



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA Y PESCA,
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

INFORME TÉCNICO

para

Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente
Secretaría de Estado de Medio Ambiente
Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar

ASISTENCIA TÉCNICA EN LAS TAREAS DE IMPLANTACIÓN DE LA DIRECTIVA MARCO DE LA ESTRATEGIA MARINA

ESTUDIO SOBRE IDENTIFICACIÓN DE FUENTES Y ESTIMACIÓN
DE APORTES DE MICROPLÁSTICOS AL MEDIO MARINO

INFORME FINAL
TOMO ÚNICO

Clave CEDEX: 23-414-5-010

Madrid, junio de 2017

Centro de Estudios de Puertos y Costas



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA Y PESCA,
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

TÍTULO:

**ASISTENCIA TÉCNICA EN LAS TAREAS DE IMPLANTACIÓN DE LA DIRECTIVA
MARCO DE LA ESTRATEGIA MARINA**

ESTUDIO SOBRE IDENTIFICACIÓN DE FUENTES Y ESTIMACIÓN DE APORTES
DE MICROPLÁSTICOS AL MEDIO MARINO

TOMO ÚNICO

CLIENTE:

Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar

EL PRESENTE INFORME CONSTITUYE UN DOCUMENTO OFICIAL DE ESTE TRABAJO Y, DE ACUERDO CON LAS NORMAS GENERALES DEL ORGANISMO, SU ENTREGA SUPONE EL CUMPLIMIENTO DE LAS ACTUACIONES TÉCNICAS DEL MISMO REFERENTES A LA MATERIA OBJETO DEL INFORME.

VALIDEZ OFICIAL

VISTO EL CONTENIDO DEL INFORME Y SIENDO ACORDE CON LAS CLAUSULAS DEL CONVENIO DE COLABORACION CORRESPONDIENTE, SE PROPONE AUTORIZAR SU EMISIÓN.

EL DIRECTOR DEL CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS

Fdo. Ramón Mª Gutiérrez Serret

AUTORIZA LA EMISIÓN DEL INFORME:

Madrid, a 20 de junio de 2017

EL DIRECTOR DEL CEDEX

Fdo. Mariano Navas Gutiérrez

SÓLO SON INFORMES OFICIALES DEL CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS (CEDEX) LOS REFRENDADOS POR SU DIRECCIÓN.

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES Y OBJETO	1
2. INTRODUCCIÓN	3
3. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA	5
3.1. PRELIMINAR.	5
3.2. FUENTES DE MICROPLÁSTICOS PERTINENTES PARA LA PROTECCIÓN DEL MEDIO MARINO EN ALEMANIA.....	5
3.3. ANÁLISIS Y PRIORIZACIÓN DE FUENTES Y EMISIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN LOS PAÍSES BAJOS. .	5
3.4. OCURRENCIA, EFECTOS Y FUENTES DE EMISIONES DE MICROPLÁSTICOS EN EL MEDIO AMBIENTE EN DINAMARCA.....	6
3.5. LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN EL MEDIO MARINO EN NORUEGA.	6
3.6. FUENTES Y VÍAS SUECAS DE MICROPLÁSTICOS PARA EL MEDIO MARINO EN SUECIA.	7
3.7. BORRADOR DE DOCUMENTO DE EVALUACIÓN DE FUENTES, VÍAS DE ENTRADA E IMPACTOS DE LOS MICROPLÁSTICOS DEL CONVENIO OSPAR.	8
4. METODOLOGÍA PARA LA RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN NACIONAL. 10	
4.1. ASOCIACIONES Y CUESTIONARIO.....	10
4.2. SEMINARIO “PROTECCIÓN DEL MEDIO MARINO. PROBLEMÁTICA DE LAS BASURAS MARINAS”	10
4.3. DATOS PROPORCIONADOS POR LOS DIFERENTES SECTORES.....	12
5. DEFINICIÓN DE MICROPLÁSTICO	14
6. SELECCIÓN DE LAS POSIBLES FUENTES DE MICROPLÁSTICOS	16
7. EFECTOS AMBIENTALES GENERALES DE LOS MICROPLÁSTICOS EN EL MEDIO MARINO	24
8. ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS	26
9. HIPÓTESIS GENERALES PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS APORTES DE MICROPLÁSTICOS A NIVEL NACIONAL	29
9.1. POBLACIÓN O ZONA GEOGRÁFICA A CONSIDERAR	29
9.2. ELIMINACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN LAS DEPURADORAS	30
10. ESTIMACIÓN DE APORTES	33
10.1. LOS NEUMÁTICOS COMO FUENTES DE MICROPLÁSTICOS.....	33
10.2. COSMÉTICOS COMO FUENTES DE MICROPLÁSTICOS.....	57
10.3. PELLETS COMO FUENTES DE MICROPLÁSTICOS.....	74
10.4. LAVADO DE ROPA SINTÉTICA COMO FUENTE DE MICROPLÁSTICOS.....	86
10.5. PINTURAS COMO FUENTES DE MICROPLÁSTICOS.....	102
10.6. CAMPOS DEPORTIVOS ARTIFICIALES COMO FUENTES DE MICROPLÁSTICOS.....	117
10.7. DETERGENTES COMO FUENTES DE MICROPLÁSTICOS.....	130
11. RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Lista de participantes del taller de Valsain</i>	11
Tabla 2 <i>Información reportada por las Asociaciones</i>	13
Tabla 3 <i>Tabla resumen de posibles fuentes</i>	19
Tabla 4 <i>Datos del padrón municipal a fecha 1 de Enero de 2016 (INE)</i>	30
Tabla 5 <i>Resultados de estudios sobre la efectividad de las EDAR</i>	31
Tabla 6 <i>Materiales utilizados para fabricar neumáticos (Convenio de Basilea (2011))</i>	35
Tabla 7 <i>Estudio realizado en Rusia (UNECE-GRPE 2012) sobre las pérdidas durante la vida útil de un neumático</i>	39
Tabla 8 <i>Resultados de diferentes marcas sobre la masa de neumático perdida por abrasión para los diferentes tipos de vehículos</i>	41
Tabla 9 <i>Tasa de emisión por tipo de vehículo</i>	42
Tabla 10 <i>Masa de neumático recogida por las diferentes SIGs</i>	43
Tabla 11 <i>Parque automovilístico (DGT (2014))</i>	43
Tabla 12 <i>Emisiones de microplásticos a las aguas superficiales en vías interurbanas y urbanas</i>	44
Tabla 13 <i>Emisiones de microplásticos al medio marino en vías interurbanas y urbanas</i>	45
Tabla 14 <i>Anuario estadístico de la red viaria nacional de la Dir. Gral. de Carreteras, (2015)</i>	46
Tabla 15 <i>Longitudes viarias correspondientes a las provincias litorales</i>	47
Tabla 16 <i>Demanda de tráfico anual en la red interurbana de carreteras</i>	47
Tabla 17 <i>Longitud total recorrida en las provincias litorales (mill vh-km)</i>	48
Tabla 18 <i>Demanda de tráfico en la red interurbana dependiente del Estado</i>	49
Tabla 19 <i>Longitud total recorrida por tipo de vehículo (media 2008-2015) en millones de vh-km</i>	49
Tabla 20 <i>Longitud total recorrida por tipo de vehículo (media 2008-2015) en provincias litorales en millones de vh-km</i>	50
Tabla 21 <i>Emisiones de microplásticos originadas por la abrasión de los neumáticos en vías interurbanas aplicando la tasa de emisión por vehículo</i>	51
Tabla 22 <i>Movilidad urbana (OMM-2014)</i>	51
Tabla 23 <i>Millones de vehículos por km y día para cada provincia</i>	52
Tabla 24 <i>Longitud total recorrida por tipo de vehículo</i>	53
Tabla 25 <i>Emisión anual total originada por la abrasión de los neumáticos en vías urbanas</i>	54
Tabla 26 <i>Emisiones a las aguas superficiales en vías interurbanas y urbanas</i>	54
Tabla 27 <i>Emisiones al medio marino por las partículas vertidas a las aguas superficiales desde vías interurbanas y urbanas</i>	55
Tabla 28 <i>Ejemplos de polímeros empleados en productos cosméticos</i>	59
Tabla 29 <i>Rango de tamaño de partícula en microplásticos</i>	60
Tabla 30 <i>Organismo afectado en función del tamaño de partícula</i>	63
Tabla 31 <i>Litros de jabón comercializados por país según Euromonitor (2012)</i>	66
Tabla 32 <i>Miligramos de microplásticos emitidos por persona y día (mg/día)</i>	67
Tabla 33 <i>Producción total de cosméticos en Alemania (Tolls, 2002)</i>	69
Tabla 34 <i>Miligramos de microplásticos emitidos por persona y día en función del tipo de producto cosmético</i>	71
Tabla 35 <i>Datos del mercado español de termoplásticos (PlasticsEurope-ANAIP)</i>	83
Tabla 36 <i>Porcentaje de consumo de termoplásticos por Comunidad Autónoma</i>	84
Tabla 37 <i>Porcentaje de producción de textiles por tipo de fibra</i>	91
Tabla 38 <i>Hipótesis empleadas en el modelo danés basado en el número de lavados, porcentaje de textiles, etc</i>	98
Tabla 39 <i>Hipótesis para calcular el desprendimiento de fibras durante el lavado</i>	100
Tabla 40 <i>Datos de venta de pinturas en España (ASEFAPI, 2015)</i>	112
Tabla 41 <i>Masa de neumático recogida por las diferentes SIGs</i>	124
Tabla 42 <i>Intervalos de valores para el relleno suplementario, liberación de fibras y % liberado a las aguas superficiales en un campo de fútbol (OSPAR)</i>	126
Tabla 43 <i>Censo Nacional de Instalaciones Deportivas</i>	127
Tabla 44 <i>Resumen de estimación de vertidos al medio marino</i>	140

1. ANTECEDENTES Y OBJETO

A solicitud de la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar (DGSCM), el CEDEX viene prestando apoyo técnico y científico en la implementación y desarrollo de Directivas europeas relacionadas con la protección del medio marino y costero. Entre estas Directivas se encuentra la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina (2008/56/CE), por la que se establece un marco de acción comunitaria para la política del medio marino (DMEM).

Desde 2007, las Encomiendas de Gestión firmadas entre ambos Organismos contemplan actuaciones que han dado lugar a trabajos tales como el estudio de la delimitación del ámbito de aplicación de la DMEM, la recopilación de información sobre fuentes de datos del estado del medio marino o la asistencia a reuniones organizadas en el marco de la Estrategia Común de Implementación, tales como el grupo de trabajo DIKE¹ (sobre datos, información y reportes) y subgrupos relacionados con la DMEM.

Uno de los trabajos más relevantes acometidos por el CEDEX en esta materia fue el análisis de presiones e impactos realizado para cada una de las demarcaciones marinas españolas que, junto al resto de estudios realizados por el Instituto Español de Oceanografía y el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, forma parte de la Evaluación Inicial de las Estrategias Marinas, publicadas en 2012 por el Ministerio en cumplimiento de los artículos 8, 9 y 10 de la DMEM.

Para dar continuidad a los trabajos, la DGSCM y el CEDEX han acordado incluir en la Encomienda de Gestión firmada entre ambos organismos para el período 2014-2016 la actuación denominada "Asistencia técnica en las tareas de implantación de la Directiva marco de la Estrategia Marina". Una de las subactuaciones contempladas se denomina 1.3.4 "Diseño de programas de medidas para cumplimiento de objetivos ambientales"

Con la finalidad de avanzar hacia la consecución del objetivo de lograr o mantener un buen estado ambiental del medio marino a más tardar en el año 2020, la Directiva establece las siguientes fases, que deben abordar los Estados Miembros:

- Una evaluación inicial de las aguas marinas, que comprendiera un análisis del estado ambiental actual, de los principales impactos y presiones, así como del

¹ DIKE- Grupo Técnico de trabajo de la DMEM de intercambio de datos, información y conocimiento.

análisis económico, social y del coste que supone el deterioro del medio marino.

- La definición del buen estado ambiental, de acuerdo a los 11 descriptores del buen estado ambiental, para cada subregión marina.
- La propuesta de objetivos ambientales e indicadores asociados para las aguas marinas, con objeto de orientar el proceso hacia la consecución del buen estado ambiental del medio marino
- El establecimiento de Programas de Seguimiento coordinados, para evaluar permanentemente el estado ambiental de las aguas marinas
- La elaboración y puesta en marcha de Programas de Medidas, necesarios para lograr o mantener el buen estado ambiental del medio marino.

En la actualidad y siguiendo lo estipulado en el artículo 15 de la Ley 41/2010, el MAPAMA está tramitando el proyecto de Real Decreto por el que se aprueban las Estrategias Marinas, incluyendo su correspondiente Programa de Medidas.

Entre las medidas incluidas en dicho Programa se incluye la medida BM-14 “Estudio sobre cuantificación de fuentes de microplásticos e identificación de posibles medidas para su reducción en la fuente”, para cuyo desarrollo resulta fundamental avanzar en el conocimiento de las principales fuentes de microplásticos y, en la medida en que resulte posible, la estimación de los aportes.

El presente informe se corresponde con dicho objetivo y se enmarca en la subactuación 1.3.4 de la citada Encomienda (2014-2016), habiéndose centrado en el análisis de la información disponible procedente de los principales sectores que pueden actuar como fuente directa de aporte de microplásticos al medio marino pero sin poder entrar en el análisis de las consideradas como fuentes indirectas, esto es, microplásticos que proceden de la fragmentación en tierra, en la costa o en el propio mar de objetos de mayor tamaño que dan lugar a partículas de pequeño tamaño que pudieran ser considerados como microplásticos.

2. INTRODUCCIÓN

Las Estrategias Marinas establecidas en el Título II de la Ley 41/2010 de protección del medio marino son los instrumentos de planificación de cada demarcación marina y tienen como principal objetivo, la consecución del Buen Estado Ambiental (BEA) de nuestros mares a más tardar en 2020.

Con la finalidad de conseguir dicho objetivo, se establecieron, según se ha indicado, las siguientes fases:

- Una evaluación inicial del medio marino.
- La definición del buen estado ambiental, de acuerdo a 11 descriptores.
- El establecimiento de Programas de seguimiento coordinados.
- La elaboración y puesta en marcha de Programas de medidas, necesarios para lograr o mantener el buen estado ambiental del medio marino.

Los Programas de Medidas son, la parte ejecutiva, donde se recogen las que el Estado Miembro va a ejecutar para lograr o mantener el buen estado ambiental del medio marino.

Dentro de la implementación de los Programas de Medidas de las Estrategias Marinas, el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) está colaborando con la Dirección General de la Sostenibilidad de la Costa y del Mar (DGSCM) en la implementación, entre otras, de la medida BM-14 “Estudio sobre cuantificación de fuentes de microplásticos e identificación de posibles medidas para su reducción en la fuente”.

Varios estudios realizados recientemente a nivel internacional han identificado los principales tipos de productos que pueden contribuir a la generación de microplásticos primarios y secundarios y su entrada en el medio marino.

En algunos de ellos se ha llegado a una cuantificación teórica de las cantidades producidas y, en menor medida, qué cantidades pueden estar entrando en el medio marino a nivel nacional o regional.

Basándose en los estudios más recientes, se ha llevado a cabo un estudio a nivel nacional de las posibles fuentes de microplásticos, basado en un análisis de la

producción, importación y consumo de tales productos sin descartar la posibilidad de incluir una fase experimental que pudiera contribuir a su cuantificación.

Una vez identificadas las principales fuentes, en un futuro se podrá proceder a analizar las posibles medidas para su reducción en la fuente y su viabilidad técnica así como otras posibles medidas de mitigación de su entrada en el medio marino.

En el presente informe se detallan los pasos que se han seguido para llevar a cabo este estudio junto con los resultados obtenidos, que deberán ser discutidos con los sectores industriales implicados de cara a su concienciación y análisis de la viabilidad de las posibles medidas de reducción.

3. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA

3.1. Preliminar.

Entre toda la documentación consultada, destacan los estudios realizados a nivel nacional por algunos países que son Partes Contratantes del convenio OSPAR, así como el trabajo actualmente en curso dentro del mencionado Convenio para dar cumplimiento al Plan de Acción Regional contra la basura marina (acción 46: Evaluar todos los productos y los procesos que incluyen microplásticos primarios y actuar, si es adecuado, para reducir su impacto en el medio marino).

En general estos trabajos, realizados a nivel nacional, presentan una estructura semejante, se analiza la definición de microplásticos, se identifican las principales fuentes y se llevan a cabo modelos de estimación de emisiones en el país en cuestión para algunas de estas fuentes, seleccionadas en función de la importancia que, a nivel nacional, pudieran tener.

A continuación se expone una escueta síntesis de estos estudios.

3.2. Fuentes de microplásticos pertinentes para la protección del medio marino en Alemania.

En la primera parte del documento se definen los microplásticos, distinguiendo entre microplásticos primarios y secundarios.

Dentro de las posibles fuentes de microplásticos primarios, el estudio se centra en el uso de microplásticos en los productos cosméticos, calculando mediante una serie de aproximaciones qué cantidad se emiten al medio ambiente marino.

3.3. Análisis y priorización de fuentes y emisión de microplásticos en los Países Bajos.

En este documento se definen los microplásticos en base a sus propiedades químico-físicas, su solubilidad en el agua, su biodegradabilidad, su estado (sólido, líquido etc) y su tamaño.

A continuación se realiza un inventario de las posibles fuentes de microplásticos, sectores y producción.

Con este inventario y mediante unas escalas de puntuación y unos criterios basados en volumen de emisión, relevancia, capacidad para ser sustituidos por otros productos degradables, opinión pública etc, figura una tabla donde la escala de puntuación asignada fue son la siguiente:

- Cero (pequeño)
- Uno (Moderado)
- Dos (grande)

En la tabla se analizan las diferentes fuentes y se clasifican en base a la puntuación recibida para cada categoría analizada, proponiendo medidas para mejorar la situación.

3.4. Ocurrencia, efectos y fuentes de emisiones de microplásticos en el medio ambiente en Dinamarca

En la primera parte del documento se propone una definición de microplásticos, y se recoge en una tabla las emisiones de microplásticos primarios y secundarios existentes en Dinamarca, describiendo con detalle cada una de las fuentes implicadas en las emisiones.

En la segunda parte del documento se describen las abundancias y los efectos que tienen los microplásticos en el medio marino, analizando la presencia de microplásticos en la columna de agua y en sedimentos marinos en diferentes áreas geográficas (Costas Danesas, Suecas, Corea, California, etc), mecanismos de degradación, transporte, exposición de la biota a los microplásticos, etc.

Finalmente se lleva a cabo una revisión del uso de microplásticos primarios, principales fuentes, eliminación mediante el tratamiento de las aguas residuales, iniciativas en curso para la eliminación o mitigación de las emisiones al medio marino, etc.

3.5. Las fuentes de Contaminación de microplásticos en el medio marino en Noruega.

El objetivo de este informe es la identificación y descripción de las principales fuentes de contaminación de microplásticos en Noruega.

En primer lugar se propone una definición de microplástico en base a su estado sólido, solubilidad en agua, características físico-químicas, degradabilidad, tamaño etc.

Las principales fuentes de microplásticos se dividen en primarias y secundarias.

Las fuentes de microplásticos primarias se clasifican según:

- A) Las que se dan de modo intencionado.
- B) Las que se dan por ser subproducto de otros productos o actividades.
- C) Las que se emiten por accidente o derrame no intencionado.

Las fuentes de microplásticos secundarias se clasifican en tres categorías principales:

- A) Fragmentación Natural de macroplásticos por la actividad microbiana y la intemperie.
- B) Fragmentación de macroplásticos en micro partículas directamente por la actividad animal.
- C) Resuspensión de microplásticos que se encuentran en el sedimento debido a una contaminación más antigua.

En este documento se estudian las siguientes fuentes:

- Productos de cosmética: Exfoliantes, suavizantes, etc
- Productos industriales: Abrasivos, químicos industriales con microplásticos.
- Pérdida de pellets en etapas de producción y transporte.
- Recubrimientos marítimos: astilleros, puertos deportivos, etc.
- Fibras textiles.
- Emisiones por desgaste de productos en su uso normal.
- Desgaste de neumáticos.
- Deterioro productos plásticos en la pesca, acuicultura y agricultura.

3.6. Fuentes y vías suecas de microplásticos para el medio marino en Suecia.

En este documento se propone una definición de microplásticos, distinguiendo entre primarios y secundarios. A continuación se identifican diferentes fuentes de microplásticos y las diferentes vías por las que llegan al mar.

Analizando las fuentes de origen terrestre y marino se concluye que las emisiones más importantes provienen del desgaste de los neumáticos, emitiéndose cada año 13.000 toneladas.

3.7. Borrador de Documento de evaluación de fuentes, vías de entrada e impactos de los microplásticos del Convenio OSPAR.

Dentro de la implementación del Plan Regional de Acción contra las basuras marinas de OSPAR (RAP) y para el desarrollo de su acción 46 (Evaluar todos los productos y los procesos que incluyen microplásticos primarios y actuar, si es adecuado, para reducir su impacto en el medio marino), el grupo de trabajo sobre basuras marinas viene trabajando en un documento de evaluación de las fuentes de microplásticos para el medio marino.

La elaboración de esta evaluación está liderada por Alemania y Países Bajos, habiéndose distribuido hasta el momento dos borradores pendientes de completar algunos aspectos e incluir los datos científicos más actualizados.

En la reunión del Comité sobre Impacto Ambiental de Actividades Humanas (EIIA) celebrada en Abril de 2017 estaba prevista la presentación de la versión final de este documento, lo que, sin embargo, no llegó a suceder debido a falta de tiempo material para su finalización, prevista por procedimiento escrito para su remisión a la reunión de la Comisión OSPAR de 2017.

El informe de evaluación, en la última versión borrador distribuida (octubre 2016) sintetiza los enfoques adoptados por las diferentes Partes Contratantes que lo han llevado a cabo en sus informes nacionales y hace una estimación de las cantidades de microplásticos vertidas al mar, dentro del Área OSPAR procedentes de cada una de las fuentes consideradas: aportes desde ríos, pellets de pre-producción², relleno de campos deportivos sintéticos, cosméticos y exfoliantes, detergentes, pinturas y lacas, fibras y textiles y plantas de tratamiento de aguas residuales.

Una buena parte de las anteriores secciones, aunque no todas, están actualmente ampliamente desarrolladas, aunque son susceptibles de modificación en la versión

² Para el caso de pellets de pre-producción, durante la realización del trabajo y dada la especificidad de esta fuente, se decidió elaborar un informe de evaluación específico también dentro del Grupo de trabajo sobre basuras marinas (ICG-ML) pero liderado, en este caso, por Francia. Dicho informe se encuentra también en una fase de borrador.

final del documento. Por este motivo, aunque han servido de gran ayuda en la elaboración del presente informe, no se incluyen resultados finales de este documento.

4. METODOLOGÍA PARA LA RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN NACIONAL

4.1. Asociaciones y Cuestionario

Para recopilar la información necesaria para llevar a cabo el estudio sobre identificación de fuentes y eliminación de aportes de microplásticos al medio marino, el CEDEX se puso en contacto con las siguientes asociaciones:

- Asociación de Empresas de Detergentes y de Productos de Limpieza, Mantenimiento y Afines (ADELMA)
- Asociación Empresarial Del Comercio Textil y Complementos (ACOTEX).
- Asociación Española de Industrias del Plásticos (ANAIP)
- Asociación española de fabricantes de pinturas y tintas de imprimir (ASEFAPI).
- Consejo Intertextil Español, (CIE)
- Fabricantes y transformadores de cauchos, (COFACO)
- Consorcio Nacional de Industriales del Plástico (CONIC).
- Asociación de Fabricantes de bolsas de plástico
- Sistemas de gestión de neumáticos, (SIGNUS)
- Asociación Nacional de Perfumería y Cosmética (STANPA)
- PlasticsEurope

Entre las asociaciones se circuló un formulario para recabar información acerca de los datos de producción, importación, uso de microplásticos en los diferentes sectores.

4.2. Seminario “Protección del Medio Marino. Problemática de las basuras marinas”

Entre los días 3 y 5 de Octubre de 2016 se llevó a cabo en el Centro Nacional de Educación Ambiental (Valsaín) el Seminario “Protección del Medio Marino. Problemática de las basuras marinas”.

El seminario consistió en la realización de tres talleres, correspondiendo el tercero de ellos celebrado el día 5 de Octubre a “fuentes de microplásticos”.

A este taller fueron invitados los sectores implicados, reflejados en el apartado anterior, con el objetivo de explicarles en mayor detalle la metodología prevista para llevar a cabo el estudio sobre identificación de fuentes y eliminación de aportes de microplásticos al medio marino y la colaboración que se esperaba de ellos. Finalmente solo cuatro de todas las asociaciones contactadas aceptaron participar en el seminario.

La lista de todos los participantes se detalla a continuación:

Asistentes	Entidad
<i>Marta Martínez-Gil Pardo de Vera</i>	División para la Protección del Mar, MAPAMA.
<i>Juan Gil Gamundi</i>	División para la Protección del Mar, MAPAMA.
<i>Jesús Gago Piñeiro</i>	Instituto Español de Oceanografía
<i>Javier Pantoja Trigueros</i>	Organismo Autónomo de Parques Nacionales
<i>Mónica Moraleda Altares</i>	Organismo Autónomo de Parques Nacionales
<i>Ignasi Mateo Rodríguez</i>	Agencia de Residus de Catalunya
<i>José María Unzurrunzaga</i>	Demarcación de Costas de Murcia, MAPAMA.
<i>José Luis Buceta Miller</i>	Centro de Estudios de Puertos y Costas, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)
<i>Ana Lloret Capote</i>	Centro de Estudios de Puertos y Costas, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)
<i>María Plaza Arroyo</i>	Centro de Estudios de Puertos y Costas, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)
<i>Juan Ruiz Alarma</i>	PlasticsEurope
<i>Carmen Esteban Sanchidrián</i>	STANPA - Asociación Nacional de Perfumería y Cosmética
<i>Pilar García Hermosa</i>	STANPA - Asociación Nacional de Perfumería y Cosmética
<i>Ángela Osma Martín</i>	ANAIP - Asociación Española de Industrias del Plásticos
<i>Guillermo Díaz Alonso</i>	ADELMA - Asociación de Empresas de Detergentes y de Productos de Limpieza, Mantenimiento y Afines
<i>Pilar Espina Manchón</i>	ADELMA - Asociación de Empresas de Detergentes y de Productos de Limpieza, Mantenimiento y Afines

Tabla 1 Lista de participantes del taller de Valsaín

El CEDEX realizó una presentación del estudio sobre identificación de fuentes y eliminación de aportes de microplásticos al medio marino. La presentación se encuentra publicada en la página web del CENEAM, en el siguiente link:

http://www.mapama.gob.es/es/ceneam/grupos-de-trabajo-y-seminarios/fuentesmicroplasticos_informecepyc_tcm7-434746.pdf

Durante el transcurso del taller se debatió sobre la definición que debía darse de microplásticos, la adecuación de dar un rango de valores para la degradabilidad de esos materiales, incluso se propuso sustituir el término degradabilidad por persistencia.

Respecto al término “microplásticos”, se propuso estudiar la posibilidad de sustituirlo por “micropartículas”, puesto que en algunas normativas se emplea la definición de micropartículas y dentro de estas se incluyen los microplásticos como un subgrupo.

Se habló de las posibles fuentes de microplásticos y sobre el uso de bolsas oxofragmentables, considerando adecuado realizar una consulta sobre si este tipo de bolsas se siguen usando hoy en día, y finalmente se decidió sustituir el epígrafe “Bolsas y envases de plástico” por el de “Bolsas oxofragmentables”.

Uno de los participantes propuso incluir los suelos de los parques infantiles como posible fuente de microplásticos, aunque tras un debate se decidió no tenerlo en cuenta por la dificultad que tendría el cuantificarlo como fuente.

Todos los participantes coincidían en la dificultad que plantea el cálculo de la cantidad de microplásticos emitidos por cada una de las fuentes debido al desconocimiento existente respecto de la importación/exportación de los productos, valores de consumo etc, lo que deriva en estimaciones poco ajustadas a la realidad.

PlasticsEurope comentó que se iban a publicar cifras a nivel europeo en Octubre, en una feria que tendría lugar en Alemania. Añadiendo además que en el caso de los pellets, hay que mejorar la identificación de los hot-spot de las empresas encargadas de llevar a cabo la limpieza de los camiones donde se han transportado los pellets etc.

Finalmente hubo un compromiso por parte de las asociaciones allí presentes de facilitar los datos necesarios para poder llevar a cabo el estudio encargado al CEDEX.

4.3. Datos proporcionados por los diferentes sectores

De las 11 asociaciones con las que se contactó para recabar información acerca del uso de microplásticos en los diferentes sectores implicados solo 5 reportaron datos.

Según se recoge en la siguiente tabla, de las 5 que reportaron datos, dos de ellas dieron datos de producción, exportación, importación y consumo (ANAIP y

PlasticsEurope). Una tercera reportó datos de ventas (ASEFAPI), y las otras dos de consumo, una dando el valor bruto de consumo en el sector sin diferenciar por tipos de producto (ADELMA) y la otra dando datos del consumo total de microplásticos en Europa en su sector (STANPA).

Asociación	Datos suministrados				
	Producción	Exportación	Importación	Consumo	Ventas
ADELMA	-	-	-	X	-
ACOTEX	-	-	-	-	-
ANAIP	X	X	X	X	-
ASEFAPI	-	-	-	-	X
CIE	-	-	-	-	-
COFACO	X	X	X	X	-
CONIC	-	-	-	-	-
Fabricantes	-	-	-	-	-
SIGNUS	-	-	-	-	-
STANPA	-	-	-	X	-
PlasticsEurope	X	X	X	X	-

Tabla 2 Información reportada por las Asociaciones

5. DEFINICIÓN DE MICROPLÁSTICO

La implementación de medidas legales o voluntarias para reducir las emisiones de microplásticos requiere en primer lugar una definición adecuada que proporcione una mayor seguridad jurídica e igualdad de condiciones entre todas las industrias implicadas a la hora de monitorizar la tendencia de la contaminación y la evaluación de las medidas que se deben llevar a cabo.

Para que la definición pueda ser considerada adecuada, debe ser inequívoca, no dejando margen a las interpretaciones, debiendo contener criterios y valores umbrales como los límites de tamaño de partícula y las características generales de los plásticos.

El Instituto de Salud Público y Medio Ambiente Holandés propone tener en cuenta los siguientes aspectos a la hora de definir que son los microplásticos:

- Composición química.
- Estado sólido.
- Tamaño de las partículas.
- Solubilidad en agua.
- Persistencia en el Medio Ambiente.

En algunos estudios como los llevados a cabo por Arthur en 2009 o Thompson en 2014 se definen los microplásticos como *“Polímeros Sintéticos de materiales sólidos insoluble en agua y no degradables”*

Se considera la no degradabilidad como la falta de capacidad del material para descomponerse o mineralizarse. La consecuencia de ser no degradable es que el material es persistente. No se espera que el material dure indefinidamente.

En base a toda la documentación revisada, la definición de microplástico propuesta en este informe es la siguiente:

Los Microplásticos son un grupo de materiales sintéticos, producidos a partir de polímeros derivados del petróleo o de base biológica. Son partículas sólidas, de tamaño inferior a 5 mm, que no son solubles en agua y cuya degradabilidad es baja.

Pueden provenir de:

- *La fragmentación de materiales de mayor tamaño por agentes externos tales como el poder oxidante de la atmósfera, radiaciones ultra violetas, o la fuerza mecánica ejercida por la acción de las olas.*
- *Pérdidas en la cadena de producción y transformación de granza.*
- *Procedentes de la composición de productos tales como cosméticos, pinturas plásticas, productos de limpieza, etc.*
- *Degradación de neumáticos y campos deportivos artificiales.*

6. SELECCIÓN DE LAS POSIBLES FUENTES DE MICROPLÁSTICOS

La identificación de las principales fuentes y el destino de los plásticos en el medio marino es un trabajo complejo y los países que han llevado a cabo trabajos sobre este particular no han hecho un enfoque homogéneo.

Un estudio realizado por EUNOMIA³ concluye que más del 80% de los plásticos que llegan a los océanos proviene de fuentes terrestres.

En el mismo trabajo se afirma que el 94% del plástico que entra en los océanos termina en el fondo del mar, donde se estima que existen 70 kg/km² en el fondo marino, apenas el 1% de los plásticos se encuentran flotando o cerca de la superficie del océano, con una concentración media total inferior a 1 kg/km².

La cantidad media estimada presente en las playas es mucho mayor, 2.000 kg/km², produciéndose bien por vertido intencionado, o bien por el “flujo” existente entre la basura de las playas y el mar.

En la siguiente figura se puede observar un esquema con el ciclo de entrada y distribución de los plásticos en el medio marino,

³ Sherrington et al. 2016. Study to support the development of measures to combat a range of marine litter sources. Informe preparado por EUNOMIA para la Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión Europea (enero, 2016). Disponible en <http://www.eunomia.co.uk/reports-tools/study-to-support-the-development-of-measures-to-combat-a-range-of-marine-litter-sources/>

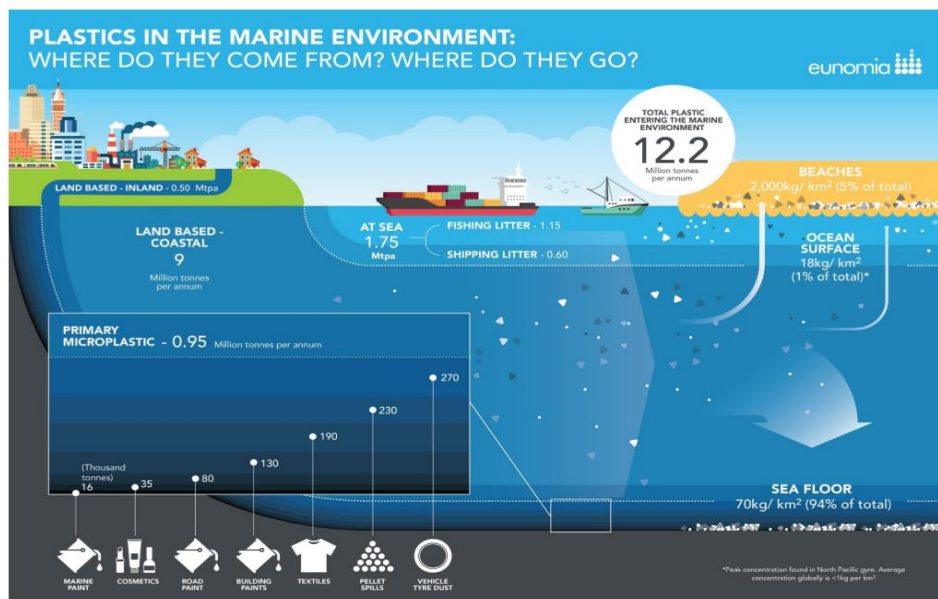


Figura 1 Ciclo de entrada y distribución de plásticos en el medio marino (Fuente: Eunomia)

En un estudio llevado a cabo por PlasticsEurope sobre la producción de plásticos por regiones en el año 2013⁴ se concluyó que en Europa se produjeron el 20% del total de la producción mundial.

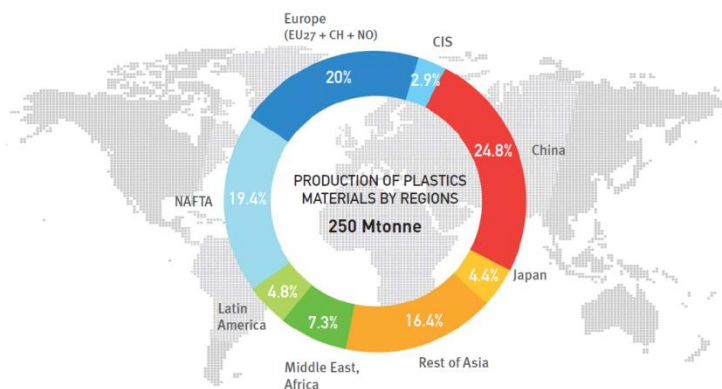


Figura 2 Producción mundial de plásticos (Fuente: PlasticsEurope)

Además, respecto a la demanda de plásticos en Europa, en este mismo estudio se indicó que cuatro países entre los que se encuentra España suman el 65% del total del plástico demandado, siendo la demanda anual en España del 7,5% tal y como refleja la siguiente figura:

⁴ Plastics – the Facts 2013. An analysis of European latest plastics production, demand and waste data

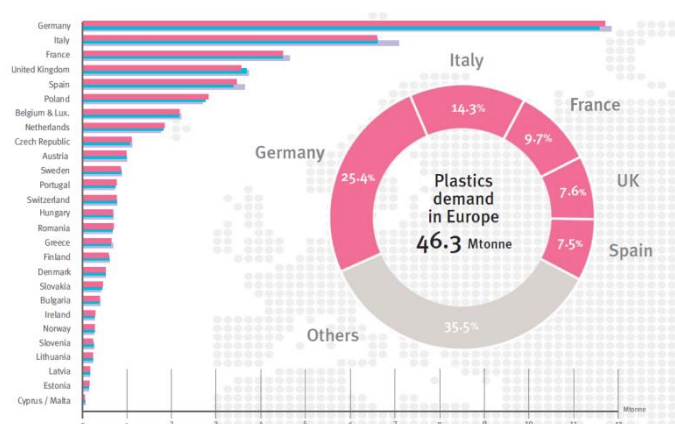


Figura 3 Demanda de plásticos en Europa
(Fuente: PlasticsEurope)

Teniendo en cuenta la bibliografía consultada, la liberación de partículas de microplásticos al medio ambiente puede proceder de un gran número de fuentes que se resumen en la siguiente tabla:

Actividad/Producto	Sector
Material de embalaje	Consumidores
Basura (general)	Varios sectores
Recogida de residuos	Eliminación de residuos
Cosméticos	Industria química
Cosméticos	Consumidores
Pintura, laca, tintes	Consumidores
Fibras y ropa	Consumidores
Carga, descarga, transferencia	Servicios
Escurrentía de las superficies pavimentadas	Tráfico y transporte
Polvo de las obras	Construcción
Agentes de limpieza abrasivos	Industria
Agentes de limpieza abrasivos	Consumidores
Plásticos agrícolas	Agricultura
Compost, lodos de depuradora	Agricultura
Agua tratada	Estaciones de tratamiento de aguas residuales
Desbordamiento y agua no tratada	Estaciones de tratamiento de aguas residuales
Desgaste de neumáticos	Tráfico y transporte
Productos importados	Otros
Instalaciones de compostaje	Eliminación de residuos
Colas, pinturas	Construcción
Aislamientos	Construcción
Suelos, moqueta	Construcción
Alimentos	Consumidores

Actividad/Producto	Sector
Artículos para el hogar	Consumidores
Empresas automoción	Servicios
Tintorerías	Servicios
Limpieza de cisternas	Servicios
Campos deportivos	Servicios
Productos alimenticios y aperitivos	Consumidores
Vertederos	Eliminación de residuos
Fibras	Industria química
Embalaje	Industria química
Material granular	Consumidores
Recursos médicos	Consumidores
Juguetes y artículos de fiesta	Consumidores
Combustión	Eliminación de residuos
Chorros de arena	Construcción
Material granular	Industria química
Productos alimenticios y aperitivos	Industria química
Colas y adhesivos	Consumidores
Astilleros	Servicios
Fresado rotativo	Tráfico y transporte
Depósitos atmosféricos	Otros
Preparación del reciclaje	Eliminación de residuos
Producción productos químicos	Industria química
Pintura y adhesivos	Industria química
Recursos médicos	Industria química
Electrónica, impresoras	Consumidores
Cirugías dentales	Servicios
Corrosión de tuberías de agua	Servicios
Extracción y distribución	Industria del agua potable
Agua de refrigeración	Energía
Aviación	Tráfico y transporte
Plaguicidas / herbicidas	Industria química
Pesticidas / herbicidas	Agricultura
Imprenta	Servicios

Tabla 3 *Resumen de posibles fuentes*

Otra fuente no desdeñable de microplásticos para el medio marino deriva, como ya se ha apuntado, de la fragmentación de objetos de plástico de mayor tamaño. Los programas de seguimiento de basuras marinas en playas, en marcha en España de manera oficial desde el año 2013, indican que puede encontrarse cualquier tipo de objeto, desde envases, colillas de cigarrillos, envoltorios, bastoncillos de algodón, etc. De entre todos los tipos de objetos encontrados, los de plástico son los mayoritarios. La gestión inadecuada de los residuos y el comportamiento humano inapropiado son las principales causas de que esta basura acabe en el medio marino.

Dependiendo de donde se encuentre la basura plástica, las tasas de degradación son diferentes. Así, por ejemplo, los residuos presentes en las playas están expuestos a la oxidación atmosférica y al sol, con lo que los plásticos se quiebran y agrietan. Las piezas de escasa densidad pueden fragmentarse más fácilmente en partículas más pequeñas debido a la abrasión, la acción de las olas y la turbulencia. Según Andrady (2011) la exposición a la intemperie en el ambiente costero es un mecanismo probable para la generación de una gran cantidad de microplásticos.

Teniendo en cuenta que resulta imposible conocer, si quiera de forma aproximada, la cantidad de macrobasura de plástico que se vierte directamente en el mar o llega al mismo desde tierra, no es posible cuantificar esta fuente de microplásticos por lo que el presente informe, de la misma manera que los realizados por otros países, no entra en su consideración.

Una vez consultadas las fuentes bibliográficas disponibles sobre este particular y la importancia que, a priori, se estima puede tener cada una de las múltiples fuentes de microplásticos existentes, las que se van a considerar en este informe son las siguientes:

1. Degradación de Neumáticos: El desgaste que sufren los neumáticos por la abrasión del asfalto origina la emisión de partículas de diferentes tamaños. Los estudios realizados en diferentes países han concluido que es una de las fuentes que más microplásticos emite al medio ambiente.

La cantidad de microplásticos emitida por neumático dependerá de varios parámetros como:

- Características de los neumáticos: tamaño (radio/ancho/profundidad), la profundidad de la banda de rodadura, la presión, la temperatura, la composición química, los kilómetros realizados etc;
- Características del vehículo: el peso, ubicación de las ruedas motrices, potencia del motor, sistemas de frenado, el tipo de suspensión, el estado de mantenimiento etc;
- Características de la superficie de la carretera: siendo las más significativas la materia (hormigón asfáltico), textura, longitud de onda, la porosidad, la condición, la humedad y el aderezo superficial;
- Funcionamiento del vehículo: tales como velocidad, aceleración lineal, aceleración radial, frecuencia y extensión del frenado y las curvas.

2. Productos de cosmética: Los microplásticos en cosmética llevan más de cincuenta años empleándose en un amplio abanico de productos cosméticos, desde pasta de dientes hasta esmalte de uñas. Su uso tiene fines variados según el tipo de plástico. Por ejemplo, se utilizan como exfoliantes o para dar un acabado brillante, según un informe del Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas (PNUMA).

Una vez que son eliminados a través de los desagües, el pequeño tamaño de estas partículas dificulta su eliminación en las depuradoras. De esta forma terminan acumulándose en los océanos, junto con millones de toneladas de residuos de plástico. Allí, acceden a la cadena alimentaria de los ecosistemas marinos al ser ingeridos por animales como mejillones, ostras, crustáceos y pequeños peces, según otro informe del pasado junio de la Autoridad Europea para la Seguridad Alimentaria (EFSA). Los microplásticos, por sí solos, pueden tener efectos tóxicos para estos animales, pero además actúan como esponjas acumulando compuestos contaminantes de mayor toxicidad presentes en el océano.

3. Pellets: Las partículas de granza para la pre-producción industrial de artículos de plástico se fabrican directamente con forma esférica, cilíndrica o como partillas con un diámetro de unos pocos milímetros (generalmente menores de 10 mm). Son parte de los microplásticos primarios. Su color varía de blanco translúcido, blanco grisáceo, blanco amarillento a ámbar y negro, confundándose fácilmente con los sedimentos. Constituyen la materia prima industrial transportada por carretera o directamente por transporte marítimo hasta los lugares donde la industria transformadora produce los diferentes objetos plásticos derritiendo y moldeando estos gránulos.

Se encuentran mezclados con otros desechos, pudiendo ser ingeridos por los animales marinos quedando retenidos en su tracto digestivo, lo que provoca malnutrición o muerte por inanición.

Para prevenir la pérdida de granza se debe actuar en todas las etapas de la cadena de suministro, tales como la producción, el transporte y la manipulación.

Para evitar la pérdida de granza, se está intentando implantar por parte de la industria del plástico el programa internacional Operation Clean Sweep (OCS), que es un programa pensado para evitar que la granza vaya a parar al medio ambiente, ofreciendo herramientas para ayudar a cada colaborador del sector del plástico, fabricantes de resina, transportistas y transformadores de plásticos a aplicar buenas prácticas de manipulación y mantenimiento en sus plantas industriales.

Al inscribirse en Operation Clean Sweep, las empresas se comprometen a adherirse a las mejores prácticas y a implementar sistemas para prevenir la pérdida de granza.

4. Productos textiles: Las fibras liberadas en el lavado de las prendas sintéticas son uno de los factores que contribuyen a la contaminación por plástico de los océanos, además como se ha comentado anteriormente, debido a la capacidad de los plásticos para absorber contaminantes orgánicos en su superficie, estos contaminantes entrarán en la cadena alimenticia al ser ingeridos los plásticos por determinadas especies que los confunden con alimento.

Proyectos como el Life + MERMAIDS pretenden mitigar la repercusión medioambiental de las partículas microplásticas y nanoplásticas resultantes de las aguas residuales del lavado de las prendas sintéticas sobre los ecosistemas marinos europeos aplicando tecnologías innovadoras y aditivos para los procesos de lavado y para los tratamientos de acabado textil.

5. Pinturas, barnices y tintas: Existen diferentes tipos de pinturas con diferentes propiedades físicas y químicas en función del uso que se las va a dar. Los fragmentos de pintura son considerados como microplásticos debido al porcentaje de polímeros que contienen.

La emisión de microplásticos por el uso de pintura se puede originar tanto por los trabajos de mantenimiento realizados a los barcos en los astilleros o puertos como en los trabajos llevados a cabo en edificaciones tanto exteriores (pintado de fachadas, etc) como interiores (trabajos de bricolaje, etc).

6. Campos artificiales de deporte: El césped artificial es una superficie de fibras sintéticas hechas para parecerse al césped natural. Se utiliza con mayor frecuencia en regiones donde las condiciones meteorológicas no permiten el uso eficiente de césped natural. Sin embargo, ahora se está utilizando en lugares residenciales y comerciales. La razón principal de este fenómeno es el mantenimiento del mismo, ya que se puede someter a un uso intensivo, como en los deportes, y no requiere de riego o recorte.

Con el fin de mantener las fibras sintéticas en una posición vertical y proporcionar la elasticidad deseada del campo, se utilizan granulados como relleno. El material de relleno más común es el caucho de estireno-butadieno (SBR), que se recupera de los neumáticos de los vehículos al final de su vida útil. El relleno de caucho tiene un

tamaño de partícula medio de aproximadamente 2 mm, considerándose microplástico debido a su tamaño y al contenido sustancial de polímero.

Como alternativas para SBR se puede utilizar: caucho recubierto, caucho de etileno propileno dieno (EPDM) y elastómeros termoplásticos (TPE), todos ellos considerados como microplásticos. También se encuentran disponibles rellenos orgánicos libres de microplásticos (por ejemplo a base de corcho, cáscaras de coco) y arena.

7. Productos de limpieza: Los productos de limpieza son esenciales por razones de higiene o seguridad (reducir riesgo por contaminación bacteriana o para evitar que las superficies no se vuelvan resbaladizas, etc). Además, la limpieza prolonga la vida útil de los materiales dado que la suciedad causa deterioro, mejorando asimismo el aspecto estético.

Los limpiadores abrasivos se utilizan en los hogares para limpiar suelos, superficies, equipos y piezas de trabajo, principalmente en cocinas y baños. Los materiales a limpiar pueden ser superficies de madera, metal, plástico, cerámica, etc.

Estos detergentes llevan micropartículas como la calcita para mejorar su capacidad abrasiva, que es un agente barato y eficaz, pero para algunas superficies más delicadas resulta demasiado dura y agresiva, por lo que en estos caso particulares se emplean detergentes con partículas microplásticas como abrasivos debido a su acción abrasiva suave.

7. EFECTOS AMBIENTALES GENERALES DE LOS MICROPLÁSTICOS EN EL MEDIO MARINO

Evaluar los efectos de los microplásticos en el medio marino no es una tarea fácil y se encuentra en estos momentos en la fase de caracterización debido a la limitada información con la que se cuenta sobre niveles de exposición.

Esta situación dificulta el desarrollo de políticas nacionales, siendo importante implementar sistemas de evaluación de riesgos de los microplásticos en los océanos.

El GESAMP⁵ llevó a cabo en el año 2015 una evaluación sobre las fuentes, el destino y los efectos de los microplásticos en el medio marino considerando que la peligrosidad de estas partículas en el medio marino viene dada tanto por el tipo de exposición, como por sus propiedades físicas y químicas tales como el tamaño de partícula, la toxicidad intrínseca del polímero y la capacidad que tienen estos plásticos para que otros contaminantes queden absorbidos en su superficie entre otras características.

Respecto a la exposición externa de las diferentes especies a los microplásticos, la peligrosidad depende de la concentración y distribución de tamaño del microplástico y de la naturaleza específica del organismo, pero suele ser pequeña en comparación con los problemas asociados a la ingestión.

Varios estudios de campo han concluido que los microplásticos son ingeridos por error por gran variedad de especies que representan diferentes niveles tróficos: plancton, invertebrados, mejillones, peces, aves, mamíferos marinos, etc.

Algunos estudios como los de Browne (2008) han demostrado que las partículas microscópicas de poliestireno de tamaño entre 3 y 9,6 micras se ingieren y se acumulan en el intestino del mejillón *Mytilus edulis* pasando al sistema circulatorio en 3 días.

Además, Moos (2012) demostró que la acumulación de plástico dentro de los lisosomas provoca la ruptura de la membrana lisosomal y la liberación de enzimas degradantes en el citoplasma que causa la muerte celular (von Moos et al., 2012).

⁵ Grupo Conjunto de Expertos sobre los aspectos científicos de la protección del medio marino de Naciones Unidas.

Por otra parte, los microplásticos pueden considerarse contaminantes por los aditivos y subproductos tóxicos contenidos en ellos mismos y por las sustancias químicas tóxicas hidrófobas o metales pesados que quedan absorbidos en su superficie. Por lo tanto, al ser ingeridos por las aves, peces etc, estos contaminantes pasan a los tejidos de estas especies.

También pueden surgir efectos adversos debidos a efectos físicos (obstrucción física o daño en el tracto digestivo u otros daños físicos). Además de los problemas de salud generados a cada especie, la ingestión de microplásticos puede causar efectos en la población, a nivel de la comunidad y afectar a los procesos del ecosistema en su conjunto.

Los microplásticos también pueden servir como portadores para la dispersión de productos químicos y biota (especies invasoras, patógenos), aumentando así en gran medida las oportunidades de dispersión en el medio ambiente marino, poniendo en peligro la biodiversidad marina.

Por lo tanto, los microplásticos pueden no sólo afectar a las especies a nivel de organismo sino que también pueden tener la capacidad de modificar la estructura de la población con impactos potenciales en la dinámica de los ecosistemas tal y como apunta Wright en sus estudios. Por ejemplo los efectos negativos sobre la fotosíntesis de los productores primarios y sobre el crecimiento de los productores secundarios pueden resultar en una productividad reducida de todo el ecosistema y representan una preocupación primordial.

La presencia de pequeñas partículas de plástico puede afectar también al sedimento marino, aumentando su permeabilidad, lo que produce un calentamiento más lento alcanzándose temperaturas máximas más bajas tal y como apuntó Carson en sus estudios en el año 2011.

Respecto al ser humano, la posible acumulación de microplásticos en la cadena alimentaria, especialmente en los peces y mariscos (especies de moluscos, crustáceos y equinodermos) podría tener consecuencias para su salud. Este es el caso de los bivalvos de filtración como los mejillones y las ostras en Europa, y el del pepino de mar que es más popular en la cocina asiática. No obstante, los estudios científicos existentes en la actualidad no son suficientes para concluir que pudieran existir efectos negativos sobre la salud humana.

8. ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS

El informe del GESAMP al que se ha hecho mención en el anterior apartado concluye que la ciudadanía percibe la salud del océano como importante y que generalmente la contaminación se percibe como un problema clave para el medio ambiente.

Sin embargo, entre los propios usuarios del medio marino, la preocupación por los microplásticos se observa raramente en las encuestas, lo que sugiere que existe un escaso conocimiento sobre este problema, aún a pesar de que cada vez más aparecen noticias al respecto en los medios de comunicación.

En la segunda parte del informe del GESAMP, publicado recientemente, se profundiza en el análisis de los aspectos socioeconómicos ligados a la contaminación por microplásticos de los mares y océanos, resaltándose que:

- **Sector de la producción:** Hay costos asociados con la inacción de los que los propios productores debieran ser financiera o logísticamente responsables de sus productos al final de su vida útil. Sin embargo, en muchos casos se observa que una vez que un producto es comercializado deja de ser una preocupación para los productores al carecerse de incentivos relacionados con los costes de tomar medidas sobre la basura marina. En lo que se refiere a costes de la acción para prevenir y hacer frente a la basura marina por parte de los productores, existe muy poca información disponible, si bien ya se cuenta con algunos ejemplos como el “Operation Clean Sweep⁶” o compromisos voluntarios de eliminar las microesferas de plástico de los cosméticos.

- **Pesca y acuicultura:** La basura marina (tanto macro como microplásticos) puede traducirse en una pérdida de capturas y/o ventas para los pescadores y suponer, por tanto, un coste económico para el sector. La basura en general (no parece aplicable para el caso de microplásticos) puede generar daños a los barcos de pesca. Hay diferentes políticas que pueden aplicarse para tratar la basura marina, incluidas medidas de limpieza como la “pesca de basura”. En general, los costes dependerán de las especificidades locales, pero la comparación de su costo con el derivado de la inacción puede ser un buen argumento para incentivar el establecimiento de acciones.

⁶ Operation Clean Sweep (OCS) es un programa internacional diseñado para prevenir pérdidas de pellet, escamas y polvo de resina y ayudar a mantener este material fuera del ambiente marino.

- **Navegación:** Se trata de un sector que, dada la tendencia de minimizar sus costes operativos, sigue contribuyendo significativamente a los niveles mundiales de basura marina. Parece que el sector debería hacer más esfuerzos para reducir su impacto en el medio marino y resulta aconsejable una mejor sensibilización para apoyar mejores prácticas en relación con las pérdidas de carga, colisiones con residuos, y acciones legales para prevenir los vertidos. Los aspectos que parece necesario mejorar son los relacionados con las infraestructuras de gestión de residuos a bordo, las instalaciones portuarias de recepción de residuos y reducir las pérdidas de carga durante la navegación.

- **Turismo y actividades recreativas:** El sector turístico se ve afectado, por una parte, de manera significativa por la basura marina pero, por otra, es una importante fuente de su generación. La presencia de basura puede desalentar y reducir el número de visitantes a las playas, con la consiguiente pérdida de ingresos y puestos de trabajo en la industria del turismo, lo que puede tener un impacto significativo en aquellas economías locales dependientes del turismo. Medidas de respuesta como la limpieza de playas pueden tener costos asociados significativos y suponer una carga indebida para las autoridades locales, que podría ser aliviado al compartirse con el sector privado (p. ej. hoteles) y grupos de voluntariado y ONG´s. Resulta importante también considerar el turismo como fuente de basura marina ya que una importante cantidad de la misma se genera a partir de la costa y las actividades recreativas (Ocean Conservancy, 2010) y es necesario establecer medidas preventivas para abordar el problema en la fuente. Tales medidas pueden incluir la regulación (p.ej. prohibición de fumar en las playas), inversiones en infraestructuras, requisitos de diseño para determinados productos, sensibilización o actividades educativas.

- **Comportamiento de los consumidores:** Involucrar a los consumidores es crucial para abordar el problema de los microplásticos. Para mejorar su sensibilización sería importante establecer vínculos con los riesgos para la salud y el bienestar humano y el papel que, al respecto, pueden jugar los consumidores en aspectos como la prevención en la generación de residuos. Los cambios de comportamiento, para que sean efectivos, deben basarse en la motivación personal, por ejemplo facilitando e incentivando la reutilización de artículos de uso cotidiano como tazas, botellas o bolsas de plástico y distribuyendo dispositivos de recogida de basura fácilmente accesibles. Otro mecanismo, compatible con el anterior, es el desincentivar el uso de objetos o prácticas indeseables a través de tasas o impuestos que los hagan económicamente menos atractivos.

- **Gestión de residuos y reciclaje:** Existen ya algunos ejemplos de acciones que han conseguido buenos resultados al basarse en la obtención de beneficios



ESTUDIO SOBRE IDENTIFICACIÓN DE FUENTES Y ESTIMACIÓN DE
APORTES DE MICROPLÁSTICOS AL MEDIO MARINO

socioeconómicos y/o valor económico de la basura marina recolectada, ya sea en términos de empleo creado, materiales recogidos (por ejemplo plásticos) o beneficiarse de los productos reciclados vendidos y que apoyan la idea de que la basura marina puede convertirse directamente en un valor socioeconómico.

9. HIPÓTESIS GENERALES PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS APORTES DE MICROPLÁSTICOS A NIVEL NACIONAL

9.1. Población o zona geográfica a considerar

Se parte de la hipótesis de que dada la superficie de nuestro país y la gran regulación de los ríos españoles mediante presas y embalses (1.538 de acuerdo con la información disponible en el Inventario de Presas y Embalses del MAPAMA, <http://sig.mapama.es/snczi/visor.html>) los aportes de microplásticos a las aguas superficiales que se produzcan en provincias interiores, con independencia de los procesos de depuración que pudieran sufrir y que se discutirá en el siguiente apartado, sufrirán un proceso de decantación natural en tales cuerpos de agua con lo que difícilmente podrán llegar al mar.

Por esta razón, siempre que ha sido posible contar con datos desagregados por provincias para un determinado sector de actividad de los considerados como fuente de microplásticos, se ha optado por considerar únicamente las provincias litorales.

En el caso de modelos de estimación basados en la población o en número de hogares, como es el caso, por ejemplo, de las fibras procedentes del lavado de prendas sintéticas, los datos empleados fueron los correspondientes al padrón municipal a fecha 1 de enero de 2016 existentes en el INE, de acuerdo con la siguiente tabla:

POBLACIÓN PROVINCIAS LITORALES		
PROVINCIA	Nº HABITANTES	Nº HOGARES
Alicante/Alacant	1.836.459	749.800
Almería	704.297	253.000
Araba/Álava	324.126	139.900
Asturias	1.042.608	459.000
Balears, Illes	1.107.220	443.300
Barcelona	5.542.680	2.168.500
Bizkaia	1.147.576	471.500
Cádiz	1.239.889	459.100
Cantabria	582.206	239.600

POBLACIÓN PROVINCIAS LITORALES		
PROVINCIA	Nº HABITANTES	Nº HOGARES
Castellón/Castelló	579.245	232.200
Coruña, A	1.122.799	448.900
Gipuzkoa	717.832	283.000
Girona	753.576	289.500
Granada	915.392	362.800
Huelva	519.596	195.000
Lugo	336.527	136.300
Málaga	1.629.298	636.300
Murcia	1.464.847	532.700
Palmas, Las	1.097.800	420.600
Pontevedra	944.346	359.900
Santa Cruz de Tenerife	1.004.124	395.300
Sevilla	1.939.775	717.800
Tarragona	792.299	314.700
Valencia/València	2.544.264	1.021.000
Ceuta	84.519	25.900
Melilla	86.026	25.600
TOTAL	30.059.326	11.781.200

Tabla 4 Datos del padrón municipal a fecha 1 de Enero de 2016 (INE)

9.2. Eliminación de microplásticos en las depuradoras

Para la evaluación de la emisión de microplásticos de cada una de las fuentes se ha de tener en cuenta que antes de su vertido al mar las aguas residuales pasarán por un

proceso de depuración que, en mayor o menor medida dependiendo fundamentalmente del tamaño de la partícula y el tipo de tratamiento existente en la planta, retirarán del efluente una parte de la carga. Los escasos resultados con los que se cuenta para evaluar la efectividad de las técnicas de tratamiento en la retirada de microfibras no son en absoluto concluyentes y se resumen en la tabla siguiente:

EFECTIVIDAD DE LAS EDAR			
EDAR	CONCENTRACIÓN MICROPLÁSTICOS (Nº/m ³)		% RETIRADO
	INFLUENTE	EFLUENTE	
París, Francia	290.000	32.000	88,9
Viikinmaki, Finlandia	180.000	13.800	92,3
Lysekil, Suecia	10.700	4	99,9
St. Petersburg, Rusia	467.000	160.000	65,7
Fuglevik, Noruega	68.000	6.000	91,1
Tonsberg, Noruega	51.000	4.500	91,6
Vestfjorden, Noruega	103.000	3.000	97,1
Glasgow, Irlanda	15.700	250	98,4
Destelbergen, Bélgica	17.000	5.000	80,0
Heenvliet, Holanda	87.000	89.000	0,0
Westpoort, Holanda	910.000	91.000	90,0
MEDIA	190.940	37.255	81

Tabla 5 Resultados de estudios sobre la efectividad de las EDAR

De acuerdo con los resultados anteriores y a la espera de poderse contar en un futuro con resultados más fiables, se asume la hipótesis de que el proceso de depuración retirará del efluente en el caso más favorable el 80% de las partículas vertidas a las aguas residuales.

No obstante a lo anterior, debe de tenerse en cuenta que no todas las aguas residuales son tratadas antes de su vertido. En 1991, la Unión Europea promulgó la Directiva 91/271 que obligó a todos los Estados miembros a construir instalaciones de depuración de aguas residuales urbanas de acuerdo con tres escenarios temporales

(1998, 2000 y 2005). Con estos antecedentes se elaboró el Plan Nacional de Saneamiento y Depuración 1995-2005 como instrumento coordinador de las actuaciones de las administraciones públicas en esta materia. En 1991, el 60% de la población estaba conectada a algún sistema de depuración. De resultados del Plan, esta cifra pasó en el año 2005 a ser el 92%.

De acuerdo con EUROSTAT⁷, en el año 2014, el 92,9% de la población española se encontraba conectada a instalaciones de recogida de aguas residuales con, al menos, un tratamiento secundario.

De acuerdo con el IDAE⁸, para el conjunto del país se estima un caudal de agua de abastecimiento urbano de 3.730 hm³ anuales y un volumen de agua residual tratada de 4.450 hm³, justificándose la diferencia en que, aunque no toda el agua abastecida finaliza en un desagüe canalizado hacia la EDAR, la depuradora recibe también aguas de lluvia y de otros posibles efluentes.

De esta manera y aun siendo conscientes de que el desarrollo del Plan Nacional de Calidad de las Aguas 2007-2015 ha mejorado las cifras anteriores, se partirá de la hipótesis de que el 90% de las aguas residuales son tratadas antes de su vertido al mar y que el proceso de depuración retirará, como media, un 80% de los microplásticos contenidos en el influente, con lo que en las fuentes en que resulte de aplicación se aplicará una tasa de retirada de depuración del 70%.

En el caso de las emisiones de microplásticos originados en por el uso/fabricación de productos cosméticos o detergentes abrasivos no se ha aplicado esta hipótesis dado el pequeño tamaño de partícula plástica empleada en estos sectores.

⁷ Indicador [tsdnr320] - Population connected to urban wastewater treatment with at least secondary treatment

⁸ Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital.

10. ESTIMACIÓN DE APORTES

En el presente apartado se procede de manera separada y para cada una de las fuentes seleccionadas como las más relevantes, a la estimación de las cantidades de microplásticos que podrían estar llegando al medio marino de nuestro país.

10.1. Los neumáticos como fuentes de microplásticos

Si bien los neumáticos están fabricados fundamentalmente a partir de caucho natural y como tal los fragmentos de esta sustancia natural no entrarían a formar parte de las basuras marinas, de acuerdo con la definición utilizada en el presente informe, en el proceso de fabricación se utilizan otro tipo de cauchos, denominados sintéticos, producidos a partir de hidrocarburos.

Los tipos de caucho sintético más utilizados son:

- Estireno-butadieno (SBR).
- Polibutadieno (BR).
- Polisoprenos sintéticos (IR)

La combinación se realiza de modo que los cauchos naturales proporcionen elasticidad y los sintéticos, estabilidad térmica. Esta combinación de efectos favorece la durabilidad y la capacidad de adaptarse a las nuevas exigencias del tráfico rodado.

Los polímeros sintéticos se obtienen por reacciones químicas, conocidas como condensación o polimerización, a partir de determinados hidrocarburos insaturados.

Los compuestos básicos del caucho sintético llamados monómeros, tienen una masa molecular relativamente baja y forman moléculas gigantes denominadas polímeros.

Además, en el proceso de fabricación de los neumáticos para mejorar las propiedades del material se combinan cientos de componentes como, por ejemplo, activadores, antioxidantes, antiozonizantes, ceras para facilitar la extensión del caucho, vulcanizadores, pigmentos, plastificantes, arcillas para refuerzo y resinas. La mayoría de estos elementos no están regulados y pueden no haber pasado unas evaluaciones toxicológicas adecuadas.

Se ha de destacar, por último, que en la composición típica de un neumático, un porcentaje importante está compuesto por el llamado “negro de humo” que, además de darle su color característico, aporta a la goma diferentes cualidades que ésta por sí

sola no posee: resistencia a la abrasión, resistencia a la tensión y disipación de calor, entre otras. El negro de humo es otra materia petroquímica. Básicamente es carbón puro con una estructura muy semejante a la del grafito y se produce fundamentalmente a partir de hidrocarburos líquidos como materia prima, desde gasóleos hasta residuos pesados. En general, estas cargas deben tener un alto porcentaje de aromáticos pesados o poliaromáticos, y un bajo contenido de azufre.

Además deben producir un mínimo de ceniza mineral. Existen diversos trabajos de investigación que apuntan a que estas partículas presentan una elevada capacidad para adsorber metales pesados con lo que pueden actuar como un vector de transporte de este tipo de contaminación hacia el medio marino.

Der acuerdo con el Convenio de Basilea (2011), los materiales utilizados en la fabricación de los neumáticos son los que se incluyen en la siguiente tabla:

Material	Fuente	Aplicación
Caucho natural	El caucho natural se obtiene principalmente de la savia del árbol <i>Hevea brasiliensis</i> .	En sentido general, el caucho natural representa actualmente cerca del 30 al 40% de la parte elastomérica total del neumático de un automóvil y del 60 al 80% del de un camión.
Caucho sintético	Todos los cauchos sintéticos se fabrican a partir de petroquímicos.	En sentido general, el caucho sintético representa actualmente cerca del 60 al 70% de la parte elastomérica total del neumático de un automóvil y del 20 al 40% del de un camión.
Negro de humo, sílice amorfa	El negro de humo se obtiene de la fracción del petróleo. La sílice amorfa se obtiene del silicio y el carbonato de sodio y puede ser lo mismo natural que sintético.	El negro de humo y la sílice aportan durabilidad y resistencia al desgaste.
Tejidos de refuerzo	Poliéster, rayón o nylon	Se utilizan para aportar resistencia estructural a las carcasas de los neumáticos de automóvil.
Cables de acero y talones, incluidos el material de revestimiento y los activadores, bronce/estaño/zinc.	El acero es de primera calidad y se fabrica solo en determinadas plantas del mundo debido a sus elevados requisitos de calidad.	El acero se utiliza para aportar rigidez y resistencia a los neumáticos.

Material	Fuente	Aplicación
Óxido de zinc	El zinc es un mineral que se extrae de las minas. También se puede obtener del zinc reciclado que es sometido a un proceso de producción para obtener óxido de zinc.	El óxido de zinc se añade esencialmente como activador de la vulcanización. Tras la vulcanización se encuentra presente en los neumáticos en la forma de zinc combinado.
Azufre (incluidos sus compuestos)	Este mineral se extrae de minas, aunque también se obtiene a partir del gas o del petróleo.	Principal agente en la vulcanización
Resorcinol Formaldehído		Componentes de los sistemas adhesivos empleados para unir el caucho a las fibras textiles y mejorar la adhesión entre el caucho y el cinturón de acero bronceado.
Aceites: Aceite aromático, solvente de extracción suave (aceite aromático purificado, especial) aceite nafténico, extracto aromático destilado y tratado (aceite aromático purificado, especial), aceites parafínicos		
Otros aditivos y disolventes: Compuestos heterocíclicos, derivados de la fenilendiamina, estabilizadores fenólicos, sulfenamidas, derivados de la guanidina, tiazoles, Ditiofosfatos, tiuramas, ditiocarbamatos tioureas, otros	Fuentes sintéticas o naturales.	En los diversos compuestos del caucho se utilizan otros aditivos para modificar la manipulación, la fabricación y las propiedades del producto final. Polímeros estabilizadores, adyuvantes del tratamiento, aceleradores, agentes vulcanizadores, suavizantes y cargas.
Caucho reciclado	Recuperado de los neumáticos de desecho u otros productos de caucho.	Utilizado en algunos compuestos de caucho en la fabricación de nuevos productos de caucho y de materiales para recauchutado.

Tabla 6 Materiales utilizados para fabricar neumáticos (Convenio de Basilea (2011))

Por lo tanto, teniendo en cuenta que la composición de los neumáticos incluye no solo materias primas naturales sino también, y en una importante proporción, otras producidas por el hombre, entran en la definición de basuras marinas y, cuando el tamaño de partícula es inferior a 5 mm se consideran microplásticos.

Si bien las diferentes fuentes bibliográficas consultadas indican una diversidad bastante significativa en la composición de una llanta, incluyendo también variaciones entre automóviles y camiones, la composición media, de acuerdo con TNU (2014) es la que se incluye en la Figura 4.

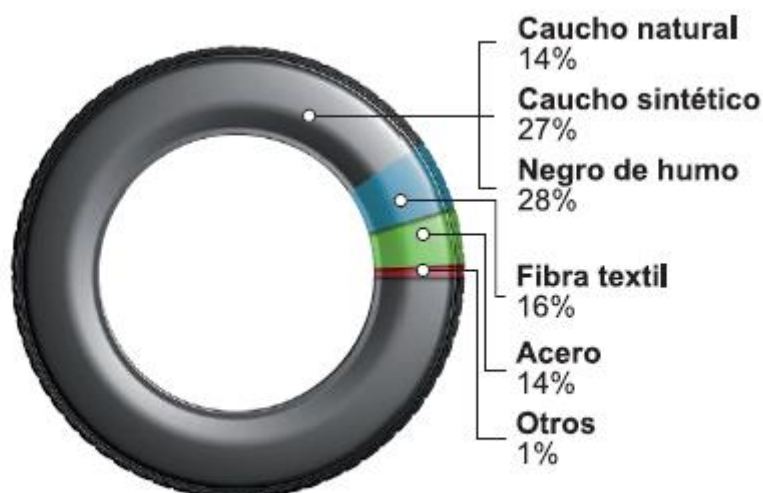


Figura 4 Composición típica de un neumático

Asimismo, según la misma fuente bibliográfica, la masa media de un neumático de automóvil resulta ser de 7,5 kg. Para el caso de camiones, su masa se eleva hasta 52,5 kg (Hylands & Shulman, 2003).

Durante la vida útil de un neumático y debido a la fricción con el pavimento, éste se va desgastando emitiendo al medio micropartículas. El proceso está influenciado por múltiples factores como las características de rugosidad del pavimento, las propias características del neumático, presión y temperatura, velocidad del vehículo, aceleración, frenada o las condiciones meteorológicas. Aunque por su tamaño muchas de estas emisiones pueden ser a la atmósfera en forma de polvo fino, las de mayor tamaño serán arrastradas por la lluvia o el viento pudiendo acabar en las aguas superficiales y, finalmente, en el mar.

El rango de tamaños de estas partículas emitidas varía entre unas 10 y unas 400 μm (Kreider et al, 2010) por lo que entrarían a formar parte en su totalidad en el rango establecido para los microplásticos.

10.1.1. Toxicidad de las partículas

Los posibles efectos tóxicos de las partículas producidas por el desgaste de los neumáticos en los organismos acuáticos han sido investigados por Wik y Dave (2005) midiendo la toxicidad para *Daphnia magna* de 12 neumáticos de automóvil elegidos al azar. Se ralló el caucho de la banda de rodamiento de los neumáticos y se emplearon los pequeños fragmentos obtenidos para simular el material de desgaste de los neumáticos. Los resultados muestran que todos los neumáticos analizados en este estudio eran tóxicos para *Daphnia magna* al cabo de exposiciones de 24 y 48 horas y que la toxicidad puede variar en 2 órdenes de magnitud en función de la exposición a distintos neumáticos. Teniendo en cuenta este rango de variación en una muestra de marcas discreta, cabe suponer que la variación total entre todos los neumáticos del mercado sea considerablemente mayor. Se detectó una diferencia considerable en la toxicidad entre los neumáticos de verano y los de invierno.

Son pocos los estudios en los que se ha evaluado la toxicidad de esas partículas usando sedimentos, que son el depósito más probable de partículas de desgaste de los neumáticos en el medio marino. Se ha evaluado la toxicidad aguda de las partículas de desgaste de los neumáticos para *Pseudokirchneriella subcapitata*, *Daphnia magna* y *Pimephales promelas* usando un elutriado de sedimentos (100, 500, 1.000 o 10.000 mg/l de partículas de desgaste de los neumáticos en carreteras). En un ensayo efectuado en condiciones normalizadas de temperatura, no se observó respuesta a la concentración y los valores de EC/LC50 fueron superiores a 10.000 mg/l. Se llevaron a cabo otros ensayos con *Daphnia magna* en elutriados en condiciones de alta temperatura para estimular la liberación de productos químicos de la matriz de caucho con el fin de conocer los factores ambientales que pueden influir en la toxicidad de las partículas de desgaste de los neumáticos. Solo se observó toxicidad para elutriados generados a partir de partículas de desgaste de los neumáticos lixiviadas en condiciones de altas temperaturas; el menor valor de EC/LC50 fue de 5.000 mg/l. A fin de identificar posibles sustancias químicas tóxicas entre los componentes de los materiales lixiviados sometidos a altas temperaturas, se llevaron a cabo estudios de evaluación de la determinación de la toxicidad y análisis químicos del material lixiviado. Tanto en la evaluación de la determinación de la toxicidad como en los análisis químicos (cromatografía líquida/espectrometría de masas en tándem y espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente) del material lixiviado

se identificaron el zinc y la anilina como posibles sustancias tóxicas. Sin embargo, sobre la base de los valores de EC/LC50 elevados y las condiciones limitadas en las cuales se observó la toxicidad, debería considerarse que las partículas de desgaste de los neumáticos son de bajo riesgo para los ecosistemas acuáticos en condiciones de exposición aguda.

10.1.2. Modelos de evaluación de emisiones

Para evaluar las emisiones de microplásticos procedente de esta fuente se podrían hacer las aproximaciones que se resumen a continuación:

10.1.2.1. Modelo basado en el consumo nacional de neumáticos

La gestión de este tipo de residuo, por sus características y por su proliferación, se regula por el Real Decreto 1619/2005, de 30 de diciembre, sobre la gestión de los neumáticos fuera de uso, cuyo ámbito de aplicación incluye todos los neumáticos puestos en el mercado nacional de reposición salvo los neumáticos de bicicleta y aquellos cuyo diámetro exterior sea superior a 1.400 milímetros. De acuerdo con este RD, los productores de neumáticos (fabricantes e importadores) están obligados a realizar o a financiar la gestión de estos neumáticos fuera de uso, existiendo en España únicamente dos Sistemas Integrados de Gestión (SIGNUS y TNU).

A fecha actual, SIGNUS agrupa a 12 compañías fabricantes de neumáticos y 282 empresas no fabricantes adheridas al sistema. Por su parte TNU agrupa 169 empresas.

En el caso de ambos SIGs, se cuenta, a través de sus memorias anuales, con la cantidad de neumáticos puestos en el mercado nacional (SIGNUS) y, asimismo, con la cantidad retirada para su gestión y reciclaje (ambos SIGs). Así, por ejemplo, en el año 2015 la puesta en el mercado ascendió a 162.020 t (que se corresponden, aproximadamente con algo menos de 15 millones de unidades) mientras que la recogida de neumático usado ascendió a 247.515 t.

Según la Memoria SIGNUS 2015, ese exceso de recogida corresponde a neumáticos puestos en el mercado que no son declarados y que por lo tanto no contribuyen a los costos de su gestión ambiental. Las principales vías de fraude son las importaciones y/o adquisiciones intracomunitarias no declaradas de neumáticos nuevos, usados o recauchutados, la introducción de neumáticos usados en el mercado de reposición por

parte de los desguaces procedentes de los VFU y el incumplimiento por parte de otros operadores de lo contemplado en art. 32.5.b) de la Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados, relativo a la organización de la recogida en la totalidad del territorio estatal.

Aun cuando determinados países como Dinamarca han intentado evaluar el volumen de emisión comparando la masa de neumáticos nuevos puestos en el mercado con la correspondiente a la masa retirada por año (resultando que, como media, un 17% de dicha masa se ha perdido por abrasión) esta aproximación no resulta válida, al menos para el caso español, al resultar en todos los años para los que se cuenta con estadísticas (desde 2008) superior la masa recogida a la puesta en el mercado.

Sin embargo, diferentes aproximaciones realizadas en Noruega estiman que durante la vida útil de un neumático (evaluada entre 2 y 4 años) se pierde entre un 10 y un 15% de su peso inicial (Sundt et al, 2014). Conociendo, pues, la masa puesta en el mercado, es posible estimar las emisiones.

Asimismo, un estudio realizado en Rusia (UNECE-GRPE 2012) puso de manifiesto unas pérdidas de masa durante la vida útil de un neumático de:

PÉRDIDAS DURANTE LA VIDA UTIL DE UN NEUMÁTICO			
Tipo de vehículo	Masa (kg) ⁹	Masa perdida (kg)	% perdido
Turismos	6,5 - 10	1.4 – 1.9	14 - 29
Furgonetas	11	3.2 – 4.0	29 - 36
Camiones	52,5	12.7 – 17.7	24 - 34

Tabla 7 Estudio realizado en Rusia (UNECE-GRPE 2012) sobre las pérdidas durante la vida útil de un neumático

Las masas anteriores son sensiblemente superiores a las que podrían derivarse del rango utilizado por Noruega, por lo que parece más acertado considerar que la masa perdida durante la vida útil variaría, teniendo en cuenta la distribución de vehículos en el parque automovilístico español, entre un **15** y un **30%** de la masa inicial del neumático.

No obstante a lo anterior, de la masa perdida durante la vida útil de un neumático una parte se corresponde con partículas extremadamente finas (menores de 10 μm ó

⁹ Hylands & Shulman, 2003

PM₁₀) o pérdidas que se producen directamente en estado gaseoso. En ambos casos estas emisiones se producen directamente a la atmósfera y no resulta adecuado tenerlas en cuenta a la hora de calcular los aportes a las aguas superficiales.

Las estimaciones respecto a esta fracción, basadas en datos experimentales realizados fundamentalmente para automóviles cifran en un **5%** las emisiones realizadas directamente a la atmósfera (TNO, 2014).

De la masa emitida por el desgaste, una fracción quedará retenida en el suelo en las propias márgenes de las carreteras mientras que otra será efectivamente transportada por las aguas de escorrentía hasta acabar finalmente en un curso de agua y, en último término, ser vertida al mar.

Estudios experimentales realizados con muestreos sobre la propia carretera y los suelos de sus márgenes (Blok, 2005) indican que aproximadamente el 70% de la cantidad total del material termina en gran medida en el suelo de las márgenes y se deposita a una distancia de hasta unos 6 m (autopistas) ó 4,5 m (otras vías) mientras que el 30% restante es transportado a mayores distancias. Se estima que únicamente el 10% de las partículas puede acabar en las aguas superficiales (Broeke et al, 2008) en lo que se refiere a vías interurbanas mientras que dicho porcentaje se eleva al 60% en vías urbanas, si bien en este caso las aguas son recogidas por la red de alcantarillado y sometidas a tratamiento.

10.1.2.2. Modelo basado en la red de carreteras y el tráfico asociado

Las emisiones se calculan de manera separada para cada tipo de vehículo multiplicando la tasa de actividad (en este caso el número de kilómetros conducido en nuestras carreteras) por un factor de emisión derivado, cuando existen datos suficientes, de experiencias de laboratorio sobre la masa perdida por km.

$$Es = Ar \times Ef$$

dónde:

Es = Emisión de partículas (kg),

Ar = Demandas de tráfico. Distancias cubiertas en la red nacional de carreteras (km).

Ef = Factor de emisión (mg/km), calculada como una fracción del desgaste producido.

Respecto al factor de emisión o masa de la cubierta perdida, existen distintos datos experimentales que diferencian entre los diferentes tipos de vehículos que se incluyen en la siguiente tabla:

MASA DE NEUMÁTICO PERDIDA POR ABRASIÓN (mg/km)				
	Turismo	Furgoneta	Camión	Tractor
(Dunlop, 2002)*	4	5	9	12
Pirelli (2002)	90	-	-	-
Boller (2000)	60-120	-	-	-
Baumann / Ismeier (1998)	80	-	-	-
Gebbe et al. (1997)	53	107	539	1.092
CARB (1993)	120	210-410		-
SAEFL (1992)	64-200		685-1.500	
UNECE-GRPE (2012)	33	51	178	-
Media	85	390	530	1.092
(*) Teniendo en cuenta la discrepancia de estos resultados respecto del resto de los incluidos en la tabla, estos no son tenidos en cuenta a la hora de calcular la media.				

Tabla 8 Resultados de diferentes marcas sobre la masa de neumático perdida por abrasión para los diferentes tipos de vehículos

Para el caso de motocicletas puede estimarse una tasa de emisión de la mitad de la de un automóvil (Hillenbrand et al. 2005). Dados los escasos datos existentes para vehículos diferentes a turismos y la gran variabilidad existente, las tasas de emisión solo pueden ser estimativas. De acuerdo con lo anterior, las tasas de emisión que parece adecuado utilizar en la presente evaluación serían:

MASA DE NEUMÁTICO PERDIDA POR ABRASIÓN (mg/km)	
Turismos	100
Motocicletas	50
Furgonetas	150
Camiones sin remolque y Autobuses	600
Camiones con remolque	800
Tractores	1.000

Tabla 9 Tasa de emisión por tipo de vehículo

Para la estimación de los aportes a las aguas superficiales y, finalmente al mar, los anteriores valores deben ser corregidos en función de las masas emitidas directamente a la atmósfera y las retenidas por el suelo.

10.1.3. Estimación de aportes

De acuerdo con lo descrito en el apartado anterior y con los datos disponibles para nuestro país, se pasan a estimar los aportes de microplásticos de acuerdo con cada uno de los modelos de evaluación.

10.1.3.1. Estimación de aportes basada en el consumo nacional de neumáticos

Tal como se ha explicado anteriormente existen en nuestro país únicamente dos SIGs para la recolección y reciclado de neumáticos fuera de uso. Si bien se cuenta, a través de SIGNUS con datos de puesta en el mercado, al resultar sus cantidades inferiores a las de recogida y por las razones también apuntadas, no parece oportuno recurrir a los mismos para estimar el consumo ya que estarían minusvalorados. Sin embargo, los datos correspondientes a las retiradas parecen ser mucho más representativos del consumo de neumáticos a nivel nacional.

De acuerdo con los datos incluidos en ambos SIGs y que se incluyen en la siguiente tabla, en el periodo 2008-2015 se recogieron una media de 232.739 toneladas de

neumáticos usados por año, que vendrían a corresponderse con algo más de 22 millones de unidades por año.

MASA DE NEUMÁTICOS RECOGIDA (T)			
AÑO	SIGNUS	TNU	TOTAL
2008	198.347	52.659	251.006
2009	190.180	49.593	239.773
2010	195.480	52.356	247.836
2011	172.234	51.875	224.109
2012	160.213	50.170	210.383
2013	162.599	48.672	211.271
2014	175.242	54.774	230.016
2015	186.285	61.230	247.515
Media	180.073	52.666	232.739

Tabla 10 Masa de neumático recogida por las diferentes SIGs

El parque automovilístico español está compuesto según los datos de la Dir. Gral de Tráfico (datos 2014) por los siguientes vehículos:

PARQUE AUTOMOVILÍSTICO ESPAÑOL (2014)	
CAMIONES y FURGONETAS	4.839.484
AUTOBUSES	59.799
TURISMOS	22.029.512
MOTOCICLETAS	2.972.165
TRACTORES INDUSTRIALES	186.060
REMOLQUES Y SEMIREMOLQUES	413.155
OTROS VEHÍCULOS	475.872
TOTAL	30.976.047

Tabla 11 Parque automovilístico (DGT (2014))

Esto vendría a representar un total de unos 117 millones de neumáticos o, lo que viene a ser lo mismo, que como media los neumáticos son sustituidos cada 5,3 años lo que no se desvía significativamente de los datos manejados por otros países.

De esta manera, tomando como hipótesis de partida de acuerdo con lo justificado anteriormente que entre un 15 y un 30% del peso de un neumático se pierde durante su vida útil, se podría inferir que la masa inicial para el cálculo resultaría ser de entre 273.810 y 332.484 toneladas, con lo que anualmente en el territorio nacional la pérdida de masa de neumáticos por abrasión en las carreteras origina unas emisiones al medio de entre **41.071 t** (15% de 273.810 t) y **99.745 t** (30% de 332.484 t) de partículas.

Teniendo en cuenta que, según se explica en el apartado siguiente, el tráfico rodado en nuestro país se distribuye en un 79,6% en vías interurbanas y un 20,4% en vías urbanas y que la estimación anterior debe ser corregida por las emisiones directas a la atmósfera (PM_{10}), las masas que quedan retenidas por el suelo en las márgenes de las carreteras, se obtendría que las emisiones a las aguas superficiales resultarían ser de:

EMISIONES A LAS AGUAS SUPERFICIALES (t)		
	Vías interurbanas	Vías urbanas
Emisiones al medio	32.693 – 79.397	8.378 – 20.348
Emisiones a la atmósfera (PM_{10}) 5%	1.635 – 3.970	419 – 1.017
Emisiones a las aguas superficiales 10% ó 60%	3.106 – 7.543	4.775 – 11.599

Tabla 12 Emisiones de microplásticos a las aguas superficiales en vías interurbanas y urbanas

Por lo tanto, teniendo en cuenta todos los tipos de vía, se emitirán a nivel nacional a las aguas superficiales entre 7.781 y 19.142 t de partículas por año.

Tal y como se hace en el resto de estimaciones de fuentes, los valores anteriores que se corresponden con el consumo de neumáticos a nivel nacional, debieran ser corregidos para tener en cuenta únicamente las emisiones que se producen en la zona litoral y no en el interior peninsular, desde donde muy raramente podrían llegar a ser vertidos al medio marino. Careciéndose de datos de consumo desagregados por provincias, el único enfoque que parece adecuado para tener en cuenta este factor sería el basado en la longitud viaria de carreteras de acuerdo con la información

existente en la Dir. Gral de Carreteras (2015) y que se detallan en el siguiente apartado. Así, teniendo en cuenta que de los 166.003 km que componen la red viaria nacional, únicamente 63.377 km corresponden a CCAA litorales o, lo que es lo mismo, un 38,18% de la red.

Así, un enfoque más realista sería considerar que únicamente el 38,18% de la masa de neumáticos perdida por abrasión lo es en vías de circulación susceptibles de liberar tales partículas al medio marino.

Considerando que las aguas de escorrentía procedentes de la red interurbana de carreteras no será recogida por la red de alcantarillado y, por lo tanto no sometida a proceso de depuración alguno mientras que, por el contrario, las aguas de escorrentía de redes urbanas si serían depuradas antes de su vertido al medio marino y aplicando un coeficiente de retirada en el proceso de depuración del 70%, resultaría:

EMISIONES AL MEDIO MARINO (t)		
	Vías interurbanas	Vías urbanas
Emisiones a las aguas superficiales	1.186 – 2.880	1.823 – 4.428
Reducción por depuración	0%	70%
Emisiones al medio marino	1.186 – 2.880	547 – 1.328

Tabla 13 Emisiones de microplásticos al medio marino en vías interurbanas y urbanas

Por lo tanto, aplicando este enfoque metodológico, las emisiones al medio marino de partículas procedentes del desgaste de neumáticos estarían comprendidas entre **1.733 y 4.208 toneladas por año**.

10.1.3.2. Estimación de aportes basada en la red de carreteras y tráfico asociado

A. Movilidad en vías interurbanas:

Según los últimos datos del anuario estadístico de la Dir. Gral. de Carreteras, correspondiente al año 2015, la red viaria nacional tiene, por tipo de vía, las longitudes que se recogen en la siguiente tabla:

LONGITUD VIARIA 2015 (KM)								
CCAA	Total general	Carreteras de una calzada			Carreteras multicarril	Autovías y autopistas	Autopistas de peaje	
		Total	< 5 m	5-7 m				<7 m
ANDALUCÍA	23.797	20.976	2.635	10.151	8.191	237	2.336	249
ARAGÓN	11.624	10.788	3.323	3.411	4.053	67	612	157
ASTURIAS	5.051	4.584	1.186	2.417	981	13	432	22
BALEARES	2.155	1.965	306	712	947	97	94	0
CANARIAS	4.255	3.920	534	1.389	1.997	89	246	0
CANTABRIA	2.582	2.324	183	1.452	688	3	255	0
CASTILLA-LA MANCHA	19.606	17.772	1.464	6.387	9.921	22	1.598	214
CASTILLA Y LEÓN	32.878	30.431	6.658	11.966	11.808	98	2.073	277
CATALUÑA	12.081	10.493	1.215	4.147	5.130	140	815	633
C. VALENCIANA	8.324	6.883	439	2.247	4.196	300	774	367
EXTREMADURA	9.166	8.403	821	2.360	5.222	63	700	0
GALICIA	17.713	16.538	4.612	4.940	6.987	96	752	327
MADRID	3.338	2.347	71	812	1.464	208	622	161
MURCIA	3.449	2.785	43	791	1.951	92	457	115
NAVARRA	3.866	3.460	858	1.018	1.584	26	236	144
PAIS VASCO	4.178	3.561	794	1.277	1.490	128	234	255
RIOJA	1.873	1.688	194	555	939	4	62	119
CEUTA Y MELILLA	65	63	0	32	31	2	0	0
TOTAL	166.003	148.981	25.338	56.064	67.579	1.686	12.296	3.040

Tabla 14 Anuario estadístico de la red viaria nacional de la Dir. Gral. de Carreteras, (2015)

De la tabla anterior, es posible segregar las longitudes viarias correspondientes únicamente a las provincias litorales, resultando entonces las siguientes longitudes por tipo de vía:

LONGITUD VIARIA 2015 SOLO PROVINCIAS LITORALES (KM)							
Total general	Carreteras de una calzada				Carreteras multicarril	Autovías y autopistas	Autopistas de peaje
	Total	< 5 m	5-7 m	<7 m			
72.201	63.377	10.581	16.520	27.980	1.199	5.590	2.037

Tabla 15 Longitudes viarias correspondientes a las provincias litorales

Por otra parte, la propia Dir. Gral de Carreteras recopila de manera anual el tráfico en la red interurbana de carreteras, distinguiendo según su titularidad. Los datos disponibles abarcan el periodo 2000- 2015, si bien al haber existido una modificación en el año 2008 en la metodología para la realización del inventario de carreteras, parece conveniente tener en cuenta únicamente los datos a partir de esa anualidad, tal y como se refleja en la siguiente tabla:

DEMANDA DE TRÁFICO								
Longitud total recorrida, en millones de vh-km								
TITULARIDAD DE LA VÍA Y TIPO DE VEHÍCULOS (Para red del Estado)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
DIPUTACIONES Y CABILDOS	15.347	18.237	15.759	13.951	12.921	12.764	13.150	13.219
COMUNIDADES AUTÓNOMAS	107.700	104.940	101.752	99.041	95.594	94.752	95.526	98.109
ESTADO	128.702	126.194	123.620	121.686	115.770	112.860	114.013	119.512
TOTAL VEH-KM. EN TODAS LAS REDES	251.749	249.371	241.131	234.678	224.285	220.377	222.689	230.840

Tabla 16 Demanda de tráfico anual en la red interurbana de carreteras (2008-2015)

Lo que lleva que, como media para el periodo considerado, la longitud recorrida en toda la red viaria resulte ser de 234.390 millones de vehículos-km.

Resulta posible segregar esta demanda de tráfico por provincias, con lo que la resultante para las provincias litorales, que en principio serían las que, con un mayor grado de probabilidad deberían ser tenidas en consideración a la hora de cuantificar los aportes al medio marino resultaría con los datos disponibles para el año 2015 las siguientes:

LONGITUD TOTAL RECORRIDA (PROVINCIAS LITORALES - 2015) En millones de vh-km			
Red Estatal	Red CCAA	Red Diputaciones y Cabildos	TOTAL
57.739	66.392	8.221	132.352

Tabla 17 Longitud total recorrida en las provincias litorales (mill vh-km)

O, lo que es lo mismo, que únicamente un 57,5% del tráfico se produce en las provincias litorales teniendo en cuenta la totalidad de la red.

La demanda de tráfico, se realiza de manera separada para cada tipo de vehículo pero únicamente en la red interurbana dependiente del Estado.

DEMANDA DE TRÁFICO Longitud total recorrida, en millones de vh-km								
TIPO VEHÍCULO	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Motocicletas	731	1.040	1.074	756	760	742	791	773
Turismos	97.108	98.642	97.788	96.923	92.687	90.672	91.518	95.299
Camionetas	10.792	8.388	7.897	7.736	7.117	6.831	6.818	7.573
Tractores agrícolas	32	48	46	47	48	47	39	43

DEMANDA DE TRÁFICO									
Longitud total recorrida, en millones de vh-km									
TOTAL LIGEROS		107.932	107.078	105.732	104.706	99.852	97.550	98.375	102.914
Camiones remolque	sin	6.741	5.951	5.469	5.013	4.800	4.617	4.710	4.241
Camiones remolque	con	12.018	10.580	9.965	9.721	8.904	8.540	9.061	10.304
Autobuses		1.280	1.545	1.379	1.490	1.455	1.412	1.077	1.279
TOTAL PESADOS		20.039	18.076	16.814	16.224	15.159	14.569	14.848	15.825

Tabla 18 Demanda de tráfico en la red interurbana dependiente del Estado
(Longitud total recorrida en mill vh-km)

Asumiendo que la distribución por tipo de vehículo que se produce en la red viaria diferente a la dependiente del Estado sigue un patrón similar a la de esta red, la demanda media por tipo de vehículo sería:

LONGITUD TOTAL RECORRIDA POR TIPO DE VEHÍCULO (MEDIA 2008-2015) En millones de vh-km	
Motocicletas	1.624
Turismos	185.259
Camionetas	15.381
Tractores agrícolas	85
Camiones sin remolque	10.118
Camiones con remolque	19.264
Autobuses	2.659
TOTAL	234.390

Tabla 19 Longitud total recorrida por tipo de vehículo (media 2008-2015) en millones de vh-km

Teniendo en cuenta todo lo anterior, la demanda de tráfico por tipo de vehículo existente en la red correspondiente a las provincias litorales sería, como media para el período 2008-2015 la siguiente:

MOVILIDAD EN VÍAS INTERURBANAS LONGITUD TOTAL RECORRIDA POR TIPO DE VEHÍCULO (MEDIA 2008-2015) PROVINCIAS LITORALES En millones de vh-km	
Motocicletas	933,7
Turismos	106.524,2
Camionetas	8.844,2
Tractores agrícolas	49,0
Camiones sin remolque	5.817,8
Camiones con remolque	1.1076,7
Autobuses	1.528,9
TOTAL	134.774,4

Tabla 20 Longitud total recorrida por tipo de vehículo (media 2008-2015) en provincias litorales en millones de vh-km

Aplicando las tasas de emisión por tipo de vehículo indicadas en el apartado 10.1.2.2, se obtendría que anualmente en el territorio nacional la abrasión de los neumáticos en vías interurbanas origina unas emisiones al medio de:

	vh-km x10 ⁶	tasa emisión (mg/ km)	Emisión (t)
Motocicletas	933,7	50	46,7
Turismos	106.524,2	100	10.652,4
Camionetas	8.844,2	150	1.326,6
Tractores agrícolas	49,0	1000	49,0
Camiones sin remolque	5.817,8	600	3.490,7
Camiones con remolque	11.076,7	800	8.861,3

Autobuses	1.528,9	600	917,3
Total	134.774,39		25.344

Tabla 21 *Emisiones de microplásticos originadas por la abrasión de los neumáticos en vías interurbanas aplicando la tasa de emisión por vehículo*

Es decir, las emisiones al medio ambiente podrían estimarse anualmente a **25.344 t** de partículas en vías interurbanas correspondientes a las provincias litorales.

B) Movilidad en vías urbanas:

Dado que la información correspondiente a movilidad en vías urbanas es competencia de los ayuntamientos y corporaciones locales y no se ha localizado una fuente que, a nivel nacional los recopile y haga un tratamiento estadístico de los mismos, se ha recurrido como fuente de datos al Informe OMM-2014 (MAPAMA, 2016) que recopila la información de 19 Autoridades de Transporte Público (ATP)¹⁰ de las principales áreas metropolitanas españolas, que representan una población de 24,2 millones de habitantes (un 52,1% de la población total nacional).

El análisis de estos datos arroja, como media para la muestra representada y, como media, los siguientes resultados:

MOVILIDAD URBANA (OMM-2014)		
Desplazamiento	Vehículo particular (%)	41,1
	Transporte público (%)	12,8
	Pie/Bicicleta (%)	45,4
	Otros (%)	1,1
Distancia media desplazamiento (km)		5,4
Nº desplazamientos diarios		2,9

Tabla 22 *Movilidad urbana (OMM-2014)*

Teniendo en cuenta la población y el número de automóviles y motocicletas de cada una de las zonas metropolitanas consideradas en este estudio, según se recoge en la siguiente tabla se obtendría, para los desplazamientos urbanos efectuados en vehículo

¹⁰ Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla, Bizkaia, Asturias, Málaga, Mallorca, Zaragoza, Bahía de Cádiz, Gipuzkoa, Camp de Tarragona, Granada, Alicante, Campo de Gibraltar, Comarca de Pamplona, A Coruña, Lleida y León.

particular un total anual de 54.165 millones de desplazamientos-km (45.475,4 millones en automóvil y 7.074,2 millones en motocicleta).

AREA METROP	Turismos	Motos	Dist media (km)	Nº viajes/día	Vh-km*10 ⁶	Total Vh-km día	Turism Vh-km día	Motos Vh-km día
Madrid	3259492	309813	6	2,5	259,1	40159812,3	36673969,6	3183274
Barcelona	2020737	507697	6,6	3,9	129,7	25392726,1	20293987,9	4074935,9
Valencia	874874	200571		2,37	28,8	9384748,3	7634484,4	1423838,1
Sevilla	687087	192503		2,4	30,1	12292348,3	9602103,7	2101470,5
Bizkaia	463065	65658	7,9	2,8		5588290,3	4894319,6	607791,3
Asturias	463777	71674			8,9	6665233	5773036,4	772768,7
Málaga	452995	156767	5,5	2,2	17,9	9234240,1	6860161,7	1763714,3
Mallorca	515846	79823		3,6	24	7296868,3	6319045,9	846788,6
Bahía de Cádiz	335646	136136		3,3	4,9	5904351,7	4200608,4	1212115,9
Zaragoza	389152	81361	3,3	3,3	18,5	3168095,8	2620268,4	453097
Gipuzkoa	271756	69369		3,1	6,2	4042162,2	3220171,1	654835,6
Tarragona	288132	51100		3,2	16,8	4722018,3	4010716,1	604155,1
Granada	238730	91778			14,8	2614554,8	1888522,7	524421,2
Alicante	209498	36650	4,8	2,1	6,8	3135917,3	2668988,4	397404,6
Lleida	173139	21916		3,2	5,5	2756546,9	2446822,6	274923,9
Pamplona	168318	30081		3	7,7	2139420,4	1815044,9	275194,2
Campo de Gibraltar	102808			2,2	1,6	1404273,1	1404273,1	
A Coruña	583760	46298	3,6		5,7	1548058,6	1434303,9	105395,7
León	100588	14638		2,7	0,1	950118,2	829413,5	105370,1
TOTAL	11599409	2163840				148399784	124590243	19381494,8

Tabla 23 Millones de vehículos por km y día para cada provincia

Suponiendo una ocupación media de 2 pasajeros por automóvil y 1 por motocicleta, los vehículos-km resultantes serían de 29.812 millones (22.737,7 millones en automóvil y 7.074,2 millones en motocicleta).

En lo que se refiere a la movilidad en autobús, el propio informe OMM-2014 incluye, para 18 de las 19 zonas metropolitanas estudiadas los datos de vehículo-km recorridos (año 2014) que resultan ser de un total de 587,1 millones.

Teniendo en cuenta que el informe OMM 2014 resulta representativo de una población de 24,2 millones de habitantes y aun obviando el hecho de que la inclusión de una metrópoli como Madrid puede desvirtuar los resultados, los resultados anteriores podrían hacerse representativos de la población costera española (30,06 millones) simplemente multiplicándolos por un factor de 1,25 (30,06 / 24,2).

Pero, además de los desplazamientos anteriores, en la evaluación de emisiones ha de tenerse también en consideración los desplazamientos efectuados en taxi. Aunque el informe OMM-2014 incluye algunos datos, en este caso si existen estadísticas sobre la flota de vehículos de este tipo recopilados por el INE y desagregados por provincias.

Tomando esta fuente y considerando exclusivamente las provincias litorales, como media para el periodo 2006-2015 se contaba con una flota de 44.656 vehículos que, estimando un recorrido medio diario de 250 km, contribuirían con 4.074 millones de vehículos-km.

Por lo tanto, en lo que se refiere a desplazamientos en vías urbanas, las distancias recorridas por tipo de vehículo serían:

MOVILIDAD EN VÍAS URBANAS LONGITUD TOTAL RECORRIDA POR TIPO DE VEHÍCULO En millones de vh-km	
Motocicletas	8.842,7
Turismos	28.421,2
Taxi	4.074
Autobuses	773,9
TOTAL	42.111,8

Tabla 24 Longitud total recorrida por tipo de vehículo

Aplicando las tasas de emisión por tipo de vehículo indicadas en el apartado 10.1.2.2, se obtendría que anualmente la abrasión de los neumáticos en vías urbanas origina unas emisiones al medio de:

Tipo vehículo	vh-km (x10 ⁶)	Tasa emisión (mg/km)	Total emisiones (t)
Motocicletas	8.842,7	50	442,1
Turismos	28.421,2	100	2.842,1
Taxi	4.074	100	407,4
Autobuses	773,9	600	464,3
TOTAL	42.112		4.156,0

Tabla 25 Emisión anual total originada por la abrasión de los neumáticos en vías urbanas

Es decir, que en vías urbanas, las emisiones al medio pueden estimarse en **4.156 t** de partículas por año.

C) Estimación total:

Como ya se ha explicado anteriormente, las estimaciones anteriores deben ser corregidas por las emisiones directas a la atmósfera (PM₁₀) que representa un 5% de la masa y la cantidad que queda retenida por el suelo en las márgenes de las vías. Mientras que las emisiones a la atmósfera pueden ser consideradas como similares para lo que a la movilidad urbana o interurbana se refiere, para el caso de los porcentajes que pueden llegar a las aguas superficiales son diferentes y del 10% en el caso de vías interurbanas pero del 60% en el caso de zonas metropolitanas ya que son recogidas por el alcantarillado.

EMISIONES A LAS AGUAS SUPERFICIALES (t)		
	Vías interurbanas	Vías urbanas
Emisiones al medio	25.344	4.156
Emisiones a la atmósfera (PM ₁₀) 5%	1.267,2	207,8
Emisiones a las aguas superficiales 10% ó 60%	2.407,7	2.368,9

Tabla 26 Emisiones a las aguas superficiales en vías interurbanas y urbanas

Al igual que se ha explicado anteriormente, no parece oportuno aplicar factor de retirada alguno en el caso de las partículas vertidas a las aguas superficiales desde vías interurbanas que, raramente serán recogidas por la red de alcantarillado pero si para el caso de las vías urbanas, con lo que las emisiones al medio marino serían de:

EMISIONES AL MEDIO MARINO (t)		
	Vías interurbanas	Vías urbanas
Emisiones a las aguas superficiales	2.407,7	2.368,9
Reducción por depuración	0%	70%
Emisiones al medio marino	2.407,7	710,7

Tabla 27 Emisiones al medio marino por las partículas vertidas a las aguas superficiales desde vías interurbanas y urbanas

Por lo tanto, aplicando este enfoque metodológico, basado en la red de carreteras y su tráfico asociado, las emisiones al medio marino de partículas procedentes del desgaste de neumáticos resultarían ser de **3.118,4 toneladas por año**.

10.1.3.3. Conclusiones

Los dos tipos de aproximación que se han realizado muestran resultados muy coherentes y del mismo orden de magnitud. Estando el resultado del segundo de los enfoques metodológicos dentro del rango obtenido para el modelo basado en el consumo de neumáticos, parece procedente que la estimación de los aportes de esta fuente se corresponda con el intervalo obtenido en el mismo, es decir:

**EMISIONES AL MEDIO MARINO DE FRAGMENTOS
 PROCEDENTES DE LA DEGRADACIÓN DE LOS NEUMÁTICOS:**

1.733 - 4.208 t/año

Para mejorar los anteriores resultados y realizar una aproximación más realista sería necesario, al menos, mejorar a través de estudios experimentales el conocimiento sobre:

- Tasa de degradación de los neumáticos con su uso.
- Factores de emisión a la atmósfera y a las aguas superficiales.
- Efectividad de las técnicas de tratamiento de aguas residuales en la retirada de microplásticos.

Asimismo y en cuanto a datos estadísticos recopilados, resultaría de la mayor conveniencia mejorar la recopilación de datos en los siguientes aspectos:

- Consumo real de neumáticos por provincias y a nivel nacional.
- Movilidad urbana, extendiendo los datos que se recopilan a un mayor número de zonas metropolitanas.

10.2. COSMÉTICOS COMO FUENTES DE MICROPLÁSTICOS

10.2.1. Los productos de cosmética

Uno de los usos que se le da a los microplásticos es como ingredientes en la formulación de productos de cuidado personal y cosméticos.

En la década de 1990 se llevaron a cabo varios estudios como el de Zitko y Hanlon (1991) y Gregory (1996) que evidenciaron que estos microplásticos se encontraban presentes principalmente en limpiadores de manos como jabones líquidos de microplásticos/arena que se empleaban en industrias muy concretas, no siendo empleados por el consumidor medio.

Sin embargo, con el tiempo los microplásticos fueron remplazando a otros materiales exfoliantes naturales tales como cáscaras de nuez, hueso de albaricoque, etc empleados en otro tipo de productos, lo que provocó un aumento en el consumo de microplásticos en este sector.

El problema que presenta el uso de microplásticos en productos que se enjuagan, es que resulta mucho más fácil que terminen pasando al sistema de aguas residuales y finalmente dado su pequeño tamaño, que puedan llegar al medio marino al no ser retenidos en las plantas de tratamiento de agua.

La mayoría de los microplásticos contienen polímeros no degradables, que pueden tardar cientos de años en degradarse a través de rutas oxidativas o por fotodegradación.

Tampoco sería aconsejable sustituir estos productos por otros biodegradables como el ácido poliláctico, que sólo se degrada al ser sometido a elevadas temperaturas en entornos industriales.

En la industria cosmética en ocasiones en lugar de microplásticos se habla de microesferas, nanoesferas, microcápsulas, nanocápsulas. Normalmente la forma de estas partículas de plástico que se comercializan suele ser esférica, pero en algunos productos también se emplean partículas amorfas.

En ocasiones a los microplásticos se les añaden otro tipo de aditivos para conseguir que el material tenga las propiedades deseadas.

En cosmética se emplean tanto termoplásticos (polietileno, polipropileno, teflón, etc) como plásticos termoestables (poliuretanos, etc).

Estos polímeros sintéticos están compuestos por mezcla de macromoléculas de diferente longitud de cadena, que se unen para dar lugar a macromoléculas en estado sólido de peso molecular muy grande.

En la siguiente tabla se incluyen varios ejemplos de plásticos en fase sólida, insolubles en agua que están siendo aplicados actualmente como partículas en productos de cuidado personal y cosméticos.

POLÍMERO	EJEMPLOS DE FUNCIONES EN PRODUCTOS COSMÉTICOS
Nylon-12 (poliamida-12)	Aumento de volumen, control de la viscosidad, opacificantes (por ejemplo, cremas antiarrugas)
Nylon-6	Aumento de volumen, control de la viscosidad
Poli (Tereftalato de butileno)	Formación de película, controladores de viscosidad
Poli (Isoteraftalato de etileno)	Aumento de volumen
Poli (Teraftalato de etileno)	Adhesivo, formación de película, el peinado del cabello; control de la viscosidad, agente estético, (por ejemplo, brilla en el baño de burbujas, maquillaje)
Polimetacrilato de metilo	Como absorbentes de ingredientes activos
Poli (Teraftalato de pentaeritritol)	Formación de películas
Poli (Tereftalato de propileno)	Estabilizador, acondicionador
Polietileno	Abrasivo, formador de películas, controlar la viscosidad
Polipropileno	Aumentar el volumen, aumentar la viscosidad
Poliestireno	Formar películas
Politetrafluoroetileno (Teflón)	Aumentar el volumen, acondicionador facial
Poliuretano	Formador de películas (p.ej. mascarillas faciales, protectores solares, máscaras de pestañas)
Poliacrilato	Controlador de la viscosidad
Copolímeros de acrilato	Formar películas, acondicionadores,
Alilo/ Estearato de acetato	Formar películas

POLÍMERO	EJEMPLOS DE FUNCIONES EN PRODUCTOS COSMÉTICOS
Etileno/Propileno/Estireno	Controlar la viscosidad
Etileno/ Polimetilmetacrilato	Formación de películas
Etileno/ Polímero de acrilato	Formación de película resistente al agua en protectores solares, gelificantes (p.ej. en barras de labios, cremas de manos, etc)
Butileno/Etileno/Estireno	Controladores de la viscosidad
Copolímero de acrilato de estireno	Microesferas coloreadas (p.ej maquillaje)
Copolímero de acrilato de estireno	Microesferas coloreadas (p. ej maquillaje)
Trimetilsiloxisilicatos (Resina de siliconas)	Formación de películas

Tabla 28 Ejemplos de polímeros empleados en productos cosméticos

Fuentes: EU Cosmetic Ingredient 'CosIng' Database (<http://ec.europa.eu/consumers/cosmetics/cosing>); Goddard and Gruber 1999; Cosmetic Ingredient Reviews, the Cosmetics & Toiletries Bench Reference (<https://dir.cosmeticsandtoiletries.com>) and various manufacturer websites

El tamaño de los microplásticos empleados como ingredientes en los productos cosméticos puede ser muy diverso, variando desde las partículas que pueden verse a simple vista (50-1.000 μm), a aquellas que tienen un tamaño inferior a 2.5 μm o por debajo del rango de μm .

El término de "microperla" se emplea para partículas de tamaño de 1 a 1.000 μm que pueden tener o no forma esférica.

Las microesferas son de tamaños de partícula similares 1-1.000 μm (Lipovetskaya 2010), sin embargo las microesferas son por definición esféricas y a menudo son huecas, lo que les permite cargarse con un ingrediente activo (Lidert 2005). Algunas de éstas "microesferas" pueden presentar tamaños muy pequeños, llegando a los 10 nm.

Cuando tienen una tamaño de 1 a 2 μm a las "microesferas" se les llama "microcápsulas" (Ansaldi 2005, Kvitnitsky et al., 2005).

Estas "microcápsulas" pueden estar hechas de materiales como el polimetilmetacrilato con capacidad para absorber ingredientes activos, especialmente los más hidrófobos (Lidert 2005).

Las partículas de plástico de tamaño de 10 a 1.000 nm se denominan “nanoesferas” o “nanocápsulas”, o simplemente “nanopartículas poliméricas” (Rao y Geckeler 2011; Hubbs et al., 2011). Estas “nanoesferas” debido a su pequeño tamaño una vez que entran en el medio ambiente es imposible eliminarlas.

De esta manera, en función de su tamaño las partículas de plástico se denominan:

PARTÍCULAS	RANGO DE TAMAÑOS
Microperla	1 – 1.000 X 10 ⁻⁶ m
Microesfera	1 – 1.000 X 10 ⁻⁶ m
Microcápsula	1 – 2 X 10 ⁻⁶ m
Nanoesfera/cápsula	10 – 1.000 X 10 ⁻⁹ m

Tabla 29 Rango de tamaño de partícula en microplásticos

Fuente: *Plastic in cosmetics_Are we polluting the environment through our personal care_2015Plas (UNEP)*

Dentro del sector de la cosmética, los microplásticos se emplean en la formulación de gran variedad de productos para el cuidado personal, como por ejemplo las pastas de dientes, los geles de ducha, champús, esmaltes de uñas y cremas exfoliantes etc.



Figura 5 Microplásticos empleados en cosméticos (Foto: Greenpeace)

En cada uno de estos productos están presentes en un porcentaje distinto, pudiendo variar entre el 1% y el 90% en algunos casos (Cosmetics Ingredient Review 2012).

En el año 2012 según un estudio realizado por Gouin, se utilizaron 4.360 toneladas de microplástico en productos de cosmética en la Unión Europea, Noruega y Suiza.

El polietileno, es el plástico más empleado en cosmética, utilizándose en el 93% de los productos que llevan microplásticos en su formulación, pero también es el plástico más producido del mundo. Por este motivo, los residuos de polietileno encontrados en el medio marino pueden proceder del uso de productos cosméticos, pero también podrían proceder de gran variedad de productos que contienen polietileno en su composición (Leslie 2014).

Por lo tanto, en función del tipo de polímero, su composición, tamaño y forma, los microplásticos se emplearán para funciones distintas en los productos de cosmética como se ha explicado anteriormente: reguladores de la viscosidad, emulsionantes, formar películas, agentes opacificantes, aglutinantes, exfoliantes, cuidado bucal (pulido dientes), gelificantes en adhesivos para dentaduras, prolongar la vida del almacenamiento atrapando ingredientes activos degradables en la matriz de partículas porosas (protegiendo el ingrediente activo de bacterias que son demasiado grandes para entrar en los poros).

10.2.2. Toxicidad de las partículas

La principal ruta de emisión de los microplásticos empleados en cosmética es a través de las aguas residuales, pasando a las aguas superficiales bien por ausencia de tratamiento de las aguas residuales o bien por ineffectividad de las técnicas de tratamiento.

Por otra parte, se ha investigado la presencia de microplásticos en efluentes (Browne et al., 2011), en los cuales se han descubierto partículas similares a las empleadas como ingredientes en cosmética (Leslie et al., 2012).

Además de los efluentes, los lodos de depuradora son otro receptáculo importante de microplásticos. Hasta finales de 1990, muchos países desarrollados descargaban los lodos de las aguas residuales en el mar, lo que sigue siendo una práctica común en algunas zonas del mundo (PNUMA, 2005). La Unión Europea, de acuerdo con la Directiva 91/271/CEE, prohíbe el vertido al mar de los fangos de depuradora desde el año 1999.

Los riesgos que conllevan para la salud los plásticos empleados en cosmética están siendo evaluados por expertos del sector. Estas evaluaciones son voluntarias en la mayoría de los casos, al no existir regulación sobre el uso de este tipo de ingredientes en el sector de la cosmética. Esto hace que la responsabilidad recaiga sobre el fabricante que diseña la formulación de cada producto para que sean seguras.

Normalmente las evaluaciones de riesgo que se han llevado a cabo hasta el momento solían centrarse en el impacto que tiene para la salud humana el uso de estos productos, por ejemplo mediante la absorción dérmica. En la actualidad la situación está cambiando, y teniendo en cuenta los riesgos para el medio ambiente, países como Estados Unidos y Australia, ya han prohibido la fabricación, comercio y uso de productos cosméticos y de higiene con este tipo de microesferas, mientras que Canadá, Holanda, Nueva Zelanda, Dinamarca, Suecia y Reino Unido van camino a hacerlo.

De momento la Unión Europea sigue sin regular este tema. En octubre de 2015, la asociación Cosmetics Europe recomendó a sus miembros que redujeran el uso de micropartículas plásticas sólidas sintéticas con el objetivo de que en 2020 los materiales alternativos ocuparan su lugar. En base a esta recomendación, la industria cosmética de la Unión Europea decidió voluntariamente reducir el uso de estas partículas en sus productos.

El problema es que los plásticos de uso frecuente en cosmética como el polietileno son de baja densidad y por lo tanto flotan en la superficie. Esto hace que los microplásticos estén ampliamente disponibles para el plancton, la biota marina y las larvas de especies de pescado comercialmente usadas (Ivar do Sul et al., 2014).

Dado su pequeño tamaño son accesibles a los organismos filtradores (mejillones, percebes), gusanos marinos que ingieren sedimento y detritívoros (anfípodos, pepinos de mar), así como al zooplancton (Wright et al., 2013a Graham y Thompson, 2009, Thompson et al., 2009, Browne et al., 2008).

Se han realizado muchos estudios sobre la ingestión de microplásticos en bivalvos, debido a su actividad de alimentación mediante filtración.

Uno de ellos se realizó con el mejillón azul (*Mytilus edulis*) retirándose del mar en Port Quinn un número determinado de individuos para ser llevados al laboratorio, donde fueron expuestos a 0,51 g/l de microesferas de poliestireno, o un tratamiento de control sin microplásticos (Browne et al., 2008).

Dado que los plásticos permanecen en los sistemas circulatorios de los mejillones durante un período de tiempo muy prolongado, sus depredadores corren el riesgo de ingerir estas partículas cuando se alimentan de ellos. El 60% de las partículas ingeridas por el mejillón azul pasaron desde la cavidad intestinal hasta la hemolinfa, un

líquido que se encuentra en la mayoría de los invertebrados y que es equivalente a la sangre. El tamaño de estas partículas era de aproximadamente 3,0 μm (Browne et al., 2008) Normalmente este tipo de partículas se encuentra comúnmente en los cosméticos (Liebezeit, 2012).

En función del tamaño de las partículas los microplásticos serán confundidos con comida por unas especies u otras. En cosmética se emplean microplásticos de tamaño de partícula inferior a 1 mm, siendo los mejillones la especie más afectada por su presencia en el medio marino, tal y como puede observarse en la siguiente tabla:

Tamaño	Organismo afectado	Aplicación industrial
5-25 mm	Aves, peces	Pre-producción, gránulos (Pellets)
1-5 mm	Peces, crustáceos	Pellets
< 1 mm	Mejillones, Plancton	Micropartículas en sector cosmética

Tabla 30 Organismo afectado en función del tamaño de partícula

Los microplásticos ingeridos pueden provocar lesiones mecánicas en el tracto digestivo de estas especies, impedir la digestión o bloquear la ingesta de alimentos hasta el punto de que el animal se muere de hambre debido a una continua sensación de saciedad.

Además de las lesiones mecánicas, los componentes de estas micropartículas pueden ser tóxicos o causar alteraciones endocrinas (Rochman et al., 2013).

Por otra parte, debido a la absorción de contaminantes orgánicos persistentes en la superficie de estos microplásticos, los organismos marinos al ingerir las micropartículas ingieren también estos contaminantes (Teuten et al., 2007). Esto plantea el riesgo de que las sustancias tóxicas se acumulen en la cadena trófica y perjudiquen a una gran variedad de especies (Cole et al., 2011).

10.2.3. Modelos de evaluación de emisiones

Para evaluar las emisiones de microplásticos procedentes de esta Fuente se han estudiado las siguientes aproximaciones:

10.2.3.1 Modelo basado en el consumo de microplásticos en EEUU:

En un estudio llevado a cabo por Gouin en 2011, se calcularon los mg de microplásticos consumidos por persona y día en función de las toneladas fabricadas de jabón y geles de ducha en Estados Unidos en el año 2009.

Según los datos de mercado, los fabricantes de jabones y geles de ducha habrían usado 0.29 millones de litros de micropartículas de polietileno en 2009.

Por lo tanto, suponiendo una concentración de 0,9 g/cm³ para los polietilenos, este volumen correspondería a 261 toneladas de micropartículas.

Teniendo en cuenta la población en Estados Unidos (300 millones de personas), esto supondría un consumo anual per cápita de hasta 870 mg de micropartículas, o lo que es lo mismo un consumo diario per cápita de 2,4 mg micropartículas.

Para llevar a cabo este cálculo, se aceptaron las siguientes hipótesis:

1ª Hipótesis- Sólo el 15% de los fabricantes de productos de cuidado personal y cosmética utilizan microplásticos.

2ª Hipótesis - Las empresas que usan microplásticos como ingredientes en la formulación de sus productos, sólo lo hace en el 10% de los productos que comercializan. Este cifra está basada en una patente de 1972 de Estados Unidos donde se establecía que los microplásticos empleados en los productos exfoliantes debían tener una densidad comprendida entre 0.9 y 1.1, tamaños de partícula comprendidos entre 74 y 420 µm, forma homogénea sin bordes para evitar irritaciones y un volumen de micropartículas por producto comprendido entre el 3 y el 15% del volumen total (Beach 1972).

3ª Hipótesis - Dada la densidad del polietileno (0,9 g/cm³) que es el polímero empleado en el 93% de los casos, estimaron que cada producto contendría como máximo un 10% de microplásticos en su composición.

10.2.3.2 Modelo basado en el consumo de microplásticos en Europa:

En el año 2015 Gouin, llevó a cabo un segundo estudio utilizando en esta ocasión los datos de ventas europeos de 2012.

Para obtener los datos necesarios, Cosmetics Europe circuló una encuesta entre sus miembros. En la que cada uno de ellos debía reflejar si habían usado microplásticos como ingredientes en la fabricación de algún producto durante el año 2012, centrandolo estudio en productos de cosmética para la piel.

Se les solicitó además que incluyeran el nombre INCI (Nomenclatura Internacional de Ingredientes Cosméticos) de las partículas empleadas, la forma de las mismas (esférica, fragmentada, fibra) y el tamaño.

Dado que Cosmetics Europe, está formado por los principales fabricantes de productos de cosmética en Europa, se consideró que la información obtenida representaba adecuadamente al mercado Europeo.

Los datos recabados mostraron que el volumen total de microplásticos utilizado en el sector de la cosmética en los países de la Unión Europea, Noruega y Suiza en el año 2012 fue de 4.360 toneladas.

Para mejorar estos resultados y permitir una estimación geográfica, Euromonitor calculó los mg de microplásticos emitidos por persona y día en cada país en base a los litros de jabón comercializados, tomando como punto de partida las unidades vendidas en el año 2012 y multiplicando esas unidades por 0,3 litros (volumen medio por unidad).

País	Población (millones)	Gel de ducha litros x10 ³	Productos limpieza facial (Premium) litros x10 ³	Productos limpieza facial (masa producto) litros x10 ³	Jabón de manos litros x10 ³	Total
Austria	8.2	8881.0	51.0	1097.1	1922.2	1.20 10 ⁷
Bélgica	10.6	7864.8	20.4	1151.1	1661.8	1.07 10 ⁷
Bulgaria	7.3	1307.6	0.5	226.3	n/a	1.53 10 ⁶
Croacia	4.3	958.0	19.0	212.7	340.3	1.51 10 ⁶
Chipre	0.79	304.6	3.8	61.2	727.1	1.11 10 ⁶
Republica checa	10.2	4012.5	61.8	544.7	3155.1	7.72 10 ⁶
Dinamarca	5.5	2903.5	0.8	198.2	1678.8	4.84 10 ⁶
Estonia	1.3	312.0	9.2	76.1	154.9	5.44 10 ⁵
Finlandia	5.2	3617.3	999.0	424.4	2004.9	6.06 10 ⁶
Francia	64	67236.3	391.7	9511.8	17177.6	9.49 10 ⁷
Alemania	82	78551.4	126.5	14500.8	18443.8	1.12 10 ⁸
Grecia	10.7	8804.5	17.1	540.1	4723.4	1.42 10 ⁷

País	Población (millones)	Gel de ducha litros x10 ³	Productos limpieza facial (Premium) litros x10 ³	Productos limpieza facial (masa producto) litros x10 ³	Jabón de manos litros x10 ³	Total
Hungría	9.9	10736.4	1.5	450.7	4451.7	1.57 10 ⁷
Irlanda	4.1	2832.1	740.4	123.3	1489.5	4.45 10 ⁶
Italia	58.1	24750.2	1.5	2466.4	28067.9	5.60 10 ⁷
Letonia	2.2	229.6	1.8	47.8	261.7	5.41 10 ⁵
Lituania	3.5	450.8	2.2	69.3	238.8	7.61 10 ⁵
Luxemburgo	0.48	408.6	0.7	32.4	72.7	5.16 10 ⁵
Malta	0.40	133.4	23.3	11.5	94.3	2.40 10 ⁵
Holanda	16.6	15239.5	52.6	961.1	4216.0	2.04 10 ⁷
Polonia	38.5	13835.1	19.1	3564.0	6357.2	2.38 10 ⁷
Portugal	10.7	13416.8	2.4	146.6	989.8	1.46 10 ⁷
Rumanía	22.2	5300.2	0.7	481.8	3579.5	9.36 10 ⁶
Eslovaquia	5.4	3109.2	18.6	280.6	827.9	4.22 10 ⁶
Eslovenia	2	815.6	367.6	220.4	261.4	1.32 10 ⁶
España	40.5	110683.4	11.6	2854.2	11007.2	1.25 10 ⁸
Suecia	9	5361.4	407.0	433.3	5223.8	1.10 10 ⁷
Reino Unido	61	63204.3	61.1	7426.5	42114.7	1.13 10 ⁸
Noruega	4.9	4456.0	18.6	123.4	2558.5	7.20 10 ⁶
Suiza	8	9356.0		435.1	2967.8	1.28 10 ⁷
Total	516					6.88 10⁸

Tabla 31 Litros de jabón *comercializados* por país según Euromonitor (2012)

Teniendo en cuenta que según los resultados de la encuesta de Cosmetics Europe el 0.63% del volumen de jabón comercializado está formado por microplásticos, según estos datos, se usaron 4.130 toneladas de microplásticos en Europa, Noruega y Suiza, en productos de cosmética, lo que se traduce en un uso per cápita medio de 17.5±10 mg/día por individuo.

No obstante, este dato es una estimación estadística de la masa de microplásticos usados en los países de la cuenca del mar del Norte, tal y como puede observarse en la siguiente tabla:

País	Población (Millones)	Estimación Euromonitor de jabón líquido 2012 (Litros)	Estimación Euromonitor basada en el uso de microplásticos (Toneladas)	Uso Per cápita (mg/día)
Noruega	4.9	7.2 10 ⁶	43	24
Dinamarca	5.5	4.8 10 ⁶	29	14
Alemania	82	1.12 10 ⁸	671	22
Bélgica	10.6	1.07 10 ⁷	64	16
Francia	64	9.49 10 ⁷	570	24
Holanda	16.6	2.04 10 ⁷	122	20
UK	61	1.13 10 ⁸	680	30
Suiza	8	1.28 10 ⁷	75	26
Republica checa	10.2	7.72 10 ⁶	46	12
Países del Norte (Total)	263	3.84 10 ⁸	2300	21.3 ±6
EU + Noruega + Suiza	516	6.88 10 ⁸	4130	17.2 ±10

Tabla 32 Miligramos de microplásticos emitidos por persona y día (mg/día)

10.2.3.3 Modelo basado en el estudio de 6 muestras exfoliantes:

En un estudio realizado por Napper et al (2015), se eligieron seis muestras de exfoliantes faciales de diferentes marcas que se vendían en los principales supermercados de Plymouth (Reino Unido), llegándose a calcular la concentración de microplástico por cada muestra, de acuerdo con la siguiente gráfica (Figura 6):

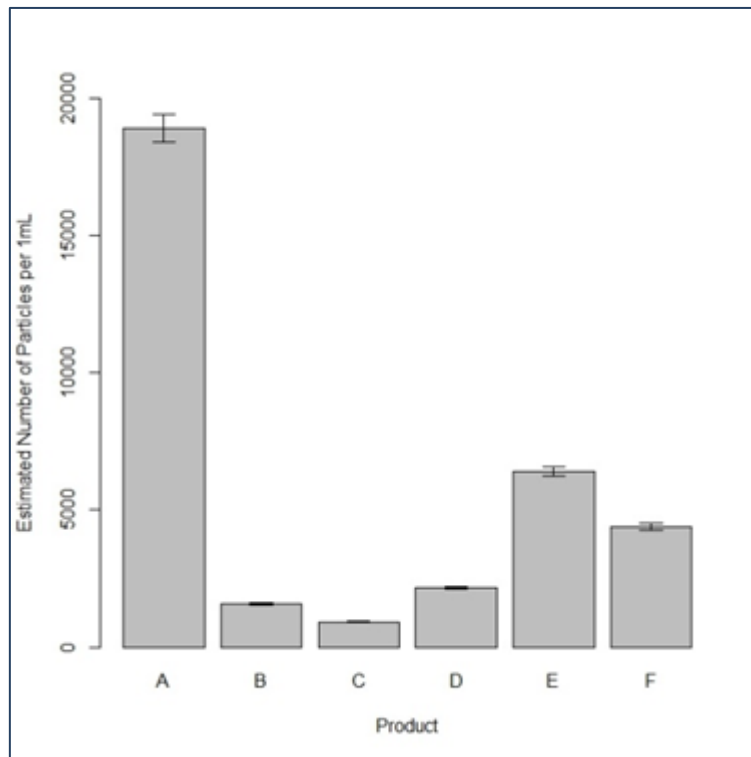


Figura 6 Número de partículas por ml de exfoliante

Para calcular los mg de microplásticos emitidos a las aguas superficiales se consideró que los exfoliantes faciales suelen emplearse una vez al día por alrededor de 1,1 millones de mujeres en el Reino Unido (Statista, 2013).

Centrándose en los productos utilizados en este estudio (A-F), y suponiendo que la cantidad diaria típica utilizada por cada persona es de 5 ml, se estarían emitiendo diariamente entre 4.594 – 94.500 partículas microplásticas a las aguas residuales.

10.2.3.4 Estimación emisión microplásticos en Alemania:

La Agencia Federal de Medio Ambiente encargó a Essel, et al. (2015) un estudio para tener una aproximación de las cantidades de microplásticos utilizados en los productos cosméticos en Alemania, además de la identificación de otras fuentes de microplásticos.

Los datos necesarios se obtuvieron mediante la revisión de los documentos disponibles, entrevistas telefónicas e incluso contactaron con 30 fabricantes de cosméticos y proveedores con sede en Alemania.

De las 30 empresas contactadas sólo la mitad respondieron a esta consulta, y de las que respondieron solo se pudieron utilizar los datos de 10 de ellas.

Según un artículo publicado en 2009 por Tolls, la producción total de cosméticos en Alemania en 2002 fue de 790.000 toneladas como puede observarse en la siguiente tabla. Según la Asociación de Industriales de la Perfumería y de los Detergentes (IKW) esta cantidad correspondería al volumen consumido, puesto que estos cosméticos no se suelen transportar a grandes distancias (Rettinger 2014).

PRODUCTO	PRODUCCIÓN (Toneladas)	PORCENTAJE
Gel de ducha, jabón	175.000	22.2
Champú	132.000	16.7
Limpiador corporal	118.000	14.9
Productos cabello	115.000	14.6
Productos piel	109.000	13.8
Higiene dental	65.000	8.2
Desodorantes	32.000	4.1
Otros artículos cuidado personal	21.000	2.7
Afeitado	18.000	2.2
Fragancias	5.000	0.6
TOTAL	790.000	100

Tabla 33 *Producción total de cosméticos en Alemania (Tolls, 2002)*

Para la realización de los cálculos tomaron como base el informe de Gouin de 2011 con alguna modificación:

1ª Hipótesis: El 15% de las empresas alemanas usan microplásticos en el 10% de sus productos, con un contenido promedio de micropartículas del 10%. Esta suposición está en línea con el enfoque adoptado por Gouin (2011).

2ª Hipótesis: El volumen producido de jabón líquido, geles para baño y ducha se ha mantenido constante en 175.000 toneladas desde 2002. Los geles de ducha y jabones líquidos que podrían contener microplásticos representan alrededor de 100.000 toneladas, las otras 75.000 corresponderían a geles de baño que no contienen microplásticos. Esta suposición se basa en un estudio de Tolls et al. (2009) y fue confirmado por los representantes de la IKW (Rettinger 2014).

3ª Hipótesis: la Asociación de Industriales de la Perfumería y de los Detergentes (IKW) confirman que el volumen de producción se corresponde con el consumido, puesto que estos cosméticos no se suelen transportar grandes distancias (Rettinger 2014).

4ª Hipótesis: Las micropartículas en la mayoría de los casos son de polietileno. Está suposición se basa en el informe de Gouin (2011).

En el caso de los productos de cuidado facial se considera que solo el 2,4% de los productos fabricados contienen microplásticos.

Por lo tanto para calcular los mg de microplásticos consumido por año y persona en función de las toneladas fabricadas de cada producto se aplicarían los siguientes porcentajes:

- Geles: Toneladas fabricadas x 15% x 10% x 10%
- Productos de cuidado facial: Toneladas fabricadas x 15% x 2,4% x 10%
- Body cleaners: Toneladas fabricadas x 15% x 10% x 10%
- Productos de higiene dental: Toneladas fabricadas x 10% x 10%
- Otros artículos: Toneladas fabricadas x 15% x 10% x 10%

Aplicados estos porcentajes a los datos de producción dados en la anterior tabla, se obtendrían los siguientes resultados:

PRODUCTO	TONELADAS POR AÑO	USO PER CÁPITA (Gramos por año)	USO PER CÁPITA (mg/día)
Gel de ducha, jabón	150	1.9	5.2
Limpiador corporal	177	2.2	6

PRODUCTO	TONELADAS POR AÑO	USO PER CÁPITA (Gramos por año)	USO PER CÁPITA (mg/día)
Productos cuidado facial	39	0.5	1.4
Higiene dental	98	1.2	3.3
Otros artículos cuidado personal	32	0.4	1.1
Total	496	6.2	16.9

Tabla 34 Miligramos de microplásticos emitidos por persona y día en función del tipo de producto cosmético

Según estos cálculos, el volumen de microplásticos empleado en el sector de la cosmética en Alemania fue de 500 toneladas de micropartículas de polietileno por año.

Si Alemania tiene una población de 80 millones de habitantes, esto supone un consumo de 6,2 gramos por habitante y año, o lo que es lo mismo 16.9 mg por habitante y día.

10.2.4. Estimación de aportes

De acuerdo con lo descrito en el apartado anterior y con los datos disponibles en nuestro país, se va a estimar el aporte de microplásticos de productos de cuidado personal, tomando como punto de partida los resultados de las encuestas realizadas por Cosmetics Europe y de los datos obtenidos por Euromonitor reflejados en la tabla 31.

Como se comentó en el apartado 10.2.3.2, en Europa+Noruega+Suiza se comercializaron $6,88 \times 10^8$ litros de jabón en el año 2012.

De acuerdo con dicha tabla, en España se comercializaron en el año 2012, $1,25 \times 10^8$ litros de jabón, lo que supuso el 18,4% del volumen total de jabón comercializado en Europa+Noruega+Suiza.

Suponiendo que el jabón líquido tiene una densidad aproximadamente igual al agua, su masa sería equivalente a su volumen, es decir, 125.000 t.

Teniendo en cuenta que según los resultados de la encuesta llevada a cabo por Cosmetics Europe el 0,63% del volumen de jabón comercializado está formado por

microplástico, en España en el año 2012 se emitieron **787,5 toneladas** de microplásticos a las aguas superficiales.

Con una población de 40,5 millones de personas esto supondría una emisión de **53.2 mg de microplásticos por persona y día**.

Con los resultados obtenidos en el año 2012, Cosmetics Europe hizo una recomendación para que las empresas que fabrican productos cosméticos eliminasen el uso de microplásticos de sus productos antes del año 2020.

Para medir el progreso de la eliminación del uso de microplásticos en cosméticos, Cosmetics Europe realizó una segunda Encuesta en el año 2015, en línea con la realizada en el año 2012.

Según los datos recabados en esta segunda encuesta, el volumen total de microplásticos utilizado en el sector de la cosmética en los países de la Unión Europea en el año 2015 fue de **748 toneladas**, lo que supone una reducción del 83% respecto a los datos recabados en el año 2012.

Suponiendo que los hábitos de consumo se hubieran mantenido desde la encuesta de Euromonitor de 2012, el 18,4% de la masa anterior se habría emitido en nuestro país, por lo que la cantidad de microplásticos emitida a las aguas superficiales en el conjunto nacional en 2015 ascendería a 137,63 toneladas. Teniendo en cuenta, al igual que se hace en la evaluación del resto de fuentes, que la población a considerar para las emisiones al medio marino no es la total de España (46.438.442 habitantes a 1 de enero de 2016 según las cifras del INE) sino la correspondiente a las provincias litorales (30.059.326 personas, según se detalla en el apartado 9 del presente informe), la cantidad de microplásticos emitida resultaría ser de **89,09 toneladas/año**.

El modelo de evaluación adoptado, basado en la encuesta de Cosmetics Europe realizada en el año 2015 pero manteniendo los datos de consumo de productos cosméticos de Euromonitor en 2012 indica que los aportes procedentes de esta fuente serían de:

**EMISIONES AL MEDIO MARINO DE MICROPLÁSTICOS
PROCEDENTES DEL SECTOR COSMÉTICO:**

89,09 t/año

En la anterior estimación no se ha incluido ningún factor de corrección debido a una hipotética retirada de estas partículas en los procesos de depuración de aguas residuales dado que, a diferencia de los aportes de otros sectores, el tamaño tan pequeño de las partículas consideradas implica que las actuales técnicas de depuración no resulten demasiado efectivas.

Asimismo, y debido también al tamaño tan pequeño de las partículas, en el modelo de cálculo se han considerado, a diferencia de otras fuentes, que la totalidad de las partículas emitidas a las aguas superficiales tendrán el mar como destino final, con independencia de su lugar de origen.

10.3. PELLETS COMO FUENTES DE MICROPLÁSTICOS

10.3.1. Los pellets de pre-producción

Entre los microplásticos primarios se encuentran los pellets, escamas o polvo de plástico sin transformar, es decir tal como se fabrica la materia prima plástica para luego transformarla en los distintos productos plásticos acabados, como por ejemplo envases, tuberías, parachoques de coches, etc.

La pérdida de pellets puede suceder durante la producción y transformación y en cada uno de los procesos logísticos: transporte, almacenamiento, ensacado, paletizado, carga y descarga y lavado de camiones cisterna, pudiendo acabar en el medio ambiente por el arrastre de las aguas pluviales, arroyos, ríos o a través de las redes de saneamiento.

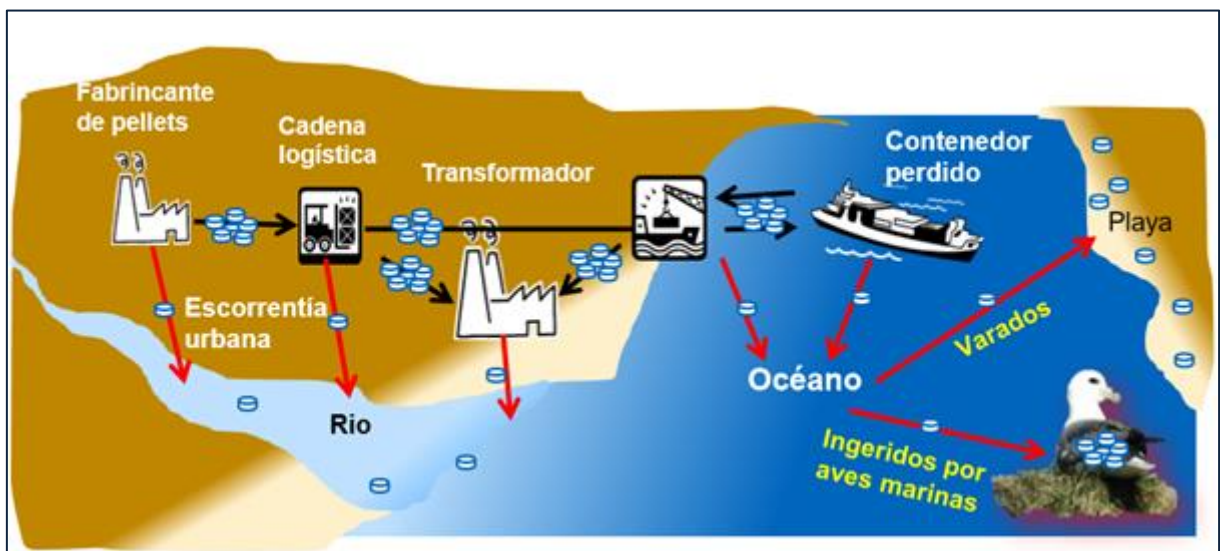


Figura 7 Pérdida de pellets durante los diferentes procesos de producción, transformación, tránsito etc.

Para evitar pérdidas se debe involucrar a toda la cadena de valor de la industria plástica por ejemplo implantando medidas sencillas pero eficaces, concienciando e involucrando a todas las personas que trabajan ahí e implementando herramientas adecuadas.

Históricamente los pellets han sido un componente importante del conjunto de microplásticos que aparecían en el medio marino, sin embargo la cantidad con la que aparecen en los océanos ha ido decreciendo con el tiempo.

Un estudio de J.A van Franeker y Law (2015) indica una disminución de la cantidad con la que aparecen los pellets en el Mar del Norte de aproximadamente un 75% desde la década de los ochenta a esta parte. Sin embargo Moret-Ferguson en sus estudios registra una disminución similar pero desde los años 90.

Las mediciones en los dos estudios se realizaron en diferentes partes del Atlántico Norte, pero las tendencias parecen similares. A pesar de la tendencia decreciente, las emisiones de pellets continúan a día de hoy siendo un problema apareciendo en puertos industriales, en las playas, etc.

El mar Mediterráneo está particularmente expuesto a la contaminación de los plásticos, con sus amplias zonas de costa industrializada y de naturaleza cerrada.

En un estudio llevado a cabo por Codina-García se estudiaron 171 aves atrapadas accidentalmente por palangreros entre mayo de 2003 y junio de 2010 a lo largo de la costa catalana en el Mediterráneo occidental. El 66% de las aves tenían al menos una pieza de plástico en sus estómagos. El tamaño medio de estos fragmentos era de 3.5mm con un peso de 2.26 miligramos.

Estos fragmentos en su mayoría eran trozos de bolsas de plástico, piezas de plástico duro procedentes de botellas, siendo los pellets una minoría. Este dato estaría en línea con los estudios que hablan de que la ocurrencia de este tipo de contaminación ha estado cayendo en los últimos años.

Para abordar el problema de los derrames en toda la cadena de suministro, la industria estadounidense inició un programa en la década de los 90, "Operation Clean Sweep" (OCS).

Este programa tiene como objetivo sensibilizar y difundir buenas prácticas a fin de minimizar la pérdida de pellets a lo largo de toda la cadena de proceso.

10.3.2. Plan de acción de la industria plástica para el control de la granza en España

Como se ha comentado anteriormente en Estados Unidos se implantó un programa para el control de la granza desarrollado en Estados Unidos por la Asociación Norteamericana de Plásticos (SPI) denominado Operation Clean Sweep.

Este programa ha cumplido ya 25 años de implantación y recientemente PlasticsEurope ha obtenido los derechos para Europa y la Asociación Española de Industriales de Plásticos (ANAIP) para España.

Las empresas que se adhieren a este programa se comprometen a llevar a cabo en sus instalaciones cuatro medidas:

1. Una auditoría para detectar los puntos de pérdida
2. Una propuesta de medidas correctoras y su implementación
3. Un programa de formación para sensibilizar a los empleados
4. Integrar las medidas en el sistema de gestión medioambiental de la empresa.

Para ello hay que evitar la pérdida de pellets en los centros productivos, durante el transporte y en los centros de transformación. Involucrando a los distribuidores, operadores logísticos y transportistas.

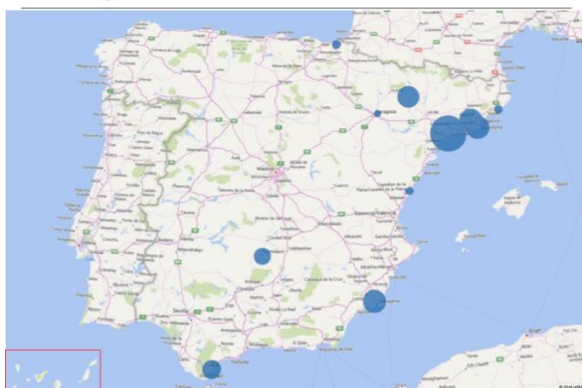


Figura 8 Ruta centros productivos-transporte-centros de transformación

En los siguientes mapas se puede observar la ubicación de los centros de producción de materias primas, fabricación de compuestos/reciclados, la situación de los transformadores y los centros de fabricación de la industria plástica.

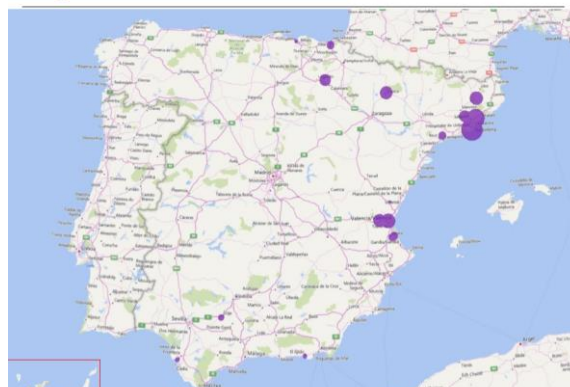
Centros de producción de
Materias primas

ANAIIP PlasticsEurope



Centros de fabricación de
compuestos/reciclados

ANAIIP PlasticsEurope



Centros de transformación

ANAIIP PlasticsEurope



Centros de fabricación de la
industria plástica

ANAIIP PlasticsEurope

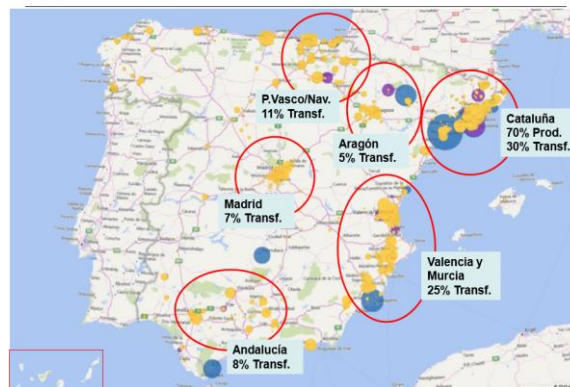


Figura 9 Mapas Centros de transformación, fabricación de compuestos, centros de transformación

Esto origina que las principales áreas de acumulación potencial de granza estén situadas en:

Cataluña:

- Desembocadura del Francolí
- Desembocadura del Besós
- Desembocadura del Llobregat
- Puerto de Tarragona
- Desembocadura del Ebro

Valencia y Murcia:

- Desembocadura del Turia
- Puerto de Valencia
- Puerto de Alicante

Aragón:

- Ebro

País Vasco:

- Puerto de Bilbao

En España, ANAIP y PlasticsEurope han firmado un acuerdo de colaboración para promover la implementación de OCS en la cadena de valor de los plásticos, elaborando un plan de implementación, no solo para las fábricas sino también incluyendo todo el proceso logístico.

10.3.3. Toxicidad

La toxicidad de los pellets es debida por una parte a su pequeño tamaño (5 mm o menos), pudiendo fragmentarse con el tiempo casi indefinidamente llegando a tener el tamaño de un grano de arena, con lo que pueden ser confundidos con alimentos planctónicos por los animales que se sitúan en la parte más baja de la cadena alimentaria. Estas partículas microscópicas pueden pasar directamente al sistema circulatorio de un animal y alojarse en sus tejidos.

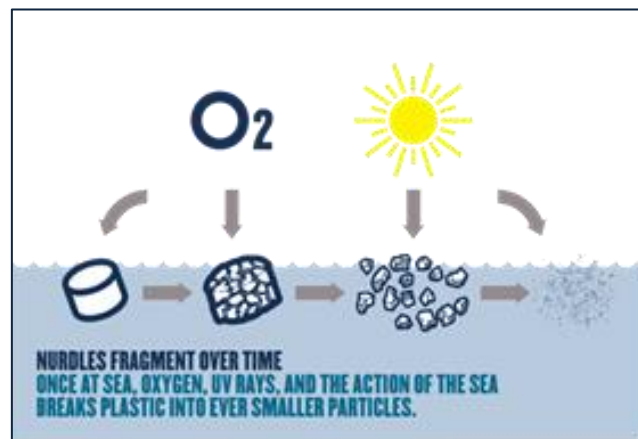


Figura 10 Degradación pellets

Por otra parte, los pellets sin fragmentar también pueden ser ingeridos por otros animales de mayor tamaño que los confunden con comida, de manera que el plástico queda atrapado en su estómago causando ulceraciones, haciéndolos sentir saciados etc. Además los compuestos químicos adheridos a los pellets pasarían de esta manera a la cadena alimentaria.



Figura 11 *Introducción de los pellets en la cadena alimenticia*

A lo largo de estos años se han realizado numerosos estudios con diferentes especies de aves, peces, moluscos etc para determinar el contenido de plástico en sus estómagos.

Entre los años 2003 y 2007 J.A. van Franeker llevo a cabo un estudio en el mar del norte con 1295 fulmares, de las cuales el 95% contenían plásticos (un promedio de 35 piezas por ave que pesaban 0.31g).

El Sistema OSPAR de Objetivos de Calidad Ecológica para el Mar del Norte (EcoQO) define como una calidad ecológica aceptable una situación en la cual no más del 10% de fulmares exceden de un nivel crítico de 0,1 g de plástico en su estómago. El EcoQO se está utilizando como un indicador para el buen estado medioambiental en la Directiva Marco de la Estrategia Marina Europea.

En la siguiente imagen se observan 278 pellets que fueron recuperados del estómago de un fulmar:



Figura 12 *Muestra de pellets recuperados del estómago de un fulmar. Foto: J. A. van Franeker, Wageningen IMARES*

Airam Rodríguez estudió los polluelos de *Calonectris diomedea* para evaluar la transferencia intergeneracional de plástico, analizando los polluelos que encontraban muertos debido a accidentes por la contaminación lumínica.

El 83% de los polluelos analizados tenían plásticos en sus estómagos, con un promedio de 8,0 piezas de plástico por ave.

Por último, otro problema que presentan los pellets es que pueden llegar a ser tóxicos debido a la acumulación de sustancias persistentes bioacumulables tóxicas (PBT's) en su superficie. Estos compuestos son químicos industriales que pueden acumularse en el tejido de los animales causando un daño irreparable a largo plazo. Los plásticos actúan como unas esponjas para estas toxinas que se acumulan en su superficie en concentraciones muy superiores a las del agua del mar circundante.

La mayoría de los PBT son sustancias prohibidas altamente peligrosas que persisten en el medio marino: Dicloro difenil tricloroetano (DDT), policlorobifenilos (PCB), organoclorados (HCH) y nonifenol etoxilato (NPE).

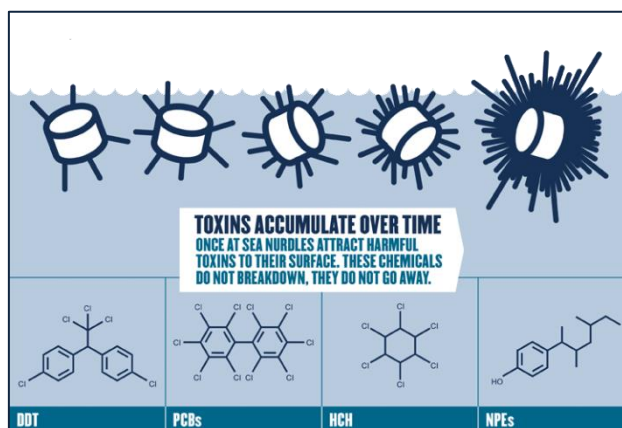


Figura 13 Compuestos tóxicos acumulados en la superficie de los pellets

10.3.4. Modelos de evaluación de emisiones

10.3.4.1 Modelo alemán sobre emisión de pellets al medio marino:

Un estudio llevado a cabo por la Empresa alemana de inversiones y reciclado de plástico (BKV) reveló que la eficiencia en la fabricación de plásticos ha crecido en los últimos cincuenta años casi un 45%.

En 1964 los fabricantes de plástico necesitaban una media de 1.185 Kg de materia prima para fabricar 1.000Kg de polipropileno. En 1999 esta cantidad se había reducido a 1.009 Kg.

Las cifras actuales indican un rendimiento del 99.7% en el proceso (Sartorius 2012).

Este modelo cifra por tanto la pérdida de pellets en un intervalo del 0,1 al 1% de la producción total de plásticos en Europa, si bien no se distingue entre las fases de producción y transporte.

10.3.4.2 Modelo noruego sobre emisión de pellets al medio marino:

En este modelo para calcular la contaminación de microplásticos por pellets se diferencia entre:

- Pérdidas de pellets originadas durante el transporte
- Pérdidas de pellets originadas en el proceso de producción.

Para calcular la emisión de pellets por derrame durante el proceso de transporte se ha tomado como referencia el factor de emisión desarrollado por la Agencia de protección del Medio Ambiente de EEUU (USEPA) para estimar las liberaciones durante los procesos de transporte, carga y descarga de sólidos, definiendo un factor de emisión en los procesos de transporte del 0.5% de los sólidos manipulados (5 gr/kg manejado). Este valor está basado en un estudio de 13 fuentes incluyendo informes de distintos escenarios documentados por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). Los resultados de estas estimaciones variaban entre cantidades insignificantes y el 3% del volumen transferido, por lo que se decidió tomar como valor del factor de emisión la media del límite superior de cada conjunto de datos.

El volumen de pellets transportado en Noruega anualmente es de 500.000 toneladas aproximadamente (teniendo en cuenta la importación y la producción para exportación). Esta cantidad daría en el peor de los casos sin tener en cuenta ninguna medida de control un derrame de pellets de unas 2.500 toneladas. Aunque no se cuenta con datos sobre las medidas de control tomadas, se considera que los derrames de pellets disminuyen en un 90% gracias a las medidas de control tomadas durante el transporte, ajustando la estimación del volumen derramado a 250 toneladas.

Para la pérdida de pellets durante el proceso de producción se considera un factor de emisión de 0,4 gramos/ kg producido (factor emisión del 0.04%), es decir una emisión aproximada de 200 toneladas anuales.

10.3.4.3 Modelo danés sobre emisión de pellets al medio marino:

Con el fin de obtener información más específica acerca de los porcentajes de derrames de pellets en los procesos de producción, la Federación Danesa de Plásticos contactó con nueve empresas a las que les hizo llegar un cuestionario.

De las nueve empresas contestaron al cuestionario ocho de ellas, las cuales utilizan alrededor de 40.000 toneladas de materia prima por año, lo que supone el 7% del consumo anual de materia prima de plástico en Dinamarca.

Por otra parte, de las ocho empresas, siete se habían comprometido con la Operación Clean Sweep. Los derrames variaban de una compañía a otra, siendo en promedio del 0.04%.

10.3.5. Estimación de aportes

Teniendo en cuenta las aproximaciones llevadas a cabo en otros países que se han expuesto en el apartado anterior, se va a calcular la estimación de aportes en España.

Las cifras que se van a emplear en este estudio son las facilitadas por la Asociación Española de Industriales del Plástico (ANAIP) y PlasticsEurope del mercado español de termoplásticos en el año 2015.

Mercado Español Termoplásticos 2015 en kg				
Fam. Productos	Producción Est	Exportación	Importación	Cons. Aparente
Poliolefinas	3.124.387.788	1.668.285.300	1.712.096.700	3.168.199.188
Poliésteres	643.863.450	316.802.600	151.669.900	478.730.750
Vinílicos	542.737.850	337.817.500	123.875.400	328.795.750
Otros	438.922.420	445.016.300	229.938.400	223.844.520
Estirénicos	296.758.910	216.667.100	172.528.900	252.620.710

Mercado Español Termoplásticos 2015 en kg				
Fam. Productos	Producción Est	Exportación	Importación	Cons. Aparente
Acrílicos	140.547.750	109.750.300	170.801.100	201.598.550
Total	5.187.218.168	3.094.339.100	2.560.910.400	4.653.789.468

Tabla 35 Datos del mercado español de termoplásticos (PlasticsEurope-ANAIP)

1º) Cálculo de la emisión de pellets originada por las operaciones de transporte, carga y descarga:

Para el cálculo de las pérdidas de pellets originadas durante el transporte se aplican dos factores de emisión distintos, por un lado el desarrollado por la Agencia de protección del Medio Ambiente (USEPA) que es del 0.5% y por otro el factor de emisión elaborado por EUNOMIA en base al estudio realizado en Noruega (0.05%).

Considerando como dato la suma de la producción más la importación en total se habrían transportado, cargado o descargado en España 7.748.128 toneladas de plástico de pre-producción en el año 2015.

De esta manera, se obtiene una pérdida de pellets al medio en las operaciones de transporte para el conjunto nacional, de 38.740,6 toneladas/año de pellets aplicando el factor de emisión 0,5%, y de 3.874 para el de 0,05%. Para calcular la pérdida de pellets se considera la media de los dos valores anteriores y se corrige ese valor en función del consumo efectivo de materia prima en las CCAA litorales que, de acuerdo con los datos facilitados por PlasticsEurope resulta ser del 79.6% (ver Tabla 36).

Descontando, pues, el volumen transportado en o hacia CCAA interiores en los que las posibles pérdidas quedarían retenidas en embalses, etc, se obtendrían unas emisiones de pellets al medio de 30.837,5 toneladas/año.

Contando que, en el caso más desfavorable, la totalidad de ese volumen pudiera llegar a las aguas superficiales y aplicando el factor de retirada debido a los procesos de depuración de aguas residuales (70%), se podría estimar que se podrían estar emitiendo el medio marino **5.088 toneladas** de pellets originados durante las operaciones de transporte, carga y descarga.

Comunidad Autónoma	% Consumo
CATALUÑA	32,8%
COMUNIDAD VALENCIANA	19,1%
PAIS VASCO	8,0%
ANDALUCIA	7,8%
MADRID	6,9%
MURCIA	5,1%
ARAGON	5,0%
GALICIA	3,1%
NAVARRA	2,8%
CANTABRIA	2,2%
CASTILLA-LEON	2,0%
LA RIOJA	1,6%
CASTILLA-LA MANCHA	1,4%
ASTURIAS	1,0%
EXTREMADURA	0,8%
ISLAS CANARIAS	0,4%
ISLAS BALEARES	0,1%
Total	100,0%

Tabla 36 *Porcentaje de consumo de termoplásticos por Comunidad Autónoma*

Se espera que en un futuro esta cantidad pueda disminuir en un gran porcentaje gracias a la puesta en marcha de los planes de acción por el propio sector para el control de la granza.

2º) Cálculo de la emisión de pellets originada en la etapa de producción:

Para calcular la pérdida de pellets originada en los procesos de producción se han aplicado las estimaciones de los modelos noruego y danés (factor de emisión del 0,04%).

Según las cifras de producción, en el año 2015 se produjeron 5.187.218,168 toneladas de plástico, lo que supondría 2.075 toneladas de pellets perdidos durante el proceso.

Tras aplicar el factor de corrección por la depuración, la cantidad que llega al mar se podría estimar en **622,5 toneladas/año** de pellets.

La aplicación de los anteriores modelos llevaría a unas emisiones totales de pellets al medio marino de **5.088** (transporte) + 622,5 (producción) toneladas, es decir **5.710 toneladas por año**.

3º) Cálculo de la emisión de pellets según el modelo alemán:

El modelo alemán para cuantificar la pérdida de pellets no distingue entre las fases de producción y transporte, haciéndose una estima el factor de emisión para todos los procesos de entre el 0.1% y el 1%. Con un valor de producción de 5.187.218 toneladas de plásticos, esto supondría una pérdida de pellets de entre 5.187 y 51.872 toneladas anuales.

10.3.6. Conclusiones

Según los modelos se pueden estar vertiendo al mar unas 5.088 toneladas al año en las operaciones de transporte y unas 622 toneladas al año en los procesos de producción, es decir un total de **5.710** toneladas por año.

Las emisiones obtenidas según el modelo alemán parecen muy apartadas de la realidad y de las cifras resultantes de los otros modelos considerados, razón por la que no se tienen en consideración.

**EMISIONES AL MEDIO MARINO DE MICROPLÁSTICOS
PROCEDENTES DE LOS PELLETS DE PRE-PRODUCCIÓN:**

5.710 t/año

10.4. LAVADO DE ROPA SINTÉTICA COMO FUENTE DE MICROPLÁSTICOS

10.4.1. La ropa sintética

Si hasta hace escasamente cincuenta años solo se utilizaban en la confección de prendas fibras naturales como el algodón, la seda, la lana o el lino, hoy en día, la mayor parte de la ropa que utilizamos está hecha con materiales sintéticos que contienen algún componente que obtenemos de la industria del petróleo. Tejidos como el poliéster, la viscosa, el rayón o el nylon tienen propiedades diferentes, que las hacen aptas para un sinfín de tipos de prendas.

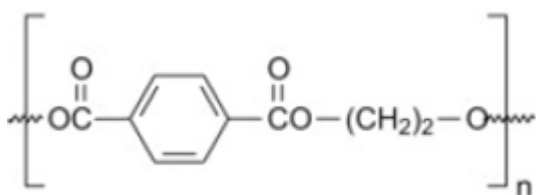
La microfibrilla tiene cada vez más importancia en la industria textil. Generalmente están compuestas de 80% de poliéster y de 20% de poliamida, con el diámetro medio de una fibra de seda (aproximadamente la centésima parte de un cabello humano). Sus tejidos presentan una elevada suavidad e indeformabilidad, lo que ofrece unas características muy ventajosas como gran capacidad de absorción (más o menos el doble que el algodón), gran capacidad de limpieza, gran resistencia a los lavados frecuentes y se pueden lavar a temperaturas de hasta 95°C (según marcas), lo que las hace sumamente higiénicas.

A diferencia de las fibras artificiales, que proceden de materiales naturales (básicamente celulosa), las sintéticas se obtienen a partir de polímeros sintéticos derivados del petróleo. Las más comunes son:

- Poliéster
- Acrílico
- Polipropileno
- Poliamidas (Nylon)

Poliéster:

Se pueden definir como aquellas fibras que están compuestas de un polímero de macromoléculas cuya cadena contiene un mínimo del 85% en peso de un éster de un diol y del ácido tereftálico.



La fibra de poliéster de mayor importancia comercial es la obtenida a partir del poli(etilentereftalato) (PET). También se fabrican fibras a partir del polímero que se obtiene por condensación del ácido

tereftálico y del 1,4 dimetilcicloexano (PCHDT) y del polibutilentereftalato (PBT). Se trata de una fibra de amplia difusión comercial con una gran variedad de aplicaciones.

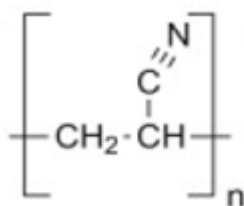
En lo relativo a sus propiedades físicas las fibras de poliéster tienen una densidad de 1,38 g/cm³ y la forma de su sección transversal es redonda, aunque existen variantes con secciones transversales de forma especial (tri-, penta-, octo-lobulada) y a veces huecas o con varios huecos que recorren la totalidad de la fibra. Su tenacidad oscila entre 23 y 80 cN/tex.

Respecto a sus propiedades químicas y de sorción se puede indicar que las fibras de poliéster son altamente hidrofóbicas.

La primera aplicación de las fibras de poliéster fue en camisas de punto para hombre y en blusas para mujer. También se utilizaron los filamentos en cortinas ligeras, donde la excelente resistencia de las fibras a la luz así como su grueso, las hicieron especialmente adecuadas. Actualmente es extensamente utilizado en indumentaria, textil hogar y en aplicaciones industriales. Cuando se trata de prendas de vestir se utiliza como multifilamento y como fibra discontinua solas o mezcladas con otras fibras, principalmente algodón, pero también viscosa, lana y lino e incluso seda natural. Con poliéster se fabrican tejidos ligeros para corbatas, lencería femenina y forros. Como aplicaciones domésticas pueden citarse las correspondientes a cortinas, mezclada con algodón sábanas, tapicería, decoración, alfombras y fibras de relleno (almohadas, colchas, sacos de dormir). También tiene aplicaciones industriales en neumáticos, velas de barco, redes, cordelería, cables e hilos de coser.

Fibra acrílica:

Se trata de un polímero constituido por macromoléculas lineales cuya cadena contiene un mínimo del 85% en masa de unidad estructural correspondiente al acrilonitrilo. Sus propiedades de alta voluminosidad con tacto cálido parecido a la lana, su excelente resiliencia, su baja densidad y su tacto agradable hacen que se hayan convertido en una alternativa de la lana en el campo del vestido y de los textiles para interiores.

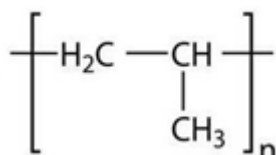


La primera fibra acrílica (poliacrilonitrilos) obtenidas por polimerización del acrilonitrilo fueron lanzados al mercado en 1948, con el nombre de Orlon. Fibras similares se fabricaron en 1954 por Alemania con el nombre de Dralon y en Francia con el nombre de Crilon.

En lo relativo a sus propiedades físicas tienen una densidad de 1,14 a 1,18 g/cm³, la forma de la sección transversal puede ser redonda, similar a la de una judía o parecida a un hueso. Su tenacidad oscila entre 18 y 32 cN/tex en seco y entre 14 y 24 cN/tex en húmedo.

Entre los principales usos de este tipo de fibras destacan la fabricación de prendas exteriores de punto, mantelerías, cortinas, tapicerías, mantas, alfombras y terciopelos. También son importantes las aplicaciones industriales en filtración, productos fibrocemento y como precursores de fibras de carbono y de las fibras acrílicas parcialmente oxidadas.

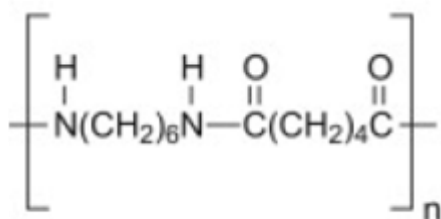
Polipropileno:



Se obtiene por polimerización del propileno mediante catalizadores heterogéneos estereoespecíficos. Es muy ligera y es la que menos cantidad de agua absorbe, entre un 0,05% y un 0,01%. A pesar de esto se resiste bastante a ser traspasada por la transpiración en estado líquido, por lo que se combina con tejidos o se construye en tejido abierto tipo red para evitar este serio inconveniente. Es muy utilizada para confeccionar ropa interior, calcetines y guantes interiores. Es muy resistente al uso.

Poliamidas:

Como fibras de poliamida o nylon se consideran las fibras formadas por macromoléculas lineales cuya cadena presenta una repetición del grupo funcional amida. Las poliamidas se pueden encontrar en la naturaleza, como la lana o la seda, y



también ser sintéticas, como los distintos tipos de Nylon, un sólido opaco, blanco, que puede presentarse de diferentes formas aunque los dos más conocidos son la rívida y la fibra. Es duro y resiste tanto al rozamiento y al desgaste como a los agentes químicos. Fue patentado en EEUU en 1938 y desde un año después ya se empezó a utilizar en la fabricación de medias para señora debido a su mayor resistencia a la rotura.

Entre los diferentes tipos de nylon, se pueden destacar:

- Nylon 6 (también conocido como Coprolactama ó Perlón L), polímero formado por auto condensación de ácido 6-aminocaproico.
- Nylon 6,6 (conocido comercialmente como Perlón T), polímero del ácido hexametilendiamina y el ácido adipico.
- Nylon 11, polímero del ácido aminoundecanoico, conocido comercialmente como "Risal".
- Nylon 6,10: Es un polímero fabricado por condensación de ácido hexametilendiamida y el ácido sebasico.
- Nylon 12: Se elabora a partir de polilaurilamida, que tiene 12 átomos de carbono.

En lo referente a sus propiedades físicas tanto las fibras de nylon 6.6 como las de nylon 6 tienen una densidad baja (1,14 g/cm³). La forma de su sección transversal es redonda pero existen tipos trilobales y multilobales (estrella) y fibras con huecos continuos o discontinuos, especialmente adecuadas para determinadas aplicaciones. Su tenacidad oscila entre 36 y 86 cN/tex en seco y de 33 a 73 cN/Tex en húmedo.

Hoy en día, el nylon es uno de los muchos productos de polímeros de uso diario común en todo el mundo ya que su facilidad de fabricación y versatilidad hace que puede ser usada tanto en el campo del vestuario como en la fabricación de artículos de aplicación técnica. Es ampliamente utilizado en calcetería, lencería, ropa interior, sueteres y otros artículos de punto. También se emplea mucho en prendas ligeras como anoraks y en aplicaciones domésticas como alfombras y tapicerías. Como aplicaciones industriales puede citarse su uso en neumáticos, paracaídas, velas de barcos, cables, cuerdas, juntas, cojinetes, etc.

También, dentro de la categoría de poliamidas, cabe destacar el Teflón (Tetrafluoretileno / politetrafluoroetileno –PTFE) ampliamente utilizado en la industria textil como repelente de agua y manchas y el Kevlar y el Nomex, si bien la utilización de estos compuestos, fundamentalmente por su elevado precio, no está extendido a un uso doméstico.

10.4.2. Producción y consumo de ropa sintética

Hasta finales del siglo XIX todas las fibras empleadas para la fabricación de tejidos eran fibras naturales (lino, lana, algodón, seda, etc.). Los avances de la industria textil se producían hasta entonces en aspectos relacionados con el tratamiento industrial de la fibra. Más tarde, desde la última década del siglo XIX y, sobre todo, desde las primeras décadas del siglo XX, el descubrimiento de nuevos materiales fomentó el

desarrollo de textiles elaborados con fibras artificiales, como el rayón, o fibras sintéticas, como el nylon, el poliéster o la lycra.

De acuerdo con FAO/ICAT (2013), después de unos años de caídas en el consumo, la demanda de fibras textiles a nivel mundial alcanzó su máximo en 2010, con 69,7 millones de toneladas. El sector de fibras sintéticas fue el principal causante de este aumento de la demanda que representó, para ese año, el 60,1% del total consumido, tal y como se refleja en la Figura 14. No obstante a lo anterior, existe una diferencia significativa en la demanda de fibras sintéticas entre los países desarrollados y aquellos en vías de desarrollo ya que en los primeros la demanda de fibras sintéticas resulta inferior (48,2%) y a un nivel similar al de las fibras de algodón (43,2%) mientras que en los en vías de desarrollo su demanda es netamente superior y se eleva hasta el 68%.

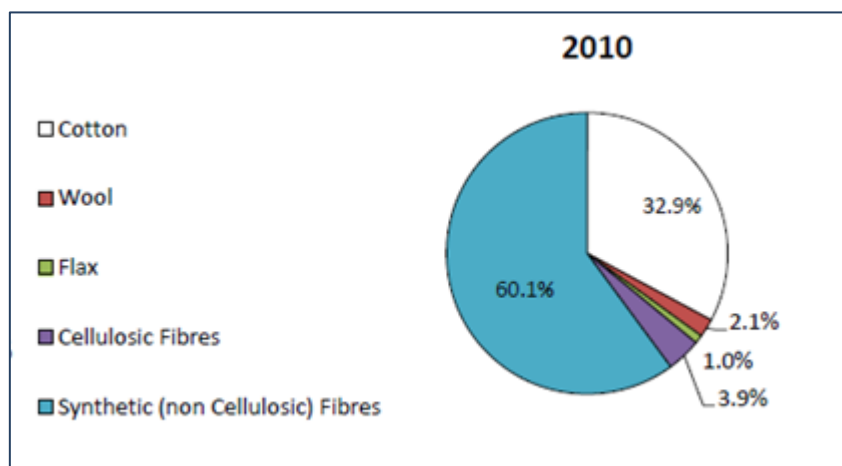


Figura 14 Consumo mundial de textiles (2010). Fuente FAO/ICAC

Datos posteriores, correspondientes a la consultora The Fiber Year, indican que en 2015 el consumo mundial se elevó hasta los 94,9 millones de toneladas de las cuales el 70,4% se corresponden con fibras no naturales.

En el Congreso de 2014 de la Industria Petroquímica asiática (APIC) se presentaron proyecciones de mercado que indican, de acuerdo con la Figura 15, que para el año 2025 las fibras sintéticas representarán, a nivel mundial, más del 75% de la producción textil.

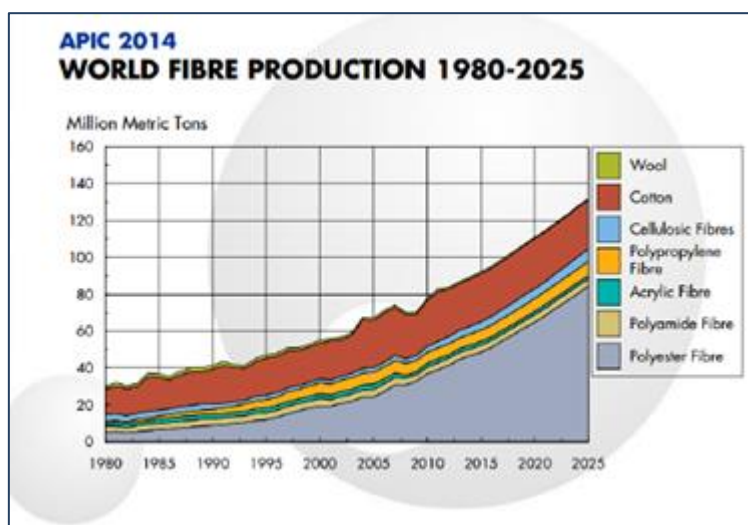


Figura 15 Producción histórica de fibras y proyecciones hasta 2025. Fuente Qin (2014) Synthetic Fibres Raw Materials Committee Meeting at APIC 2014

De la gráfica anterior, cabe interpretar que de los textiles comúnmente utilizados en el año 2017 la distribución en porcentaje sería, aproximadamente, la siguiente:

PRODUCCIÓN FIBRA 2017 (%)	
Poliéster	58
Poliamida	3
Acrílico	2
Polipropileno	6,5
Celulósicas	5
Algodón	25
Lana	0,5

Tabla 37 Porcentaje de producción de textiles por tipo de fibra

La demanda de los diferentes tipos de tejido en las diferentes partes del mundo puede observarse en la Figura 16.

Para países de Europa occidental como España, se eleva a unos 22 kg por persona y año de los que más del 70% corresponde con tejidos artificiales o sintéticos diferentes a la lana o el algodón.

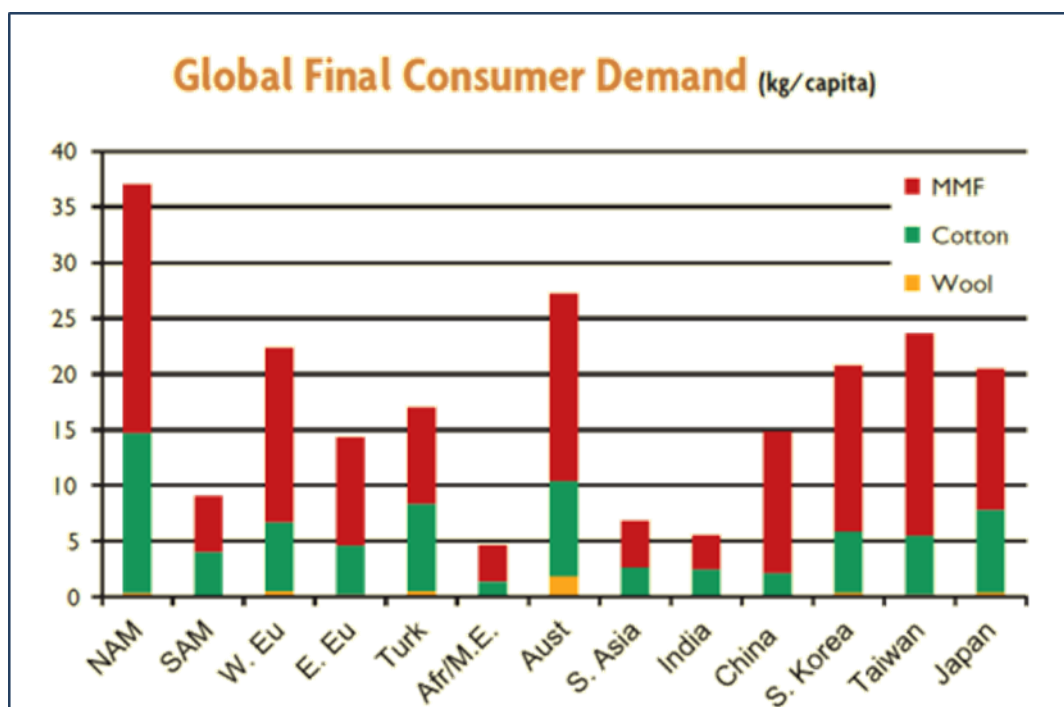


Figura 16 Demanda mundial de los diferentes tipos de tejido. Fuente TextileWorld. Man-Made Fibers Continue To Grow. Febrero, 2015. En <http://www.textileworld.com/textile-world/fiber-world/2015/02/man-made-fibers-continue-to-grow>

10.4.3. El lavado de ropa sintética como fuente de microplásticos

La liberación de fibras del tamaño de microplástico como resultado del lavado de textiles ha sido ampliamente reportada como una fuente potencial de microplásticos para el medio acuático pero, sin embargo, existen pocos resultados cuantitativos sobre la importancia relativa de esta fuente o los factores que podrían influir en tales descargas.

El lavado de la ropa libera fibras que, a través de las aguas residuales llegan a las plantas de tratamiento donde, debido a su pequeño tamaño, una cierta proporción no será retirada y se libera de nuevo a las aguas superficiales o al medio marino.

Un estudio realizado por Browne et al. (2011) concluye que una sola prenda podría producir una liberación de 1.900 fibras por lavado. Todas las prendas liberaron más de 100 fibras por litro de agua evacuada, si bien en prendas tipo forro polar la liberación de microfibras resultó ser un 180% superior a la de otros tipos de prenda. El mismo

estudio incluyó el análisis de muestras recogidas en 18 playas repartidas por los 5 continentes detectándose una concentración de entre 8 y 125 fibras por litro de sedimento y compuestas por poliéster (56%), acrílico (23%), polipropileno (7%), polietileno (6%) y fibras de poliamida (3%). Se detectó una relación significativa entre su abundancia y la densidad de población en el entorno del lugar de muestreo.

Por otra parte, en un estudio realizado por la Universidad de Estocolmo (Folkö, 2015) se realizaron 4 lavados sucesivos de una chaqueta de forro polar (100% de poliéster) y un jersey deportivo (57% de poliamida y 43% de poliéster). Los resultados indicaron que en el caso del forro polar se liberaron durante los 4 lavados 1,09 g, que corresponden con el 0,46% del peso inicial de la prenda, mientras que en el caso del jersey deportivo la masa de fibras liberada fue de 0,14 g, que se corresponde con el 0,10% de su peso inicial. En ambos casos la mayor liberación se produjo durante los primeros lavados: el 64% de las fibras liberadas por el forro polar lo fue durante los primeros dos lavados mientras que el jersey deportivo liberó el 75% de las fibras durante su primer lavado. El estudio llega a hacer una estimación de la tasa de emisión de microfibras procedente de esta fuente a las aguas residuales, cifrándola en un rango de **entre 7,5 y 34,5 g de fibras de microplástico por persona y año**.

Muy recientemente, la Universidad de California ha publicado un estudio realizado para una marca de ropa deportiva (Bruce et al, 2016) que incluyó experimentos de lavado con cuatro diferentes tipos de chaquetas sintéticas de esa marca y una chaqueta de forro polar de precio más barato para comparación. Se evaluaron los efectos del tipo de lavadora y la edad de la prenda sobre la masa de microfibras liberadas. Los análisis mostraron que las lavadoras de carga superior desprenden 5,3 veces más que una máquina de carga frontal y que el envejecimiento de las chaquetas aumentaba la masa de fibras liberadas en 1,8 veces. En todos los tratamientos, la masa de microfibras recuperada por prenda varió de aproximadamente 0 a 2 g, es decir algo superior al 0,3% de la masa de la prenda sin lavar. Otro interesante avance de esta investigación se consiguió a través del envejecimiento artificial de las prendas, detectándose que el efecto de la liberación de fibras no se limitaba a los primeros lavados sino que, por el contrario, las prendas envejecidas liberaban, como media, un 80% de fibras más que las nuevas.

Cabe mencionar también un estudio reciente de la Universidad de Goteborg (Aström, 2016) dirigido a conocer las diferencias en la liberación de fibras de diferentes tejidos. El estudio introduce un interesante avance para la cuantificación de las pérdidas procedentes de cada tipo de tejido ya que se eligió cada uno de ellos de un color determinado y diferente al resto. Se incluyeron 6 tipos diferentes de tejido de poliéster (uno de ellos no tejido), uno acrílico, uno de poliamida y 3 tipos diferentes de tejido

polar. Para determinados tipos se ensayó también el comportamiento diferencial del tejido nuevo y el envejecido artificialmente y para el acrílico y el polar se hicieron ensayos de lavado con y sin detergente. Las conclusiones a las que se llegó fueron, de manera resumida las siguientes:

- Todos los tipos de tejido ensayados liberaron fibras, si bien la pérdida en el tejido polar y micropolar es muy superior a la de los demás.
- El tejido envejecido libera más fibras que el nuevo.
- El uso de detergentes aumenta la liberación de fibras, posiblemente debido al efecto de los surfactantes empleados en su composición.
- El lavado de un tejido polar de 1 m² libera 7.360 fibras por litro de agua efluente al lavarse con detergente (4.120 fibras si el lavado es solo con agua).

Uno de los últimos estudios publicados en este sentido por científicos de la Universidad de Plymouth (Napper & Thompson 2016) incluye ensayos con diferentes tipos de tejido (poliéster, mezcla de poliéster y algodón y tejidos acrílicos) siendo lavados bajo diversas condiciones de temperatura, detergente y acondicionador. Sus resultados indican que el tejido de poliéster-algodón libera menor cantidad de fibras que el poliéster o el acrílico. Sin embargo, la liberación de las fibras varió según el tratamiento de lavado con diversas interacciones complejas. Se concluye que una carga de lavado de 6 kg de tejido acrílico puede llegar a liberar algo más de 700.000 fibras, una de tejido de poliéster unas 500.000 fibras y la de mezcla de poliéster y algodón es la que menos liberación produce con algo menos de 150.000 fibras. A diferencia del estudio de la Universidad de California, la liberación de fibras desciende a medida que la prenda se lava más veces hasta el 4^o lavado, sin que lavados posteriores indiquen ya una pérdida significativa de fibras. Tal disminución es muy significativa para los tejidos de poliéster y acrílicos y más escasa para la mezcla de poliéster y algodón.

El tamaño medio de las fibras liberadas osciló entre 11,9 - 17,7 µm de diámetro y 5,0 - 7,8 mm de longitud. Los cálculos en masa de fibras liberadas por carga de lavado indicados en el mencionado artículo son, para el primer lavado 2,79 mg (poliéster), 2,69 mg (acrílico) y 0,45 mg (mezcla de poliéster-algodón).

No obstante a lo anterior, las referencias bibliográficas mencionadas con anterioridad apuntan a masas perdidas por lavado notablemente superiores. Aplicando los resultados de Folkö, 2015 que indica una pérdida de masa del 0,46% del peso inicial,

una lavadora de 6 kg de prendas de poliéster debiera haber liberado aproximadamente 30 g de fibras. En la misma línea, en el informe de la Agencia Noruega de Medio Ambiente sobre Fuentes de contaminación de microplásticos para el medio marino, para la conversión se utiliza como medida de la masa de las fibras textiles el decitex que para el poliéster y fibras de nylon típicamente utilizadas en la ropa resulta ser, según dicho informe, de 300 gr/10.000 m¹¹, lo que lleva a que el peso de una fibra de 5 mm resulte ser de 0,15 mg.

Para comprobar estas importantes diferencias para la masa de las fibras en los resultados publicados basta con conocer la densidad del tejido en cuestión que, de acuerdo con fuentes bibliográficas para la fibra de poliéster es, aproximadamente, de 1,38 gr/cm³ (FAO). Aplicando esta densidad al tamaño de fibra indicado en el estudio de la Universidad de Plymouth para el poliéster (11,91 µm de diámetro x 7,79 mm de longitud) resultaría que la masa de cada fibra individual es de 1,2 µg, lo que equivaldría para las 496.030 fibras desprendidas en un lavado a una masa de 594 mg. Ante esta disparidad en los resultados obtenidos por las diferentes fuentes bibliográficas existentes, para evaluar los aportes de microfibras a las aguas residuales procedentes de esta fuente resultará necesario, tal y como se expone posteriormente, hacer una aproximación general basada en los resultados experimentales disponibles y corrigiendo los posibles errores o inexactitudes detectadas.

Cabe apuntar, por último, el reciente proyecto Life+ MERMAIDS cuyo objetivo principal es mitigar el impacto de los microplásticos liberados durante los procesos del lavado de textiles sintéticos y cuyos resultados contribuyen a mejorar el conocimiento de esta fuente de microplásticos así como a definir medidas de mitigación más efectivas. El proyecto, finalizado en diciembre de 2016, ha desarrollado pruebas experimentales con tejido estándar 100% poliéster en las que se ha cuantificado la liberación de microplásticos en diferentes condiciones de lavado. Asimismo, se han probado diferentes tipos de tratamiento de acabado textil que pudieran minimizar el desprendimiento de las fibras, repitiéndose las operaciones de lavado en diferentes condiciones (temperatura, centrifugación, etc.) y con los diferentes tipos de tejidos (tratados y no tratados), recogiendo y cuantificando la cantidad de microfibras presente en las aguas de lavado después varios ciclos de lavado: del primer ciclo, segundo ciclo y quinto ciclo de lavado. Los resultados obtenidos son dispares dependiendo de numerosos factores que han resultado ser influyentes, relacionados tanto con el proceso de lavado como con el tipo de tratamiento aplicado sobre el tejido. Por una parte los parámetros de lavado que se ha demostrado que influyen en el

¹¹ Las fuentes consultadas por el CEDEX indican que para el grosor típico de las fibras de poliéster de unos 10 µm el dtex correspondiente es de 1,08 g/10.000 m.

desprendimiento de las fibras son la temperatura, tipo de centrifugado, tipo de detergente y uso de aditivos para el cuidado de los tejidos, entre otros; además se demuestra la tendencia a una menor cantidad de microplásticos después de varios ciclos de lavado. En cuanto a los tejidos, de los tratamientos testeados, dos de ellos han demostrado influir significativamente en un menor desprendimiento de las fibras durante el lavado posterior del tejido. Como resultado medio, se ha determinado que en un lavado con carga de 7 kilos de tejido 100% poliéster (lavadora al 100% de carga) se liberan alrededor de 3,9 gr de microfibras sintéticas. Diversas fuentes se han utilizado para analizar el escenario europeo sobre hábitos de lavado, tales como informes de AISE¹² y ETSA¹³ entre otros, así como una encuesta sobre hábitos de lavado que el proyecto MERMAIDS lanzó en el año 2014 y en la que participaron 831 encuestados. De los datos obtenidos, se estima que de media un ciudadano europeo carga su lavadora al 84% con tejidos que presentan al menos un 30% de poliéster. Con estos datos, cada lavado en Europa podría descargar 1 g de microplásticos en las aguas de lavado, los cuales no quedan retenidos en los filtros de las lavadoras ni tampoco en las depuradoras. Analizando también datos sobre la frecuencia de lavado (3,2 lavados por semana/hogar) y el número de hogares europeos en los que se estima que hay lavadoras (90%), se ha cuantificado una liberación de alrededor de 29.215 toneladas al año de microplásticos procedentes de las lavadoras en toda Europa. De esta cantidad no se ha determinado qué % llegaría al mar pero sí se ha determinado qué % podría reducirse aplicando los tratamientos de tejido demostrados durante el proyecto y alcanzándose una reducción de 23,58%. Asimismo, del proyecto se extrae la necesidad de analizar más a fondo cada uno de los parámetros evaluados debido a la disparidad de resultados en algunas de las pruebas realizadas.

Los resultados del proyecto se han reflejado en unas guías de buenas prácticas dirigidas a las industrias textil y de detergentes, así como recomendaciones específicas para una potencial actualización del marco regulatorio europeo en base a los resultados del proyecto. Algunas de estas recomendaciones apuntan a una mayor intervención ambiental en los procesos de fabricación de los tejidos y en el ecodiseño de las lavadoras.

¹² AISE. The case for the “A.I.S.E. low temperature washing initiative” Substantiation dossier October 2013. AISE. Activity & Sustainability Report 2015-16

¹³ ETSA Survey on resource consumption in workwear laundries and flat linen laundries in 2011 – ‘WECO 3’ . FINAL 8 January 2013 Prepared by EcoForum / Henrik Grüttner.

10.4.4. Efectos ambientales de las microfibras

Una vez en el medio marino, estas partículas tienden a acumularse en mares más profundos y sedimentos del fondo, donde son ingeridos o inhalados a través de las agallas de varios crustáceos, peces pequeños y otros organismos en los niveles inferiores de la cadena trófica. Estas partículas pueden colmatar los aparatos digestivos de animales marinos muy pequeños sin proporcionar nutrientes. Así que aunque los animales se sientan saciados, en realidad mueren de desnutrición. Además, las microfibras pasan a niveles superiores de la cadena trófica cuando estos pequeños animales son comidos por peces más grandes (bioacumulación).

No sólo la ingestión de microfibras reduce la cantidad de nutrientes obtenida de la alimentación, sino que también plantea un riesgo adicional de bacterias dañinas y exposición tóxica. De todos los productos químicos que se sabe que son persistentes en nuestro medio ambiente, bioacumulables en la cadena alimentaria y tóxicos para la vida (también conocidos como PBT), el 78% se encuentran en o sobre las microfibras. Como resultado, las concentraciones de PBT en las microfibras son órdenes de magnitud mayores que la concentración de PBTs que se encuentran en el agua de mar. Ejemplos de PBT observados incluyeron pesticidas como DDT, y aditivos plásticos como retardantes de llama bromados.

10.4.5. Modelos de evaluación de emisiones

Para evaluar las emisiones de microplásticos procedente de esta fuente, en otros países de nuestro entorno se han hecho las aproximaciones que se resumen a continuación:

10.4.5.1. Modelo basado en el consumo nacional de textiles:

El estudio sobre fuentes de microplásticos relevantes para la protección marina en Alemania hace una aproximación basada en que cada persona posee al menos una prenda tipo forro polar con un peso medio de 500 g y que durante su uso (5 años) se produce una pérdida en peso de entre el 1 y el 5% debido a la emisión de fibras durante el lavado.

Eso lleva, para el caso concreto de Alemania (población 80 millones de personas) a evaluar los aportes procedentes de esta fuente en una cantidad de entre 80 a 400 toneladas por año, sin que se haya incluido ningún tipo de corrección por la hipotética retirada en los procesos de depuración de aguas residuales.

Este tipo de aproximación restringe el problema de la liberación de fibras únicamente a ese tipo de prendas. Tal como se ha puesto anteriormente de manifiesto, es cierto que posiblemente sean las que producen una mayor liberación a las aguas residuales durante su lavado pero el problema no resulta exclusivo de las mismas por lo que parece más aconsejable realizar la evaluación teniendo en cuenta cualquier otro tipo de prenda confeccionado con tejidos sintéticos.

10.4.5.2. Modelo basado en el número de lavados y el porcentaje de textiles sintéticos:

En el caso de Dinamarca, en su estudio sobre fuentes y descargas de microplásticos, se hace una aproximación algo más elaborada que se basa en las siguientes hipótesis:

Número de lavadoras puestas por persona y año	75
Prendas de fibras sintéticas	50%
Pérdida de peso durante vida útil (19 lavados)	0,74%
Población	5,6 millones

Tabla 38 Hipótesis empleadas en el modelo danés basado en el número de lavados, porcentaje de textiles, etc

De esta manera llegan a estimar que la liberación de fibras por lavado se eleva a entre 31.000 y 87.000. Aplicando determinados cálculos para convertir esas magnitudes en peso llegan a evaluar que la cantidad de fibras liberadas por el lavado de prendas textiles se eleva a entre 200 y 1.000 t/año si bien tras los procesos de depuración de aguas residuales estiman que al medio acuático únicamente se liberan entre 6 y 60 t/año mientras que entre 100 y 530 t/año se acumulan en suelos agrícolas por la utilización en los mismos de los fangos de depuradora.

10.4.5.3 Modelo basado en la tasa anual de emisión por habitante:

Una tercera aproximación podría hacerse directamente considerando la tasa anual de emisión estimada por habitante. Esta aproximación no ha sido utilizada por ningún país dados los escasos datos existentes para poder calcular con exactitud tal tasa, si

bien es uno de los enfoques utilizados por OSPAR, adoptando la tasa estimada por Folkö, 2015.

10.4.6. Estimación de aportes

Teniendo en cuenta las aproximaciones realizadas en otros países y OSPAR expuestas en el anterior apartado, para la estimación de aportes se opta por dos enfoques diferentes:

- Estimación basada en tasa anual de emisión por habitante.
- Estimación basada en el consumo textil y los hábitos de lavado.

En ambos casos se parte de la hipótesis de que la población que debiera tenerse en consideración es la correspondiente a las provincias litorales españolas por cuanto las fibras liberadas a las aguas residuales en provincias interiores, aunque tras los procesos de depuración pudieran llegar a las aguas superficiales, la regulación existente en nuestros ríos mediante presas y embalses haría muy difícil que pudieran llegar hasta el mar, al menos en cantidades significativas.

De esta manera, de acuerdo con los datos del padrón municipal a fecha 1 de enero de 2016 existentes en el INE, la población y el número de hogares que debería ser considerada es la incluida en el apartado 9 del presente informe.

Por otra parte, se ha de tener en cuenta que antes de su vertido al mar las aguas residuales sufrirán un proceso de depuración, considerando, tal y como se detalló en el apartado 9, que se retirará del efluente el 70% de las partículas vertidas a las aguas residuales.

10.4.6.1. Tasa anual de emisión:

De acuerdo con Folkö, 2015 la tasa de emisión de microfibras procedente de esta fuente a las aguas residuales se encuentra comprendida en un rango de entre 7,5 y 34,5 g de fibras de microplástico por persona y año.

Aplicada esta tasa de emisión a la población considerada, se obtiene que la cantidad de fibras que llegarían a las aguas residuales estaría comprendida entre 225,4 y 1.037 t. Aplicando el factor de corrección por la depuración este valor se reduciría a **67,6 – 311,1 t/año**.

10.4.6.2. Consumo textil y hábitos de lavado:

Para aplicar esta aproximación se partirá de las hipótesis que se recogen en la siguiente tabla, en la que se indica la fuente o método de cálculo para cada una de ellas:

DESPRENDIMIENTO DE FIBRAS EN EL LAVADO	
Fibras desprendidas por lavado (6 kg)	28.000 ¹⁴ – 500.000 ¹⁵
Masa desprendida por lavado	21,8 – 390 mg ¹⁶
Prendas de fibras sintéticas	50%
Nº Lavados/hogar	3,2 por semana ¹⁷
Nº hogares en provincias litorales	11.781.200

Tabla 39 Hipótesis para calcular el desprendimiento de fibras durante el lavado

Por ser el tejido sintético mayoritariamente utilizado, los cálculos se han realizado para el poliéster.

Así, se podría calcular que, semanalmente, se evacuarían a las aguas residuales:

Masa liberada por semana = Masa liberada por lavado x %prendas sintéticas x nº lavados por hogar x nº de hogares

Con lo que resultaría que semanalmente se podrían liberar entre 0,41 y 7,35 t de fibras sintéticas o, lo que es lo mismo, entre **21,37 y 383,25 t** de fibras sintéticas por año.

No obstante a lo anterior y teniendo en cuenta los resultados del Proyecto MERMAIDS, el rango superior parece que pudiera estar minusvalorado y pudiera más bien aproximarse a una liberación de 1 g de fibras por lavadora a plena carga.

¹⁴ De acuerdo con Browne et al (2011), el lavado de un forro polar libera 1.900 fibras. Estimando un peso de 400 g, una lavadora de 6 kg a plena carga liberaría 28.500 fibras.

¹⁵ Napper&Thompson, 2016 para tejidos de poliéster.

¹⁶ Suponiendo un peso medio por fibra (5 mm de longitud y 12 µm de diámetro) de 0,78 µg (derivado de una densidad del poliéster de 1,38 gr/cm³).

¹⁷ Proyecto MERMAIDS.

Aplicando el mismo procedimiento (sin tener en cuenta el porcentaje de prendas textiles ya considerado en el cálculo del proyecto) pero considerando tal estima superior para los resultados obtenidos en el mismo, resultaría que el umbral superior podría ascender, más bien, a 37,7 t por semana o, lo que es lo mismo, a **1.966 t** de fibras sintéticas por año. Esta cantidad es la que se adopta como umbral superior en el presente estudio.

Aplicando el factor de corrección debido a la depuración de las aguas residuales (70%) resultaría, de acuerdo con esta aproximación que el valor se reduce a 6,4 – 589,8 t/año.

Tal y como puede observarse, los resultados de esta aproximación resultan significativamente inferiores a los obtenidos a partir de la tasa anual de emisión para la estimación del umbral inferior pero casi del doble de aquellos para el umbral superior.

10.4.7. Conclusiones

Los dos tipos de aproximación que se han realizado muestran resultados que, siendo diferentes, se encuentran dentro del mismo orden de magnitud (al menos para el umbral superior) Careciéndose actualmente de criterios científicos sólidos para decidir cuál de los dos enfoques metodológicos resulta más adecuado, parece oportuno que la estimación se realice como el promedio de ambos resultados, con lo que se obtendría:

**EMISIONES AL MEDIO MARINO PROCEDENTES DEL LAVADO
DE TEXTILES:**

37,0 – 450,4 t/año

Para mejorar los anteriores resultados y realizar una aproximación más realista sería necesario, al menos, mejorar a través de estudios experimentales el conocimiento sobre la masa de fibras desprendidas en el lavado de diferentes tejidos por cuanto los escasos estudios disponibles presentan una variabilidad en sus resultados de casi dos órdenes de magnitud, así como conocer con mayor detalle la efectividad de las técnicas de tratamiento de aguas residuales en la retirada de microplásticos (microfibras en este caso).

10.5. PINTURAS COMO FUENTES DE MICROPLÁSTICOS

10.5.1. Los productos de pinturas y barnices

La pintura es un producto fluido que, aplicado sobre una superficie en capas relativamente delgadas, se transforma al cabo del tiempo en una capa sólida que se adhiere a dicha superficie, de tal forma que recubre, protege y decora el elemento sobre el que se ha aplicado.

Dentro de los componentes de las pinturas hay dos grandes grupos:

- Componentes líquidos: como el vehículo, que a su vez consta de un aglutinante y un disolvente.
- Componentes sólidos: Como los pigmentos y las cargas.

Los pigmentos son materiales en forma de polvo que aportan color y opacidad, mientras que los aglutinantes son los que le dan cuerpo, dureza y durabilidad a la pintura y que protege la base.

Los aglutinantes pueden ser:

- Minerales: Cal apagada, yeso y cemento.
- Orgánicos: Ceras, insolubles en agua y alcoholes y solubles en éter, bencina y trementina:
 - Parafinas, que proceden de la destilación del petróleo.
 - Colas, animales o vegetales.
 - Gomas.
 - Caucho, que procede del látex.
 - Colodión.
 - Grasos: Aceite de lino, de soja, de nuez.
 - Resinosos: Copal, goma laca y betún de Judea.

Los disolventes son sustancias encargadas de la disolución del aglutinante en caso de que este sea sólido, y fluidificarlo en caso de un aglutinante líquido.

Los plastificantes hacen que el material al que se agrega sea más maleable, adquiera una mayor plasticidad y por tanto sea más sencillo su tratamiento industrial. Su concentración final suele ser muy baja.

La mayoría de las formulaciones de pintura no tienen microperlas como ingrediente y las mismas perlas se añaden únicamente a una pequeña proporción de las pinturas comercializadas para conseguir algunas características especiales. Sin embargo, las partículas de pintura, una vez solidificadas, si tienen el tamaño adecuado, se considerarían microplásticos debido al contenido de polímeros.

Los trabajos de mantenimiento como por ejemplo el lijado de capas de pintura viejas o la degradación de la capa de pintura por las condiciones climáticas pueden conducir a la liberación de partículas de pintura en el medio ambiente. Estas partículas mostrarán una gran variedad en la distribución de tamaños, estando compuestas de los componentes sólidos presentes en la pintura. Lo que significa que una parte de las partículas es un polímero y el resto son minerales. Dependiendo del tipo de pintura, el contenido de polímero puede variar.

En la siguiente fotografía se observa un microplástico formado por el lijado de pintura de una pared.

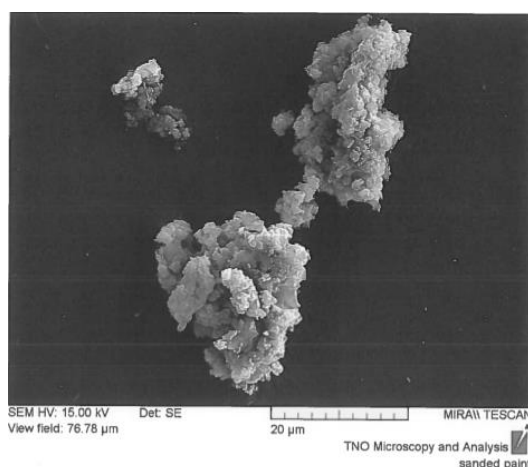


Figura 17 *Microplástico formado durante el lijado de la pintura de una pared. Fuente: RIVM Report 2016-0026 A. Verschoor et al*

Las pinturas que suelen emplearse en embarcaciones son pinturas de recubrimiento y anti-incrustante. Las primeras suelen estar compuestas por diferentes tipos de plásticos como el poliuretano, epoxi, vinilos, lacas etc. Las propiedades especiales de las pinturas anti-incrustantes se consiguen mezclando diferentes polímeros.

En un estudio realizado por el Ministerio de Salud Pública y Medio Ambiente holandés sobre la emisión de microplásticos y posibles medidas de mitigación (RIVM Report

2016-0026 A. Verschoor et al.), se identificaron tres fuentes de emisiones de microplásticos a las aguas superficiales procedentes del uso de pinturas:

- Remoción de viejas capas de pintura (incluyendo lijado y decapado por chorro de arena);
- Desgaste de las pinturas durante su vida útil (en gran medida influencia de las condiciones meteorológicas);
- Enjuague en el fregadero de rodillos y pinceles utilizados.

En la siguiente figura se muestran los porcentajes de distribución de las pinturas en los diferentes sectores tales como construcción, preservación del acero, reparación de vehículos, mantenimiento naval, etc.

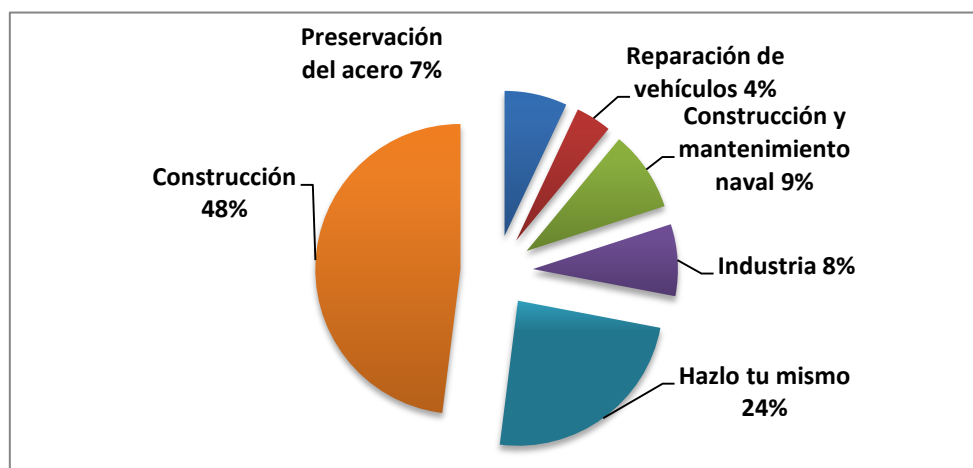


Figura 18 Porcentajes de distribución del uso de las pinturas en los diferentes sectores (Fuente: RIVM Report 2016-0026 A. Verschoor et al)

10.5.2. Modelos de evaluación de emisiones

Para evaluar las emisiones de microplásticos procedentes de esta fuente se han analizado las siguientes aproximaciones:

10.5.2.1 Modelo holandés para calcular la emisión de microplástico procedente del uso de pinturas en el sector de la construcción:

Se emplearon los datos de volumen de ventas en el mercado holandés, proporcionados por la Asociación de Fabricantes de Pintura e Impresión en Holanda y

de algunas empresas que no son miembro de esta asociación pero aportaron estos datos.

Para estimar las emisiones de microplásticos de las aplicaciones de pintura al agua, se ha seguido el enfoque reflejado en el siguiente esquema:

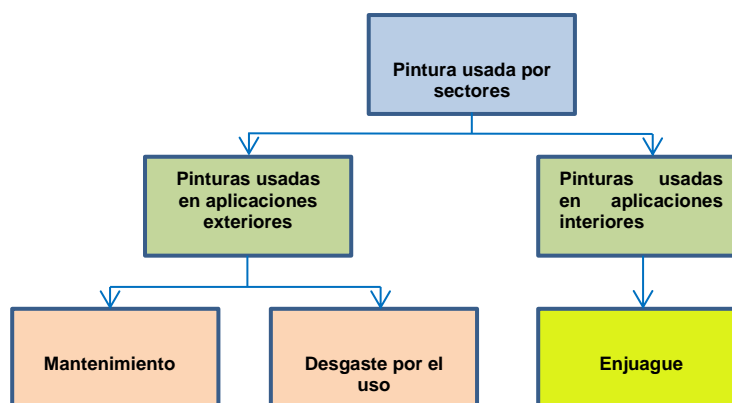


Figura 19 Esquema uso de las pinturas

A) Emisión de microplásticos originado por el uso de pinturas en trabajos en el exterior:

En este método se consideran en primero lugar las emisiones producidas por trabajos de mantenimiento (lijados de capas de pintura viejas etc) que se calculan según la siguiente fórmula:

$$E_{eliminada} = \sum_{sector} \sum_{productos} (Ventas \times f_{sector} \times f_{producto} \times f_{usada} \times f_{exterior} \times f_{sólido} \times EF_{eliminado})$$

Y por otra parte las emisiones debidas al desgaste de las capas de pinturas por el paso del tiempo, que se calculan aplicando la siguiente fórmula:

$$E_{uso} = \sum_{sector} \sum_{productos} (Ventas \times f_{sector} \times f_{producto} \times f_{usada} \times f_{exterior} \times f_{sólido} \times EF_{deterioro})$$

Siendo:

- Ventas: es el volumen total de pintura vendido en un año (toneladas).
- f_{sector} : es la fracción de pintura vendida a cada sector (profesional y bricolaje).
- $f_{producto}$: es la fracción de pintura vendida, especificada por tipos. Esta es información confidencial de VVVF.
- f_{usada} : es la fracción de pintura vendida que se usa;
- $f_{exterior}$: es la fracción en masa de las pinturas que se aplicada en exterior para ese grupo de productos;
- $f_{sólido}$: es la fracción sólida de las pinturas para cada grupo de productos;

- $EF_{\text{eliminado}}$: es el factor de emisión asociado a la eliminación de las capas de pintura vieja, y se fija en 6,4% para trabajos de bricolaje con pinturas tipo lacado, barniz, imprimaciones y otras pinturas, excluyendo tintes para madera, pinturas de pared y yeso y 3.2% trabajos llevados a cabo profesionalmente con pinturas tipo lacado, barniz, imprimaciones, pinturas de madera y pinturas utilizadas en madera prefabricada. Para tintes de madera, pinturas de pared, yesos y otras pinturas (profesionales), se considera que no se produce lijado o limpieza con abrasivo y por lo tanto el factor de emisión se fijó en un 0%.
- $EF_{\text{deterioro}}$: es el factor de emisión de desgaste teniendo en cuenta toda la vida útil de la pintura. Se fija en un 3% en todos los casos salvo en los tintes de madera empleados en bricolaje que son por su naturaleza menos duraderos y para el que se asumió un factor de emisión del 15%.

B) Emisión de microplásticos originado por el uso de pinturas en trabajos en el interior de las edificaciones:

Se consideran únicamente las emisiones originadas por el enjuague de los rodillos en el sector del bricolaje, según la siguiente ecuación:

$$E_{\text{enjuague}} = \text{Ventas}_{\text{pinturas pared bricolaje}} \times f_{\text{usada}} \times f_{\text{polimero}} \times EF_{\text{enjuague}}$$

- Ventas : Es el volumen total de pintura para paredes vendido para trabajos de bricolaje (datos confidenciales de VVVF)
- f_{usada} : Es la fracción de pintura respecto al total vendido que es utilizada realmente.
- f_{polimero} : Es la fracción polimérica de la pintura (sólo se toma en cuenta el polímero y no el relleno, ya que la pintura no se ha aplicado aún);
- EF_{enjuague} : Es el factor de emisión para el enjuague, definido como la fracción en masa de pintura que queda en el rodillo antes de enjuagar (suponiendo que el 100% se enjuaga) en comparación con el contenido total de la pintura.

10.5.2.2 Modelo holandés para calcular la emisión de microplásticos originados por el uso de pinturas en el sector marítimo

Las emisiones de microplásticos asociadas al uso de pinturas en el sector marítimo se producen por las actividades de mantenimiento de buques en los astilleros, por el

mantenimiento de embarcaciones de recreo en los puertos deportivos o por el desgaste que sufren las pinturas de los cascos con el paso del tiempo etc.

En este modelo se calculan las emisiones producidas por los trabajos de mantenimiento de las embarcaciones por un lado y las debidas al desgaste de las capas de pintura de las embarcaciones por el otro.

Las emisiones de ambas fuentes (mantenimiento y uso) se calculan en base a la cantidad de revestimiento aplicado a los buques multiplicado por un factor de emisión.

A) Emisión de microplásticos originado por el uso de pinturas en trabajos de mantenimiento de embarcaciones en astilleros y puertos deportivos:

Los recubrimientos de los barcos se suelen cambiar cada 3-5 años, mediante lijado o limpieza con un abrasivo. En el caso de embarcaciones de recreo estas actividades se llevan a cabo con menos frecuencia (cada 5-10 años), pero al desarrollarse la operación al aire libre se liberan al agua más fragmentos de pintura.

El cálculo de la emisión de microplásticos originada por el uso de pinturas en trabajos de mantenimiento de embarcaciones en astilleros y puertos deportivos se lleva a cabo según la siguiente ecuación:

$$E_{eliminación} = (Uso_{revestimiento} \times f_{eliminación} \times (1 - f_{recogido}))$$

Dónde:

- $Uso_{revestimiento}$: es la cantidad de recubrimiento aplicada en diez años (en toneladas);
- $f_{eliminación}$: es la fracción de pintura eliminada durante los trabajos de mantenimiento;
- $f_{recogido}$: es la fracción recolectada de acuerdo a las buenas prácticas ambientales ;
- $E_{eliminación}$: se define como la fracción de masa de pintura sólida que se espera sea emitida como consecuencia de estas actividades.

B) Emisión de microplásticos originado por el desgaste de las capas de pintura de recubrimiento de los barcos:

En el modelo holandés, para calcular las emisiones de microplásticos debidas al desgaste de las pinturas de los cascos de los barcos por el paso del tiempo se utiliza la siguiente ecuación:

$$E_{embarcaciones} = (Uso_{recubrimiento} \times EF_{uso})$$

Dónde:

- $Uso_{recubrimiento}$: es la cantidad de revestimiento aplicado en un año (toneladas);
- EF_{uso} : es el factor de emisión para el desgaste de las capas de pintura, definido como la fracción en masa de materiales sólidos que se espera que se emitan como resultado de estas actividades.

10.5.2.3 Modelo noruego para calcular la emisión de microplásticos de la fuente pinturas:

Según un informe desarrollado por la OCDE (2009), aproximadamente el 6% de la pintura del revestimiento de los barcos se derrama al mar y otro 5% al suelo durante el ciclo de vida de ese producto.

Salvo los fragmentos más grandes que pueden ser retenidos en el muelle y gestionados como cualquier otro residuo sólido, el resto puede llegar al mar si no se dispone de un tratamiento adecuado de los efluentes tal y como ocurre en los astilleros noruegos, por lo que se aplica un factor de emisión de aproximadamente el doble del estimado por la OCDE.

A) Emisiones de microplásticos originadas por el uso de pintura en trabajos de mantenimiento de buques de gran tamaño:

Empleando los datos de ventas de pintura para el sector marítimo en el año 2001 en Europa, se consideró que Noruega consumió el 8% respecto al total, de las cuales el 75% se destinó a trabajos de mantenimiento profesional de grandes buques.

Con este volumen se calculó la emisión de microplásticos al mar originada por el uso de pintura en trabajos de mantenimiento de buques de gran tamaño (Se tomó como factor de emisión del 22% y un contenido de aglutinante polimérico del 25%).

$$E_{emisión} = V_{ventas} \times 0.75 \times 0.22 \times 0.25 = 330 \text{ toneladas emitidas}$$

B) Emissiones de microplásticos originada por el uso de pintura en trabajos de mantenimiento en embarcaciones de recreo:

La OCDE estimó que, debido a la falta de datos, no es posible establecer ningún factor de emisión sobre las emisiones procedentes del uso de las pinturas marítimas en embarcaciones de recreo.

Partiendo de que menos del 10% de los propietarios de embarcaciones utilizan sistemas de recolección o control de polvo de pintura en los trabajos de mantenimiento, se podría considerar que el 90% de la pintura utilizada se emite durante su vida útil.

Teniendo en cuenta que de las pinturas marítimas que se vendieron en el año 2001 en Noruega cerca de un 25% se utilizó en embarcaciones de recreo (antiincrustantes no incluidas) y considerando un contenido de polímero de aproximadamente el 25% en peso, se calculó la emisión de microplásticos originada por el uso de pintura en trabajos de mantenimiento en embarcaciones de recreo según la siguiente ecuación:

$$E_{emisión} = V_{ventas} \times 0.25 \times 0.90 = 450 \text{ toneladas de microplásticos emitidos}$$

C) Emissiones de microplásticos originadas por el uso de pintura en trabajos de construcción y bricolaje:

Se diferenció entre pinturas de recubrimiento y decorativas.

Pinturas de recubrimiento: Se partió de los datos de ventas anuales en Europa, haciendo un cálculo per cápita en base a la población en Noruega.

Se aplicó el factor de emisión del 6.4% estimado por la OCDE por pérdidas de pintura en los trabajos de mantenimiento, limpieza con abrasivos etc en buques, considerando razonable aplicar este valor a trabajos de mantenimiento en construcciones. Además se considera un contenido de polímeros del 25%.

Las emisiones de microplásticos se calcularon según la ecuación:

$$E_{emisión} = V_{ventas} \times 0.064 \times 0.25 = 52.8 \text{ toneladas de microplásticos emitidos}$$

Pinturas decorativas: para calcular la emisión de microplásticos originada por el uso de pinturas decorativas en superficies exteriores se consideró un uso anual per cápita de 3.5 Kg.

Según las estimaciones de la OCDE, el factor de emisión de microplásticos para las pérdidas de pintura al alcantarillado durante los trabajos con pintura decorativa llevados a cabo en el exterior es de un 5%, considerando que no hay pérdidas durante el mantenimiento (suponen que la pintura eliminada en estos trabajos es retirada como residuo en su totalidad). Considerando un contenido promedio de polímeros del 25%, se calculan las emisiones de microplásticos según la ecuación:

$$E_{emisión} = V_{ventas} \times 0.05 \times 0.25 = 218.7 \text{ toneladas de microplásticos emitidos}$$

10.5.2.4 Informe realizado por EUNOMIA para la Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión Europea

A) Emisiones de microplásticos originadas por el uso de pintura en trabajos de mantenimiento de embarcaciones:

Según este informe¹⁸ aproximadamente el 6% de la pintura del revestimiento de los barcos se derrama al mar, tal y como apuntaba la OCDE, si bien no se tienen en cuenta las pérdidas al suelo que la OCDE estimaba en un 5%, por considerarlo una sobreestimación.

Se considera que el 75% de la pintura se emplea en embarcaciones comerciales y el 25% restante en embarcaciones recreativas. Se considera además un contenido en polímeros del 25%.

Como se carece de información respecto a las pérdidas de pintura en trabajos realizados en embarcaciones recreativas se considera un rango entre el mejor y el peor de los escenarios.

¹⁸ Study to support the development of measures to combat a range of marine litter sources, Report for European Commission DG Environment (EUNOMIA)

B) Emisiones de microplásticos originadas por el uso de pintura en trabajos de construcción y bricolaje:

En este estudio no se diferencia entre pintura de recubrimiento y pintura decorativa, considerando que el término “decorativo” abarca el uso de pinturas aplicadas a los edificios, sus acabados y accesorios, para fines decorativos y protectores, tanto para profesionales como para el público en general.

Debido a la falta de información disponible para calcular las emisiones por el uso de pintura en trabajos de construcción y bricolaje, se aplica un factor de emisión del 3,3% a todo el sector como una estimación conservadora (1,5% durante la aplicación y 1,8% durante el uso). Se asume al igual que en el caso anterior un contenido de polímero del 25%.

10.5.3. Estimación de aportes

Teniendo en cuenta las aproximaciones llevadas a cabo en otros países expuestas en el apartado anterior se va a realizar una estimación de aportes en España. Con los datos disponibles solamente se pueden aplicar las aproximaciones del modelo noruego y las aplicadas en el informe de EUNOMIA, puesto que ha resultado imposible disponer para nuestro país de los datos de la fracción de pintura vendida especificada por tipos y el volumen total de pintura para paredes que se ha vendido para trabajos de bricolaje.

En el año 2015 según datos de la Asociación Española de Fabricantes de Pinturas y Tintas de Imprimir (ASEFAPI), las ventas de pintura en España fueron las siguientes:

	Toneladas (2015)
PINTURAS PARA LA INDUSTRIA	265.750
Madera	36.761
Marina	3.828
Protección	12.899
Automóvil (primer pintado Accesorios)	63.124
Automóvil (repintado)	9.842
Col. Coating	2.591
Metalgráficos	20.804
Industria General	115.902
PINTURAS PARA DECORACIÓN	382.233
Pinturas al agua	329.986

Pinturas al disolvente	52.247
PINTURA EN POLVO	20.023

Tabla 40 Datos de venta de pinturas en España (ASEFAPI, 2015)

10.5.3.1 Emissiones de microplásticos originadas por el uso de pintura en trabajos de mantenimiento de buques de gran tamaño:

Tal como se refleja en la anterior tabla, según ASEFAPI, en el año 2015 se vendieron 3.828 toneladas de pintura para el sector marino.

A) Modelo Noruego:

Aplicando este modelo, se puede suponer que el 75% de esta pintura se destinó a trabajos de mantenimiento en grandes buques mientras que el 25% se empleó en trabajos de mantenimiento realizados en embarcaciones particulares.

El sistema portuario español ha adoptado una serie de buenas prácticas ambientales¹⁹ para uso interno de las Autoridades Portuarias, en la que, para cada una de las diferentes actividades que se llevan a cabo en los puertos, se enumeran, describen y desarrollan las medidas que se deberían adoptar en aras de conseguir la mejora de la calidad ambiental del medio acuático portuario entendido este como el conjunto formado por las aguas, los sedimentos y la biota marinas.

En base a la aplicación de estas medidas en los puertos españoles, no parece conveniente incrementar el factor de emisión propuesto por la OCDE tal y como hace Noruega por lo que el factor de emisión a aplicar sería de un 11% (OCDE) y un contenido medio de aglutinante polimérico del 25%, con lo que la emisión de microplásticos procedentes de trabajos de mantenimiento en buques de gran tamaño resultaría ser de:

$$E_{emisión} = V_{ventas} \times 0.75 \times 0.11 \times 0.25 = \mathbf{78.9 \text{ toneladas microplásticos emitidos}}$$

¹⁹ Guía de buenas prácticas en la implantación de sistemas de gestión ambiental en empresas portuarias. Resolución del Presidente de Puertos del Estado de 22 de marzo de 2011.

B) Modelo de EUNOMIA:

Considerando que el 75% de las 3.828 toneladas de pintura comercializada en el sector marino se ha empleado en embarcaciones comerciales, que aproximadamente el 6% de la pintura del revestimiento de los barcos se derrama al mar y un contenido polimérico del 25 % en volumen, según este modelo se habrían emitido **47** toneladas.

10.5.3.2 Emisiones de microplásticos originada por el uso de pintura en trabajos de mantenimiento de embarcaciones de recreo:

A) Modelo Noruego:

Se parte de que el 25% de la cantidad de pintura comercializada en España en el año 2015 para el sector marino se utilizó en embarcaciones de recreo, que menos del 10% de los propietarios de embarcaciones utilizan sistemas de recolección o control de polvo de pintura en los trabajos de mantenimiento y que el contenido de polímeros en las pinturas es de un 25%.

Así, la emisión de microplásticos debida a trabajos de mantenimiento resultaría ser de:

$$E_{emisión} = V_{ventas} \times 0.25 \times 0.90 \times 0.25 = \mathbf{215.3 \text{ toneladas microplásticos emitidos}}$$

B) Modelo EUNOMIA:

Se parte de un idéntico volumen comercializado y contenido polimérico, si bien al carecerse de información respecto a las pérdidas de pintura, se presenta un rango entre el mejor de los casos que supondría que aproximadamente el 6% de la pintura del revestimiento de los barcos se derrama al mar y el peor de los casos que consideraría que se derrama el 100%.

Por lo tanto, las emisiones al medio marino procedentes de trabajos de mantenimiento en embarcaciones de recreo según este modelo resultaría ser de entre **14,3 y 239,2** toneladas anuales.

10.5.3.3 Emisiones de microplásticos originadas por el uso de pintura en trabajos de construcción y bricolaje:

A) Modelo Noruego:

Pinturas de recubrimiento (no marinos): Se utilizan los datos de dos fuentes diferentes, por un lado los datos facilitados por ASEFAPI y por otro los datos de ventas anuales en Europa.

Según los datos de ventas facilitados por ASEFAPI, en España en el año 2015 se vendieron 12.899 toneladas de pintura de recubrimiento. Considerando únicamente la población litoral (datos INE 2016), se podría suponer que el 65% de tal volumen comercializado se emplea en CCAA litorales.

Aplicando el factor de emisión del 6.4% que aplica la OCDE, un contenido en polímeros del 25% y un factor de depuración que retirará el 70%, se habrían emitido **40,23 t/año**.

Según los datos de la OCDE en el año 2009 en Europa se vendieron 300.000 toneladas de pintura de recubrimiento. Suponiendo que se han mantenido constantes a lo largo de los años y considerando únicamente la población correspondiente a las provincias litorales resultaría un consumo en España de 17.672,1 toneladas (datos de población 2016 de EU (IDESCAT) y de España (INE)).

Aplicando un factor de emisión del 6.4%, un contenido en polímeros del 25% y un factor de depuración que retirará el 70% de los fragmentos, se obtendría una emisión de microplásticos originadas por el uso de este tipo de pintura de **84.81 toneladas anuales**.

Pinturas decorativas: para calcular la emisión de microplásticos originada por el uso de pinturas decorativas no se pueden emplear los datos de ventas facilitados por ASEFAPI puesto que no vienen segregados por uso exterior e interior.

Por lo tanto, para el cálculo de estas emisiones se empleará la aproximación realizada en Europa del uso anual per cápita de las pinturas decorativas en superficies exteriores (3.5 Kg), aplicando este dato a la población litoral 30.059.326 millones de personas (datos INE 2016) resultaría que en España en las CCAA litorales se emplean alrededor de 105.208 toneladas anuales de este tipo de pintura.

Considerando un factor de emisión del 5% y un contenido promedio de polímeros del 25%, la emisión anual de microplásticos resultaría ser de 1.315 toneladas, si bien al aplicar el factor de depuración (70%) se obtendría que las emisiones de microplásticos originadas por el uso de pintura decorativa resultarían ser de **394,5 t/año**.

B) Modelo EUNOMIA:

Pinturas de recubrimiento: Partiendo de los datos suministrados por ASEFAPI, que indican que en las CCAA litorales se comercializaron 8.384 toneladas de pintura de recubrimiento en el año 2015, aplicando un factor de emisión del 3,3%, un contenido de polímero del 25% y un factor de depuración del 70%, las emisiones de microplásticos al medio marino resultarían ser de **21 toneladas anuales**.

Pinturas decorativas: De acuerdo con los datos de ventas de ASEFAPI (382.233 toneladas en España) y aplicando un factor de emisión del 3,3%, un contenido de polímero del 25%, un factor de depuración del 70% y considerando únicamente la población litoral, las emisiones de microplásticos procedentes de esta fuente resultarían ser de 615 toneladas anuales.

Debe tenerse en cuenta en el resultado del cálculo anterior no se diferencia entre el uso de pinturas en el exterior o el interior de las edificaciones, con lo que la cifra parece que está significativamente sobre-estimada. Para corregir este hecho resulta necesario aplicar la aproximación realizada en Europa del uso anual per cápita de las pinturas decorativas en superficies lo que daría un consumo en España de 105.208 toneladas anuales de este tipo de pintura en las CCAA litorales, o lo que es lo mismo una emisión de **260 toneladas de microplásticos por año**.

10.5.4. Conclusiones

Según los cálculos del apartado anterior y tomando como resultado final la media de los dos modelos que resulta posible aplicar conforme a los datos de los que se dispone o la horquilla máxima resultante en su caso, resultaría que las emisiones anuales de microplásticos al medio marino procedentes de los diferentes tipos de uso serían de:

Mantenimiento de buques de gran tamaño		62,9
Mantenimiento de embarcaciones de recreo		14,3 – 239,2
Trabajos de construcción y bricolaje:	Pinturas recubrimiento	21 – 84,8
	Pinturas decorativas	327,2

Por lo tanto, cabe concluir que en España se emitirían anualmente entre 425,4 y 714,1 toneladas de microplásticos debidos a trabajos o usos relacionados con pintura.

**EMISIONES AL MEDIO MARINO PROCEDENTES DEL USO DE
PINTURAS:**

(425,4 – 714,1) t/año

10.6. CAMPOS DEPORTIVOS ARTIFICIALES COMO FUENTES DE MICROPLÁSTICOS

10.6.1. El césped sintético

El césped sintético se utiliza preferentemente en regiones donde las condiciones climáticas no permiten el uso eficiente y el mantenimiento de los campos de césped natural. Un clima muy lluvioso o extremadamente seco son razones para la instalación de césped sintético, aunque en el auge que se está experimentando en los últimos años juegan también un papel muy importante las razones económicas, al haberse abaratado significativamente los costes de instalación y, sobre todo a su menor coste de mantenimiento respecto a una superficie de hierba natural. En el caso del litoral español, como más tarde se detallará son las Comunidades de Andalucía, Cataluña y Canarias las que tienen instalados un mayor número de estas superficies.

El césped artificial se empezó a instalar en la década de 1960 en Estados Unidos, para sustituir al césped natural, sobre todo en campos deportivos cubiertos. La primera fibra sintética se construyó para el estadio Astrodome de Houston en 1966 y muy pronto se empezó a instalar en los estadios de fútbol americano y béisbol de toda Norte América. Estos primeros campos estaban fabricados de fibras de nylon fibrilado. En los años 70 una compañía alemana desarrolla un producto similar al anteriormente instalado pero fabricado en polipropileno (PP), un material menos resistente que el nylon pero que reducía considerablemente el riesgo de lesiones por abrasión de la piel. Ambos productos se fabricaron con una base elástica y es lo que hoy se conoce como césped artificial de primera generación.

En España la primera superficie instalada de estas características fue en el año 1973 para campo deportivo de hockey en Somontes, Madrid y un año más tarde en Pau Negre, Barcelona.

La segunda generación del césped artificial llega a finales de la década de 1970, cuando una empresa canadiense desarrolla diferentes productos fabricados también en polipropileno (PP). Este producto se diferencia de su antecesor en que sus fibras están divididas longitudinalmente en dos y las costuras más separadas. Además se utiliza menos fibra que en los de primera generación y se abaratan los costes. Los pavimentos de segunda generación incorporan un relleno de arena y la fibra alcanza longitudes de hasta 30 mm. (Figura 20).



Figura 20 Césped artificial de 2ª generación (fuente Consejo Superior de Deportes)

Estos suelos al tener una baja capacidad de absorción de impactos, suelen incorporar en su base una capa elástica (“shock-pad”) de entre 20 y 40 mm. de espesor, ya sea de caucho reciclado o de otros materiales con alta capacidad de absorción de impactos.

A finales del siglo XX, se inicia lo que se denomina 3ª generación en el césped artificial al incluirse partículas de caucho triturado en los rellenos artificiales. En los pavimentos de césped artificial de 3ª generación el pelo alcanza de 50 a 70 mm. de longitud, tienen una menor densidad de puntadas y en el relleno, además de la arena o sustituyéndola, se coloca también granulado de caucho (SBR: caucho estireno butadieno; EPDM: copolímero etileno-propileno-dieno; TPE: elastómeros termoplásticos; relleno natural de fibra de coco, etc.). Las fibras reducen la abrasión, ya que en vez de polipropileno se utilizan polietilenos lubricados (PE). Estos suelos tienen una mejor capacidad de absorción de impactos que las generaciones precedentes, son más parecidos en su comportamiento a una buena hierba natural (Figura 21).



Figura 21 Césped artificial de 3ª generación (fuente Consejo Superior de Deportes)

Con independencia de la fragmentación de las fibras por su uso y liberación de estas partículas al medio (fenómeno que sería común a cualquier tipología de campo), son los de tercera generación, al incorporar el relleno de partículas de caucho y su liberación al medio, los que pueden presentar una problemática especial en el aporte de microplásticos a las aguas superficiales.

10.6.2. Componentes constructivos del césped artificial

Los pavimentos de césped artificial denominados de 3ª generación están formados fundamentalmente por tres componentes: soporte base o “backing”, relleno y fibra, si bien en algunos casos también aparece la “shock-pad” o capa elástica.

Fibra:

Las fibras pueden ser de distinta composición. En la primera generación se utiliza fundamentalmente nylon. Después se desarrollaron los pavimentos de polipropileno, todavía utilizado en deportes como el pádel o golf o en algunos campos de fútbol. Finalmente, se mejoró el producto con la aparición de fibras de polietileno, implantándose en la mayoría de campos de reciente construcción. La fibra suele llevar un tratamiento de lubricación mediante el que se reduce el efecto de abrasión que hasta ahora acompañaba a los productos sintéticos. Las longitudes de la fibra en los productos de 3ª generación son variadas y se podría decir que oscilan entre los 50 y 60 mm por lo que en sí mismas no tendrían la consideración de microplásticos salvo que se fragmentaran en partículas más pequeñas.

En el mercado del césped artificial existen cuatro tipos de fibra posibles para los campos deportivos: Rectas-Monofilamentos, Rectas-Fibriladas, Rizadas y Mixtas:

- Rectas-Monofilamentos. Las primeras monofibras se crearon en 1992. Se caracterizan por ser monofibras libres del proceso de fibrilación. Son fibras menos densas, por lo que necesitan de un mayor número de fibras por metro cuadrado, para que la sensación sea similar a la hierba natural. Estas fibras son las más utilizadas actualmente para el fútbol. Pueden llevar nervios central o a los extremos, que mejoren el efecto memoria de la fibra. Su longitud es variable alcanzando los 60 mm.
- Rectas-Fibriladas. Las primeras fibras fibriladas se desarrollaron en 1987. Son el tipo de fibras más utilizado junto con los monofilamentos y se caracterizan por ser de gran espesor o densidad y que, por el propio uso o mediante cepillado de las mismas, se fibrilan en múltiples partes o miofibrillas por su parte superior, lo que le confiere un aspecto similar a un “plumero” formado por múltiples fibras, haciendo que las características de césped se aproximen mucho al natural. Este tratamiento favorece el grado de estabilidad de la carga de caucho y arena. Las propias ventajas que supone la fibrilación asemejando al césped natural suponen el efecto contrario a largo plazo (desfibrilación, en ocasiones prematura).
- Rizadas. Son fibras, monofilamentos o fibriladas, rizadas. Aunque la altura total de la fibra sea similar a las anteriores, al ser rizadas, la longitud real es mucho menor. Presentan una mayor capacidad para retener los desplazamientos de la arena y de caucho, pero en contra tienen su menor similitud a las características de los campos naturales. Esta fibra no suele comercializarse en la actualidad para pavimentos deportivos de fútbol.
- Mixtas. Es la combinación de dos, o incluso podría darse el caso de tres, tipos de fibras. Lo habitual es que se combinen dos para compensar las fortalezas y debilidades de una y otra.

La tendencia actual se orienta al tipo de monofilamentos con lubricación impregnada, fundamentalmente por aportar una sensación muy similar al césped natural y la consiguiente aceptación y aprobación por parte de los propios deportistas. Además, previene en mayor medida el prematuro consumo de la fibra.

Características de las fibras:

Los productos de última generación han experimentado un incremento considerable en la longitud de las fibras, llegando actualmente a alcanzar de los 45-60 mm lo que acentúa su similitud con las características de la hierba natural. Este aumento de la longitud de la fibra ha estado condicionado a la incorporación del granulado de caucho junto con la arena. Además, si se utilizan una base elástica de caucho, se recomienda que la longitud de la fibra sea menor (puesto que no existirá la misma cantidad de relleno), aunque nunca debe ser inferior a 45 mm.

Un aspecto también fundamental es la densidad de la fibra o “Tex” (Deniers). Se recomienda un mínimo de 11.000 dtex para fútbol y rugby, 8.800 dtex para hockey, entre 8.800 y 6.600 dtex para padel y tenis y 2.000 dtex para césped decorativo, siendo todos ellos valores aproximados.

Soporte base, basamento o backing:

El tejido base es el soporte sobre el que se tejen las fibras y supone la base del lastre, por lo que es importante además de su composición, su peso y resistencia.

El backing está formado por una o dos capas de polipropileno (PP) que puede estabilizarse con poliéster o fibra de vidrio.

La anchura de los rollos de moqueta es normalmente de 4 o 5 metros, por lo que para construir un campo es necesario unir varios de éstos; para ello se utilizan unas cintas de unión que pueden ser geotextiles impermeables o poliéster.

Rellenos:

Para completar la instalación del césped, es necesario lastrarlo y dotarlo de óptimas condiciones de elasticidad y durabilidad. La 3ª generación del césped artificial introduce una nueva configuración del sistema sintético. El relleno en estas superficies sintéticas actúa de soporte horizontal de las fibras verticales de césped. Por tanto se procede a la incorporación de una mezcla de arena de sílice y granulado de caucho. Al anterior lastrado se complementa con partículas de caucho. Dada la diferencia de tamaño y densidad de ambos productos, no es posible su mezcla previa por lo que el procedimiento de instalación consiste en alternar capas de caucho con otras de arena. Al tener el caucho menor densidad, éste tiende a buscar la superficie, garantizándose de esta forma que la compactación de la arena se produzca más tarde. En cualquier caso, la capa más superficial siempre es de caucho.

El caucho:

La cantidad de caucho a emplear varía entre 10 y 15 kg/m². Su granulometría y su forma, que depende del proceso de obtención del caucho pero en general se trata de partículas de entre 0,5 y 3 mm, por lo que en relación a su tamaño tendrían la consideración de microplásticos.

El granulado de caucho puede ser de diferentes tipos, pero el más utilizado es el relleno de caucho SBR, por sus propiedades mecánicas y su precio, estando presente en el 90% de los campos de césped artificial de todo el mundo.

No obstante a lo anterior, debe resaltarse que el relleno de caucho no es empleado más que en campos de fútbol, rugby, hockey, etc y no está presente en el césped artificial utilizado en pistas de tenis o padel, piscinas, etc. Esto es un elemento importante a los efectos de la presente evaluación.

PAD o capa elástica:

En ocasiones se instala bajo la moqueta una capa elástica, con la intención de mantener las propiedades de rigidez y amortiguación a lo largo del tiempo de uso y evitar que disminuyan mucho debido a la compactación del relleno. Esta capa puede estar formada por mezcla de cauchos y ligante, PVC, látex o poliuretano espumado.

Sub-base:

Además de todo lo anterior, también se suele disponer una sub-base debajo del backing (o de la capa elástica, en caso de que el sistema instalado la incluya). Puede ser de asfalto, macadán compactado o gravas compactadas, debiendo soportar las cargas a las que es sometido sin movimiento.

La Figura 22 muestra un esquema de las diferentes capas que constituyen un campo de césped artificial.

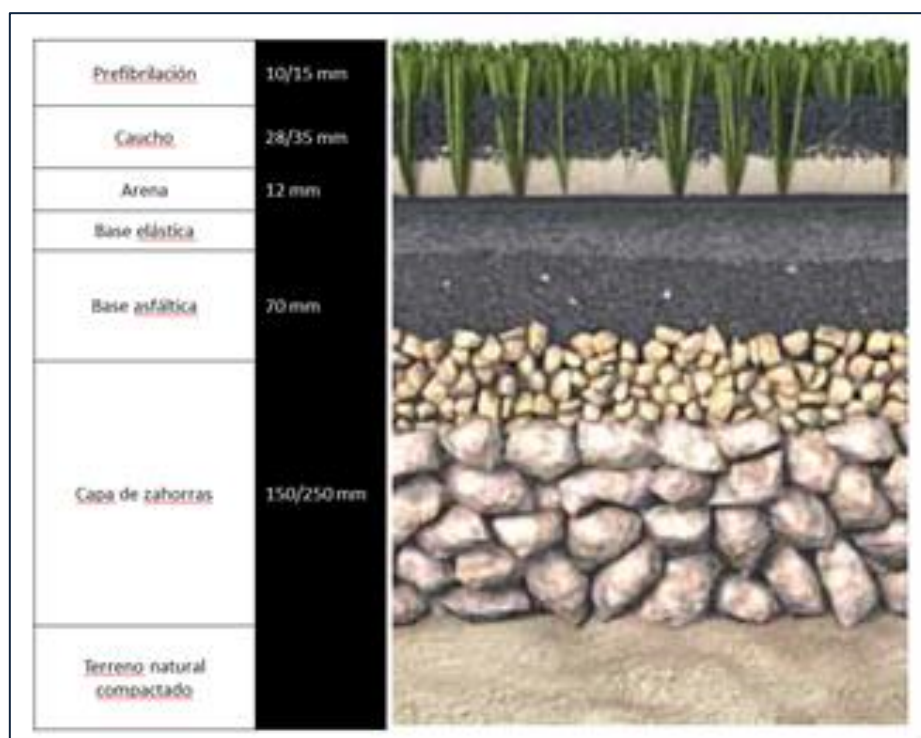


Figura 22 Estructura de un terreno de tercera generación
 (Fuente Consejo Superior de Deportes)

10.6.3. Consideraciones ambientales

La hierba natural es una superficie que necesita de un gran consumo de agua, junto con un mantenimiento frecuente e intenso. Por ello, el césped artificial constituye una alternativa segura y eficaz para reducir el consumo de este recurso limitado. Dependiendo de su ubicación, un campo de deporte tradicional de césped natural puede llegar a requerir el consumo de hasta 4,5 millones de litros de agua, que serían ahorrados en su mayor parte en caso del césped artificial. Se elimina, además, la necesidad de utilizar pesticidas o fertilizantes, siempre peligrosos para el medio ambiente.

Además, el césped artificial de 3ª generación ha supuesto una solución al problema de neumáticos usados. En la Unión Europea, unos 120 millones de neumáticos terminan su vida útil en basureros. Sólo en España, 250.000 toneladas de neumáticos anuales llegan al final de su vida útil, de los cuales antes sólo se reciclaba un 1,5% para su reutilización. Pero el uso del caucho SBR representa un buen ejemplo de reciclado, cada vez más en auge.

De acuerdo con los datos de los SIGs sobre la gestión de los neumáticos fuera de uso que se detallan en el apartado de fuentes procedentes de la degradación de los

neumáticos, resulta posible aproximarse a la cantidad de material que se destina en nuestro país para la construcción o relleno de campos de césped artificial, según se detalla en la siguiente tabla:

MASA DE NEUMÁTICOS VALORIZADA PARA CESPED ARTIFICIAL (T)			
AÑO	SIGNUS	TNU	TOTAL
2009	42.982	10.299	53.281
2010	34.139	6.978	41.117
2011	23.215	7.652	30.867
2012	17.630	6.268	23.898
2013	12.386	3.234	15.620
2014	19.278	4.355	23.633
2015	24.380	5.421	29.801
Media	24.859	6.315	31.174

Tabla 41 Masa de neumático recogida por las diferentes SIGs

En el plano negativo, algunos de los gránulos sintéticos o fibras quedan atrapados en el pelo, la ropa y el calzado de los jugadores y se transportan al final del juego. Cuando estas prendas se lavan, acaban en las aguas residuales. Asimismo, cuando llueve parte de los gránulos o fibras sueltas serán arrastradas directamente a las aguas de alcantarillado. En zonas frías, la retirada de la nieve arrastra una buena cantidad de partículas (KIMO, 2017). A lo largo del curso de un año regular, la capa de gránulos de caucho debe ser "rellenada". La Agencia Danesa de Medio Ambiente estima que cada año se añaden de 3 a 5 toneladas de granulado a cada campo de fútbol de césped artificial, de las que la mitad terminará en el medio ambiente a través de las siguientes vías:

- Liberación al área del suelo circundante.
- Liberación a las áreas pavimentadas que rodean el campo desde donde las operaciones de lavado o el agua de lluvia las arrastrará al alcantarillado o a las aguas superficiales.

- Liberación de las partículas de relleno a través de su contacto con bolsas deportivas, calzado, prendas de vestir o incluso en el cabello de los usuarios desde donde se eliminan por vaciado o se liberan en el sistema de alcantarillado a través de las descargas de las lavadoras.
- Liberación directa por el propio drenaje del campo a las aguas subterráneas, liberación al sistema de alcantarillado o liberación a arroyos cercanos debido a las fuertes lluvias.

10.6.4. Modelos de evaluación de emisiones

De acuerdo con los datos de Dinamarca, alrededor de entre 100 y 120 toneladas de granulados de relleno de caucho se utilizan para la capa de relleno de un campo de fútbol regular, una parte de las cuales se pierden y deben ser reemplazados de manera regular, además de que tal relleno suplementario es necesario debido a la compresión de los granulados de relleno en el campo. Tales aportes suplementarios se estiman entre 3 y 5 toneladas por año, la mitad de las cuales acaban siendo liberadas al medio.

Respecto a las propias fibras procedentes del césped artificial, estiman que su masa en un campo de fútbol regular es de 5.712 kg, de los que entre el 5 y el 10% se pierden anualmente y son liberadas al medio.

El modelo de evaluación que incorporan supone insignificante la liberación directa de partículas a las aguas superficiales y que entre el 5 y el 20% de la masa perdida acaba en el sistema de alcantarillado.

En el caso de Países Bajos, la asociación neerlandesa de neumáticos de automóviles, estimó unas tasas de suplemento inferiores a las mencionadas anteriormente y de entre 0,5 y 1 toneladas/año, basándose en entrevistas con directores de campo, empresas de mantenimiento y asociaciones deportivas. Se apunta, además, que la compactación del relleno supone un 10% de las necesidades de nuevos aportes de caucho. Las pautas de mantenimiento indican que los campos se limpian 6 veces al año para quitar las hojas caídas y la suciedad. Esto se hace por un aspirador especializado, que también elimina la arena y el relleno de goma. El relleno es tamizado y devuelto al campo, aunque una fracción del relleno se descarta como desecho, junto con la otra suciedad. Aproximadamente el 80% del suplemento anual de relleno es necesario para compensar esta pérdida. La liberación al pavimento circundante no supera el 5% y el 5% restante es transportado en el calzado, prendas, etc.

El borrador de documento base sobre fuentes de microplásticos, en curso por OSPAR considera un suplemento anual de caucho por campo de entre 500 y 3.000 kg, de los que entre el 0,1 y el 1% (tras los procesos de depuración) se liberarían a las aguas superficiales.

Además, los microplásticos se liberarán de las fibras de hierba artificial que se fragmentan debido al desgaste. Se estima que el 5-10% de las fibras de hierba se desgasta y se libera por año (Lassen, Hansen et al., 2015). De forma similar a la distribución del relleno, y teniendo en cuenta las incertidumbres en el patrón de distribución, se supone que del 1 al 5% de las fibras liberadas terminan en las aguas superficiales. Según un informe del Instituto Noruego para la Investigación del Agua (NIVA) (Källquist 2005), la cantidad de fibras de hierba es igual a 0,8 kg/m². Un campo de fútbol estándar es 7.140 m². Por lo tanto, la masa de fibras resulta ser de 5.712 kg por campo.

Con los datos anteriores, OSPAR evalúa las emisiones de un campo de deportes (futbol, al ser los más frecuentes) de acuerdo con los valores incluidos en la siguiente tabla:

	MÍNIMO	MÁXIMO
Relleno suplementario (ton/año/campo)	0,5	5
Liberación de fibras (ton/año/campo)	0,06	0,3
% Liberado a las aguas superficiales	0,1%	1%

Tabla 42 Intervalos de valores para el relleno suplementario, liberación de fibras y % liberado a las aguas superficiales en un campo de fútbol (OSPAR)

Debe resaltarse que en el porcentaje liberado a las aguas superficiales ya se ha tenido en cuenta el porcentaje de retirada debida a la depuración de las aguas residuales.

10.6.5. Estimación de aportes

La European Synthetic Turf Organization ha publicado estadísticas de campos de césped sintético en varios países (www.theesto.com), según las cuales el número de campos de césped artificial existentes en España (año 2012) es de 2.000.

No obstante a lo anterior, el Consejo Superior de Deportes realizó en 2005 el Censo Nacional de Instalaciones Deportivas, actualmente en fase de actualización, que además de contener datos más fidedignos sobre la situación en nuestro país, al estar singularizados por tipología de la instalación, permitirá hacer un cálculo mucho más aproximado a la superficie efectiva cubierta por césped artificial. De acuerdo con dicho Censo, el número de instalaciones deportivas con césped artificial existentes en las Comunidades Autónomas litorales por tipología y el total de España resulta ser de:

Nº Instalaciones deportivas hierba artificial							
CCAA	Pistas	Pistas con pared	Campos	Espacios longitud.	Vasos piscina	Salas	TOTAL
País Vasco	52	64	112	0	0	3	231
Cantabria	6	15	15	0	1	0	37
Asturias	4	28	20	0	0	0	52
Galicia	15	19	34	0	0	0	68
Andalucía	87	521	131	0	2	1	742
Región de Murcia	5	7	12	0	2	0	26
Valencia	76	117	93	1	5	1	293
Cataluña	195	276	234	0	2	0	707
Illes Balears	122	41	76	0	7	2	248
Canarias	227	82	181	0	6	1	497
Ceuta	0	0	0	0	0	0	0
Melilla	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL CCAA litorales	789	1.170	908	1	25	8	2.901
TOTAL España	898	1.477	1.108	1	nd	10	3.494

Tabla 43 *Censo Nacional de Instalaciones Deportivas
(Consejo Superior de Deportes, 2005)*

Para hacer un cálculo aproximado de la superficie cubierta por césped artificial, se tomarán las dimensiones estándar del tipo de práctica deportiva más frecuente:

- Pistas (pista de tenis): 670 m²
- Pistas con pared (pista de padel): 200 m²

- Campos (campo de fútbol): 7.140 m²
- Espacios longitudinales: 7.140 m²
- Vasos piscina: 1.500 m²
- Salas polivalentes: 200 m²

Los datos anteriores llevan a que la superficie teórica cubierta por césped artificial se eleve, en las Comunidades Autónomas litorales a 7,3 millones de m², si bien si se tienen en cuenta solo los campos con relleno de caucho, tal superficie sería de 6,5 millones de m².

Siendo conscientes que en tanto los datos correspondientes al Censo de Instalaciones Deportivas no estén actualizados, las cifras anteriores se encuentran muy probablemente minusvaloradas, se puede asumir que, de manera estimativa, que la superficie ocupada en las provincias litorales por campos de césped artificial rodará en la actualidad los **8 millones de m²** (7 millones para el caso de superficies con relleno de caucho).

Así, aplicando criterios similares a los adoptados por OSPAR, resultaría que:

10.6.5.1. Aportes de caucho para mantenimiento:

Aceptando que las necesidades de nuevos aportes para un campo de fútbol oscilan entre 0,5 y 5 t/año, resultarían una tasa de aporte de entre 0,07 y 0,7 kg/m² de las cuales un 10% deriva no de pérdidas al medio sino de la propia compactación del terreno por el uso.

Así, resultaría que los aportes para reponer la pérdida de material se elevarían para la superficie de 7 millones de m² considerada a entre 490 y 4.900 t/año.

De las anteriores cantidades, y de acuerdo con la información suministrada por Países Bajos, un 80% se descarta como desecho y cabe suponer que es gestionado en tierra por lo que cabe considerar que sólo el 10% de la masa de relleno de mantenimiento se deposita en el pavimento exterior o es transportado por los usuarios del campo en el calzado, ropa, etc y es este porcentaje el que, hipotéticamente, puede acabar siendo liberado a las aguas residuales.

Por lo tanto, la liberación a las aguas residuales estaría comprendida entre 49 y 490 t/año.

Aplicando la tasa de retirada por los procesos de depuración de aguas residuales (70%), se obtendría que la cantidad de partículas de caucho que llegarían al medio marino sería de entre 14,7 y 147,0 t/año.

10.6.5.2.- Pérdidas de fibras:

Partiendo de una masa de fibras en un campo de césped artificial de 0,8 kg/m² y que entre el 5 y el 10% de las mismas se fragmenta y se libera al medio, se obtendría para la superficie de cálculo considerada (8 millones de m² en este caso) que anualmente existe una pérdida de entre 320 y 640 t/año.

Cabe considerar, al igual que en el caso anterior, que únicamente un 10% de las anteriores cantidades puede acabar siendo liberada a las aguas residuales, por lo que dichos aportes estarían comprendidos entre 32 y 64 t/año.

Aplicando la tasa de retirada por los procesos de depuración de aguas residuales (70%), se obtendría que la cantidad de fibras sintéticas que, potencialmente, llegarían al medio marino sería de entre 9,6 y 19,2 t/año.

Por lo tanto, la masa de partículas que potencialmente pueden llegar al mar procedentes de las pérdidas de los campos deportivos de césped artificial es de:

EMISIONES AL MEDIO MARINO PROCEDENTES DE CAMPOS DE CÉSPED ARTIFICIAL:

Pérdidas de caucho:	14,7 – 147,0 t/año
Pérdidas de fibras:	9,6 – 19,2 t/año
TOTAL:	24,3 – 166,2 t/año

10.7. DETERGENTES COMO FUENTES DE MICROPLÁSTICOS

10.7.1. Los productos detergentes

Los detergentes se regulan, a nivel europeo, por el Reglamento 648/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 31 de marzo de 2004, que los define como:

“Toda sustancia o preparado que contenga jabón u otros tensoactivos y que se utilice en procesos de lavado y limpieza. Los detergentes podrán adoptar cualquier forma (líquido, polvos, pasta, barra, pastilla, formas moldeadas, etc.) y ser comercializados para uso doméstico, institucional o industrial”.

También se considerarán incluidos en esta definición los siguientes productos:

- «preparado auxiliar para el lavado», destinada al prelavado, aclarado o blanqueo de ropa, ropa de casa, etc.;
- «suavizante para ropa», destinado a modificar el tacto de los tejidos en procesos complementarios a su lavado;
- «preparado de limpieza», destinado a limpiadores domésticos generales o a la limpieza de otras superficies (materiales, productos, maquinaria, artefactos mecánicos, medios de transporte y equipo relacionado, instrumentos, aparatos, etc.);
- «otros preparados de limpieza y lavado», destinados a cualquier otro proceso de lavado o limpieza.

La limpieza es esencial por razones de higiene, seguridad. Por ejemplo, reducen el riesgo de contaminación bacteriana de los alimentos o evitan que las superficies se vuelvan resbaladizas. La limpieza prolonga la vida útil de los materiales porque la suciedad causa el deterioro de los materiales. Por último, pero no menos importante, la limpieza mejora el valor estético (aspecto y sensación) de los materiales.

Los consumidores exigen detergentes que sean, en primer lugar, eficaces y que ahorren tiempo. En la sociedad moderna, las actividades de limpieza que consumen mucho tiempo no se aprecian. En 2014, los consumidores holandeses gastaron 122 € por hogar (= 53 € per cápita) en detergentes. Aproximadamente el 10% se gastó en productos para el mantenimiento de superficies, el 25% en productos de limpieza y alrededor del 65% se utilizó para lavavajillas y detergentes para ropa.

El Reglamento de Detergentes establece que todos los detergentes deben especificar los ingredientes que los componen, pero esta información no siempre es fácil de encontrar. Además, no todos los consumidores conocen que productos químicos se consideran microplásticos.

En primer lugar, puede que los microplásticos no estén explícitamente indicados, apareciendo descritos por su nombre químico, como por ejemplo polietileno. No obstante, el polietileno no tiene por qué estar en forma de microplástico. Además, la información sobre los productos de consumo no suele estar presente en el embalaje, estando solo disponible a través de otras fuentes de información. Los detergentes para el mercado profesional están acompañados por una Ficha de Datos de Seguridad que contiene información sobre los ingredientes y sus peligros.

En una limpieza eficaz contribuyen cuatro factores: la fuerza mecánica (movimiento), los productos químicos, la duración y la temperatura. Los cuatro factores juntos determinan el resultado de la limpieza. Los abrasivos se añaden a algunos detergentes para aumentar la fuerza mecánica, de este modo no se necesita que los productos químicos sean tan agresivos consiguiendo en menos tiempo el mismo resultado.

Para que la función abrasiva sea efectiva las partículas deben tener un tamaño comprendido entre 50 y 1.000 μm . A este tipo de partículas se le llaman microperlas.

Antiguamente los abrasivos que se empleaban se fabricaban con ingredientes naturales como al arena (sílice) etc. Hoy en día se emplean abrasivos artificiales como la calcita (carbonato de calcita). La calcita es un agente de limpieza barato y eficaz, pero para algunas superficies resulta demasiado agresivo dada su dureza. Para zonas donde se necesita una acción abrasiva más suave se emplean agentes de limpieza abrasiva con partículas microplásticas, si bien el mercado de este tipo de productos es muy limitado.

Resulta importante señalar, por último, que en diciembre de 2014 Bélgica, Alemania, Austria y Suecia, con el apoyo de Luxemburgo, presentaron ante el Consejo de la Unión Europea una propuesta para tomar acciones contra el uso de microplásticos en productos. En la misma, se resaltaba la necesidad de prohibir el uso de microplásticos en los cosméticos y los detergentes para reforzar el papel de la Unión como punto de partida para productos innovadores y crecimiento y proporcionando condiciones de igualdad para la industria.

10.7.2. Modelos de evaluación de emisiones

De los informes sobre fuentes de microplásticos publicados por otros países, únicamente Alemania y Países Bajos incluyen una estimación de partículas procedentes de este sector. En el caso alemán se concluye que no existen evidencias de un uso más que ocasional de detergentes que contengan microplásticos en el hogar, estando su uso prácticamente restringido a un uso industrial y limitado a productos de limpieza de suelos que contienen ceras de polietileno que podrían ser considerados microplásticos, sin llegar a hacerse estimaciones de los aportes a las aguas superficiales o al medio marino.

Sin embargo, en el caso holandés si se procede a un cálculo sencillo basado en las siguientes hipótesis:

- Cada persona compra y utiliza 500 gr de detergentes abrasivos al año.
- Contenido de micropartículas en los detergentes (que los contienen) de un 6%.
- Penetración en el mercado, que calculan en un 0.5% para los productos abrasivos que contienen microplásticos.
- La población considerada.

10.7.3. Estimación de aportes

Puesto que no se dispone de otros modelos de evaluación, aplicando idénticas hipótesis de cálculo que las mencionadas anteriormente para Países Bajos y considerando como población la correspondiente a las provincias litorales (30.059.326 habitantes), se podría estimar que la emisión de microplásticos procedentes de esta fuente a las aguas superficiales sería, para el caso español, de 4,5 toneladas año.

Teniendo en cuenta que el tamaño de las partículas de microplástico empleado para fabricar los detergentes abrasivos es muy pequeño, se ha considerado que probablemente no sean eliminados en los proceso de depuración de las aguas residuales, llegando en su totalidad al medio marino.

**EMISIONES AL MEDIO MARINO PROCEDENTES DE
LIMPIADORES ABRASIVOS:**

4.5 t/año

11. RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente estudio se ha realizado por encargo de la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar para contribuir al desarrollo de la medida BM-14 “Estudio sobre cuantificación de fuentes de microplásticos e identificación de posibles medidas para su reducción en la fuente”, incluida en el Programa de Medidas de las Estrategias Marinas.

Para su elaboración se han analizado y considerado los informes que, sobre la misma temática, han elaborado otros países europeos y, de manera particular, Alemania, Dinamarca, Noruega, Países Bajos y Suecia, así como el progreso existente, a nivel internacional en el Plan de Acción contra las basuras marinas del Convenio OSPAR, que incluye la acción 46 (Evaluar todos los productos y los procesos que incluyen microplásticos primarios y actuar, si es adecuado, para reducir su impacto en el medio marino), dentro de la cual se está elaborando un documento base sobre fuentes de microplásticos, del que se ha tenido acceso a un borrador avanzado.

Para la selección de potenciales fuentes a analizar se ha de partir de la base de que una importante cantidad de los microplásticos presentes en el medio marino proceden de la fragmentación, en tierra o en el propio mar, de otros objetos de plástico de mayor tamaño. La cuantificación de este tipo de aportes resulta hoy en día imposible por cuanto sus vías de entrada al medio marino son indirectas y no existe procedimiento alguno para poder cuantificar los mecanismos de degradación y fragmentación de tales objetos. Por lo tanto, el estudio se restringe a fuentes directas de microplásticos primarios (por ejemplo pellets pre-producción o microplásticos presentes en productos de consumo) o aquellos secundarios (por ejemplo los procedentes del uso de los neumáticos, los campos de césped artificial, las pinturas, etc) para los que los datos de consumo y la aplicación de determinadas hipótesis de liberación al medio, pudieran dar una estimación de la cantidad que puede estar llegando al medio marino.

De esta manera, las fuentes que, tras un pormenorizado análisis bibliográfico y de las posibles fuentes de datos se han considerado, fueron:

- Degradación de los neumáticos por su uso.
- Cosméticos.
- Pellets pre-producción.
- Lavado de ropa sintética.
- Pinturas.
- Campos deportivos de césped artificial.
- Detergentes.

Con independencia de haberse recurrido a numerosos estudios bibliográficos y artículos científicos, muchos de los datos utilizados en el presente estudio fueron obtenidos de estadísticas oficiales o suministrados por los propios sectores, con los que a lo largo del desarrollo del trabajo, se ha mantenido un contacto muy frecuente y se ha intercambiado información. A estos efectos, se preparó y distribuyó un cuestionario para recabar información acerca de los datos de producción, importación y uso de microplásticos o productos que podrían producirse en los diferentes sectores y se organizó en octubre de 2016 el seminario “Protección del Medio Marino. Problemática de las basuras marinas” al que se cursó invitación a todas las asociaciones o colectivos que podrían suministrar tal tipo de dato.

Uno de los aspectos más importantes discutidos y acordados en dicho seminario fue el concepto y correspondiente definición de “microplásticos”, que resultó ser:

Los Microplásticos son un grupo de materiales sintéticos, producidos a partir de polímeros derivados del petróleo o de base biológica. Son partículas sólidas, de tamaño inferior a 5 mm, que no son solubles en agua y cuya degradabilidad es baja. Pueden provenir de la fragmentación de materiales de mayor tamaño por agentes externos tales como el poder oxidante de la atmósfera, radiaciones ultra violetas, o la fuerza mecánica ejercida por la acción de las olas, pérdidas en la cadena de producción y transformación de granza, procedentes de la composición de productos tales como cosméticos, pinturas plásticas, productos de limpieza, etc y degradación de neumáticos y campos deportivos artificiales.

Para cada una de las fuentes de microplásticos consideradas y de acuerdo con los datos obtenidos se ha realizado una estimación de las cantidades que, en nuestro país, pudieran estar vertiéndose al mar con carácter anual. Para ello y con independencia de adoptar uno o más modelos de cálculo en función de los enfoques que se han dado en otros países, se partió de dos hipótesis:

- El sector y/o fuente considerada emite al medio una determinada cantidad de microplásticos, pero de la misma únicamente una parte será emitida directa o indirectamente al mar a través de las aguas superficiales. Teniendo en cuenta las características geográficas e hidrológicas de nuestro país, se ha partido de la hipótesis de que únicamente deben considerarse los aportes que se producen en la zona litoral (en función de los datos disponibles, provincias o CCAA litorales), asumiendo que los aportes producidos en el interior y debido a

la importantísima regulación de nuestros cuerpos de agua fluviales, raramente llegarán al medio marino.

- Para aquellas fuentes cuya emisión al medio marino no se produce de manera directa sino a través de aguas residuales, debe aplicarse un porcentaje de reducción debido a los procesos de depuración de las mismas. Existen un número discreto de trabajos de investigación que vienen a indicar que, como media, la depuración de las aguas residuales retira de las mismas antes de su vertido un 80% de los microplásticos. Teniendo en cuenta que, de acuerdo con los datos existentes, puede estimarse que en nuestro país el 90% de las aguas residuales son tratadas, la tasa de retirada por depuración que se aplicó fue del 70%.

Partiendo de las anteriores hipótesis, las estimaciones de aportes resultaron ser las siguientes:

Degradación de los neumáticos por su uso:

Se realizaron dos aproximaciones, una basada en el consumo de neumáticos en nuestro país, cuyos datos medios pueden ser obtenidos a partir de los dos Sistemas Integrados de Gestión (SIGs) para este tipo de residuos y un segundo basado en la red de carreteras y el tráfico asociado, cuyos datos fueron obtenidos, esencialmente, del anuario de la Dir. Gral. de Carreteras (para vías interurbanas) y el Observatorio de la Movilidad Metropolitana (para vías urbanas).

El primero de los enfoques se basa en que, de acuerdo con datos experimentales, los neumáticos a través de su uso pierden durante su vida útil entre el 15 y el 30% de su masa inicial, con lo que el modelo de evaluación aplicado no puede sino hacer una estima de un rango de masa de partículas emitida al medio marino, que resultó ser de entre 1.700 y 4.200 toneladas por año.

Aplicando el segundo enfoque, que deriva del cálculo por separado de las tasas de utilización de las vías urbanas e interurbanas por tipo de vehículo (expresadas en vehículos-km), se llega a estimar que las emisiones al medio marino resultan ser de 3.100 toneladas por año.

Estando incluido el resultado de esta segunda aproximación dentro del rango de variación de la primera, se tomó aquel como resultado final de la estima para esta fuente de microplásticos.

Cosméticos:

La estimación de aportes se realizó tomando como base el estudio realizado por Gouin en 2012 basado en una encuesta realizada por Cosmetics Europe entre sus miembros para conocer la cantidad de productos de cosmética que contienen microplásticos y en qué proporción los contienen. Además se emplearon los datos de mercado aportados por Euromonitor en ese mismo año.

Para completar la estimación, se empleó un segundo estudio llevado a cabo también por Gouin en el año 2015, para el que se realizó una segunda encuesta a través de Cosmetics Europe para conocer el progreso en la reducción del uso de microplásticos en los productos cosméticos tras las recomendaciones hechas por el sector.

Con los datos anteriores y extrapolándolos para la población litoral española, resultó una estimación de 90 toneladas por año emitidas al medio marino.

Pellets pre-producción:

Tomando como base los datos suministrados por ANAIP y PlasticsEurope sobre el mercado español de termoplásticos (2015), en los que resulta posible desagregar la información de consumo por CCAA se aplicaron los modelos noruego y danés que estiman unas pérdidas al medio del 0,04 % para la producción, y el del 0,5% para el transporte.

Para calcular las pérdida producidas durante el transporte de los pellets, se aplicó también el factor de emisión del 0.05% adoptado en el informe realizado por EUNOMIA en base al estudio llevado a cabo en Noruega .

El modelo Alemán no distingue entre producción y transporte, estimando las pérdidas en un rango comprendido entre el 0,1 y el 1%. Este modelo no se ha tenido en cuenta puesto que las emisiones obtenidas aplicando estos factores de emisión parecen muy apartadas de la realidad y de las cifras resultantes de los otros modelos considerados. De esta manera, las emisiones al medio marino se estiman en 5.710 toneladas/año.

No obstante a lo anterior y teniendo en cuenta la magnitud de estos aportes, resulta necesario resaltar la reciente adopción de medidas por parte del sector en España dirigidas a fomentar las buenas prácticas ambientales y la minimización de pérdidas en toda la cadena logística. En otros países donde ya se vienen aplicando desde hace

más tiempo se han constatado reducciones muy significativas en los aportes de esta fuente.

Lavado de ropa sintética:

Existen diferentes estudios científicos dirigidos a cuantificar la pérdida de fibras con el lavado, si bien sus resultados muestran un amplio rango de variabilidad tanto en el número de fibras liberadas como en la masa que representan. Entre los diferentes trabajos consultados se encuentra incluso uno que llega a estimar una tasa de emisión de microfibras por habitante y año, que ha sido el adoptado por el Convenio OSPAR.

Aplicando la aproximación de liberación de microfibras por lavado (y eligiendo el rango comprendido entre los umbrales mínimo y máximo obtenidos en los diferentes artículos científicos) y los hábitos de lavado deducidos de una reciente encuesta dentro del Proyecto Life+ MERMAIDS²⁰, se llega a estimar que los aportes al medio marino resultan ser de entre 20 y 2000 toneladas por año.

La estimación basada en la tasa de emisión por habitante y año lleva, sin embargo, a una estimación de entre 70 y 300 toneladas por año.

Careciéndose actualmente de criterios científicos sólidos para decidir cuál de los dos enfoques metodológicos resulta más adecuado, parece oportuno que la estimación se realice como el promedio de ambos resultados, con lo que se obtendría que las emisiones al medio marino estarían comprendidas entre 35 y 450 toneladas por año.

Pinturas:

Si bien las pinturas no incluyen entre sus ingredientes microplásticos primarios, el deterioro, fragmentación y pérdida de las capas de pintura empleadas tanto en el sector naval como en el de la construcción o el bricolaje, puede generar la liberación de fragmentos de pintura plástica que, cuando el tamaño es inferior a 5 mm serían considerados microplásticos debido a su contenido de polímeros.

Partiendo de los datos suministrados por la Asociación Española de Fabricantes de Pintura y Tintas de imprimir (ASEFAPI) se calcularon por una parte las cantidades de microplásticos emitidas por el uso de pintura en trabajos de mantenimiento de buques

²⁰ Proyecto Life+ MERMAIDS, Mitigation of microplastics impact caused by textile washing processes de referencia LIFE13 ENV/IT/001069. <http://life-mermaids.eu/es/>

de gran tamaño y embarcaciones de recreo y por otra las cantidades de microplásticos emitidos originados por el uso de pinturas de recubrimiento y pinturas decorativas en trabajos de construcción y bricolaje.

Para estimar las emisiones en el caso de trabajos de mantenimiento de buques de gran tamaño se aplicó el factor de emisión estimado por la OCDE para estas operaciones que es del 11%, mientras que en el caso de emisiones originadas por trabajos de construcción y bricolaje el factor de emisión propuesto por la OCDE fue de 6.4%. Para emisiones procedentes del uso de pinturas en trabajos de mantenimiento de embarcaciones recreativas no se puede establecer ningún factor de emisión debido a la falta de datos.

Además del modelo noruego se aplicó la aproximación realizada en el informe de EUNOMIA para la Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión Europea según el cual el 6% de la pintura del revestimiento de los barcos se derrama al mar, no teniendo en cuenta las pérdidas al suelo que la OCDE estimaba en un 5%, por considerarlo una sobreestimación.

Para calcular las emisiones de microplásticos originadas por el uso de pintura en trabajos de construcción y bricolaje se aplica un factor de emisión del 3,3% (1,5% durante la aplicación y 1,8% durante el uso) que se aplicará a todo el sector como una estimación conservadora. En todos los casos se asume un contenido de polímero del 25%.

Finalmente, calculando la media de los resultados obtenidos en cada uno de los modelos aplicados y aplicando la tasa de eliminación en depuradoras se podrían estar emitiendo en nuestro país entre 425 y 714 toneladas de microplásticos por año procedentes del uso de pinturas.

Campos deportivos de césped artificial:

La liberación al medio de microplásticos procedentes de la utilización de campos deportivos de césped artificial puede proceder de la fragmentación de las propias fibras de césped (fundamentalmente polipropileno y en los últimos años polietileno) o de los rellenos con granulado de caucho (en su mayoría procedentes del reciclaje de los neumáticos) que actúa de soporte vertical de las fibras de césped.

Una buena parte de estas partículas liberadas se depositan en los márgenes del campo de deportes y tras su limpieza son gestionadas como RSU pero, sin embargo, otra parte no desdeñable es transportada por los usuarios de las instalaciones en su calzado, ropa u otros artículos y su lavado doméstico originará su liberación a las aguas residuales.

La superficie ocupada por este tipo de instalaciones en las CCAA litorales fue obtenida a partir del Censo Nacional de Instalaciones Deportivas (2005) si bien dada su antigüedad se ha realizado una estimación al alza. Los datos correspondientes a necesidades anuales de relleno de caucho por mantenimiento y la propia pérdida de fibras por fragmentación se han obtenido a partir de encuestas sobre el sector realizadas por otros países.

De esta manera, se llegó a una estimación de emisiones al medio marino de entre 15 y 150 toneladas por año que se corresponden con pérdidas de los rellenos de caucho y entre 10 y 19 toneladas por año que se corresponden con las propias fibras de césped artificial, lo que eleva la estima total a una cantidad comprendida entre 25 y 165 toneladas por año.

Detergentes:

Para que un detergente sea eficaz contribuyen cuatro factores: la fuerza mecánica (movimiento), los productos químicos, la duración y la temperatura. Los abrasivos se añaden a algunos detergentes para aumentar la fuerza mecánica, de este modo no se necesita que los productos químicos sean tan agresivos consiguiendo en menos tiempo el mismo resultado (sílice, carbonato de calcita etc).

Para zonas donde se necesita una acción abrasiva más suave se emplean agentes de limpieza abrasiva con partículas microplásticas.

Tomando como base las hipótesis de cálculo establecidas por Países Bajos en su informe sobre fuentes de microplásticos y la población litoral española, se llega a estimar que las emisiones de microplásticos al medio marino procedentes de la utilización de limpiadores abrasivos resultan ser de 4,5 toneladas por año.

A modo de resumen, la siguiente tabla incluye los resultados obtenidos para las diferentes fuentes de microplásticos consideradas en el presente estudio:

RESUMEN DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES AL MEDIO MARINO (t /año)	
Detergentes	4
Cosméticos	90
Campos deportivos de césped artificial	25 - 165
Lavado de ropa sintética	35 - 450
Pinturas	425 - 714
Degradación de los neumáticos por su uso	1.700 - 4.200
Pellets pre-producción	5.700

Tabla 44 *Resumen de estimación de vertidos al medio marino*

Resulta importante señalar, por último, que si bien las anteriores estimaciones se han realizado teniendo en cuenta los datos más recientes que se han conseguido recabar, en el contexto europeo existe una importante preocupación con la problemática derivada de las emisiones de microplásticos al medio ambiente y en diciembre de 2014 Bélgica, Alemania, Austria y Suecia, con el apoyo de Luxemburgo, presentaron ante el Consejo de la Unión Europea una propuesta para tomar acciones contra el uso de microplásticos en productos. En la misma, se resaltaba la necesidad de prohibir el uso de microplásticos en los cosméticos y los detergentes para reforzar el papel de la Unión como punto de partida para productos innovadores y crecimiento y proporcionando condiciones de igualdad para la industria. Si bien hasta el momento no se han establecido medidas legales a este respecto, la Comisión Europea viene trabajando intensamente en las medidas que, en el ámbito de la Unión se pueden adoptar.

Lo anterior, unido a las medidas voluntarias adoptadas por determinados sectores, como es el caso de la cosmética o la producción y transformación del plástico, podría hacer que en un futuro cercano las cantidades de microplásticos que se emitan al medio marino resulten significativamente inferiores a las estimadas en el presente informe.

Para mejorar el conocimiento sobre las fuentes de microplásticos y hacer una cuantificación de las emisiones más precisa resulta fundamental mejorar el conocimiento científico sobre un gran número de cuestiones. Entre ellas, cabe resaltar las siguientes:

- Tasa de retirada de microplásticos en los procesos de depuración de aguas residuales: El presente informe se ha basado en la escasa bibliografía existente sobre este particular, en la que se encuentran resultados que varían entre un 0 y un 99,9% de efectividad. Resultaría necesario realizar estudios más pormenorizados que, con el necesario rigor estadístico, por ejemplo, considerando la variabilidad en las condiciones de pluviosidad o carga estacional de las plantas de tratamiento, diesen una mejor información al respecto y, a ser posible, diferenciando la efectividad por tipo de tratamiento.
- Aportes de microplásticos al medio marino desde el medio fluvial. El presente informe ha partido de la hipótesis de que los aportes de microplásticos por los cauces fluviales procedentes de zonas interiores resultan despreciables. Es innegable que la regulación de los ríos a través de presas hacen de “trampa de sedimentación” de la misma manera que para sedimentos naturales. Sin embargo, el conocimiento científico a este respecto es prácticamente inexistente.
- Mejora del conocimiento científico de las emisiones al medio en general pero, de manera particular, en las fuentes que en el presente estudio se han manifestado como las de mayor cuantía (por ejemplo, lavado de textiles) o para las que la información existente no permiten más que estimarlas con un amplio rango de variabilidad (por ejemplo, pérdida de pellets o pérdidas procedentes de campos deportivos de césped artificial).
- Mejora del conocimiento de los productos que contienen microplásticos primarios y las proporciones en las que los contienen, así como de aquellos que pueden dar lugar a microplásticos secundarios.

Finalmente resulta necesario señalar que el presente estudio no ha entrado a considerar los aportes de microplásticos para el medio marino procedentes de la fragmentación de otros objetos de plástico de mayor tamaño (bolsas, botellas, etc), que en todo caso, cuando su tamaño fuera inferior a 5 mm se considerarían microplásticos secundarios. De acuerdo con el último borrador del informe de evaluación de OSPAR estos aportes resultarían claramente mayoritarios frente a los aportes directos de microplásticos, ya fueran de tipo primario o secundario. La evaluación de los mismos resulta imposible con el conocimiento que hoy se tiene sobre las tasas reales de degradación de tales objetos en el medio marino, las cantidades reales aportadas tanto desde fuentes terrestres como marinas y el hecho de que la basura marina en general y la de tipo plástico en particular, al ser en su mayor parte menos densa que el agua del mar flotará sobre la superficie marina

durante un tiempo indeterminado, con lo que la propia dinámica marina tenderá a dispersarla originando una afección que excede al ámbito nacional.

Madrid, junio de 2017

Los autores del Trabajo



D.^a María Plaza Arroyo
Lda. en Ciencias Químicas
Titulado Superior de Actividades
Técnicas y Profesionales



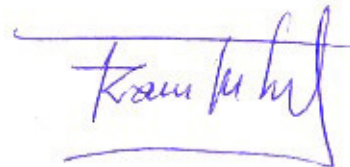
D. José Luis Buceta Miller
Ldo. en Ciencias Biológicas
Consejero Técnico

Examinado y conforme:



D.^a Ana Lloret Capote
Lda. en Ciencias del Mar
Directora de Medio Marino

Vº Bº



D. Ramón M^a Gutiérrez Serret
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Director del Centro de Estudios de Puertos y Costas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. Andrady AL. 2011. *Microplastics in the marine environment*. Marine Pollution Bulletin 62: 1596–1605.
2. Åström, L (2016). *Shedding of synthetic microfibers from textiles*. Institutionen för biologi och miljövetenskap. Göteborgs universitet. En http://bioenv.gu.se/digitalAssets/1568/1568686_linn---str--m.pdf
3. Arthur CD, Baker J, Bamford H. (eds.) 2009. *Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris*. September 9-10, 2008; Tacoma, WA. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30.
4. Blok, J. – *Environmental exposure of road borders to zinc*. Science of the Total Environment 348 (2005), 173 – 190.
5. BKV – *Beteiligungs und Kunststoffverwertungsgesellschaft* (2010): Kunststoff – Werkstoff der Ressourceneffizienz. Von der Herstellung bis zur Verwertung. BKV, Frankfurt am Mai.
6. Brandsma, S.B., Nijssen, P., Van Velzen, M.J.M. & Leslie, H.A. (2014). *Microplastics in river suspended particulate matter and sewage treatment plants*. IVM Report R14/02. 20 pp. En <http://www.kenniswijzerzwerfafval.nl/document/microplastics-river-suspended-particulate-matter-and-sewage-treatment-plants>
7. Broeke, J. Hulskotte and H. Denier van der Gon (2008). *Road traffic tyre wear*. En emission estimates for diffuse sources. Netherlands Emission Inventory.
8. Browne MA, Crump P, Niven SJ, Teuten EL, Tonkin A, Galloway T, Thompson RC. 2011. *Accumulations of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks*. Environmental Science & Technology 45: 9175–9179
9. Browne, M. A., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe, D. M. & Thompson, R. C. (2008). *Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, Mytilus edulis (L.)*. Environmental Science & Technology, 42 (13). pp 5026-5031.
10. Bruce NJ, Hartline NL, Karba SN, Ruff EO, Sonar SU and Holden PA (2016). *Microfiber Masses Recovered from Conventional Machine Washing of New or Aged Garments*. Environ. Sci. Technol., 2016, 50 (21), pp 11532–11538
11. Carson, H. S., Colbert, S. L., Kaylor, M. J. & McDermid, K. J. (2011). *Small plastic debris changes water movement and heat transfer through beach sediments*. Marine Pollution Bulletin, 62 (8). pp 1708-1713
12. Codina-García M, Militão T, Moreno J. Plastic debris in Mediterranean seabirds. Marine Pollution Bulletin. Volume 77, Issues 1–2, 15 December 2013, Pages 220–226
13. Consejo Superior de Deportes. *Seguridad y mantenimiento de los campos de fútbol de césped artificial*. ISBN 978-84-7949-217-5.
14. Convenio de Basilea (2011). *Directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de neumáticos usados y de desecho*. Documento UNEP/CHW.10/6/Add.1/Rev.1.

15. Cosmetic Ingredient Review. 2002. *Final report on the safety assessment of acrylates copolymer and 33 related cosmetic ingredients*. International Journal of Toxicology 21:1-50.
16. Cosmetic Ingredient Review. 2011. *Silylates and surface modified siloxysilicates as used in cosmetics*. Final safety assessment, Washington D.C. 25 pp.
17. Cosmetic Ingredient Review. 2012. *Safety assessment of modified terephthalate polymers as used in cosmetics. Tentative Report for Public Review*, Washington D.C. 20 pp.
18. Essel et al. *Sources of microplastics relevant to marine protection in Germany*. TEXTE 64/2015 Project No. 31969.
19. FAO/ICAC (2013). *World Apparel Fibre Consumption Survey*. En https://www.icac.org/cotton_info/publications/statistics/world-apparel-survey/FAO-ICAC-Survey-2013-Update-and-2011-Text.pdf
20. Folkö, A (2015). *Quantification and characterization of fibers emitted from common synthetic materials during washing*. Universidad de Estocolmo. En <https://www.kappala.se/Documents/Rapporter/Industrikontroll/Microplastics%20Folk%C3%B6%20Amanda%202015.pdf>
21. Goddard ED, Gruber JV (eds). 1999. *Principles of Polymer Science and Technology in Cosmetics and Personal Care*. Marcel Dekker Inc. New York, USA. 668 pp.
22. Gouin T, Avalos J, Brunning I, Brzuska K, Graaf de J, Kaumanns J, Konong T, Meyberg M, Rettinger K, Schlatter H, Thomas J, Welie van R, Wolf T. 2015. *Use of Micro-Plastic Beads in Cosmetic Products in Europe and Their Estimated Emissions to the North Sea Environment*. SOFW Journal; International Journal for Applied Science (English Edition). 3-2015.
23. Gouin, T., Roche, N., Lohmann, R., & Hodges, G. (2011). *A thermodynamic approach for assessing the environmental exposure of chemicals absorbed to microplastic*. Environmental Science and Technology, 45, 1466–1472
24. Hubbs AF, Mercer RR, Benkovic SA, Harkema J, Sriram K, Schwegler-Berry D, Goravanahally MP, Nurkiewicz TR, Castranova V, Sargent LM. 2011. *Nanotoxicology - a pathologist's perspective*. Toxicologic Pathology 39: 301–324.
25. Hylands, K.N. Shulman, V. *Civil Engineering Applications of Tyres*. Reporting VR 5. Viridis. 2003.
26. Hillenbrand, T., Toussaint, D., Böhm, E., Fuchs, S., Scherer, U., Rudolphi, A. & F. Hoffmann (2005): *Einträge von Kupfer, Blei und Zink in Gewässer und Böden*. UBA-Texte 19/05, Dessau
27. Källqvist, T (2005). *Environmental Risk Assessment of Artificial Turf*. Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-5777-4821-8.

28. KIMO. *Microplastic Pollution from Artificial Grass – A Field Guide*. En <http://www.kimointernational.org/news/microplastic-pollution-from-artificial-grass-a-field-guide/>
29. Kreider, ML et al (2010). *Physical and chemical characterization of tire-related particles: Comparison of particles generated using different methodologies*. *Science of the Total Environment* 408(3). January 2010
30. Lassen, C., et al. (2015). *Microplastics - Occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark*. Copenhagen, Danish EPA,: 205.
31. Leslie HA, Moester M, de Kreuk M, Vethaak AD. 2012. *Exploratory study of the emission of microplastics from wastewater treatment plants*. H20 14/15: 45–47.
32. Lidert Z. 2005. *Microencapsulation: An overview of the technological landscape*. In: Meyer R Rosen (ed.) *Delivery System Handbook for Personal Care and Cosmetic Products*, William Andrew Publishing, Norwich NY, USA, pp. 180-190.
33. Liebezeit G, Dubaish F. 2012. *Microplastics in Beaches of the East Frisian Islands Spiekeroog and Kachelotplate*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 89:213-217
34. Magnusson, K (2014). *Mikroskräp i avloppsvatten från tre norska avloppsreningsverk*. IVL Svenska Miljöinstitutet december 2014. Rapport C 71. En <http://www.miljodirektoratet.no/no/Publikasjoner/2015/Januar1/Mikroskrap-i-avloppsvatten-fran-tre-norska-avloppsreningsverk/>
35. MAPAMA (2016). *Informe OMM-2014*. Centro de Publicaciones del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. NIPO: 280-15-056-5. En http://www.observatoriomovilidad.es/images/stories/05_informes/informe_OMM_2014.pdf
36. Marwood et al (2011). *Acute aquatic toxicity of tire and road wear particles to alga, daphnid, and fish*. *Ecotoxicology*, 2011, Volume 20, Number 8.
37. Moret-Ferguson, S., Law, K.L., Proskurowski, G., Murphy, E.K., Peacock, E.E., Reddy, C.M., 2010. *The size, mass, and composition of plastic debris in the Western North Atlantic Ocean*. *Mar. Pollut. Bull.* 60, 1873–1878.
38. Murphy, F, Ewins, C, Carbonnier, F, Quinn, B. (2016). *Wastewater Treatment Works (WwTW) as a Source of Microplastics in the Aquatic Environment*. *Environmental Science and Technology* 50(11) · May 2016.
39. Napper, I, Thompson, R (2016). *Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions*. *Marine Pollution Bulletin* 112 (2016) 39–45.
40. NVZ, 2014, *Jaarbericht 2014 van de Nederlandse Vereniging van Zeepfabrikanten, de brancheorganisatie van fabrikanten en importeurs van was- en reinigingsmiddelen*. 61 pag.
41. Perry RJ. 2005. *“Profragrant” Silicone Delivery Polymers*. In: Meyer R Rosen (ed.) *Delivery System Handbook for Personal Care and Cosmetic Products*. William Andrew Publishing, Norwich NY, USA, pp 333–352.
42. Rao JP, Geckeler KE. 2011. *Polymer nanoparticles: Preparation techniques and size-control parameters*. *Progress in Polymer Science* 36: 887–913.

43. Rettinger, K. - *Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel e.V.* (2014): personal communication.
44. Sartorius, I. (2012): *Kunststoffe und Ressourceneffizienz. Präsentation auf dem Ressourceneffizienzkongress Baden-Württemberg, Karlsruhe, 28. September 2012.* available at: http://www.ressourceneffizienzkongress.de/files/f_15_sartorius.pdf
45. Sundt P, Schulze P-E, Syversen F (2014). *Sources of microplastics-pollution to the marine environment.* Mepex for the Norwegian Environment Agency. En <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M321/M321.pdf>.
46. Talvitie. J, Heinonen. M, Pääkkönen. JP, Vahtera. E, Mikola. A, Setälä. O and Vahala. R. (2015). *Do wastewater treatment plants act as a potential point source of microplastics? Preliminary study in the coastal Gulf of Finland, Baltic Sea.* *Water Science & Technology* 72.9, 2015, pp 1495-1504.
47. Thompson RC, Olsen Y, Mitchell RP, Davis A, Rowland SJ, John AWG, McGonigle D, Russel AE. 2004. *Lost at sea: where is all the plastic?*. *Science* 304: 838.
48. TNO (2014). *Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands.* En https://english.rvo.nl/sites/default/files/2016/08/Klein_et_al._2015_Methods_for_calculating_emission_from_transport_in_NL_0.pdf
49. TNU. *Memoria* 2014. En http://www.tnu.es/recurso/pagina/archivo/tnu_memo_14.pdf.
50. UNEP (2015). *Plastic in cosmetics: Are we polluting the environment through our personal care?*. En: <http://web.unep.org/ourplanet/september-2015/unep-publications/plastic-cosmetics-are-we-polluting-environment-through-our-personal>
51. USEPA as referred to in OECD (2009). EMISSION SCENARIO DOCUMENT ON ADHESIVE FORMULATION. Page 153
52. Von Moos, N., Burkhardt-Holm, P. & Koehler, A. (2012). *Uptake and Effects of Microplastics on Cells and Tissue of the Blue Mussel Mytilus edulis L. after an Experimental Exposure.* *Environmental Science & Technology*, 46 (20). pp 11327-11335.
53. Van Broekhuizen, J.C., et al., 2000. *Decopaint — Study in the potential for reducing emissions of volatile organic compounds (VOC) due to the use of decorative paints and varnishes for professional and non-professional use.* Final report by Chemiewinkel, Enterprise Ireland and Wetenschappelijk Instituut voor Milieumanagement for the European Commission DG Environment. 333 pag.
54. van Franeker JA, Law KL. *Seabirds, gyres and global trends in plastic pollution.* *Environ Pollut.* 2015 Aug; 203:89-96. doi: 10.1016/j.envpol.2015.02.034.
55. Van Franeker J.A, C. Blaize, J. Danielsen, K. Fairclough, J. Gollan, N. Guse, P.L. Hansen, M. Heubeck, J.-K. Jensen, G. Le Guillou, B. Olsen, K.O. Olsen, J.

- Pedersen, E.W.M. Stienen, D.M. Turner. *Monitoring plastic ingestion by the northern fulmar Fulmarus glacialis in the North Sea*. Environ. Pollut., 159 (2011), pp. 2609–2615.
56. Verschoor et al. *Emission of microplastics and potential mitigation measures: Abrasive cleaning agents, paints and tyre wear*, RIVM Report 2016-0026.
57. Wik A, Dave G (2005). *Environmental labeling of car tires—toxicity to Daphnia magna can be used as a screening method*. Chemosphere 58:645–651.
58. Wright SL, Thompson RC, Galloway TS. 2013. *The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review*. Environmental Pollution 178: 483–492.
59. Wright, S. L., Rowe, D., Thompson, R. C. & Galloway, T. S. (2013a). *Microplastic ingestion decreases energy reserves in marine worm*. Current Biology, 23 (23). pp R1031-R1033.
60. Wright, S. L., Thompson, R. C. & Galloway, T. S. (2013b). *The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review*. Environmental Pollution, 178 (0). pp 483-492.