consecuencias del cambio climático pueden potenciar la aparición

de enfermedades en los organismos marinos o modificar la frecuencia de episodios de intoxicación o mortalidad de algunas especies. El incremento de las temperaturas del océano está favoreciendo la mayor recurrencia y extensión de los afloramientos de algas nocivas (Glober et al. 2017).

Especies del género diatomeas y dinoflagelados producen una gran variedad de biotoxinas que son perjudiciales para los organismos marinos, pudiendo llegar a causar la muerte de los individuos en episodios agudos o la aparición de impactos a largo plazo en el caso de episodios crónicos. Biotoxinas tales como saxitoxinas, brevetoxinas, ácido domoico y ácido ocadaico han sido descritas como causantes de enfermedades o mortalidad en cetáceos (De la Riva et al. 2009; Durbin et al. 2002; Fire et al. 2011; Flewelling et al. 2005; Geraci 1989; Van Dolah 2005) siendo las brevetoxinas las que causan un mayor impacto sobre estos animales. Históricamente, las biotoxinas se han asociado a la muerte de peces por proliferación de mareas rojas y producción de brevetoxinas producidas por el dinoflagelado marino *Karenia brevis* (anteriormente *Gymnodinium breve*, *Ptychodiscus breve*) y algunas otras especies de microalgas. También, son conocidas las intoxicaciones en seres humanos por ingestión de moluscos filtradores que contienen dichas biotoxinas marinas. Aunque los mariscos son los vectores habituales, existen evidencias de que los crustáceos y los peces también pueden ser importantes vectores en la transferencia trófica de biotoxinas algales (Steidinger et al. 2011).

Una de las poblaciones de cetáceos más estudiadas en el Atlántico Norte es la de *Eubalaena glacialis*, una de las especie de ballena más afectada por factores antropogénicos y ambientales (Hamilton, Knowlton, y Marx 2007; Reeves, Clapham, y Roland 2001). Aunque las causas de la aparente disfuncionalidad reproductiva en *Eubalaena glacialis* no están claras, factores tales como la pérdida de su hábitat o la degradación del mismo, el estrés nutricional, la baja variabilidad genética, las enfermedades, la exposición subletal a contaminantes, así como, a toxinas naturales tales como las producidas por moluscos del tipo PSP (*paralytic shellfish poisoning*) y toxinas ASP (*amnesic shellfish poisoning*) producidas por microalgas pueden afectar el éxito reproductivo de estos animales

La exposición de la ballena *Eubalaena glacialis* a biotoxinas producidas por algas marinas ha sido descrita como una causa potencial de anomalías y de problemas de salud para estos animales en el Atlántico Norte. Se ha demostrado que *Eubalaena glacialis* está expuesta a toxinas PSP por ingesta del cópepodo *Calanus Finmarchicus*. Otro de los factores hipotetizados como contribuyente a las disfunciones reproductivas es la exposición al ácido domoico (AD), una neurotoxina. La ingestión de copépodos contaminados en las áreas de alimentación se considera

como el vector primario de transferencia de AD a las ballenas *Eubalaena glacialis* (Leandro et al. 2010). La fuente más probable de la toxina es *Pseudo-nitzschia* spp. un género de algas unicelulares de la clase diatomeas.

El ASP es un síndrome conocido resultante de la ingestión de alimentos marinos, principalmente moluscos, contaminados con ácido domoico (AD), una potente neurotoxina soluble en agua y que es producida por ciertas especies del género diatomea. El AD presenta una alta afinidad por los receptores de glutamato del subtipo kainato y también activa los receptores ionotrópicos N-metil D-aspartato (NMDA) conduciendo a una excitotoxicidad y degeneración neuronal (Berman, Lepage, y Murray 2002; Ramsdell 2007). Existen muy pocos casos documentados en humanos de incidentes ASP. Un ejemplo es el debido a la ingesta de mejillones contaminados en la Isla de Prince Edward (Canadá) en 1987 que causó el envenenamiento de 100 personas (Perl et al. 1990). Episodios en los que se ha producido la muerte de mamíferos marinos y aves, tales como, leones marinos *Zalophus californianus* (Lefebvre et al. 1999; Van Dolah 2005; Scholin, Gulland, y Doucette 2000), pelícanos *Pelicanus occidentalis* y cormoranes *Phalacrocorax penicillatus* (Work et al. 1993) también han sido atribuidos a la exposición al AD. Fallos reproductivos, síntomas que incluyen el aborto, la muerte *in utero*, y parto prematuro han sido descritos en leones marinos por exposición al AD (Brodie et al. 2006). Además, incluso la exposición a niveles muy bajos de esta toxina, se cree que puede ser la causa de envenenamiento fetal y que se manifieste como una enfermedad neurológica más tarde, en el período adulto de la vida del animal (Ramsdell y Zabka 2008).

### 5.3.1 Estudios en la Región Canaria

El seguimiento y estudio sistemático que se realiza en Canarias de los casos de varamiento de cetáceos permite disponer de la información imprescindible para poder determinar cuáles son los factores de amenaza que afectan a las poblaciones de ballenas y delfines en estas aguas. Como parte del examen biológico de los ejemplares se presta especial atención al estado nutricional, al contenido estomacal y a la presencia de marcas o heridas anómalas que puedan indicar la probable causa del varamiento y muerte del cetáceo.

Existe una exhaustiva investigación sobre los factores de mortalidad ya mencionada anteriormente que se puede encontrar en "*Patología y causas de la muerte de los cetáceos varados en las Islas Canarias (1999-2005)*" (Arbelo-Hernandez 2007). Posteriormente, en el trabajo realizado por Díaz-Delgado se describe por primera vez en la región de Canarias un evento de intoxicación atribuido a la exposición a brevetoxinas y que produjo una mortalidad masiva inusual de delfines

rugosos *Steno bredanensis* en el suroeste de la isla de Gran Canaria en el año 2008 (Díaz-Delgado 2015). A un total de 11 individuos se les realizó un análisis toxicológico de muestras de contenido gástrico e hígado hallándose presente esta biotoxina y relacionándose su presencia con la aparición de un *bloom algal* de algas nocivas. No se han encontrado otras referencias en la Macaronesia de esta patología no consuntiva natural, aunque su incidencia de acuerdo con las conclusiones de Díaz-Delgado (2012) sería sólo del 14% frente al 52% de las de tipo infeccioso y el 25% de las de tipo parasitario.

## 6. Referencias citadas

- Andrady, Anthony L. 2017. «The plastic in microplastics: A review». *Marine Pollution Bulletin* 119 (1): 12-22. doi:10.1016/j.marpolbul.2017.01.082.
- Andrady, Anthony L., y Mike A. Neal. 2009. «Applications and societal benefits of plastics». *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364 (1526): 1977-84. doi:10.1098/rstb.2008.0304.
- Arbelo-Hernandez, M.A. 2007. «Patología y causas de la muerte de los cetáceos varados en las Islas Canarias (1999-2005)». Las Palmas de Gran Canaria: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Barnes, David K. A., Francois Galgani, Richard C. Thompson, y Morton Barlaz. 2009. «Accumulation and Fragmentation of Plastic Debris in Global Environments». *Philosophical Transactions: Biological Sciences* 364 (1526): 1985-98.
- Baztan, Juan, Ana Carrasco, Omer Chouinard, Muriel Cleaud, Jesús E. Gabaldon, Thierry Huck, Lionel Jaffrès, et al. 2014. «Protected Areas in the Atlantic Facing the Hazards of Micro-Plastic Pollution: First Diagnosis of Three Islands in the Canary Current». *Marine Pollution Bulletin* 80 (1-2): 302-11. doi:10.1016/j.marpolbul.2013.12.052.
- Berman, F.W., K.T. Lepage, y T.F. Murray. 2002. «Domoic acid neurotoxicity in cultured cerebellar granule neurons is controlled preferentially by NMDA receptor Ca<sup>2+</sup> influx pathway.» *Brain Res* 924: 20-29.
- Borja, Angel, Mike Elliott, Jacob Carstensen, Anna-Stiina Heiskanen, y Wouter van de Bund. 2010. «Marine Management--towards an Integrated Implementation of the European Marine Strategy Framework and the Water Framework Directives». *Marine Pollution Bulletin* 60 (12): 2175-86. doi:10.1016/j.marpolbul.2010.09.026.
- Bossart, G. D. 2011. «Marine Mammals as Sentinel Species for Oceans and Human Health». *Veterinary Pathology* 48 (3): 676-90. doi:10.1177/0300985810388525.
- Brodie, E.C., Frances M. D. Gulland, D.J. Greig, y M Hunter. 2006. «Domoic acid causes reproductive failure in California sea lions (*Zalophus californianus*)». *Mar. Mamm. Sci.* 22: 700-707.



- Cámara, S., A. de la Torre, M. Carballo, S. Aguayo, M.J. Muñoz, F. Esperón, y J.M. Sánchez-Vizcaino. 2006. «Inmunotoxicidad en cetáceos. Parte I: Metales pesados.» Revista Canaria de Las Ciencias Veterinarias.
- Carballo, M., M. Arbelo, F. Esperón, M. Mendez, La Torre De, y M.J. Muñoz. 2008. «Organochlorine Residues in the Blubber and Liver of Bottlenose Dolphins (*Tursiops Truncatus*) Stranded in the Canary Islands, North Atlantic Ocean». *Environmental Toxicology* 23 (2): 200-210. doi:10.1002/tox.20322.
- Carpenter, E. J., y K. L. Smith. 1972. «Plastics on the Sargasso Sea Surface». *Science (New York, N.Y.)* 175 (4027): 1240-41.
- Carrillo, M., y F. Ritter. 2010. «Increasing numbers of ship strikes in the Canary Islands: Proposals for immediate action to reduce risk of vessel-whale collisions». *Journal of Cetacean Research and Management* 11 (2): 131-38.
- Cole, Matthew, Pennie Lindeque, Elaine Fileman, Claudia Halsband, Rhys Goodhead, Julian Moger, y Tamara S. Galloway. 2013. «Microplastic Ingestion by Zooplankton». *Environmental Science & Technology* 47 (12): 6646-55. doi:10.1021/es400663f.
- Cole, Matthew, Pennie Lindeque, Claudia Halsband, y Tamara S. Galloway. 2011. «Microplastics as contaminants in the marine environment: A review». *Marine Pollution Bulletin* 62 (12): 2588-97. doi:10.1016/j.marpolbul.2011.09.025.
- De Armas, J.D., Braun, J.G., y Real, F. 1979. «Distribución de partículas de alquitrán pelágico en aguas de las Islas Canarias (Campaña Canarias I. Cornide de Saavedra. Septiembre 1979)». *Bull. Inst. Esp. Oceanogr.* 3: 7-12.
- De la Riva, G.T., C.K. Johnson, Frances M. D. Gulland, G.W. Langlois, J.E. Heyning, T.K. Rowles, y J.A. Mazet. 2009. «Association of an unusual marine mammal mortality event with *Pseudonitzschia* spp. Blooms along the southern California coastline». *J. Wildl. Dis.* 45 (1): 109-21.
- Decision No 2455/2001/EC. 2001. Vol. Official Journal L 331 ,. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32001D2455&from=EN>.
- Derraik, José G. B. 2002. «The pollution of the marine environment by plastic debris: a review». *Marine Pollution Bulletin* 44 (9): 842-52. doi:10.1016/S0025-326X(02)00220-5.

- Díaz-Delgado, Josué. 2015. «Patología y causas de la muerte de los cetáceos varados en las Islas Canarias (2006-2012)». <http://acceda.ulpgc.es/handle/10553/17258>.
- Durbin, E., G. Teegarden, R. Campbell, A.D. Cembella, M.F. Baumgartner, y B.R. Mate. 2002. «North Atlantic right whales, *Eubalaena glacialis*, exposed to paralytic shellfish poisoning (PSP) toxins via a zooplankton vector, *Calanus fin-marchicus*.» *Harmful Algae* 1: 243-51.
- Eriksson, Cecilia, y Harry Burton. 2003. «Origins and Biological Accumulation of Small Plastic Particles in Fur Seals from Macquarie Island». *Ambio* 32 (6): 380-84.
- «Estrategias Marinas. Grupo Mamíferos Marinos. Evaluación inicial y buen estado ambiental.» 2012. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- European Chemical Bureau. 1996. Technical Guidance Document on risk assessment in support of Directive 93/67/EEC. [http://cordis.europa.eu/publication/rcn/200316591\\_en.html](http://cordis.europa.eu/publication/rcn/200316591_en.html).
- European Parliament. 2008. Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive) ELI: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/56/oj>.
- Fire, S.E., Z.H. Wang, M. Byrd, H.R. Whitehead, J. Paternoster, y S.L. Morton. 2011. «Co-occurrence of multiple classes of harmful algal toxins in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) stranding during an unusual mortality event in Texas, USA.» *Harmful Algae* 10 (3): 330-36.
- Flewelling, L.J., J.P. Naar, J.P. Abbott, D.G. Baden, N.B. Barros, G. D. Bossart, M.Y. Bottein, et al. 2005. «Brevetoxicosis: red tides and marine mammal mortalities.» *Nature* 435 (7043): 755-56.
- Fossi, Maria Cristina, Daniele Coppola, Matteo Bainsi, Matteo Giannetti, Cristiana Guerranti, Letizia Marsili, Cristina Panti, Eleonora de Sabata, y Simona Clò. 2014. «Large filter feeding marine organisms as indicators of microplastic in the pelagic environment: The case studies of the Mediterranean basking shark (*Cetorhinus maximus*) and fin whale (*Balaenoptera physalus*).» *Marine Environmental Research*, Large marine vertebrates as sentinels of GES in the European MSFD, 100 (septiembre): 17-24. doi:10.1016/j.marenvres.2014.02.002.
- Fossi, Maria Cristina, Cristina Panti, Cristiana Guerranti, Daniele Coppola, Matteo Giannetti, Letizia Marsili, y Roberta Minutoli. 2012. «Are baleen whales exposed to the threat of microplastics?»

A case study of the Mediterranean fin whale (*Balaenoptera physalus*)». *Marine Pollution Bulletin* 64 (11): 2374-79. doi:10.1016/j.marpolbul.2012.08.013.

García-Alvarez, Natalia, Vidal Martín, Antonio Fernández, Javier Almunia, Aina Xuriach, Manuel Arbelo, Marisa Tejedor, Luis D. Boada, Manuel Zumbado, y Octavio P. Luzardo. 2014. «Levels and profiles of POPs (organochlorine pesticides, PCBs, and PAHs) in free-ranging common bottlenose dolphins of the Canary Islands, Spain». *Science of The Total Environment* 493 (septiembre): 22-31. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.05.125.

Geraci, J. 1989. «Clinical investigation of the 1987-88 mass mortality of bottlenose dolphins along the U.S. central and south Atlantic coast.» Final Report to NMFS. U.S NavyOffice of Naval Research and Marine Mammal Commission.

Glober, C.J., O.M. Doherty, T.K. Hattenrath-Lehman, A.W. Griffith, Y Kang, y R.W. Litaker. 2017. «Ocean warming since 1982 has expanded the niche of toxic algal blooms in the North Atlantic and North Pacific oceans.» *PNAS*. doi:10.1073/pnas.1619575114.

Hamilton, P.K., A.R. Knowlton, y M.K. Marx. 2007. «Right whales tell their own stories: the photo-identification Catalog». En *The urban whale: North Atlantic right whales at the crossroads.*, 75-104. Cambridge: Harvard University Press.

Hidalgo-Ruz, Valeria, Lars Gutow, Richard C. Thompson, y Martin Thiel. 2012. «Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification». *Environmental Science & Technology* 46 (6): 3060-75. doi:10.1021/es2031505.

Hirai, Hisashi, Hideshige Takada, Yuko Ogata, Rei Yamashita, Kaoruko Mizukawa, Mahua Saha, Charita Kwan, et al. 2011. «Organic micropollutants in marine plastics debris from the open ocean and remote and urban beaches». *Marine Pollution Bulletin* 62 (8): 1683-92. doi:10.1016/j.marpolbul.2011.06.004.

Kühn, S, E.L. Bravo Rebolledo, y J.A. van Franeker. 2015. «Deleterious effects of litter on marine life.» En *Marine Anthropogenic Litter*, 75-116. Berlin: Bergmann, M., Gutow, L., and Klages, M. (eds). Springer.

Leandro, L.F., R.M. Roland, P.B. Roth, N. Lundholm, Z.H. Wang, y G.J. Doucette. 2010. «Exposure of the North Atlantic right whale *Eubalaena glacialis* to the marine algal biotoxin domoic acid.» *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 398: 287-303. doi:10.3354/meps08321.

- Lefebvre, K.A, C.L. Powell, M. Busman, G.J. Doucette, y and others. 1999. «Detection of domoic acid in northern anchovies and California sea lions associated with an unusual mortality event.» *Nat. Toxins* 7: 85-92.
- Lusher, Amy L., Gema Hernandez-Milian, Joanne O'Brien, Simon Berrow, Ian O'Connor, y Rick Officer. 2015. «Microplastic and macroplastic ingestion by a deep diving, oceanic cetacean: The True's beaked whale *Mesoplodon mirus*». *Environmental Pollution* 199: 185-91. doi:10.1016/j.envpol.2015.01.023.
- Marine Anthropogenic Litter. s. f. M. Bergmann, L. Gutow, & M. Klages (Eds.).
- Mato, Y., T. Isobe, H. Takada, H. Kanehiro, C. Ohtake, y T. Kaminuma. 2001. «Plastic Resin Pellets as a Transport Medium for Toxic Chemicals in the Marine Environment». *Environmental Science & Technology* 35 (2): 318-24.
- Maximenko, Nikolai, Jan Hafner, y Peter Niiler. 2012. «Pathways of marine debris derived from trajectories of Lagrangian drifters». *Marine Pollution Bulletin, At-sea Detection of Derelict Fishing Gear*, 65 (1): 51-62. doi:10.1016/j.marpolbul.2011.04.016.
- Miranda, Daniele de A., y Gustavo Freire de Carvalho-Souza. 2016. «Are we eating plastic-ingesting fish?» *Marine Pollution Bulletin* 103 (1-2): 109-14. doi:10.1016/j.marpolbul.2015.12.035.
- Moore, Charles James. 2008. «Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat». *Environmental Research, The Plastic World*, 108 (2): 131-39. doi:10.1016/j.envres.2008.07.025.
- Newman, Stephanie, Emma Watkins, Andrew Farmer, Patrick ten Brink, y Jean-Pierre Schweitzer. 2015. «The Economics of Marine Litter». En *Marine Anthropogenic Litter*, editado por Melanie Bergmann, Lars Gutow, y Michael Klages, 367-94. Springer International Publishing. [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-16510-3\\_14](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-16510-3_14).
- Peña-Méndez, E.Ma., Ma.S. Astorga-España, y F.J. García-Montelongo. 2001. «Chemical fingerprinting applied to the evaluation of marine oil pollution in the coasts of Canary Islands (Spain)». *Environmental Pollution* 111 (2): 177-87. doi:10.1016/S0269-7491(00)00079-8.
- Perl, T.M., L. Bedard, T. Kosatsky, J.C. Hockin, Todd, E.C., y R.S. Remis. 1990. «An outbreak of toxic encephalopathy caused by eating mussels contaminated with domoic acid.» *N. Engl. J. Med.* 322: 1775-80.

- Pieper, Catharina, Maria A. Ventura, Ana Martins, y Regina T. Cunha. 2015. «Beach debris in the Azores (NE Atlantic): Faial Island as a first case study». *Marine Pollution Bulletin* 101 (2): 575-82. doi:10.1016/j.marpolbul.2015.10.056.
- Ramos-Gómez, J., J.R. Viguri, A. Luque, C. Vale, M.L. Martín-Díaz, y T.A. Del Valls. 2011. «Sediment-Quality Assessment Using the Polychaete *Arenicola marina*: Contamination, Bioavailability, and Toxicity.» *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 61: 578-89.
- Ramsdell, J.S. 2007. «The molecular and integrative basis to domoic acid toxicity». En *Phycotoxins: chemistry and biochemistry*, editado por L. Botana, 223-50. Cambridge: Blackwell Publishing Professional.
- Ramsdell, J.S., y T.S. Zabka. 2008. «In utero domoic acid toxicity: afetal basis to adult disease in the California sea lion (*Zalophus californianus*)». *Mar. Drugs* 6: 262-90.
- Reeves, R.R., P.J. Clapham, y R.M. Roland. 2001. «Causes of reproductive failure in North Atlantic right whales: new avenues of research.» Report of a workshop held 26–28 April, 2000, Falmouth, Massachusetts. Northeast Fisheries Science Center Reference Document 01-16. Woods Hole, MA.
- Reif, John S. 2011. «Animal Sentinels for Environmental and Public Health». *Public Health Reports* 126 (Suppl 1): 50-57.
- Rodríguez, Yasmina, y Christopher K. Pham. 2017. «Marine litter on the seafloor of the Faial-Pico Passage, Azores Archipelago». *Marine Pollution Bulletin* 116 (1–2): 448-53. doi:10.1016/j.marpolbul.2017.01.018.
- Royo-Nieto, E., y T. Montoto-Martínez. 2017. «Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global.» *Ecologistas en Acción*. <http://www.ecologistasenaccion.org/article7363.html>.
- Rothstein, S.I. 1973. «Plastic particle pollution of the surface of the Atlantic Ocean: Evidence from a seabird.» *Condor* 75 (5): 344.
- Scholin, C.A., Frances M. D. Gulland, y G.J. Doucette. 2000. «Mortality of sea lions along the central California coast linked to a toxic diatom bloom.» *Nature* 403: 80-84.

- Steidinger, K.A., J.H. Landsberg, L.J. Flewelling, y B.A. Kirkpatrick. 2011. «Toxic dinoflagellates.» En Oceans and human health: risks and remedies from the seas, editado por P.J. Walsh, S. Smith, L. Fleming, H Solo-Gabriele, y W.H. Gerwick. Academic Press.
- Tchounwou, Paul B, Clement G Yedjou, Anita K Patlolla, y Dwayne J Sutton. 2012. «Heavy Metals Toxicity and the Environment». EXS 101: 133-64. doi:10.1007/978-3-7643-8340-4\_6.
- Teuten, Emma L., Jovita M. Saquing, Detlef R. U. Knappe, Morton A. Barlaz, Susanne Jonsson, Annika Björn, Steven J. Rowland, et al. 2009. «Transport and Release of Chemicals from Plastics to the Environment and to Wildlife». Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences 364 (1526): 2027-45. doi:10.1098/rstb.2008.0284.
- Thompson, Richard C., Ylva Olsen, Richard P. Mitchell, Anthony Davis, Steven J. Rowland, Anthony W. G. John, Daniel McGonigle, y Andrea E. Russell. 2004. «Lost at Sea: Where Is All the Plastic?» Science 304 (5672): 838. doi:10.1126/science.1094559.
- Turner, Andrew. 2016. «Heavy metals, metalloids and other hazardous elements in marine plastic litter». Marine Pollution Bulletin 111 (1): 136-42. doi:10.1016/j.marpolbul.2016.07.020.
- UNEP. 2003. «Regionally based assessment of persistent toxic substances.» Global Report. UNEP Chemicals.
- Van Cauwenberghe, Lisbeth, Michiel Claessens, Michiel B. Vandegehuchte, y Colin R. Janssen. 2015. «Microplastics are taken up by mussels (*Mytilus edulis*) and lugworms (*Arenicola marina*) living in natural habitats». Environmental Pollution 199 (abril): 10-17. doi:10.1016/j.envpol.2015.01.008.
- Van Dolah, F.M. 2005. «Effects of harmful algal blooms». En Marine mammal research: conservation beyond crisis., editado por J.E Reynolds, W.F. Perrin, R.R. Reeves, S. Montgonery, y T.J. Ragen, 85-214. Baltimore, MD.: John Hopkins University Press.
- Vega-Moreno, D., M. Dolores Gelado-Caballero, C. Barrera, y J. J. Hernández-Brito. 2017. «Improvements and Needs of Microplastics Analytical Control at Open Sea Opportunities for Monitoring at Canary Islands». En Fate and Impact of Microplastics in Marine Ecosystems, 82-84. Elsevier. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012812271600082X>.

Work, T.M., B. Barr, A.M. Beale, L. Fritz, M.A. Quilliam, y J.L.C Wright. 1993. «Epidemiology of domoic acid poisoning in brown pelicans (*Pelecanus occidentalis*) and Brandt's cormorants (*Phalacrocorax penicillatus*) in California.» *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 24: 54-62.

Wright, Stephanie L., Richard C. Thompson, y Tamara S. Galloway. 2013. «The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review». *Environmental Pollution* 178 (julio): 483-92. doi:10.1016/j.envpol.2013.02.031.