

Universidad de Oviedo

ESCUELA SUPERIOR DE LA MARINA CIVIL DE GIJÓN

Trabajo Fin de Máster

TRANSPORTE MARÍTIMO Y MEDIO AMBIENTE

Para acceder al Título de Máster Universitario en

NÁUTICA Y GESTIÓN DEL TRANSPORTE MARÍTIMO

Autor/a: Iván Riesgo Gómez

Tutor/a: Lorena García Alonso

Julio - 2020

Índice:

1. Introducción	3
2. Contaminación del aire	4
2.1 Monóxido de carbono y otras emisiones de efecto invernadero	4
2.2 Compuestos orgánicos volátiles.....	6
2.3 Partículas volátiles y carbón negro	7
2.4 Óxidos de azufre y nitrógeno	9
3. Derrames por parte de los buques.....	16
3.1 Derrames de hidrocarburos	16
3.2 Vertidos de graneles sólidos	23
4. Basuras	28
4.1 Gestión de basuras generadas en los buques.....	28
4.2 Residuos plásticos	31
4.3 Aguas sucias	33
4.4 Tratamiento de basuras en puerto	34
5. Desguace tras la vida útil del buque	37
6. Naufragios	42
7. Especies invasivas presentes en el agua de lastre.	44
8. Ruido subacuático	46
9. Abordajes contra animales marinos de gran tamaño	48
10. Conclusiones.....	50

1. Introducción

Desde que se comenzaron a emplear buques para el transporte de mercancías entre las distintas regiones del planeta, se ha buscado siempre la manera en la que se logre transportar una mayor cantidad de bienes en el menor tiempo posible. Esta evolución en el transporte marítimo ha causado un gran desarrollo tecnológico de los buques a lo largo de la historia, lo que ha hecho que actualmente el tráfico de mercancías por vía marítima sea la opción más popular y más eficiente.

Sin embargo, esta popularización ha llevado aparejado un incremento en la contaminación del planeta debida a las distintas emisiones que son generadas por los buques durante sus tránsitos y durante sus estancias en puerto. A lo largo del siglo XX y principios del XXI, al mismo tiempo que se desarrollaban nuevas tecnologías para el transporte, se efectuaron numerosos estudios científicos que aportan pruebas sólidas acerca de los efectos nocivos que estas sustancias contaminantes tienen en nuestro planeta. Utilizando estos descubrimientos como apoyo, surgieron numerosas voces que trataron de concienciar acerca de la peligrosidad de estas sustancias, llegando a los organismos internacionales más importantes. Desde dichos organismos, y especialmente desde la “Organización Marítima Internacional” (IMO) se ha intentado reducir, mediante la creación de normativa, la generación de estos residuos contaminantes y tomar medidas para paliar los efectos que estos tienen en el planeta.

En este trabajo se exponen las distintas formas de contaminación y daños medioambientales generados por los buques durante su funcionamiento y tras su vida útil, entre las que figuran los vertidos de gases, hidrocarburos, graneles y basuras, entre otros. Posteriormente se trata cómo el tráfico marítimo afecta negativamente a los seres vivos que habitan los mares y océanos, a causa del desplazamiento involuntario de seres vivos de un punto a otro del planeta en los tanques de lastre de los buques, el ruido submarino que producen los motores de los buques o los abordajes contra animales marinos de gran tamaño. En cada caso vienen recogidos los distintos efectos nocivos sobre el medio ambiente que se conocen y la legislación que se ha elaborado por parte de organismos internacionales para hacer frente a todos estos problemas.

2. Contaminación del aire

La contaminación del aire atmosférico causada por el tráfico marítimo afecta tanto al medio ambiente como a la salud de los seres humanos. El transporte marítimo de mercancías genera el 33% de todas las emisiones causadas por el empleo de combustibles fósiles, incluyendo un 3.3% del CO₂ que se halla en la atmósfera. Esta contaminación es generada principalmente por la expulsión a la atmósfera de los residuos de los combustibles empleados para hacer funcionar los motores de los buques (Schrooten et al., 2009).

Actualmente hay disponibilidad de combustibles de todo tipo y procedencia, pero los combustibles más populares son los derivados del petróleo conocidos como “marine diesel oil” (MDO), “marine fuel oil” (MFO) y “heavy fuel oil” (HFO) (Fritt-Rasmussen et al., 2018). Los dos poseen una menor viscosidad y contenido energético por unidad de volumen. Es por ello que son empleados en motores de alta velocidad (Oeder et al., 2015). El HFO, en cambio, es más pesado y viscoso, por lo que es utilizado en motores de velocidad baja y media, ya que necesita ser calentado para reducir su viscosidad y así ser bombeado a lo largo del sistema de combustible e inyectado en la cámara de combustión de los motores. Tiene un mayor contenido energético por unidad de volumen, pero retiene, debido al alto grado de impurezas que alberga, muchos más contaminantes presentes en el petróleo (Langella et al., 2016). Algunas de estas impurezas son restos de catalizadores empleados en el proceso de refinado que permanecen en el combustible y que además son altamente abrasivas y dañinas para los motores. La popularidad de estos combustibles es debida a su bajo precio, ya que de no ser empleados como combustible se tratarían como residuos del proceso de refinado del petróleo y no tendrían aplicaciones industriales. La gran cantidad de impurezas presentes en ellos hacen que durante su combustión se formen moléculas muy dañinas para el medio ambiente (Fan & Gu, 2019).

Si bien son difíciles de cuantificar, las emisiones causadas por el tráfico marítimo se han incrementado enormemente a lo largo de los últimos 50 años, contribuyendo al calentamiento global del planeta, puesto que los gases de efecto invernadero y otros contaminantes convencionales son generados por el empleo de diversos tipos de combustibles fósiles. Aproximadamente un 70% de estas emisiones tienen lugar a menos de 400km de las costas (Han, 2010). Los tipos de sustancias contaminantes hallados más frecuentemente en las emisiones de los buques son el monóxido de carbono (CO) y otros gases de efecto invernadero, los compuestos orgánicos volátiles (VOCs), partículas volátiles con un diámetro inferior a diez micrómetros, otras partículas que se conocen como carbón negro, y por último óxidos de azufre (SO_x) y óxidos de nitrógeno (NO_x) (Alessandrini et al., 2016). Todos estos contaminantes se tratarán a continuación con mayor detalle.

2.1 Monóxido de carbono y otras emisiones de efecto invernadero

El efecto invernadero es un fenómeno producido en la atmósfera terrestre que consiste en lo siguiente: la radiación solar llega a la Tierra y atraviesa la atmósfera hasta llegar a la superficie, calentándola. A continuación, esta radiación es reflejada de nuevo hacia la atmósfera. Sin embargo, una parte de dicha radiación se queda acumulada en la atmósfera terrestre, actuando esta de manera análoga al techo de un invernadero. Este

fenómeno es común en todos los planetas que poseen atmósfera gaseosa, pero ciertos gases emitidos a la atmósfera tanto por los humanos como por fenómenos naturales contribuye a incrementar este fenómeno, lo que causa un incremento paulatino de la temperatura media de la superficie terrestre.

Uno de los gases más comunes de efecto invernadero generados en el tráfico marítimo es el monóxido de carbono, que es un gas inflamable incoloro, inodoro e insípido que es ligeramente menos denso que el aire. Es tóxico para los animales que utilizan la hemoglobina como portadora de oxígeno cuando se encuentra en concentraciones superiores a unas 35 ppm. Está presente en pequeñas cantidades en la atmósfera de la Tierra, pero alrededor de la mitad del monóxido de carbono presente en esta proviene de la quema de combustibles fósiles y de incendios forestales (Rose et al., 2017). La mayor parte del resto proviene de reacciones químicas con compuestos orgánicos emitidos por otras actividades humanas y por las plantas. También se emiten pequeñas cantidades desde el océano y por la actividad geológica terrestre de manera natural. Sin embargo, debido a que las fuentes naturales de monóxido de carbono son tan variables de un año a otro, es difícil medir con precisión las emisiones naturales del gas (Yue & Gao, 2018). Aunque no se lo considera como un gas de efecto invernadero en sí mismo, el CO aumenta indirectamente la cantidad de otros gases de este tipo, como el metano, al reaccionar con compuestos presentes en la atmósfera terrestre, pero normalmente se oxida generando dióxido de carbono (Rozante et al., 2017).

A parte del monóxido de carbono, los buques puede contribuir a la generación de otros gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂) antes mencionado, el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), que son un gran contribuyente a la contaminación atmosférica generada por el ser humano (Lipperheide et al., 2019). El dióxido de carbono es un gas incoloro que puede ser generado tanto de manera natural por la actividad volcánica terrestre o la respiración de los seres vivos, como de manera artificial mediante la combustión de materiales orgánicos y combustibles fósiles. Altas concentraciones de este gas pueden provocar asfixia en los seres vivos debido a que desplaza el oxígeno presente en el aire. Su presencia en la atmósfera terrestre se ha ido incrementando progresivamente desde la Revolución Industrial hasta nuestros días, debido a que es generado en multitud de procesos donde se emplean motores de combustión (Keeling, 1997). En el caso del metano (que es parte principal de lo que se conoce como gas natural), es un gas de efecto invernadero inflamable, incoloro e inodoro que se encuentra tanto bajo tierra como bajo el fondo marino, y se forma por procesos tanto geológicos como biológicos. La mayor reserva de metano se encuentra bajo el lecho marino. Este gas contribuye al calentamiento global unas 20 veces más que el del dióxido de carbono y también puede provocar asfixia en los seres vivos (Mohajan, 2012). Por último, el óxido nitroso es un gas incoloro y no inflamable presente en pequeñas cantidades en la atmósfera terrestre. Sin embargo, se estima que el 30% de la cantidad total presente en el aire de este gas ha sido producido como resultado de actividades humanas. Principalmente la agricultura y la industria (Aronson & Allison, 2012).

Bulk carriers, buques tanque y portacontenedores son los principales tipos de buques generadores de este tipo de emisiones contaminantes. Mientras que el empleo de combustibles HFO y MDO hacen que se generen similares niveles de gases de efecto invernadero, el empleo de gas natural para propulsar los buques puede reducir las

emisiones de dióxido de carbono en aproximadamente un 25%. Sin embargo, la utilización de este gas como combustible generaría mayores emisiones de metano a la atmósfera, debido a que la combustión no es perfecta y moléculas de metano acabarían en la atmósfera sin haber sido consumidas en el motor(Thomson et al., 2015).

Consciente del problema medioambiental que suponen estos gases, el Comité de Protección del Medio Ambiente Marino de la IMO elaboró un plan adoptado en abril de 2018 y conocido como “IMO actions to reduce GHG emissions from international shipping”. En él se fijan limitaciones a las emisiones de gases de efecto invernadero por parte de los buques. Este plan busca una reducción de las emisiones de dióxido de carbono por lo menos en un 40% para 2030, procurando alcanzar el 70% para 2050, en comparación con los niveles del año 2008, y que el total de las emisiones anuales de gases de efecto invernadero se reduzca por lo menos en un 50% para 2050 en comparación con los datos de ese mismo año. Para lograrlo también hace hincapié en la reducción de la velocidad de operación de los buques para conseguir una mayor eficiencia en el transporte y en la posibilidad de emplear biocombustibles menos contaminantes. Para conocer el impacto medioambiental de los gases generados por los distintos combustibles, se emplean modelos que cuantifican las emisiones. De esta manera se pueden comparar distintos tipos de combustibles marinos en función de los residuos contaminantes que generan. Algunos de los métodos empleados para conseguir una reducción de emisiones contaminantes son los controles de las emisiones, acuerdos voluntarios con los consumidores de los combustibles, estudios medioambientales, incrementos en los precios de ciertos combustibles mediante impuestos para desincentivar su uso, reducción en la velocidad de navegación de los buques o la creación de zonas donde se restrinjan la cantidad de emisiones que pueden generar los buques que transiten por ellas(IMO, 2018).

Las iniciativas relativas a la velocidad se fundamentan en el hecho de que navegar a una velocidad menor hace que los buques empleen una menor cantidad de energía (y por tanto de combustible) para propulsarse, lo que reduce los consumos (Corbett et al., 2009). A este respecto, el Comité de Protección del Medio Ambiente Marino de la IMO ha llegado a la conclusión de que una reducción de la velocidad de los buques entre un 10%-20% podría reducir las emisiones de CO₂ y de otros gases contaminantes que se tratarán posteriormente como los SO_x y NO_x entre un 13%-24%. Además, el hecho de llevar los motores menos revolucionados reduciría el ruido submarino generado por los buques. Una reducción de la velocidad de un 10% o 20% disminuiría dicho ruido en un 40% y un 66% respectivamente. Sin embargo, esta reducción puede generar mayores costes de mantenimiento y retrasos en los viajes (*gCaptain*,2019).

2.2 Compuestos orgánicos volátiles

Se incluye dentro de esta categoría a cualquier compuesto orgánico cuyo punto de ebullición es menor o igual a 250 grados centígrados a presión atmosférica. Están constituidos por hidrocarburos de baja densidad como el metano, butano, etano o propano que tienen la capacidad de evaporarse a las condiciones atmosféricas normales de presión y temperatura. Se distinguen dos tipos de estos compuestos: los metánicos y los no metánicos (OCIMF, 2019). A parte de pequeñas pérdidas de energía, los hidrocarburos no quemados son un contaminante fotoquímico que, en ciertas condiciones atmosféricas, puede crear lo que se conoce como “nieblas contaminantes” o “smog”, como puede apreciarse en la Figura 1. Estas generan un aumento del ozono a nivel del suelo debido a

que estos compuestos, junto con los óxidos de nitrógeno presentes en el aire reaccionan catalizados por la luz del sol formando ozono además de otros gases(Tsai, 2016).



Figura 1. Ciudad de Shanghai cubierta de neblina contaminante

Fuente: BusinessInsider (2015)

Estas neblinas pueden irritar ojos, nariz y garganta, o puede empeorar los problemas cardíacos y respiratorios previos como el asma. Las personas con problemas cardíacos y pulmonares, los ancianos y los niños cuyos sistemas respiratorios aún se están desarrollando son los colectivos que corren mayor riesgo. Además, los adultos sanos de todas las edades que hacen ejercicio o trabajan al aire libre son sensibles a la contaminación debido a su mayor nivel de exposición. La exposición prolongada a una neblina densa de este tipo puede causar daño permanente al tejido pulmonar y afectar nuestro sistema inmunológico. Además, se ve perjudicada la visibilidad y tiene un impacto negativo en el turismo(Yang et al., 2017).

Estos compuestos pueden ser expulsados por los buques a la atmósfera por múltiples causas: una evaporación desde la superficie de un hidrocarburo que se esté cargando en puerto, la combustión incompleta del combustible de un buque a baja temperatura o la liberación junto con el gas inerte a la atmósfera. Para luchar contra este tipo de contaminación, la IMO ha elaborado una regulación (conocida como Regulación 15) que por el momento sólo afecta a buques tanque, con el fin de centrarse en limitar los gases que se evaporan a la atmósfera en las cargas y descargas, en vez de enfocarse en los compuestos orgánicos volátiles generados en los motores. Se trata con esta legislación de implementar sistemas que eviten que estos gases vayan a parar a la atmósfera mientras el buque realiza sus operaciones usuales en puerto(IMO, 1997).

2.3 Partículas volátiles y carbón negro

Las conocidas como "partículas volátiles" son cenizas de tamaño muy pequeño que se generan tras la combustión en los motores. Las emisiones de este tipo de partículas

tienen lugar en todos los tipos de combustibles y, por lo tanto, el único medio de limitar las emisiones es mediante el uso de sistemas de limpieza de gases de escape. Los motores diesel producen un número mucho mayor de estas partículas debido a las impurezas presentes en el combustible (Wankhede, 2019).

Una de partículas de este tipo más perjudiciales para el medio ambiente es el denominado carbón negro, que es un tipo de partícula volátil con la particularidad de tener un área superficial muy alta en relación con su masa, lo que hace que actúe como un radiador de cuerpo negro muy eficaz. Se estima que el combustible empleado por los buques emite alrededor del 22% del carbón negro generado por el hombre, y debido a la baja calidad del combustible empleado por los buques, estos son la mayor fuente de estas partículas, llegando a suponer el 2% del total mundial(Schmidt, 2011). En la Figura 2 pueden apreciarse emisiones contaminantes con una abundante cantidad de carbón negro.



Figura 2. Buque emitiendo cenizas a la atmósfera

Fuente: European Environmental Agency (2013)

Estas partículas son especialmente peligrosas debido a su capacidad de almacenar el calor que les llega a través de la luz solar, fomentando enormemente el efecto invernadero y afectando directamente al hielo existente en los Polos Terrestres. Esto es debido a que estas partículas son llevadas hasta los Polos a través de las corrientes de aire que existen en la atmósfera y terminan depositados directamente sobre la superficie del hielo como se ve en la Figura 3, lo que facilita que este se derrita con mucha mayor rapidez al reducirse su albedo (Pedersen et al., 2010).



Figura 3. Hielo cubierto de partículas que lo oscurecen

Fuente: Science magazine (2020)

Recientemente, se han iniciado esfuerzos para investigar el impacto de las emisiones de carbón negro procedentes de la navegación, pero no se ha elaborado normativa de obligado cumplimiento respecto a estos contaminantes por parte de la Organización Marítima Internacional. Sin embargo sí que se han hecho investigaciones por parte de este organismo para desarrollar medidas de control que contribuyan a reducir la producción de este contaminante. (IMO, 2015).

2.4 Óxidos de azufre y nitrógeno

Los óxidos de azufre que resultan de la combustión tienen origen en las moléculas que contienen dicho elemento presentes en los hidrocarburos. Este azufre se mezcla con oxígeno y otros elementos durante la combustión en las calderas y forma distintos óxidos que salen al exterior a través de los escapes. El 95% de los SO_x emitidos por la combustión de los combustibles fósiles es dióxido de azufre (SO_2). El SO_2 es un gas tóxico que es dañino para la salud humana. Es más pesado que el aire y tiene un olor sofocante a una concentración atmosférica de alrededor de 500 partes por billón (ppb), a cuyo nivel puede ser fatal. En niveles más bajos, con su presencia se pueden experimentar dolores de pecho, problemas respiratorios, irritación de los ojos y una menor resistencia a las enfermedades del corazón y los pulmones. A 20 ppb o menos no debería haber efectos negativos para una persona sana. La concentración atmosférica normal de fondo de SO_2 es generalmente inferior a 10 ppb.

Un efecto secundario es la formación de sulfatos (y nitratos), en forma de aerosoles o de partículas muy finas en el aire, que se han vinculado al aumento de los ataques de

asma, las enfermedades cardíacas y pulmonares y los problemas respiratorios en los grupos de población susceptibles(World Bank, 1999).

Un tercer efecto puede producirse más lejos de la fuente de emisión, donde los óxidos de azufre se habrán convertido en ácidos mediante reacciones en fase acuosa en la atmósfera. Estos aerosoles ácidos se precipitan finalmente como lluvia ácida, nieve, aguanieve o niebla, pero sólo cuando se encuentran en las condiciones meteorológicas adecuadas. En ausencia de contaminación provocada por el hombre, el agua de lluvia sería ligeramente ácida, alrededor de pH 5, debido a la presencia de ácido carbónico por la interacción del vapor de agua y los niveles naturales de CO_2 . La lluvia ácida, por otro lado, se ha medido con niveles de pH inferiores a 3, similares al vinagre. Los efectos de la lluvia ácida dependen de la fragilidad de los materiales, plantas y suelos donde acabe. En los casos en que no existe algún mecanismo natural para neutralizar esta acidez, la lluvia ácida se ha vinculado con la acidificación de las aguas subterráneas y superficiales, la deforestación, la reducción o incluso la eliminación de la vida acuática y la descomposición de las fachadas de los edificios. La superficie expuesta de la piedra caliza (CaCO_3) utilizada para las fachadas de muchos edificios históricos se convierte en yeso (CaSO_4), que tiene una densidad menor y es más soluble en el agua, por lo que aparecerán desconchones con el paso del tiempo(Sivaramanan, 2015).

El pobre refinado de la mayoría de combustibles empleados por los buques hace que sus emisiones generen grandes cantidades de estos contaminantes. La generación de estos óxidos de azufre es especialmente elevada respecto a otros tipos de vehículos. Un afirma que sólo los buques de la compañía de cruceros Carnival Corporation emitió una mayor cantidad de estos contaminantes que los 260 millones de coches registrados en Europa a lo largo de ese año(The Marine Executive, 2019.). Para paliar este problema, la IMO ha elaborado normativa, que se abordará posteriormente, para reducir el porcentaje de azufre presente en los combustibles empleados por los buques.

Los óxidos de nitrógeno, en cambio, se generan durante el funcionamiento normal del buque debido a que en el interior de los motores se dan ciertas condiciones de presión y temperatura que posibilitan que las moléculas de nitrógeno y oxígeno presentes en el aire formen estas partículas. Una vez son liberadas a la atmósfera pueden también generar lluvia ácida debido a que pueden reaccionar con otros compuestos presentes en la atmósfera y los océanos y formar ácidos como el ácido nítrico (HNO_3), causar variaciones en el nivel de ozono a baja altitud o combinarse con otros compuestos y formar sustancias tóxicas. Estos óxidos también contribuyen al calentamiento global al formar partículas de gases de efecto invernadero(Bernabeo, 2019). Estos NO_x tienen efectos adversos en el cuerpo humano, dañando principalmente en las vías respiratorias causando su inflamación cuando se respiran altas concentraciones de estas sustancias. La exposición a largo plazo puede disminuir la función pulmonar, aumentar el riesgo de enfermedades respiratorias y aumentar la respuesta a los alérgenos. Esto puede causar patologías como tos, resfriados, gripe o bronquitis, entre otras(Atkinson et al., 2018). Los altos niveles de NO_x pueden también tener un efecto negativo en la vegetación, incluyendo daños en las hojas y reducción del crecimiento de las plantas. Puede hacer que la vegetación sea más susceptible a las enfermedades y a los daños por heladas. (Marine Insight, 2019). El transporte marítimo es el origen de entre un 10-15% de todas las emisiones antropogénicas de óxidos de azufre y nitrógeno. El combustible empleado por los buques

tiene de media 27.000 ppm de estos óxidos de azufre en comparación con las 10-15 ppm del combustible para vehículos terrestres. Las emisiones globales de todas estas partículas, a las que contribuye en gran medida el tráfico marítimo, están relacionadas con la aparición de miles de casos de cáncer de pulmón y otras enfermedades cardiovasculares en todo el mundo(Gabbatiss, 2019).

La generación de estos y otros gases contaminantes puede ser reducida mediante la integración de nuevas tecnologías, controles operativos y estrategias que influyan en el funcionamiento del transporte marítimo de mercancías. Ejemplos de esto serían el reemplazo de motores y otros sistemas de a bordo por sus equivalentes más modernos, pasando a emplear combustibles con una menor cantidad de azufre presente o utilizando filtros catalíticos, que actúan sobre los gases resultantes de la combustión del motor filtrando los componentes más nocivos. El empleo de estos sistemas se ha probado eficaz al conseguir reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno en aproximadamente un 95%. Los controles operacionales para reducir las emisiones incluyen, por su parte, la mejora en las conexiones eléctricas entre el buque y el puerto durante los atraques, lo que hace que no se tenga que consumir combustible de a bordo para dar energía a los sistemas eléctricos del buque(Park & Glenfield, 2019). Otro de los múltiples sistemas considerados para la reducción de emisiones es el tratamiento en tierra de los gases emitidos por los buques. Estos son canalizados a una planta en la cual son limpiados de una forma parecida a la empleada para la generación de gas inerte en los buques tanque. El funcionamiento de estos sistemas se puede resumir de la siguiente manera: Los gases de escape pasan por el interior de un depurador, donde hay un material alcalino que neutraliza la naturaleza ácida de los gases y eliminar cualquier partícula sólida presente en los mismos. Este paso de los gases por el material alcalino forma un compuesto que se recoge mezclado con agua y que puede almacenarse para su posterior eliminación. A continuación, los gases de escape limpiados salen del sistema hacia la atmósfera. El material de depuración se elige de tal manera que las impurezas específicas como SO_x o NO_x puedan ser eliminadas mediante reacciones químicas adecuadas. Estos sistemas de limpieza pueden reducir en un 95% las emisiones de óxidos de nitrógeno y en un 99% las de partículas volátiles y óxidos de azufre(Sethi, 2019). Todas estas mejoras en buques y puertos necesitan la incorporación de avances tecnológicos. Para conseguir una modernización de las flotas y los equipamientos de a bordo, existen políticas basadas en el establecimiento de tarifas portuarias diferenciadas para los buques en función de cómo de contaminantes sean, siendo más altas cuanto más contaminante es el buque(Lutter & Shogren, 2002).

Para limitar las emisiones de óxidos de azufre, el Comité de Protección del Medio Ambiente Marino de la IMO elaboró en el año 2016 una resolución relativa a la concentración máxima admisible de azufre en los combustibles empleados por los buques. Se ha pasado de un porcentaje máximo en masa del 3.5% a un 0.5%, con lo que se espera reducir en un 77% las emisiones de SO_x . Esta resolución entró en vigor el 1 de Enero de 2020 y responsabiliza a los estados pabellón del cumplimiento de la misma por parte de sus buques. Otra forma que tienen los armadores de que sus buques cumplan con estas limitaciones es el empleo de métodos de limpieza de gases de escape como los mencionados anteriormente para eliminar los óxidos de azufre antes de que el gas de escape llegue a la atmósfera(IMO,2016).

Para conocer mejor el cambio que supondrá en la salud pública el empleo de estos nuevos combustibles con menor contenido en azufre, podemos tomar como referencia el estudio Sofiev et al., que trata la potencial reducción en la mortalidad causada por las emisiones de óxidos de azufre del tráfico marítimo.

Utilizando mediciones de emisiones recogidas por todo el planeta en años anteriores y modelos matemáticos para comprender su comportamiento físico en la atmósfera terrestre, este estudio evalúa los impactos de la contaminación relacionada con los buques esperados para el año 2020 con y sin el uso de combustibles de bajo contenido de azufre. Los nuevos combustibles marinos, menos contaminantes, se espera que reduzcan la mortalidad prematura y otras enfermedades crónicas que están propiciadas por la contaminación de los buques en un 34 y un 54%, respectivamente, lo que representa una reducción mundial de un 2,6% aproximadamente en las muertes por enfermedades cardiovasculares y pulmonares y una reducción mundial de un 3,6% en el asma infantil. A pesar de estas reducciones, los combustibles marinos con bajo contenido de azufre seguirán siendo responsables de aproximadamente 250.000 muertes y 6,4 millones de casos de asma infantil al año. Adicionalmente, llega a la conclusión de que unas normas más estrictas que las que han entrado en vigor en el año 2020 pueden proporcionar beneficios adicionales para la salud(Sofiev et al., 2018).

Estos objetivos de emisiones han hecho que se incremente la demanda de combustibles de mejor calidad, como fueles de bajo contenido en azufre o LNG. El empleo de este gas a gran estala reduciría las emisiones contaminantes en gran medida, ya que respecto a los demás combustibles pesados no tiene azufre que pueda generar óxidos tóxicos y genera un 90% menos de óxidos de nitrógeno. La adopción de este combustible es lenta pero constante, aunque con los inconvenientes de ser un gas que contribuye igualmente al calentamiento global, lo peligroso de su manejo respecto a otros combustibles, la falta de infraestructura existente para su utilización y las inversiones que deben hacerse para poder popularizar su uso(Pavlenko,2020).

Con el amparo de la legislación internacional elaborada por la IMO, se crearon las conocidas como “Áreas de Control de Emisiones” (ECA por sus siglas en inglés) y que pueden verse en la Figura 4. En ellas se aplican rigurosos controles a las emisiones de óxidos de azufre y partículas volátiles en los motores, calderas, generadores de gas inerte, etc. En estas zonas, el porcentaje de dichos contaminantes emitidos por los buques no puede ser superior a una concentración del 0.10% desde el 1 de Enero del año 2015. Algunas de las ECAs más importantes se sitúan en el Mar Caribe, Mar Báltico, Mar del Norte y las costas de EEUU(Cullinane & Bergqvist, 2014).

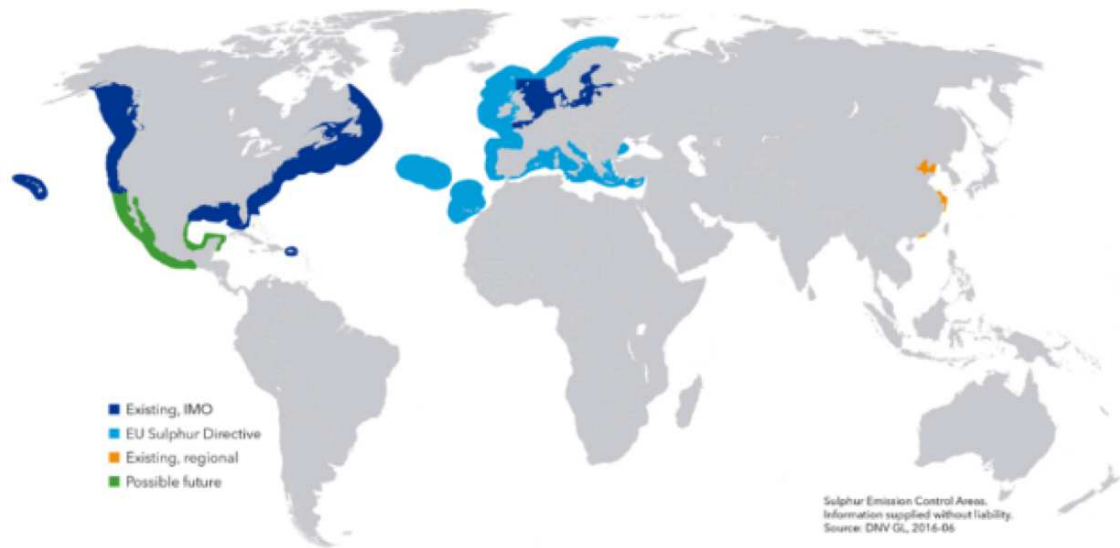


Figura 4. Mapa con las ECA

Fuente: Safety4sea (2016)

Por su parte, para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno, se han creado distintas categorías para clasificar a los buques que emplean diesel pesado en sus motores en función de la edad del buque, las revoluciones normales de funcionamiento y la potencia de los mismos. Esta clasificación se halla recogida en el Anexo VI del convenio MARPOL y contempla dos excepciones: los motores utilizados únicamente para emergencias y los motores de los buques que operan únicamente dentro de las aguas del estado en el que están abanderados. Esta última excepción sólo se aplica si estos motores están sujetos a una medida alternativa de control de NO_x .

La pertenencia a un grupo u otro se encuentra condicionada por el máximo de gases contaminantes que puede expulsar dicho buque a la atmósfera. Existen tres grupos en total que entraron en vigor en años sucesivos, debido a que con el paso de tiempo las restricciones se han ido haciendo mayores. El Grupo I entró en vigor el 1 de Enero del año 2005 y se aplica a motores con potencias mayores a 130 kw instalados en buques construidos tras el 1 de Enero del 2000. El Grupo II se aplica a buques construidos tras el 1 de Enero del 2011 y limita entre otros aspectos las emisiones de óxidos de nitrógeno en un rango entre 1.9 y 3.4 g/kWh, dependiendo de la velocidad de funcionamiento del buque. El Grupo III se aplica a motores instalados en buques construidos tras el 1 de Enero de 2016 que operan en ECAs, con la excepción de buques construidos antes del 1 de Enero de 2021 con menos de 500 toneladas de registro bruto y mayores de 24 metros de eslora concebidos para su uso recreativo(IMO,2008).

Se espera que las restricciones para el Grupo II se cumplan mediante la optimización del proceso de combustión en los motores. Los parámetros examinados por los fabricantes de motores para conseguirlo incluyen la sincronización de la inyección de combustible, la presión y el volumen de compresión del cilindro entre otros. Las restricciones de Grupo III hacen necesario el empleo de tecnologías de control de emisiones de NO_x específicas, como la recirculación de los gases de escape o la reducción catalítica selectiva de emisiones. A pesar de que estas restricciones están basadas en las

fechas de construcción, los armadores pueden introducir cambios en los motores o modificaciones en los buques para cumplir con las limitaciones impuestas sin necesidad de deshacerse del buque(Safety4Sea, 2018).

A modo de síntesis, en la Tabla 1, expuesta a continuación, se recopilan los efectos más nocivos de los principales gases contaminantes tomando como referencia un estudio de las emisiones a nivel mundial elaborado por la IMO en el año 2014.

	Emisiones totales (miles de toneladas)	Consecuencias negativas	Legislación existente
Gases de efecto invernadero	22057.1	-Aumento de la temperatura media de la superficie terrestre -Efectos tóxicos en seres vivos	“IMO actions to reduce GHG emissions from international shipping”(2018) -Iniciativas de la IMO para reducir la velocidad de navegación
Compuestos orgánicos volátiles	781.1	-Generación de nieblas contaminantes (smog) que tienen efectos nocivos en los seres vivos (irritación de mucosas, problemas cardiovasculares)	-Regulación 15, elaborada por la IMO para reducir la producción de estos compuestos en las cargas de los buques tanque
Partículas volátiles y carbón negro	1,443	-Incremento del efecto invernadero y oscurecimiento del hielo polar -Tóxicos si son respirados en grandes cantidades	-Se han hecho investigaciones para conocer sus efectos en el medio ambiente, pero no hay legislación al respecto
Óxidos de azufre	10,061	-Tóxico para los seres vivos (daños cardiovasculares e incluso muerte en dosis superiores a 500ppb) -Relacionado con la generación de lluvias ácidas	- La IMO elaboró un ambicioso plan para la reducción paulatina de los óxidos de azufre en el año 2016 que entró en vigor en el año 2020 (2020 Global Sulphur Limit)
Óxidos de nitrógeno	23,219	-Genera variaciones en el ozono presente a baja altitud y puede generar sustancias tóxicas al combinarse -Relacionado con la generación de lluvias ácidas -Tóxico para los seres vivos	- Creación de “grupos” que clasifican los buques en función de su edad, las revoluciones normales de funcionamiento y su potencia para aplicarles restricciones y así reducir las emisiones contaminantes.

Tabla 1: Contaminantes del aire procedentes del tráfico marítimo

Fuente: IMO (2014)

3. Derrames por parte de los buques

A continuación, se describen en primer lugar los distintos tipos de vertidos más recurrentes en el tráfico marítimo, como son los de hidrocarburos y cargas secas a granel, haciendo especial énfasis en los vertidos de carbón por ser una sustancia muy común en el transporte marítimo. Posteriormente se tratan las regulaciones internacionales para su prevención y mitigación de sus efectos.

3.1 Derrames de hidrocarburos

Los desechos de petróleo que entran en el océano provienen de muchas fuentes, siendo algunas de ellas derrames o fugas accidentales, y otras siendo resultado de una falta de cuidado en el uso del petróleo y sus productos. La mayor parte del petróleo de desecho en el océano proviene de la liberación de aguas oleosas de ciudades y granjas, la eliminación de desechos sin tratar de fábricas e instalaciones industriales y la navegación recreativa no regulada. Se estima que de los aproximadamente 706 millones de galones de crudo que acaban en el océano cada año, más de la mitad proceden del drenaje terrestre y de la eliminación de desechos. Por ejemplo, de la eliminación inadecuada de aceite de motor usado. En el caso de los derrames procedentes de los buques, las operaciones de perforación y producción en alta mar y los derrames o fugas de los buques o buques tanque suelen contribuir a menos del 8 por ciento del total. El resto proviene del mantenimiento rutinario de los buques (casi el 20 por ciento), de las partículas de hidrocarburos procedentes de la contaminación del aire en tierra (alrededor del 13 por ciento) y de las filtraciones naturales del fondo marino (más del 8 por ciento). De los 459 derrames de gran tamaño (superiores a 700 toneladas) procedentes de los buques ocurridos entre el año 1960 y 2016, más de la mitad ocurrieron en la década de los 70 y 44 de ellos (menos de un 10%) tras el año 2000. Esta reducción es debida a las sucesivas evoluciones tanto en los procedimientos de a bordo como en el diseño de buques, enfocados en la reducción de este tipo de accidentes (Fartoosi, 2013).

Cuando el petróleo se derrama en el océano, inicialmente se esparce en el agua (principalmente en la superficie) como se aprecia en la Figura 5, y se comporta de una manera u otra en función de su densidad relativa y su composición. La marea negra que se forma puede permanecer cohesionada en un mismo lugar, o puede romperse en caso de encontrarse en presencia de olas. Las olas, las corrientes de agua y los vientos obligan a la marea negra a desplazarse grandes distancias, pudiendo llegar desde mar abierto hasta las zonas costeras y los hábitats marinos y terrestres que se hallen en la trayectoria de la deriva.



Figura 5. Derrame de petróleo

Fuente: Offshore Technology (2012)

El petróleo, que contiene compuestos orgánicos volátiles, se evapora parcialmente, perdiendo entre el 20 y el 40 por ciento de su masa y volviéndose más denso y más viscoso. Un pequeño porcentaje del petróleo puede disolverse en el agua y sus residuos también pueden dispersarse casi invisiblemente en esta o formar una espesa espuma en la superficie. Parte de los residuos de crudo pueden hundirse con las partículas en suspensión, y el resto puede solidificarse formando pegajosas bolas de alquitrán. Con el tiempo, los residuos de crudo se deterioran y se desintegran por medio de la fotólisis (descomposición por la luz solar) y la biodegradación (descomposición por microorganismos). La tasa de biodegradación depende de la disponibilidad de nutrientes en el agua, de oxígeno, de microorganismos y de la temperatura. Si los residuos de petróleo llegan a la costa, estos interactuarán con la arena de las playas, las rocas y cantos rodados, vegetación y hábitats terrestres, causando erosión y contaminación. Las olas, las corrientes de agua y el viento mueven el petróleo hacia la costa con el oleaje y la marea. Las rocas y cantos rodados cubiertos de residuos pegajosos interfieren con los usos recreativos de la costa y pueden ser tóxicos para la fauna costera. Lo que le suceda a estos residuos de petróleo en la costa depende de la composición y las propiedades del petróleo derramado, el volumen de petróleo que llega a la costa, los tipos de sedimentos y rocas presentes en las zonas con las que entra en contacto el petróleo, el impacto del petróleo en los hábitats sensibles y la vida silvestre, los fenómenos meteorológicos y las condiciones estacionales y climáticas. Algunos aceites se evaporan, dispersan, emulsionan, meteorizan y descomponen más fácilmente que otros. Las condiciones meteorológicas, estacionales y climáticas pueden acelerar o retrasar estos procesos (Simona & Dragomir, 2016). Los seres vivos afectados pueden intoxicarse con el combustible, sufrir lesiones a causa del mismo (por ejemplo, es común que los pájaros se

queden atrapados dentro de la mancha a causa de su viscosidad como se ve en la Figura 6, impidiéndoles volar) o ver sus comunidades separadas a causa del derrame. La ingestión de estos combustibles tiene efectos negativos en los sistemas digestivos, respiratorios y circulatorios de la fauna marina y los humanos.



Figura 6. Ave marina cubierta de petróleo

Fuente: Greenpeace (2011)

El petróleo destruye la capacidad de aislamiento de los mamíferos con pelaje, como las nutrias marinas, y la capacidad de repeler el agua de las plumas de las aves marinas, exponiendo así a estas criaturas al frío del océano. Sin la capacidad de repeler el agua y aislarse del agua fría, las aves y los mamíferos pueden morir a causa de la hipotermia. Muchos pájaros y animales también ingieren aceites cuando intentan limpiarse, lo que puede envenenarlos (Yuewen & Adzibli, 2018). Los peces y los mariscos pueden no estar expuestos inmediatamente debido a que se hallan bajo las capas de hidrocarburo de la superficie marina, pero pueden entrar en contacto con el petróleo si se mezcla en la columna de agua. Cuando son expuestos al petróleo, los peces adultos pueden experimentar una reducción del crecimiento, agrandamiento del hígado, cambios en los ritmos cardíaco y respiratorio, erosión de las aletas y problemas de reproducción (Incardona et al., 2010).

Para conocer los efectos de la exposición prolongada a la contaminación derivada de los hidrocarburos, podemos tomar como referencia algunos estudios expuestos a continuación:

El primero es Ordinioha & Brisibe (2013) donde se lleva a cabo una investigación de las diversas patologías observadas en personas que habitaban la región del delta del Río

Níger, en el sur de Nigeria. Esta región supone el 7.5% del territorio de Nigeria y se halla habitada por 25 millones de personas de nueve estados diferentes. En el año 1956 se descubrieron los primeros pozos petrolíferos en la ciudad de Oloibiri y han sido explotados ininterrumpidamente hasta la actualidad. La distribución de los pozos de la zona puede verse en la Figura 7.



Figura 7. Localización de los pozos petrolíferos al sur de Nigeria.

Fuente: Ordinioha & Brisibe (2013)

Los derrames de petróleo son un fenómeno común de la explotación y su aprovechamiento en esta región, con un total estimado de más de 7.000 incidentes de este tipo notificados en un período de 50 años, lo que supone una cantidad derramada estimada de trece millones de barriles de crudo, pero esta cifra seguramente sea mayor debido a la dificultad para acceder a las zonas donde se producen los vertidos debido a la orografía de la zona, lo que dificulta su cuantificación. A esta circunstancia se suma el hecho de que los vertidos se producen en zonas distantes respecto a las zonas pobladas, lo que hace que la detección de los derrames sea tardía. Además, el propio gobierno nigeriano no toma las medidas oportunas para cuantificar estos accidentes. Los efectos de estos accidentes registrados en un grupo de población de 420 personas fueron diversos: diarrea, náuseas, dolores de cabeza, garganta y ojos, bronquitis, picores en la piel y erupciones cutáneas. Estos sujetos, debido a los componentes presentes en el petróleo, también se hallaron expuestos a numerosos compuestos cancerígenos presentes en el petróleo. Además, ingerían frecuentemente alimentos contaminados, principalmente peces

y otros animales que sufrían bioacumulación de metales pesados y otros contaminantes presentes en la zona.

El segundo estudio, Campbell et al. (1997), está enfocado en los efectos en la salud de los habitantes de las Islas Shetland, en Escocia. En este archipiélago tuvo lugar el embarrancamiento del buque tanque “Braer”. Este buque derramó 85.000 toneladas de crudo en la zona a lo largo de varios días y debido a las condiciones de mal tiempo de la zona, este crudo fue llevado a la costa de las islas y fueron aplicados dispersantes sobre el mismo para tratar de paliar sus efectos. Para la investigación se estudió a 635 habitantes de zonas próximas a la zona del accidente y se los comparó con otras personas del archipiélago que no se vieron afectadas por el derrame, teniendo en cuenta parámetros como la edad, el sexo, el consumo de tabaco o alcohol, etc. Los resultados indicaron que no hubo patologías graves en la gente expuesta al vertido, pero sí que se detectaron problemas de salud como irritaciones de la piel, de la garganta, dolores de cabeza y picores en los ojos y náuseas. Por tanto se ve que coinciden las patologías leves con las registradas en el estudio anterior (Campbell et al., 1993)

El tercer y último estudio, Suárez et al. (2005) tuvo como campo de investigación nuestra región, ya que recoge los efectos en la salud de los voluntarios que se encargaron de limpiar las playas del norte de España tras la catástrofe del Prestige. Para llevar a cabo dicho estudio, se tomó una muestra de 400 personas en Asturias y otras 400 en Cantabria que hubieran trabajado en las labores de limpieza de las costas y formando grupos en función de las tareas de limpieza que llevaron a cabo y del número de días que trabajaron. La información se obtuvo mediante encuestas donde se hacían preguntas relativas a los materiales protectores que utilizaron, el desarrollo de sus tareas específicas y los efectos que notaron en su cuerpo posteriormente. Los voluntarios encargados de la limpieza de aves marinas fueron los que tuvieron mayor prevalencia de lesiones como las descritas en los dos estudios previos (un 19% del total). El trabajo en estas zonas altamente contaminadas por un tiempo superior a los 20 días se asoció con un mayor riesgo de lesiones en todos los trabajadores debido al contacto prolongado con los hidrocarburos. La aparición de efectos tóxicos fue mayor entre los marineros que trabajaron limpiando los restos de crudo depositados en la superficie marina, posiblemente debido a una mayor exposición al fuel y sus componentes. Estos efectos tóxicos fueron también más frecuentes entre los voluntarios que trabajaron más de 20 días en zonas altamente contaminadas, realizando tres o más actividades de limpieza diferentes, ya que tenían contacto cutáneo con el fueloil en las zonas de la cabeza, el cuello o en las extremidades superiores, y comían mientras estaban en presencia del combustible y por tanto de sus vapores. Afortunadamente, a pesar de estas lesiones sufridas por los voluntarios, no se identificaron trastornos graves o irreversibles entre los individuos que realizaban estas intensas tareas de limpieza (Suárez et al., 2005).

Las zonas costeras suelen estar densamente pobladas y atraen muchas actividades recreativas. En ellas hay también instalaciones que se han desarrollado para la pesca o el turismo. Los desechos de petróleo que invaden y contaminan esas áreas pueden tener efectos devastadores y a largo plazo en la economía y la sociedad locales. Para conocer un poco mejor estos efectos, podemos tomar como referencia el estudio, Di Natale (2010), realizado a raíz del vertido ocurrido en el año 2010 en el Golfo de México, en el que se derramaron 780.000 metros cúbicos de petróleo desde una plataforma

petrolífera marina. Lo primero que es relevante en los resultados de dicho estudio es el hecho de que la mayor parte del daño tiene lugar en la economía de las zonas afectadas, debido a que tras este desastre la economía estadounidense no se resintió apreciablemente, ya que los recursos turísticos y naturales de esta zona sumaban un 0.1% del PIB estadounidense. El principal impacto de este desastre vino en los sectores pesquero y turístico. En el primero debido a que tras el vertido se cerraron al tráfico marítimo 200.000km cuadrados entre las costas de Louisiana y Florida por hallarse la superficie marina cubierta de crudo, lo que supuso que muchos buques pesqueros tuvieran que dejar de faenar hasta que se eliminase esta restricción. Antes de este incidente, esta región albergaba el mayor caladero de pesca de los Estados Unidos, que proveía de un tercio de todo el pescado consumido en el país. Se estima que el perjuicio económico alcanzó los 8.700 millones de dólares y la destrucción de 22.000 puestos de trabajo(Kroh & Conathan, 2012). En el aspecto turístico, el impacto en el turismo se debió a que estas zonas son un lugar de vacaciones bastante popular entre los estadounidenses. Sin embargo, a causa de este accidente que dejó multitud de playas contaminadas, muchos turistas eligieron otros lugares en los que pasar sus vacaciones, lo que afectó enormemente a las empresas cuyo negocio depende de dar servicio a estos turistas, como puedan ser los restaurantes, hoteles, etc (Di Natale, 2010).

Se sabía relativamente poco acerca de los efectos tóxicos del petróleo hasta el año 1967, cuando tuvo lugar el que es considerado el primer gran derrame por parte de un buque tanque. En él, el buque SS Torrey Canyon, que se puede ver en la Figura 8, embarrancó en el sur de Reino Unido liberando 120.000 toneladas de crudo en el mar.



Figura 8. Accidente del Torrey Canyon

Fuente: The Guardian (2017)

Para paliar sus efectos y hacer desaparecer el crudo, debido al desconocimiento se llegaron a hacer cosas como quemar con lanzallamas el crudo que llegaba a las costas o enviar a la Royal Air Force a bombardear los restos del buque hasta hundirlo definitivamente(Safety4Sea, 2019). Desde entonces se han hecho grandes avances a la hora de comprender el impacto de este tipo de desastres en el medio ambiente marino y los seres vivos mediante estudios acerca de la toxicidad de estas sustancias. Los avances tecnológicos también nos han permitido elaborar herramientas digitales para la predicción

del movimiento que estas tendrán en el mar en función de las mareas y corrientes como la que se muestra en la Figura 9. Todos estos programas tienen diversos diseños para su funcionamiento, pero coinciden al tomar en consideración las propiedades químicas de la sustancia derramada, las características de la zona costera que puede verse afectada y las características de las corrientes marinas de dicha área, su clima y condiciones atmosféricas. De esta manera puede tratarse de, por ejemplo, cubrir ciertas zonas costeras donde se espera que lleguen los hidrocarburos (Karafyllidis, 1997).

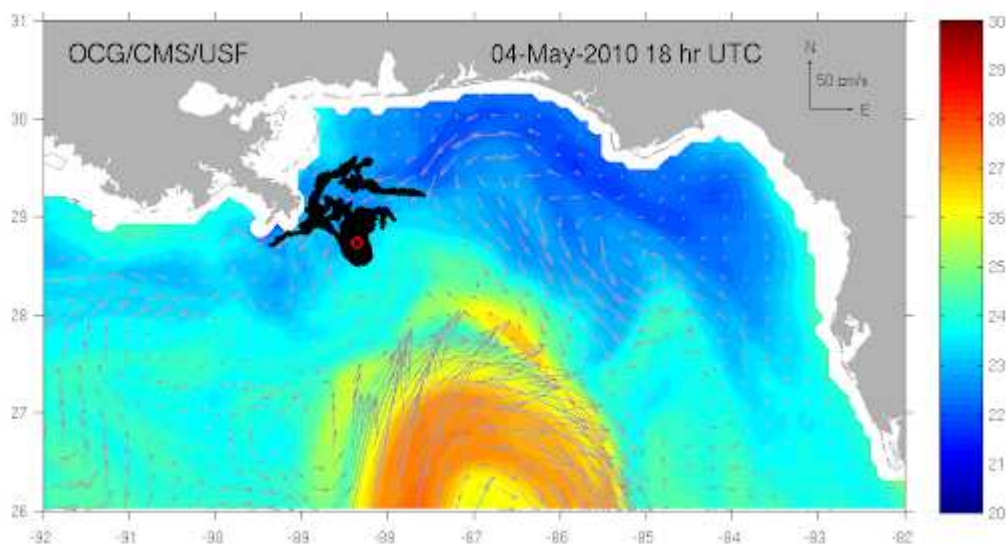


Figura 9. Programa de monitorización de hidrocarburos en el mar

Fuente: University of South Florida (2010)

Se emplean también a día de hoy imágenes por satélite en tiempo real para hacer seguimientos de las manchas, hasta el punto de que es posible con dichas imágenes, si se dispone de resolución suficiente, establecer diferencias entre los distintos tipos de hidrocarburos y su degradación. Estos satélites también son empleados para la detección de manchas que son resultado de descargas ilegales hechas por los buques, haciendo posible en ocasiones la imposición de multas económicas a los causantes. Con toda esta información disponible es más fácil elaborar planes de prevención y contingencia para casos de accidentes (Kostianoy et al., 2014). A raíz de estos avances, la OMI ha puesto en valor la importancia de estos sistemas y ha comenzado a considerarlos a la hora de mitigar los efectos de estos derrames. Para paliar los efectos de los vertidos, la IMO elaboró el convenio "Oil Pollution Preparedness, Response and Co-operation", abreviado como OPRC 1990 y lo amplió posteriormente, creando el Protocolo OPRC-HNS 2000. Estos establecen el marco jurídico internacional y los requisitos para la preparación y la respuesta a la contaminación por hidrocarburos y sustancias peligrosas. Los estados contratantes están obligados a establecer medidas para hacer frente a los incidentes marítimos donde haya contaminación, ya sea a nivel nacional o en cooperación con otros países. Se requiere que los buques lleven a bordo un plan de emergencia para hacer frente a una situación de contaminación por hidrocarburos. Estos deben informar de los incidentes de contaminación a las autoridades costeras y el convenio detalla las medidas que deben adoptarse posteriormente. También viene recogida la necesidad de tener instalaciones en tierra para luchar contra la contaminación y la realización de simulacros

periódicos(IMO, 2000). A pesar de todos estos esfuerzos y nuestras capacidades a la hora de desarrollar tecnología para afrontar los problemas medioambientales, la recuperación natural de los ecosistemas suele tener lugar de forma progresiva excepto en ecosistemas concretos altamente sensibles. Afortunadamente, las poblaciones de seres vivos tienden a restablecerse una vez los niveles de contaminación disminuyen con el paso del tiempo, consiguiéndose un estado similar al que había antes de ocurrir el desastre natural(Suran, 2011).

3.2 Vertidos de graneles sólidos

La IMO define a los graneles sólidos como “cualquier material, distinto de un líquido o gas, que consista en una combinación de partículas, gránulos o cualquier otra pieza mayor de material, generalmente de composición uniforme, que se cargue directamente en los espacios de carga de una nave sin ninguna forma intermedia de contención”. Los cargamentos a granel que más comúnmente se transportan en los barcos incluyen fertilizantes, carbón, granos, azúcar, minerales, etc. Cinco tipos principales de graneles sólidos (mineral de hierro, carbón, grano, bauxita y fosfato) suponen aproximadamente el 57% del volumen total transportado de este tipo de carga. Además de la posible contaminación por vertidos de los buques, se le debe sumar la contaminación generada por la carga, la descarga y el inadecuado almacenamiento en puerto de estas sustancias(UNCTAD, 2020)

Debido a la inmensa variedad de cargas que pueden transportarse a granel en los buques, este apartado se centra en exponer los efectos nocivos que tiene la presencia de carbón en el medio ambiente, debido a que es un problema que ha afectado históricamente a la ciudad de Gijón, y a lo alta que es la demanda de transporte de este material en todo el planeta.

Los residuos de carbón pueden hallarse concentrados en múltiples zonas a lo largo de las principales rutas marítimas y de este material son contaminantes tanto las piedras de carbón como el polvo del mismo. El carbón es un material heterogéneo y que varía ampliamente en cuanto su textura, el contenido del agua, el carbono, los compuestos orgánicos y sus impurezas minerales. Entre sus componentes se encuentran tóxicos potenciales como los hidrocarburos aromáticos policíclicos y trazas de metales. Cuando está presente en los medios marinos en cantidades altas, el carbón tiene efectos físicos en los organismos similares a los de otros sedimentos suspendidos o depositados. Entre ellos figuran la abrasión, la asfixia, la reducción de la disponibilidad de luz y la obstrucción de los órganos respiratorios y de alimentación. Los efectos tóxicos de los contaminantes en el carbón son mucho menos evidentes y dependen en gran medida de la composición del carbón. El aumento de las concentraciones de partículas de carbón en suspensión en el agua puede provocar la abrasión de los animales y plantas que viven en la superficie del lecho marino o en estructuras como las rocas o los muelles(Sanchez, 2014).

La probabilidad y la gravedad de este efecto dependerán de la concentración, el tamaño, de cómo de afiladas se hallen las aristas de estas partículas de carbón y de la fuerza de las corrientes de agua. Debido a que tienen generalmente una densidad más baja que el resto de rocas de pequeño tamaño que abundan en el fondo marino, las

partículas más grandes de carbón serán transportadas con mayor velocidad y a mayor distancia por las corrientes marinas que las partículas de arena, pudiendo producir una mayor abrasión. Las partículas de carbón en suspensión también pueden reducir la cantidad de luz que llega al lecho marino u otras superficies submarinas al enturbiar el agua con su presencia, de manera similar a otras partículas en suspensión. Esto, a su vez, puede afectar el crecimiento de las algas y otros seres vivos que habitan los fondos marinos y necesitan de esta luz para su supervivencia. Las partículas en suspensión en general pueden dificultar la alimentación, obstruir los órganos respiratorios de una amplia gama de animales marinos y pueden generar daños a largo plazo en sus órganos internos. La presencia de partículas de carbón en el agua hace que con el paso del tiempo este se oxide, reduciendo el oxígeno disponible en el agua para los seres vivos que se hallen en la zona afectada, siendo perjudicados especialmente almejas, mejillones, percebes y cangrejos(Arcadia, 2017).

Cerca de terminales encargadas del procesamiento de este material se han encontrado moluscos con una coloración más oscura con respecto a otros de especies similares que habitaban otros lugares, lo que es un indicativo de que estos seres vivos se ven afectados por la presencia de este material en el fondo marino. Se ha llegado a la conclusión de que la presencia de este material en el agua puede contribuir a acidificarla y contaminarla a causa de las diversas sustancias químicas presentes en el carbón (incluyendo metales pesados como plomo, mercurio, níquel, estaño, cadmio, mercurio, antimonio y arsénico). Por otro lado, están los problemas que puede generar en los seres vivos el polvo de este material. Especialmente a los que por accidente lo respiran debido a una exposición prolongada e involuntaria. La presencia de este material en las vías respiratorias puede causar inflamación en la tráquea y los pulmones, dificultades para respirar, tos y dolores en la zona pectoral. Este polvo también puede afectar negativamente a las plantas(Ahearn, 2013). Un estudio realizado en una terminal de carbón de Sudáfrica, que es un gran exportador de este material, determinó que el polvo de este material depositado en las hojas de los árboles se queda fuertemente adherido a ellas, impidiendo un adecuado desarrollo de la fotosíntesis(De Place, 2012).

Las principales fuentes de las que sale el carbón que va a parar al medio marino son: el agua con la que se lava el carbón para eliminar las impurezas que es echada posteriormente al mar, la eliminación de los desechos de las minas donde es extraído y cuyo destino final es el mismo y aquel que se pierde durante el almacenamiento y transporte del carbón, en particular en los puertos. De esta manera, el carbón puede entrar directamente en el mar, como ocurre en el caso de las plantas costeras de preparación del carbón o en el de las zonas de carga y descarga en puertos, ríos y estuarios. En las zonas de carga y descarga presentes en los puertos es común que el polvo de carbón sea llevado por el viento desde los montones en los que suele estar almacenado, ya que se hallan normalmente al aire libre. También desde las cintas transportadoras que se emplean para transportarlo durante las cargas y las descargas de los buques(Rojano et al., 2016). Este problema es bastante recurrente también en el puerto de El Musel, donde se puede observar en la Figura 10 como nubes de polvo de carbón se dirigen hacia la ciudad cuando hay viento procedente del noroeste.



Figura 10. Nubes de polvo de carbón procedentes de El Musel

Fuente: El Comercio de Gijón (2016)

Este fenómeno puede paliarse reduciendo el tiempo que el carbón pasa en las zonas de almacenamiento, cubriendo dichas zonas para protegerlas del viento (cosa que a menudo es poco práctica para las zonas grandes), modernizando de la gestión de la maquinaria de almacenamiento para reducir al mínimo la exposición del carbón a los vientos durante la operación, compactar el carbón en las pilas y utilizar programas informáticos para monitorizar el posible comportamiento del polvo en tiempo real. Además, es posible emplear agua lanzada al aire en gotas finas para atrapar las partículas de polvo en suspensión (De Faveri et al., 1990). Un ejemplo del uso de coberturas para el almacenaje de carbón lo tenemos en el puerto de La Coruña, donde se construyó una gran cúpula mostrada en la Figura 11 para evitar que el polvo llegase a la ciudad.



Figura 11. Cúpula para albergar graneles del puerto de La Coruña

Fuente: La Voz de Galicia (2018)

La mala gestión del polvo de carbón puede tener importantes consecuencias en la naturaleza. Un estudio efectuado en Sydney Harbor, Canadá, estaba enfocado en el hallazgo de grandes cantidades de sedimentos cerca de las instalaciones de carga de carbón del puerto de esa ciudad. Esta zona tuvo desde el Siglo XIX una importante industria enfocada en el almacenaje y depuración de este material y el no haber tenido en cuenta la generación de polvo de carbón por su deficiente depósito causó una acumulación del mismo en las zonas aledañas. Esta acumulación de polvo de carbón generó una contaminación debido a la afinidad de las partículas de este material con las del agua de mar, lo que generó a su vez una intoxicación de los animales marinos presentes en estas aguas(Furimsky, 2003).

Las primeras regulaciones relativas al transporte de carbón y otras cargas a granel se encuentran en el Convenio SOLAS '74, concretamente en las partes A y B del capítulo VI y en la parte A-1 del capítulo VII, donde se pueden encontrar las disposiciones obligatorias que rigen el transporte de cargas sólidas a granel y el transporte de mercancías peligrosas a granel, respectivamente. Esta normativa resultó ser insuficiente, por lo que la IMO elaboró un código de obligado cumplimiento conocido como "Código IMSBC"(IMO, 2008). Este provee información acerca de los peligros asociados con el transporte de graneles sólidos sin incluir los distintos tipos de grano a granel como el arroz, trigo, maíz, etc, que tienen su propio código específico: el Código Internacional de Grano(IMO, 1991).

Los principales peligros asociados con el transporte de cargas sólidas a granel son los relacionados con los daños estructurales debidos a la distribución inadecuada de la carga, la pérdida o reducción de la estabilidad durante un viaje y las reacciones químicas de las cargas. Es por ello que el objetivo primordial del Código IMSBC es facilitar la estiba y el embarque seguros de cargas sólidas a granel. Para ello, el Código proporciona información sobre los peligros asociados con el embarque de ciertos tipos de estas cargas e instrucciones sobre los procedimientos que se han de adoptar cuando se contemple su

embarque. El Código IMSBC incluye 168 programas para distintos graneles sólidos en los que se proporcionan instrucciones de seguridad para efectuar una correcta manipulación de los mismos y da indicaciones para determinar las propiedades características de la carga a embarcar. En dichos programas se tratan los requerimientos de estiba, la humedad máxima admisible, etc. El Código IMSBC se aprobó el 4 de diciembre de 2008 y entró en vigor el 1º de enero de 2011, fecha a partir de la cual pasó a ser obligatorio en virtud de las disposiciones del Convenio SOLAS(IMO, 2008).

4. Basuras

En este apartado vienen recogidos los diversos tipos de basura, en función del tipo de material contaminante, que son generados en el tráfico marítimo y cómo son gestionados para prevenir su impacto medioambiental.

4.1 Gestión de basuras generadas en los buques

Los océanos del planeta sufren una gran degradación medioambiental debido a la contaminación generada por la basura que llega a ellos. Una gran parte de ella es resultado de una actividad industrial en tierra que es llevada a cabo con muy poca conciencia del daño que puede hacer a los ecosistemas, mientras que otra parte es basura generada en los buques en tránsito durante su actividad diaria.

Los buques que generan una mayor cantidad de basuras son los buques de pasaje de gran tamaño. Para hacernos una idea, un crucero que transporte en torno a 3000 pasajeros genera aproximadamente 70 toneladas de residuos sólidos a la semana. La basura generada por este tipo de buques supone el 21% del total de basuras generadas anualmente a pesar de componer menos del 1% de la flota mundial(Statista, 2019).

En la basura generada por los buques se pueden encontrar materiales de todo tipo: vidrios, metales, plásticos, residuos orgánicos, cartones y papeles de embalaje, aguas oleosas, aguas grises y otras basuras peligrosas como baterías, residuos de pinturas, etc. Las sustancias que son reciclables son a menudo separadas y almacenadas para ser descargadas en puerto en instalaciones diseñadas para cada tipo de basura(Carić, 2011).

Algunos tipos de residuos pueden ser procesados a bordo. Por ejemplo, los residuos sólidos orgánicos (papel, cartón, restos de comida, etc) son incinerados a bordo en máquinas como la que se ve en la Figura 12, y sus cenizas son, o bien echadas al mar cuando esté permitido por el Convenio MARPOL, o bien almacenadas a bordo para su futuro procesamiento en tierra. Por tanto, la instalación y mantenimiento de instalaciones para la recepción de las basuras generadas a bordo de los buques juega un papel esencial en la protección del medio ambiente marino(Wankhede, 2019).



Figura 12. Incinerador de basuras

Fuente: Marineinsight (2019)

Sin embargo, existen alternativas ecológicas a la incineración de residuos sólidos que provienen de los buques. En el puerto de Rotterdam, en los Países Bajos, un consorcio industrial formado por las empresas “Air Liquide”, “AkzoNobel Specialty Chemicals”, “Enerkem” y la Autoridad Portuaria de Rotterdam ha creado una planta de gestión de residuos pionera en Europa, ya que lleva a cabo procesos que permiten convertir diversos tipos de residuos sólidos, tanto plásticos como de otras variedades, en materiales reciclados que pueden ser empleados de nuevo en la fabricación de bienes manufacturados industriales. Durante este proceso también se producen gases cuya composición es susceptible de ser alterada para generar metano, que puede ser empleado como sustituto de los combustibles fósiles tradicionales y que se considera una alternativa menos contaminante.

Cuando la planta se halle en funcionamiento, se espera que sea capaz de procesar 360.000 toneladas de residuos para generar 220.000 toneladas de metano, lo que supone un equivalente a los residuos generados por 700.000 hogares y reduciría las emisiones de CO₂ en 300.000 toneladas (Greenport, 2018).

La comida es, en algunos casos, el principal deshecho generado a bordo de los buques y debido a que puede ser descargada al mar muchos de sus componentes pueden tener efectos nocivos en el ecosistema a pesar de ser, aparentemente, simple material biodegradable. Una gran cantidad de estos residuos liberada en un mismo lugar puede deteriorar la calidad del agua y los sedimentos del lugar donde se halle, dañar los

microorganismos presentes en ella o volverla más turbia. Otro efecto negativo que aparece es la alteración de la cadena trófica en multitud de especies marinas y terrestres, ya que estos residuos proporcionan alimento a comunidades animales que de otra forma no conseguirían tanto sustento. Esto hace que se genere superpoblación en algunas especies como las gaviotas, cuervos y multitud de especies de peces que se alimentan con los restos de pescado y otras comidas que proceden de los buques. Se estima que un 52% de las aves marinas son dependientes para su supervivencia en mayor o menor medida de estos restos. Otra gran fuente de estos residuos orgánicos proviene de la pesca, ya que los pescados capturados que no se corresponden con el tipo de peces que el barco trata de pescar son tirados de nuevo al mar ya muertos. Anualmente son generadas aproximadamente 7 millones de toneladas de esta clase de residuos(Chapagain & James, 2013).

La comida que consumimos los seres humanos se encuentra tratada por cuestiones sanitarias con pesticidas, insecticidas, hormonas o antibióticos, pero estas sustancias no se encuentran presentes en el mar de manera natural, por lo que la ingestión de estos alimentos por parte de los animales marinos puede tener diversidad de efectos en ellos, pudiendo tener consecuencias nocivas como intoxicaciones. Además se ha demostrado que los pesticidas son sustancias susceptibles de generar bioacumulación en los seres vivos marinos. A menor escala, los microorganismos marinos también se ven afectados por estos vertidos de sustancias nutritivas al mar, ya que se genera un proceso conocido como “eutrofización”. La eutrofización es un proceso que sucede cuando existe una gran concentración de nutrientes presentes en una masa de agua. Esta elevada concentración facilita la generación de brotes de algas como los mostrados en la Figura 13, y la presencia de estas algas hace que se consuman los nutrientes y el oxígeno presentes en el agua, lo que las vuelve inhabitables para otros seres vivos. Es un fenómeno especialmente común en lagos, debido al poco movimiento de las masas de agua(Yusuf, 2019).



Figura 13. Zona costera llena de algas a causa del exceso de nutrientes en el agua

Fuente: Greenpeace (2017)

Todos estos efectos negativos han llevado a la restricción de la descarga de basuras orgánicas en el mar y el establecimiento de controles que estudien las concentraciones de las mismas en las zonas costeras. Restricciones de este tipo se aplican en la Gran Barrera de Coral Australiana, las áreas situadas a menos de 12 millas

de de la costa en zonas especiales y las áreas situadas a menos de 3 millas de la costa en el resto de zonas (Polglaze, 2003).

4.2 Residuos plásticos

Otro tipo muy frecuente de residuos contaminantes generados en los buques son los plásticos. Este tipo de materiales son peligrosos para el ecosistema marino debido a los riesgos de ingestión o entrelazamiento por parte de los seres vivos. Son compuestos utilizados para hacer todo tipo de objetos y que además poseen largos periodos de biodegradación recogidos con algunos ejemplos en la Figura 14, lo que hace que permanezcan en el medio ambiente hasta cientos de años.



Figura 14. Tiempos de degradación de distintos tipos de plásticos

Fuente: Greenpeace (2018)

Las consecuencias de la presencia de este tipo de materiales en los océanos se hallan bien documentadas. Los seres vivos, tanto aves marinas, mamíferos marinos, peces y crustáceos, pueden sufrir una muerte por ahogamiento, asfixia, fallos reproductivos, estrangulación, inanición por ingerir plásticos confundidos con su alimento usual, etc.

Otro grave problema derivado de la presencia de estos materiales en el medio ambiente es la existencia de “microplásticos”, que son partículas de plástico de muy pequeño tamaño. Estos pueden clasificarse en dos grupos: los primarios, que son aquellos que se producen para su uso con fines específicos, como algunos cosméticos, y los secundarios, que son aquellos fragmentos y fibras que producidas por la degradación de artículos plásticos de mayor tamaño por procesos mecánicos, químicos y biológicos. Las propiedades distintivas de los microplásticos, como el tamaño, la forma, la densidad, el color y la abundancia, determinan su distribución en el medio ambiente y su biodisponibilidad para los organismos. Las pequeñas dimensiones de estos microplásticos permiten la ingestión por parte de diversos tipos de organismos marinos que se hallan presentes en distintos niveles tróficos. Por lo tanto, los microplásticos ingeridos entran en la cadena alimenticia gracias a un fenómeno similar al de la bioacumulación de los metales pesados, lo que puede acabar repercutiendo en la salud humana al consumir pescados o mariscos afectados por este tipo de contaminación(Woodward, 2019).

Se estima que anualmente entran en el medio marino 8.8 millones de toneladas de estos contaminantes. La generación de plásticos no para de aumentar año tras año a causa de su bajo coste de producción respecto a otros materiales. Para tener una idea de la magnitud de este incremento, hay que tener en cuenta que en los años 50 del siglo pasado, en el mundo se producían sólo 2 millones de toneladas anualmente. En la actualidad, la producción anual se había multiplicado casi por 200, alcanzando los 381 millones de toneladas. En el período comprendido entre 1950 y 2015, la producción acumulada alcanzó los 7.800 millones de toneladas de plástico, lo que supone más de una tonelada de plástico por cada persona viva en la actualidad. De todos los plásticos presentes en los océanos, se estima que el 80% proviene de zonas continentales y el 20% del tráfico marítimo. Especialmente de buques pesqueros debido al uso que hacen de redes de arrastre, sedales, etc que están hechos principalmente de plástico y que en ocasiones son tirados directamente al mar cuando termina su vida útil(Ritchie & Roser, 2018).

Hay una serie de iniciativas jurídicas, reglamentarias y de gestión a nivel mundial, internacional y nacional destinadas a la prevención y la gestión de los desechos marinos. Actualmente, la basura generada por los buques se haya legislada a través del convenio MARPOL 73/78 en sus anexos III y V, y a través del International Safety Management (ISM) (IMO, 1993). El Anexo V de este convenio, que trata de la contaminación por desechos de los buques y plataformas de recursos minerales en el mar, fue el primero de los anexos opcionales del MARPOL que entró en vigor, siendo ratificado por 147 estados, que representan el 98,03% del tonelaje mundial, e incluyendo numerosos pabellones de conveniencia como Panamá, Liberia y Honduras.

El Anexo V proporciona las directrices a seguir para el control de la basura generada por todos los buques y plataformas offshore. A diferencia de la descarga de otros tipos de desechos generados por los barcos, como papel, trapos, vidrio, etc, que estaba permitida hasta hace poco si tenía lugar fuera de las áreas especiales y a distancias definidas de la tierra más cercana, la descarga de los plásticos al mar siempre ha estado prohibida. Las exenciones a este convenio se aplican sólo en situaciones muy concretas cuando la descarga de basura o artículos de pesca es necesaria para asegurar la seguridad del buque y de los que están a bordo. Para tales descargas, se requieren

entradas en el Libro de Registro de Basura (GRB) donde queden recogidos los pormenores que han llevado a dicha descarga. Generalmente este tipo de residuos son almacenados en los buques o depositados en instalaciones en puerto, como los contenedores de la Figura 15, que posteriormente serán trasladados a plantas de procesamiento. Incinerar plásticos a bordo está prohibido a causa de los gases tóxicos que se generan en este tipo de procesos(IMO, 1988).

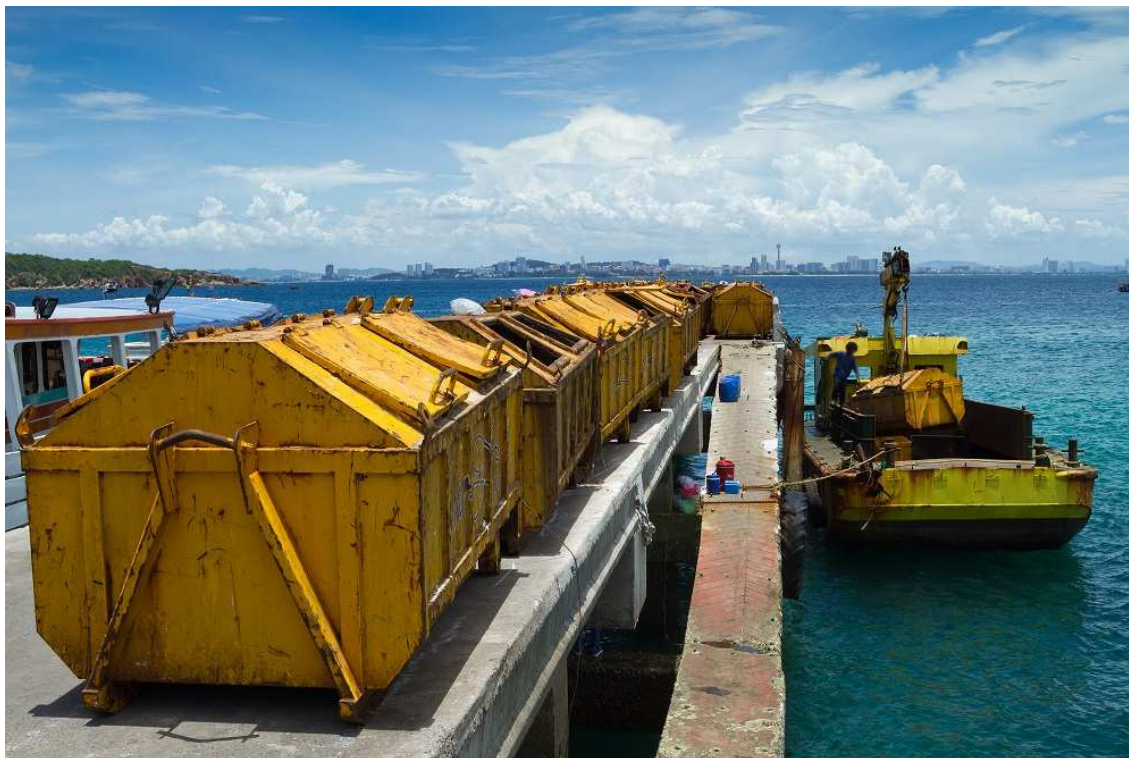


Figura 15. Cubos para la recogida de basura procedente de los buques.

Fuente: European Parliamentary research service (2019)

4.3 Aguas sucias

En un primer lugar debe hacerse la distinción entre aguas grises y aguas negras. Las aguas negras comprenden los residuos generados en los inodoros y urinarios, o en las bodegas de carga de animales vivos. Es agua mezclada con materias fecales. Las aguas grises, en cambio, se componen de los residuos generados en los lavavajillas y el lavabo en la cocina y en los desagües de las bañeras y los lavabos, entre otros. Es decir, es agua mezclada con productos de limpieza. Las aguas sucias sin tratar contienen una elevada concentración de nitratos, fosfatos y materias orgánicas. Esto contamina lagos, ríos y mares, ya que las bacterias presentes en estas aguas sucias pueden consumir gran parte del oxígeno presente en el agua donde se encuentren, lo que dificulta el mantenimiento de la fauna natural del medio acuático. La descarga de las aguas sucias del buque está regulada en el Anexo IV del MARPOL. El reglamento establece que:

- Todo buque de 400 toneladas de arqueo bruto o más que realice viajes internacionales y lleve un mínimo de 15 personas a bordo deberá estar equipado con un tanque de almacenamiento de aguas residuales de capacidad apropiada o una planta de tratamiento de aguas residuales aprobada, o ambos.

- La descarga de aguas residuales del barco está permitida si tiene una planta de tratamiento de aguas residuales aprobada, que pueda tratar las aguas residuales y descargar las aguas residuales trituradas y desinfectadas. Con este arreglo, la descarga se permite a una distancia de más de 3 millas náuticas de la tierra más cercana cuando el barco va a una velocidad de 4 nudos y más.

- El barco tiene que mantener el ritmo de descarga de las aguas residuales del barco como lo recomiende la Administración.

La enmienda más reciente al anexo IV del MAPOL entró en vigor en enero de 2013, en virtud de la cual la zona del mar Báltico se ha adoptado como la primera zona especial para la regulación de las descargas de aguas residuales a causa del elevado número de cruceros que circulan por esta área. Esta reglamentación se centra en los buques de pasajeros, que son la principal causa de contaminación relacionada con las aguas residuales en el mar y en las masas de agua costeras. Esta regulación prohíbe la descarga de aguas residuales no tratadas en el mar en la región de la zona del Báltico. Sin embargo, estas aguas residuales "sin tratar" producidas en el barco pueden ser tratadas en una planta de tratamiento de aguas residuales antes de su descarga o pueden ser transferidas a la instalación en tierra(IMO, 2013).

Un tercer tipo de aguas contaminadas que hay en los buques son aquellas que tienen en ellas residuos de aceites u otros hidrocarburos empleados a bordo. Todos los buques, en mayor o menor medida, generan residuos oleosos y residuos de sentinas, llegando a producirse hasta ocho toneladas al día. Esta agua oleosa proveniente de las sentinas es tratada a bordo empleando maquinaria dedicada a la extracción de los aceites del agua. El agua limpia resultante de dicho proceso es descargada al mar y los aceites son almacenados a bordo para su posterior procesamiento en puerto. Mientras que las autoridades enfocan una gran parte de sus capacidades en hacer frente a vertidos contaminantes de gran tamaño, las manchas pequeñas generadas por los vertidos de sentinas que son echados por la borda reciben considerablemente menos atención por parte de las autoridades costeras a pesar de ser también muy dañinas(Yu et al., 2017).

4.4 Tratamiento de basuras en puerto

Una gran parte de las basuras generadas por los buques son llevadas a tierra debido a que su gestión es más sencilla y eficaz que si se hiciera a bordo. La falta de instalaciones adecuadas para el procesamiento de basuras en los puertos es un grave problema para las administraciones estatales y los armadores. La existencia de planes para gestionar este tipo de residuos es de vital importancia para reducir su impacto medioambiental. La Unión Europea ha creado a este respecto una directiva para establecer los requerimientos que deben cumplir los puertos de los estados miembros para proveer los servicios de gestión adecuados para procesar la basura generada por los buques, ya que las propias instalaciones producen otros residuos que deben ser eliminados. Debido a dichos residuos, la creación y funcionamiento de estas plantas de procesado debe haber ido precedida por un estudio de los posibles daños medioambientales que pudiera implicar su construcción y funcionamiento. En estos estudios se debe investigar su impacto en el agua y el aire. Es importante reducir, al mismo tiempo que se mejoran estas instalaciones, los incentivos existentes para llevar a cabo descargas ilegales de residuos al mar(ECSA, 2017).

Para conocer mejor cómo se gestionan estos residuos a nivel europeo a continuación se muestran, empleando dos estudios, los procedimientos seguidos en dos puertos europeos. En el primero se contemplan los sistemas de gestión de residuos sólidos empleados en el puerto de Igoumenitsa, en Grecia, y en el segundo los empleados en el puerto de Leith, en Reino Unido, ya que ambos son estados contratantes del Convenio Marpol 73/78 y de la directiva anticontaminación UE 2000/59 a nivel europeo.

El puerto de Igoumenitsa se halla situado en una bahía con un gran valor medioambiental, por lo que el gobierno griego ha puesto especial énfasis en su protección frente al gran número de buques que lo transitan anualmente. Al igual que otros puertos europeos, se halla obligado a desarrollar y operar instalaciones de recepción de residuos para recibir los desechos generados por los buques que hagan escala en él sin generar retrasos en los buques. La Autoridad Portuaria es la responsable de la gestión del puerto y del desarrollo de una política medioambiental sostenible. En este puerto son empresas externas las encargadas de la recepción, la gestión y la eliminación final de los residuos sólidos de los buques visitan el puerto.

Una de esas empresas externas es responsable de la recogida y eliminación de los desechos sólidos siguiendo las directrices del Anexo V del MARPOL. Sin embargo, y al igual que ocurre en otros puertos, las instalaciones de gestión de residuos sólidos no cuentan con un sistema de separación y reciclaje de desechos. Gran parte de estos se embolsan y se colocan en contenedores que son posteriormente vaciados por otra empresa. La empresa encargada de los contenedores tiene dispuestos en el puerto 25 contenedores de 11,00 L cada uno para la recogida de residuos sólidos, siendo vaciados 2 veces por semana durante el periodo de invierno y 4-5 veces en verano. Finalmente los desechos recogidos se llevan al vertedero más cercano en la región de Koritiani, 22 km al este de la ciudad(Beza, 2014).

A continuación, viene recogido el estudio del puerto de Leith. Este se halla situado en la orilla sur del río Forth, en Edimburgo, Escocia. Dicha ciudad colinda con la zona del muelle al sur y dispone de una conexión ferroviaria principal hacia el muelle. La entrada tiene lugar desde el mar a través de una esclusa de entrada de 259 metros de largo y puede recibir buques de hasta 45.000 toneladas de peso muerto de diversos tipos. Varios hábitats situados a lo largo del litoral próximo al puerto son de especial importancia medioambiental, por lo que el puerto debe asegurar el más alto grado de protección al medio ambiente, lo que implica disponer, al igual que en el caso griego, de un buen procedimiento de gestión de residuos que es descrito a continuación: Veinticuatro horas antes de la llegada a puerto o no más tarde de la hora de salida del puerto anterior (si la navegación es de menos de 24 horas), deben ser enviados a las autoridades del puerto datos procedentes del registro de basuras del buque, donde deben figurar detalles de todos los desechos a bordo y lo que se eliminará cuando esté en el puerto. Cuando un buque va a llegar al puerto de Leith, debe enviar una notificación al Departamento de Operaciones del puerto. Este órgano se asegura de que haya contenedores colocados en el muelle al que se espera que llegue el barco. Cuando dos buques están atracados uno al lado del otro, se espera que compartan las instalaciones y si un buque llena un contenedor con residuos, puede solicitar más contenedores al Departamento de Operaciones para no dejar incompleto el vaciado de los residuos de a bordo. Es competencia de dicho departamento el que los contenedores llenos sean transportados al vertedero y sean

sustituyan por contenedores vacíos. Este plan sólo cubre desechos como cartones, papeles, plásticos, etc, que son separados para su posterior reciclaje. Todos los demás desechos son eliminados a través de un contratista de desechos autorizado y aprobado por el puerto, siendo tales desechos aceites, trapos/materiales aceitosos, mezclas aceitosas, materiales contaminados, pinturas, botes de pintura,etc(Forth Ports, 2018).

5. Desguace tras la vida útil del buque

Una vez el buque ha finalizado su vida útil, suele ser demontado para reutilizar los materiales de los que está hecho para la fabricación de otros bienes. En este apartado se resume el proceso de desguace y los problemas medioambientales que genera, así como la normativa existente para paliar estos daños. A lo largo de dicho proceso, los buques son despedazados en partes más pequeñas que son posteriormente procesadas, ya sea descartándolas o reciclándolas. A pesar de que es un procedimiento positivo desde la perspectiva de la gestión de residuos, el proceso en sí puede afectar tanto al medio ambiente como a la salud de los seres humanos debido a la descarga de las diversas sustancias contaminantes presentes en el buque como aceites, lubricantes u otros químicos peligrosos.

Este proceso es distinto según el lugar del mundo en el que se realice, puesto que en muchos casos es llevado a cabo en países subdesarrollados con poca o nula preocupación acerca de los daños medioambientales que entraña esta tarea. En aquellos desguaces donde se lleva a cabo de manera adecuada, el proceso incluye tareas relativas a la eliminación de líquidos presentes a bordo u otras sustancias contaminantes, a la preparación de las superficies para el posterior cortado de las partes del buque y finalmente al reciclado de las mismas. Las principales fuentes de contaminación derivadas de este procedimiento son los gases, ruidos y vibraciones causadas por los cortes y soldaduras de las partes del buque, las distintas sustancias inflamables o explosivas y los fragmentos de metales u otros residuos sólidos. También pueden producirse descargas de aceites residuales, lodos, aguas de lastre o aguas negras. Cuanto mayor sea el tiempo que el buque permanece en el mismo lugar antes de que den comienzo los procesos de desguace, mayores serán los riesgos de contaminación de los ecosistemas de los alrededores, porque es posible que pasen meses hasta que dichos procesos empiecen (Yilmaz et al., 2016).

Los riesgos ambientales que plantea el desguace de buques varían en función de los reglamentos y legislaciones locales. La industria del desguace de buques comenzó en Europa y América del Norte, pero ahora se halla localizada en gran medida en el Asia meridional. Hasta el 80% del desguace de buques internacionales tiene lugar en Bangladesh, la India y el Pakistán, y a menor escala en China y Turquía. Esto es debido a que, a partir de los años 60, la industria del desguace de buques se desplazó a países con menores costos de mano de obra y reglamentos ambientales, de salud y de seguridad más laxos. Con el paso del tiempo se está intentando paliar este problema modernizando y mejorando esta industria (Safety4Sea, 2018). En Bangladesh, por ejemplo, las estrategias recientes han sido ideadas conjuntamente por la OMI y el Gobierno de dicho país para desarrollar un reciclaje de buques seguro y respetuoso con el medio ambiente. Con una capacidad de 8.8 millones de toneladas de registro bruto, la industria del reciclaje de buques bangladesí es una de las más importantes del mundo, después de la india en términos de volumen (Rabbi & Rahman, 2017).

Para conocer más acerca de los efectos sobre el medio ambiente podemos tomar como referencia dos estudios expuestos a continuación. El primero de ellos fue elaborado en el año 2016 por la Comisión Europea, y trata acerca de la concentración de sustancias contaminantes en el aire de la ciudad bangladesí de Chittagong, cuya playa aparece en la Figura 16, donde tienen lugar el 22% de todas las actividades de desguace de buques a

nivel mundial. En esta ciudad de 4.5 millones de habitantes, esta industria emplea a cerca de 100.000 personas de las que se estima que la mitad son niños. Además, debido a los predominantes vientos provenientes del oeste, los contaminantes presentes en el aire se desplazan a los núcleos residenciales de la ciudad. Para llevar a cabo el estudio se emplearon 25 medidores colocados por distintos puntos de la ciudad (tanto en las zonas residenciales como industriales) durante una semana en la estación seca, lo que hace que la atmósfera se halle con mayor densidad de partículas a causa de la ausencia de lluvias.

Los resultados mostraron una presencia en el aire de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) y otros hidrocarburos altamente contaminantes que era muy superior a la registrada en otros puntos de Asia utilizados como referencia de control, llegando a niveles considerados como cancerígenos por la Organización Mundial de la Salud. Es significativo el hecho de que los efectos perjudiciales de los citados PAH eran mayores en esta región que en otras altamente contaminadas como las zonas industriales de Taiwan o Shanghai, que se consideraron para este estudio. Se cree que estos datos de contaminación tan elevados están causados, en primer lugar, por las escasas medidas de prevención de la contaminación llevadas a cabo durante el desguace de los buques, ya que estos son despiezados en la propia playa donde previamente han sido embarrancados, y en segundo lugar y en mucha menor medida por haberse llevado a cabo las mediciones durante la estación seca, haciendo que los registros fueran más elevados(European Commision, 2016).

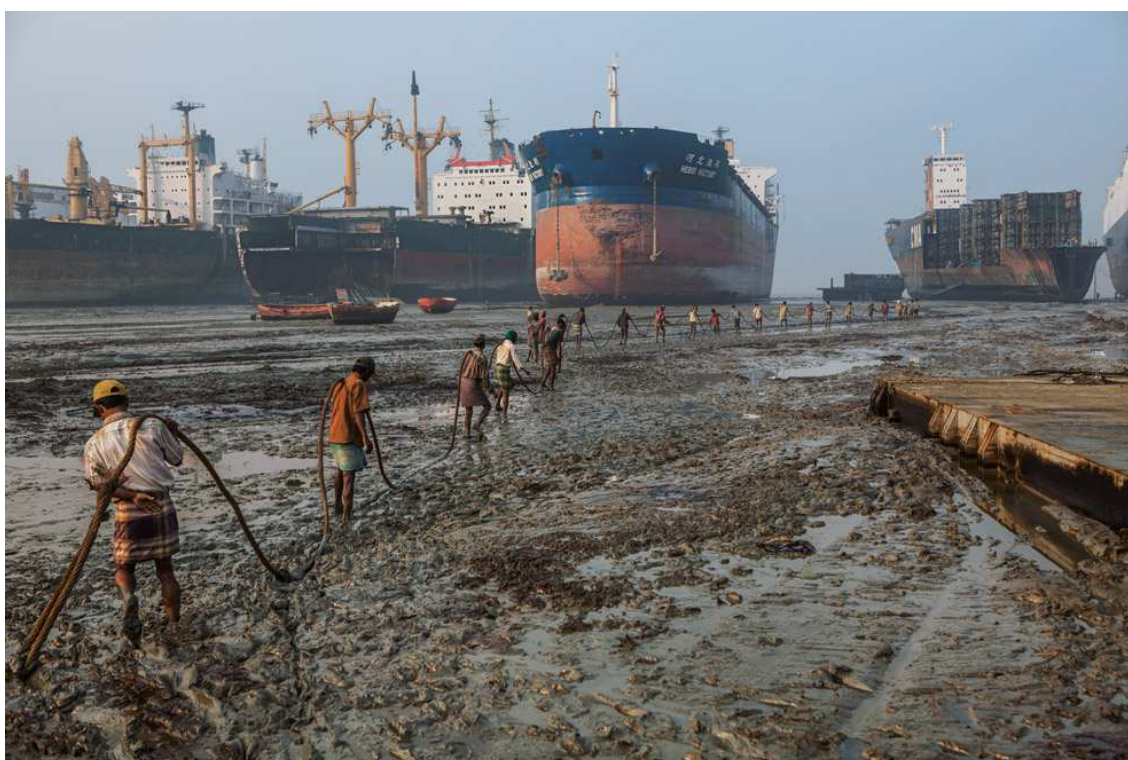


Figura 16. Zona de desguazado de buques en Chittagong

Fuente: EJAtlas (2016)

El segundo estudio, elaborado también por la Comisión Europea en el año 2016, tiene como objetivo la cuantificación de las sustancias contaminantes presentes en los

alrededores del mayor cementerio de buques del planeta, localizado en la ciudad de Alang, cuya imagen por satélite se puede ver en la Figura 17, y que se halla en la costa occidental de la India. Creado en el año 1982, da empleo a decenas de miles de personas y desguaza cientos de buques anualmente.



Figura 17. Vista por satélite de la playa de Alang llena de restos de buques

Fuente: Wikimedia (2016)

A pesar de la notable contribución a la industria siderúrgica que ofrece, este cementerio también ha contaminado la región con sustancias como el petróleo, el amianto, la pintura, la fibra de vidrio y los plásticos. Además, se sabe que los trabajadores y la población local arrojan desechos domésticos en la orilla, lo que da lugar a altas concentraciones de bacterias.

Para llevar a cabo una cuantificación de la contaminación a lo largo de la costa de Alang, este estudio empleó como sitio de control la isla de Píram, que es una isla próxima que se encuentra con menores niveles de contaminación y que sirve como sitio de anidación para especies en peligro de extinción. Los investigadores tomaron muestras de cuatro sitios. Dos sitios de control alejados del lugar de desmantelamiento de buques, situados uno cerca de la costa de Píram y el otro a 10 km mar adentro desde la isla, y dos sitios en Alang. Uno cerca de la costa donde se hallan los restos de buques varados y otro a 10 km mar adentro. Recogieron agua de mar y sedimentos y analizaron una serie de parámetros, incluidos los valores químicos y biológicos (como, por ejemplo, el pH, los niveles de oxígeno y el contenido de nutrientes), las concentraciones de metales pesados, los niveles de clorofila-a, hidrocarburos derivados del petróleo, y el número de bacterias, fitoplancton y

zooplancton. Los resultados mostraron que las concentraciones de metales pesados, hierro, manganeso, cobalto, cobre, zinc, plomo, cadmio, níquel y mercurio, eran considerablemente más altas en la estación costera de Alang en comparación con el lugar de control. El metal menos enriquecido era el níquel, que era 25% más alto, mientras que el mercurio era un increíble 15.500% más alto y las concentraciones de hidrocarburos de petróleo eran 16.973% más altas. Sin embargo, los niveles de clorofila-a se encontraban en concentraciones mucho más bajas, y en algunos casos esta sustancia era indetectable.

También se estudió la fauna marina microscópica para comprobar si se veía afectada por la contaminación. El zooplancton estudiado mostró considerables reducciones en el crecimiento (hasta el 66%) en Alang en comparación con el control, pero los recuentos de fitoplancton aumentaron ligeramente. Curiosamente, el mayor número de fitoplancton observado en Alang no se vio correspondido con un aumento de los niveles de clorofila-a (como se esperaba, ya que la clorofila-a es una medida de la biomasa de fitoplancton). Por lo tanto, los investigadores concluyeron que es probable que las células de fitoplancton muertas se incluyeran en el recuento, ocultando el hecho de que los metales pesados y la gasolina redujeran la productividad del fitoplancton en la región. El número total de bacterias era 605% más alto en Alang que en el sitio de control y el número de bacterias individuales, incluyendo algunas cepas patógenas, también fue mayor: E. Coli y E. Faecalis fueron 349% y 394% más altas en Alang que en el control, respectivamente.

Los resultados aportados por este estudio muestran como la contaminación causada por el reciclaje de barcos y el desarrollo industrial circundante puede cambiar los ecosistemas locales aumentando el número de bacterias potencialmente dañinas y reduciendo los organismos ecológicamente importantes, como el zooplancton. Esta industria también puede afectar con sus residuos a otros seres vivos de mayor tamaño. En grandes cantidades, los fragmentos de metal y el óxido de hierro se precipitan al mar, pegándose a los huevos o larvas de los animales marinos y bloqueando en ocasiones los delicados sistemas de alimentación o respiratorios de estos seres. Los desechos sólidos y la basura acumulada durante el desmantelamiento del buque tienen además el potencial de liberar plásticos y pequeños trozos de chatarra en el agua, lo que supone una amenaza para los peces, las aves marinas y otros mamíferos (European Commission, 2016).

Con motivo de reducir en lo posible todos estos impactos negativos en el medio ambiente marino la IMO creó la "Convención de Hong Kong para el reciclaje seguro y ambientalmente racional de los buques" del año 2009. Este Convenio se creó para abordar todas las cuestiones relacionadas con el reciclaje de buques y los textos normativos que emanaron del mismo se elaboraron a lo largo de tres años y medio, con la aportación de los Estados miembros de la IMO y con la cooperación con la Organización Internacional del Trabajo. Estos reglamentos abarcan tanto el diseño de buques como su construcción, el funcionamiento y la preparación de los mismos a fin de facilitar el reciclado seguro y ambientalmente racional sin comprometer la seguridad y la eficiencia operacional de los buques, el funcionamiento de las instalaciones de reciclado de buques de manera segura y ambientalmente racional y el establecimiento de un mecanismo de ejecución apropiado para el reciclado de buques, que incorpore requisitos de certificación y de presentación de informes. Con la entrada en vigor de este Convenio, los buques que se envíen para su reciclado deberán llevar un inventario de materiales peligrosos, que será específico para

cada buque. En un apéndice del Convenio figura una lista de materiales peligrosos cuya instalación o utilización está prohibida o restringida en los astilleros. Se exigirá a los buques que realicen un reconocimiento inicial para verificar el inventario de materiales peligrosos, reconocimientos adicionales durante la vida del buque y un reconocimiento final antes del reciclaje. Los lugares donde se lleve a cabo el reciclado de buques deberán presentar un "Plan de reciclado de buques", en el que se especifique la forma en que se llevará a cabo dicho reciclaje, que se realizará según el tipo de buque y de las distintas sustancias que tenga presentes a bordo. Se exige a los estados contratantes que adopten medidas eficaces para garantizar que las instalaciones de reciclaje de buques bajo su jurisdicción cumplan con el Convenio(IMO, 2019).

6. Naufragios

Los naufragios pueden ser intencionados o accidentales. En el primer caso se conocen como “arrecifes artificiales”, que son ecosistemas creados por el ser humano a propósito al hundir viejos buques para que los seres vivos se instalen en ellos, como se ve en la Figura 18. Esta práctica es una herramienta eficaz para mejorar el hábitat subacuático local para los organismos marinos. Los arrecifes artificiales mejoran el hábitat de los peces, aumentan la protección contra la erosión costera y proporcionan lugares idóneos para la investigación marina.



Figura 18. Arrecife artificial creado con un buque.

Fuente: Dive magazine (2015)

Sin embargo, para conseguir todos estos beneficios ambientales, los buques empleados deben ser desguazados adecuadamente y los materiales peligrosos o contaminantes que se hallen en su interior deben ser eliminados adecuadamente. Además, los arrecifes artificiales tienen que ser cuidadosamente diseñados para no interferir con el ecosistema preexistente en la zona donde se coloquen (Pickering et al., 1998).

En el segundo caso se consideran los naufragios accidentales, que tienen consecuencias ambientales negativas debido a que todos los contaminantes que pueda contener el buque se hunden con él y se van liberando progresivamente en el lugar donde se aposenten los restos del buque hundido. Dependiendo de su ubicación, un pecio puede constituir un peligro para la navegación, poniendo potencialmente en peligro a otras embarcaciones y sus tripulaciones por la posibilidad de colisionar con él si se encuentra próximo a la superficie. Es por ello que en ocasiones es necesario retirar estos restos con el elevado coste económico que supone (Sprovieri et al., 2013).

Para paliar estos efectos negativos sobre el medio ambiente, la IMO ha elaborado el convenio conocido como “Convenio internacional de Nairobi sobre la remoción de restos

de naufragio". En él se crean las bases legales para que los Estados retiren o hagan retirar los pecios que puedan afectar negativamente a la seguridad de la vida humana en el mar. En el Convenio vienen establecidas un conjunto de normas internacionales uniformes destinadas a garantizar la remoción rápida y eficaz de los pecios situados más allá del mar territorial. El Convenio hace a los propietarios de buques responsables desde el punto de vista financiero y les exige que contraten un seguro u otra garantía financiera para cubrir los gastos de remoción de los restos del naufragio.

En el Convenio también se establecen:

- Medios para la notificación y localización de buques y pecios - que abarca la notificación de las víctimas al Estado ribereño más cercano, las advertencias a los marineros y a los Estados ribereños sobre el naufragio y la acción del Estado ribereño para localizar el buque o el pecio.
- Criterios para determinar el peligro que plantean los pecios, entre ellos la profundidad de las aguas por encima del pecio, la proximidad de las rutas marítimas, la densidad y frecuencia del tráfico, el tipo de tráfico y la vulnerabilidad de las instalaciones portuarias. También se incluyen criterios ambientales, como los daños que probablemente se deriven de la liberación en el medio marino de la carga del buque naufragado.
- Medidas para facilitar la remoción de los pecios, incluidos los derechos y obligaciones de retirar los buques y los pecios peligrosos - que establece cuándo el propietario del buque es responsable de la remoción del pecio y cuándo puede intervenir un Estado.
- La responsabilidad del propietario por los gastos de localización, marcado y retirada de los buques y los restos de naufragios - el propietario registrado debe mantener un seguro obligatorio u otra garantía financiera para cubrir la responsabilidad en virtud del convenio(IMO, 2007).

7. Especies invasivas presentes en el agua de lastre.

A medida que el transporte marítimo continúa creciendo, con decenas de miles de buques mercantes navegando por todo el planeta, millones de toneladas de agua de lastre son transportadas por estos buques anualmente. Este hecho aumenta los riesgos de introducción de especies invasoras contenidas en agua de lastre de los buques si esta es expulsada al mar sin haber sido previamente tratada para eliminar los organismos que pudiera haber en ella. Si esto ocurre, los organismos que venían dentro de esa agua pueden llegar a un ecosistema nuevo totalmente diferente donde no tienen depredadores naturales y pueden extenderse sin control, lo que supone un gran peligro para la biodiversidad. Se estima que el agua de lastre sin tratar es el origen de un tercio de las especies invasoras documentadas en todo el mundo.

El establecimiento del este tipo de especies en los ecosistemas puede tener importantes repercusiones económicas, ecológicas y para la salud humana. Se cree que la introducción de algunos tipos de medusas en los mares Negro y de Azov, traídas en los tanques de lastre de los buques, ha causado importantes disminuciones en los caladeros de anchoas de esas zonas, con pérdidas estimadas de 16,8 millones de dólares. El cangrejo verde europeo y los mejillones cebra o tigre son algunos otros ejemplos de especies invasoras que fueron transportadas en su momento de esta forma (Bailey, 2015). Un ejemplo cercano de este tipo de especies lo tenemos en España a lo largo del Delta del Ebro, que se halla colonizado por numerosas poblaciones de mejillones cebra que generan problemas a la fauna que habita la zona y a las personas que la habitan, ya que debido a su pequeño tamaño tienen facilidad para vivir en sitios estrechos como desagües y tuberías, provocando atascos en ellas (Muñoz Camarillo, 2013).

Para evitar este fenómeno de propagación, se han ido creando regulaciones desde el siglo pasado. Un país pionero en este aspecto fue Canadá, que introdujo directrices para la gestión del agua de lastre de los buques que viajaban a los Grandes Lagos y al Canal de San Lorenzo. El reglamento del agua de lastre de este país exige que todos los buques que entran en él intercambien su agua de lastre fuera de la zona económica exclusiva en aguas de más de 2000m de profundidad. Existen excepciones por motivos de seguridad (mar picada, tormentas, etc), que permiten el intercambio de agua de lastre fuera de los límites establecidos. Además, los buques utilizados para operaciones de búsqueda y salvamento o las embarcaciones de recreo, de eslora inferior a 50 m y con una capacidad máxima de agua de lastre de 8 m³, están exentos de la normativa sobre el agua de lastre (Government of Canada, 2019).

La introducción del mejillón cebra en los Grandes Lagos a través de la descarga de agua de lastre provocó la preocupación de la IMO sobre los riesgos de estas aguas, pasando a considerarlas como vector de dispersión de las especies invasoras. Como respuesta, el Comité de Protección del Medio Marino de la IMO elaboró un conjunto de directrices voluntarias para controlar y la prevención de la introducción de especies invasoras a través de la descarga de agua de lastre, que fueron adoptadas posteriormente por su Asamblea de Gobierno. Estas directrices, contenidas en la "Resolución A.868(20)" y denominadas "Guidelines for the Control and Management of Ships' Ballast Water to

Minimize the Transfer of Harmful Aquatic Organisms and Pathogens”, entraron en vigor en el año 1997 para incorporar nuevas prácticas de precaución y opciones de gestión del agua de lastre a las que los Estados podrían recurrir para elaborar legislación nacional(IMO,1997). Sin embargo, el carácter voluntario y no vinculante de estas directrices dio lugar a un laberinto legal de normas nacionales distintas las unas de las otras que complicaron el esfuerzo internacional para abordar el problema.

Para solucionar este problema legislativo, el mismo comité se puso a trabajar para crear lo que se conoce como el “Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques (BWM)”. Este Convenio, aprobado en el año 2004, consta de veintidós artículos y un anexo que detalla los requisitos técnicos para la gestión del agua de lastre de un buque y los sedimentos que pueda contener. Según este Convenio, todos los buques que participen en el tráfico internacional deben gestionar su agua de lastre y sus sedimentos con arreglo a una norma determinada, de acuerdo con un plan de gestión del agua de lastre específico para cada buque. Todos los buques también tendrán que llevar un libro de registro del agua de lastre y un certificado de gestión del agua de lastre internacional. En el Convenio también vienen establecidas normas relativas a la creación, por parte de los estados miembros de instalaciones en tierra para la recepción de estas aguas, a la existencia de inspecciones para comprobar el cumplimiento del Convenio y a la inversión de fondos destinados para la investigación científica con el fin de mejorar del tratamiento de las aguas de lastre(IMO, 2004).

Existen diversos métodos para gestionar estas aguas de acuerdo a lo establecido en este convenio, pero la liberación del agua de lastre en alta mar es el método más común. Este proceso se basa en realizar cambios sucesivos del agua almacenada en los tanques de lastre de los buques a lo largo de los trayectos realizados. Esto es debido a que el intercambio de agua de lastre en mar abierto elimina las especies que residen en el lastre al exponerlas a diferentes salinidades, causando así la muerte de gran parte de las mismas por procesos de ósmosis(Molina & Drake, 2016). Esta técnica de intercambio para el tratamiento del agua de lastre puede tener una eficiencia estimada del 97% al 99%. Sin embargo, la probabilidad de que los organismos sobrevivan al intercambio de agua de lastre depende de las aguas de origen y de dónde se descargan, ya que en caso de no haber grandes diferencias de salinidad entre las aguas donde se efectúa la descarga y las aguas descargadas, los organismos pueden ser capaces de sobrevivir(Murphy et al., 2004). A causa de esto se han desarrollado otros métodos para eliminar a bordo los organismos vivos que pueda haber en el agua de lastre antes de descargarlo al mar como el tratamiento con sustancias químicas o radiación ultravioleta(Reavie et al., 2010).

8. Ruido subacuático

Debido a la naturaleza del medio marino, en el que la propagación de ondas sonoras es mucho mayor y más rápida en el agua que en el aire, la mayoría de las especies marinas utilizan el sonido de forma frecuente para la reproducción, la alimentación, la caza, la comunicación y la navegación (Filiaggi, 2017).

Existen multitud de sonidos presentes de manera natural en los océanos, procedentes principalmente de las olas o de los mamíferos u otras especies marinas. Sin embargo, los niveles de ruido ambiental medios en los fondos marinos han aumentado aproximadamente en 15 decibelios en los últimos 50 años debido al aumento del transporte marítimo, de la extracción de recursos, de la pesca y de otras actividades humanas. Este ruido generado por el hombre es distinto del ruido ambiental subacuático en dirección, frecuencia y duración, y ha ido adquiriendo cada vez más importancia debido a la amplia gama de efectos perjudiciales que tiene en las especies marinas. Hasta hace poco, el estudio de sus efectos estaba enfocado en los mamíferos marinos, pero ahora se conoce que el ruido subacuático puede afectar significativamente a los peces y otros seres vivos. El transporte marítimo es una de las principales fuentes antropogénicas de ruido ambiental de baja frecuencia, además de las explosiones y las pruebas sísmicas (Rako-Gospic & Picciulin, 2019).

Esta contaminación acústica puede impactar significativamente la vida marina incluso aunque la fuente del ruido se encuentre a grandes distancias, dependiendo su efecto en los seres vivos de la duración e intensidad del mismo. Por ejemplo, la exposición a los efectos de los ruidos de baja intensidad durante largos períodos de tiempo puede tener mayores efectos negativos sobre las especies que los de los grandes estallidos de ruido a corto plazo procedentes de prospecciones submarinas (Thomsen et al., 2009).

Debido a que los rangos de audición y la sensibilidad varían entre las especies marinas, este ruido submarino puede dar lugar a una amplia gama de efectos, incluyendo cambios de comportamiento de los seres vivos, tales como variaciones en su dirección y velocidad de movimiento, cambios en sus patrones de respiración, generación de lesiones o daños físicos, e incluso la muerte en casos graves, debido a que se desorientan y pueden acabar varados en la costa (Erbe, 2012). Incluso las exposiciones de corta duración a estos ruidos pueden provocar respuestas de estrés en algunas especies acuáticas. Aunque las exposiciones de corto plazo pueden provocar respuestas de estrés, los períodos de estrés repetitivos y de largo plazo son los que causan los efectos crónicos más importantes para su salud. Los cambios de comportamiento generados por estas perturbaciones acústicas pueden afectar a la supervivencia de poblaciones enteras de seres vivos (Singla, 2019).

Una mayor conciencia acerca del riesgo que la contaminación acústica submarina supone para los seres vivos ha dado lugar a la elaboración de una serie de directrices y reglamentos para paliar sus efectos. A este respecto, la IMO creó en el año 2014 unas directrices no obligatorias que se centran en el mantenimiento del buque, su diseño, la maquinaria a bordo y las consideraciones operacionales del buque, como la velocidad y la elección de la ruta, para ayudar a reducir la contaminación acústica submarina (IMO, 2014).

Las hélices son la principal fuente de ruido submarino a causa del fenómeno de la cavitación, que es la formación de pequeñas burbujas de aire en las caras de las palas de las hélices a causa de una elevada velocidad de giro de las mismas. Dichas burbujas estallan provocando el mencionado ruido y deterioran progresivamente las hélices. La elección de hélices reductoras de ruido cuando sea posible su instalación y un estudio de los distintos parámetros de las mismas como son su diámetro, el número de palas, el paso y las secciones para reducir la cavitación podría ayudar a reducir el ruido. Estas hélices reductoras poseen conductos en los extremos exteriores de las palas, lo que altera el flujo del agua en su movimiento, logrando reducir así el ruido. Un adecuado mantenimiento y una limpieza regular de las hélices que asegure una superficie lisa de sus palas también ayudaría a reducir la cavitación. Los buques que viajan a mayores velocidades tienden a sufrir mayor cavitación en sus hélices, lo que hace que produzcan más ruido bajo el agua (Maritime Executive, 2019). Es por esto que una disminución en la velocidad de funcionamiento de los buques y la imposición de límites de velocidad podría contribuir a la disminución de los niveles de ruido. Existen otras medidas que pueden ser eficaces para mitigar los efectos del ruido submarino en las especies marinas, como las restricciones geográficas y estacionales al transporte marítimo o la modificación mediante restricciones de las rutas de los buques para evitar las zonas marinas protegidas, rutas migratorias u otros hábitats sensibles. (Leaper & Renilson, 2012). Las actividades humanas que producen señales acústicas pueden alterarse para evitar zonas o periodos del año críticos en los que mamíferos marinos u otras especies se dedican a actividades como el apareamiento, la lactancia, la alimentación o la migración (Merchant, 2019).

9. Abordajes contra animales marinos de gran tamaño

Una consideración importante para todo el transporte marino es la posibilidad de impactos con animales marinos. Las ballenas son los animales que más sufren este tipo de accidentes (un ejemplo lo tenemos en la Figura 19). Sin embargo, las tortugas, los manatíes y los dugongos también están en riesgo. En todo el mundo, se registraron más de 750 impactos de barcos sobre grandes ballenas en 2017, frente a 300 en 2012, aunque es posible que el número de estos accidentes sea mayor, ya que estas colisiones con buques a menudo no son notificadas. Bien por falta de iniciativa de la tripulación a ello para evitar demoras o multas, o bien porque no son conscientes de que se haya producido dicho accidente.



Figura 19. Ballena tras colisionar contra la proa de un buque.

Fuente: International Whaling (2017)

La gran mayoría de estos accidentes ocurren en áreas de navegación próximas a la costa y suelen tener resultados letales para los cetáceos cuando los buques navegan a velocidades superiores a 14 nudos (NOAA, 2019).

Los países pueden aplicar leyes y reglamentos para mitigar este tipo de colisiones dentro de sus mares territoriales. Lamentablemente, el hecho de que sólo se haya elaborado normativa local a este respecto reduce enormemente su eficacia. Es por ello que la IMO ha invertido recursos para concienciar acerca de este problema que pasa en ocasiones inadvertido. Para ello, el Comité de Protección del Medio Marino de la IMO

elaboró en el año 2009 un documento para hacer frente a este problema. En él se recogen tanto medidas a tomar en el ámbito nacional como en el internacional(IMO, 2009).

En el ámbito nacional se consideran acciones como la recopilación de datos acerca de las especies marinas afectadas mediante estudios poblacionales, necropsias de seres vivos que resultasen muertos por este tipo de accidentes, etc, y la recopilación de datos acerca de los buques que suelen causar con mayor frecuencia este tipo de accidentes para dar una mejor respuesta. En segundo lugar, se consideran también estrategias enfocadas en la concienciación medioambiental de las tripulaciones de los buques, tratando de educarlas en la protección de estos seres vivos y dándoles herramientas para tratar de prevenir este tipo de accidentes y métodos rápidos de notificación en caso de que se produzcan. En tercer lugar, se consideran estrategias enfocadas en el desarrollo de tecnologías que permitan una mejor detección de estos animales marinos de gran tamaño y algunas formas de alejarlos de los buques, como por ejemplo mediante el empleo de señales acústicas submarinas(Sèbe et al., 2020).

En el plano internacional, la IMO considera crucial la cooperación entre los estados miembros, por lo que hace especial hincapié en el intercambio de información entre ellos para conocer mejor las zonas habitadas por estos mamíferos de gran tamaño. Los mayores esfuerzos para reducir estas colisiones se han realizado a lo largo de la costa atlántica de América del Norte y en el Mar Mediterráneo. Estas zonas poseen las reglamentaciones más avanzadas para informar sobre los accidentes de este tipo. En estas áreas se han impuesto restricciones de velocidad de los buques, modificaciones de las rutas de navegación y se han creado zonas de notificación obligatoria para el tránsito de buques. También se han adoptado medidas para concienciar a las industrias marítimas sobre la vulnerabilidad de los animales marinos de gran tamaño (especialmente las ballenas) a los abordajes de los buques. Además, se trabaja para proporcionar información actualizada sobre la ubicación de los hábitats de estos seres vivos, Lo que hace posible evitar las zonas donde se hallen(Silber et al., 2012).

10. Conclusiones

A pesar de todas las formas de contaminación mostradas previamente, actualmente el transporte marítimo es la opción menos contaminante a la hora de transportar una gran cantidad de mercancías entre dos puntos de la Tierra debido al gran aprovechamiento que se hace de la economía de escala. Sin embargo, que sea la opción menos mala no la hace una buena opción, ya que queda mucho camino por recorrer para conseguir que el transporte marítimo sea una forma de transporte ecológica y que respete plenamente el medio ambiente.

La Organización Marítima Internacional y otros organismos reguladores de la legislación del tráfico marítimo ponen grandes esfuerzos en reducir el impacto medioambiental de este medio de transporte mediante la creación de diversas normativas específicas. Estas organizaciones deben hacer frente a la oposición de navieras y/o estados al desarrollo o aplicación de dichas normativas, debido a los costes económicos adicionales que supone su puesta en marcha. Debido a esta oposición, los cambios en el sector tienen lugar de una forma más paulatina de lo que sería deseable, pero poco a poco sus esfuerzos van dando sus frutos para tratar de dejar un planeta más limpio para las generaciones futuras.

Bibliografía:

Ahearn, A. (2013). *Coal Dust's Environmental Impacts*. <https://www.opb.org/news/article/coal-dusts-environmental-impacts/>

Ahrens, M., & Morrisey, D. (2005a). Biological Effects of Unburnt Coal in the Marine Environment. *Oceanography and marine biology*, 43, 69-122. <https://doi.org/10.1201/9781420037449.ch3>

Ahrens, M., & Morrisey, D. (2005b). Biological Effects of Unburnt Coal in the Marine Environment. *Oceanography and marine biology*, 43, 69-122. <https://doi.org/10.1201/9781420037449.ch3>

Alessandrini, A., Guizzardi, D., & Pisoni, E. (2016). *Full article: Estimation of shipping emissions using vessel Long Range Identification and Tracking data*. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17445647.2017.1411842>

Ospar Commision. (2009) Overview of the impacts of anthropogenic underwater sound in the marine environment.

Arcadia. (2017). *7 Ways Coal is Impacting Wildlife*. <https://blog.arcadia.com/7-ways-coal-impacting-wildlife/>

Aronson, E. L., & Allison, S. D. (2012). Meta-Analysis of Environmental Impacts on Nitrous Oxide Release in Response to N Amendment. *Frontiers in Microbiology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00272>

Atkinson, Richard. W., Butland, Barbara. K., Anderson, H. Ross., & Maynard, Robert. L. (2018). Long-term Concentrations of Nitrogen Dioxide and Mortality. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 29(4), 460-472. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000847>

Bailey, S. A. (2015). An overview of thirty years of research on ballast water as a vector for aquatic invasive species to freshwater and marine environments. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 18(3), 261-268. <https://doi.org/10.1080/14634988.2015.1027129>

Bart, A. N., Clark, J., Young, J., & Zohar, Y. (2001). Underwater ambient noise measurements in aquaculture systems: A survey. *Aquacultural Engineering*, 25(2), 99-110. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(01\)00074-7](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(01)00074-7)

Bernabeo, A. (2019). Health and Environmental Impacts of Nox: An Ultra- Low Level of Nox (Oxides of Nitrogen) Achievable with A New Technology. *Global Journal of Engineering Sciences*, 2. <https://doi.org/10.33552/GJES.2019.02.000540>

Beza, P. (2014). Ship Waste management in the Port of Igoumenitsa, Greece. *Journal Of Physical Science and Application*, 4, 375. <https://doi.org/10.17265/2159-5348/2014.06.005>

Black Lung Disease: Causes, Symptoms and Treatments. (s. f.). Recuperado 5 de abril de 2020, de <https://www.webmd.com/lung/black-lung-disease#1>

- Campbell, D., Cox, D., Crum, J., Foster, K., Christie, P., & Brewster, D. (1993). Initial effects of the grounding of the tanker Braer on health in Shetland. The Shetland Health Study Group. *BMJ : British Medical Journal*, 307(6914), 1251-1255.
- Carić, H. (2011). Cruising Tourism Environmental Impacts: Case Study of Dubrovnik, Croatia. *Journal of Coastal Research*, 104-113. JSTOR.
- Cates, K., Demaster, D., Brownell, R., Gende, S., Ritter, F., & Panigada, S. (2016). *Strategic Plan to Mitigate the Impacts of Ship Strikes on Cetacean Populations: 2017-2020*.
- Chapagain, A., & James, K. (2013). Accounting for the Impact of Food Waste on Water Resources and Climate Change. *Food Industry Wastes*, 217-236. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-391921-2.00012-3>
- Chen, L., Yip, T. L., & Mou, J. (2018). Provision of Emission Control Area and the impact on shipping route choice and ship emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 58, 280-291. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.07.003>
- Sofiev, M., Winebrake, J., Johansson, L., Carr, E., Prank, M., Soares, J., Vira, J., Kouznetsov, R., Jalkanen, J., & Corbett, J. (2018). Cleaner fuels for ships provide public health benefits with climate tradeoffs. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5802819/>
- CNG (Compressed Natural Gas) | Glossary | Marquard & Bahls. (s. f.). Recuperado 9 de abril de 2020, de <https://www.marquard-bahls.com/en/news-info/glossary/detail/term/marine-fuels-bunker-fuels.html>
- Corbett, J. J., Wang, H., & Winebrake, J. J. (2009). The effectiveness and costs of speed reductions on emissions from international shipping. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(8), 593-598. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2009.08.005>
- Cullinane, K., & Bergqvist, R. (2014). *Emission control areas and their impact on maritime transport*. ResearchGate. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2013.12.004>
- De Faveri, D. M., Converti, A., Vidili, A., Campidonico, A., & Ferraiolo, G. (1990). Reduction of the environmental impact of coal storage piles: A wind tunnel study. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 24(11), 2787-2793. [https://doi.org/10.1016/0960-1686\(90\)90165-J](https://doi.org/10.1016/0960-1686(90)90165-J)
- De Place, E. (2012). Coal Dust in South Africa. *Sightline Institute*. <https://www.sightline.org/2012/05/01/coal-dust-in-south-africa/>
- Deligiannis, P., Zouridis, P., & Galis, A. (2016). VOC emissions assessment from the cargo area of tanker vessels.
- Di Natale, M. (2010). *The Economic Impact of the Gulf Oil Spill*. Moody's Analytics Economic View. <https://www.economy.com/economicview/analysis/191641/The-Economic-Impact-of-the-Gulf-Oil-Spill>

- ECSA. (2017). *Shipowners call for adequate and workable European port reception facilities* | ECSA. <https://www.ecsa.eu/news/shipowners-call-adequate-and-workable-european-port-reception-facilities>
- Erbe, C. (2012). Effects of Underwater Noise on Marine Mammals. En A. N. Popper & A. Hawkins (Eds.), *The Effects of Noise on Aquatic Life* (pp. 17-22). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7311-5_3
- European Commission. (2016). *Ship recycling reducing human and environmental impacts*. 36.
- Fan, L., & Gu, B. (2019). Impacts of the Increasingly Strict Sulfur Limit on Compliance Option Choices: The Case Study of Chinese SECA. *Sustainability*, 12(1), 165. <https://doi.org/10.3390/su12010165>
- Fartoosi, F. M. A. (2013). *The impact of maritime oil pollution in the marine environment: Case study of maritime oil pollution in the navigational channel of Shatt Al-Arab*. 99.
- Filiaggi, R. (2017). How do marine animals use sound? *Discovery of Sound in the Sea*. <https://dosits.org/animals/use-of-sound/how-do-marine-animals-use-sound/>
- Forth Ports. (2018). *Port Waste Management Plan*. 19.
- Fritt-Rasmussen, J., Wegeberg, S., Gustavson, K., Sørheim, K. R., Daling, P. S., Jørgensen, K., Tonteri, O., & Holst-Andersen, J. P. (2018). *Heavy Fuel Oil (HFO): A review of fate and behaviour of HFO spills in cold seawater, including biodegradation, environmental effects and oil spill response*. Nordisk Ministerråd. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:norden:org:diva-5380>
- Furimsky, E. (2003). Sydney Tar Ponds: Some Problems in Quantifying Toxic Waste. *Environmental management*, 30, 872-879. <https://doi.org/10.1007/s00267-002-2649-z>
- Gabbatiss, G. (2019). *Toxic fumes from ships linked to thousands of UK deaths*. The Independent. <https://www.independent.co.uk/environment/ship-air-pollution-deaths-uk-asthma-heart-lung-disease-a8812486.html>
- Government of Canada; Transport Canada; Safety and Security, M. S. (2019). *Guide to Canada's Ballast Water Regulations – TP 13617E (2019)*. <https://www.tc.gc.ca/eng/marinesafety/guide-ballast-water-regulations-tp-13617e-2019.html>
- Greenport. (2018). *GreenPort | Rotterdam embarks on sustainable waste recycling*. <https://www.greenport.com/news101/europe/rotterdam-embarks-on-sustainable-waste-recycling>
- Han, C. (2010). Strategies to Reduce Air Pollution in Shipping Industry *. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 26, 7–29. [https://doi.org/10.1016/S2092-5212\(10\)80009-4](https://doi.org/10.1016/S2092-5212(10)80009-4)
- Sightline Institute (2013) How Coal Affects Water Quality: State of the Science. <https://www.sightline.org/2013/03/20/how-unburnt-coal-affects-water-the-state-of-the-science/>
- IMO. (1988). *Marpol Annex V*. <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/Garbage/Pages/Default.aspx>

IMO.(1991).*Grain Code*.

<http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Cargoes/CargoesInBulk/Pages/Grain-Code.aspx>

IMO.(1993).*ISM Code*.

<http://www.imo.org/en/OurWork/HumanElement/SafetyManagement/Pages/ISMCode.aspx>

IMO(1997) Guidelines for the control and management of ships' ballast water to minimize the transfer of harmful aquatic organisms and pathogens.

IMO. (2000). *Protocol on Preparedness, Response and Co-operation to pollution Incidents by Hazardous and Noxious Substances (OPRC-HNS Protocol)*.

[http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/Protocol-on-Preparedness,-Response-and-Co-operation-to-pollution-Incidents-by-Hazardous-and-Noxious-Substances-\(OPRC-HNS-Pr.aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/Protocol-on-Preparedness,-Response-and-Co-operation-to-pollution-Incidents-by-Hazardous-and-Noxious-Substances-(OPRC-HNS-Pr.aspx)

IMO. (2004). *Ballast Water Management*.

<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/Pages/Default.aspx>

IMO. (2007). *Nairobi International Convention on the Removal of Wrecks*.

<http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/Nairobi-International-Convention-on-the-Removal-of-Wrecks.aspx>

IMO. (2008). *IMSBC Code*.

<http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Cargoes/CargoesInBulk/Pages/default.aspx>

IMO. (2009) Guidance document for minimizing the risk of ship strikes with cetaceans.

IMO. (2013). *MARPOL Annex IV*.

<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/Sewage/Pages/Default.aspx>

IMO. (2014). *Guidelines for the reduction of underwater noise from commercial shipping to address adverse impacts on marine life.*

<http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Noise.aspx>

IMO. (2015). Investigation of appropriate control measures (abatement technologies) to reduce Black Carbon emissions from international shipping.

IMO.(2018).IMO actions to reduce greenhouse gas emissions from international shipping.
<http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx>

IMO. (2019). *The Hong Kong International Convention for the Safe and Environmentally Sound Recycling of Ships*. <http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/The-Hong-Kong-International-Convention-for-the-Safe-and-Environmentally-Sound-Recycling-of-Ships.aspx>

Humpert, M., (2020) IMO Mandate For Low Sulphur Fuel Results in High Black Carbon Emissions Endangering Arctic. <https://www.highnorthnews.com/en/imo-mandate-low-sulphur-fuel-results-high-black-carbon-emissions-endangering-arctic>

Incardona, J., Collier, T., & Scholz, N. (2010). Oil spills and fish health: Exposing the heart of the matter. *Journal of exposure science & environmental epidemiology*, 21, 3-4. <https://doi.org/10.1038/jes.2010.51>

IMO. (2004). *International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments (BWM)*.

[http://www.imo.org/en/about/conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-control-and-management-of-ships%27-ballast-water-and-sediments-\(bwm\).aspx](http://www.imo.org/en/about/conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-control-and-management-of-ships%27-ballast-water-and-sediments-(bwm).aspx)

Mackay Conservation Group. (2013). *Is your health at risk from coal dust?* https://www.mackayconservationgroup.org.au/coal_dust

Karafyllidis, I. (1997). A model for the prediction of oil slick movement and spreading using cellular automata. *Environment International*, 23(6), 839-850. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(97\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(97)00096-2)

Keeling, C. D. (1997). Climate change and carbon dioxide: An introduction. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 94(16), 8273-8274.

Kostianoy, A. G., Lavrova, O. Yu., Mityagina, M. I., Solovyov, D. M., & Lebedev, S. A. (2014). Satellite Monitoring of Oil Pollution in the Southeastern Baltic Sea. En A. G. Kostianoy & O. Y. Lavrova (Eds.), *Oil Pollution in the Baltic Sea* (pp. 125-153). Springer. https://doi.org/10.1007/698_2013_236

Kroh, K., & Conathan, M. (2012). *The Lasting Impact of Deepwater Horizon*. Center for American Progress. <https://www.americanprogress.org/issues/green/news/2012/04/19/11409/the-lasting-impact-of-deepwater-horizon/>

Laist, D., Knowlton, A., Mead, J., Avenue, C., Collet, A., & Podestà, M. (2001). Collisions between ships and whales. *Marine Mammal Science, Marine Mammal Science*, 35-75. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2001.tb00980.x>

Langella, G., Iodice, P., Amoresano, A., & Senatore, A. (2016). Ship engines and air pollutants: Emission during fuel change-over and dispersion over coastal areas. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 7(3), 307-320. <https://doi.org/10.1007/s40095-016-0211-7>

Leeper, R. C., & Renilson, M. (2012). A review of practical methods for reducing underwater noise pollution from large commercial vessels. *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects Part A: International Journal of Maritime Engineering*, 154, A79-A88. <https://doi.org/10.3940/rina.ijme.2012.a2.227>

Lipperheide, M., Gassner, M., Weidner, F., Bernero, S., & Wirsum, M. (2019). Long-term carbon monoxide emission behavior of heavy-duty gas turbines: An approach for model-based monitoring and diagnostics. *International Journal of Spray and Combustion Dynamics*, 11, 1756827718791921. <https://doi.org/10.1177/1756827718791921>

Lutter, R., & Shogren, J. F. (2002). Tradable Permit Tariffs: How Local Air Pollution Affects Carbon Emissions Permit Trading. *Land Economics*, 78(2), 159-170. <https://doi.org/10.2307/3147266>

- Marine Insight. (2019). The Urgent Need to Reduce Nitrogen Oxide (NOx) Emissions from Ships. *Marine Insight*. <https://www.marineinsight.com/environment/the-urgent-need-to-reduce-nitrogen-oxide-nox-emissions-from-ships/>
- MaritimeExecutive. (2019). *Revolutionary Propeller Technology Reduces Underwater Radiated Noise*. The Maritime Executive. <https://maritime-executive.com/corporate/revolutionary-propeller-technology-reduces-underwater-radiated-noise>
- Rudd,H., Hill,N.(2001) *Measures to Reduce Emissions of VOCs during Loading and Unloading of Ships in the EU*. 2, 80.
- Merchant, N. D. (2019). Underwater noise abatement: Economic factors and policy options. *Environmental Science & Policy*, 92, 116-123. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.11.014>
- Mohajan, H. K. (2012). *Dangerous Effects of Methane Gas in Atmosphere*. 12.
- Molina, V., & Drake, L. (2016). Efficacy of open-ocean ballast water exchange: A review. *Management of Biological Invasions*, 7(4), 375-388. <https://doi.org/10.3391/mbi.2016.7.4.07>
- Morsy El-Gohary, M. (2013). Overview of past, present and future marine power plants. *Journal of Marine Science and Application*, 12(2), 219-227. <https://doi.org/10.1007/s11804-013-1188-8>
- Muñoz Camarillo, G. (2013). *Zebra mussel, Dreissena polymorpha (Bivalvia: Dreissenidae), colonization of the lower Ebro River: factors affecting distribution and abundance*.
- Murphy, K., Ruiz, G., Coble, P., Boehme, J., & Field, M. (2004). *Mid-Ocean Ballast Water Exchange: Approach & Methods for Verification*. 219.
- Australian Government. (2005). *Nitrogen dioxide (NO2) Air quality fact sheet*. <https://www.environment.gov.au/protection/publications/factsheet-nitrogen-dioxide-no2>
- NOAA. (2019). *Understanding Vessel Strikes | NOAA Fisheries* (National). NOAA. <https://www.fisheries.noaa.gov/insight/understanding-vessel-strikes>
- Oeder, S., Kanashova, T., Sippula, O., Sapcariu, S. C., Streibel, T., Arteaga-Salas, J. M., Passig, J., Dilger, M., Paur, H.-R., Schlager, C., Mülhopt, S., Diabaté, S., Weiss, C., Stengel, B., Rabe, R., Harndorf, H., Torvela, T., Jokiniemi, J. K., Hirvonen, M.-R., ... Zimmermann, R. (2015). Particulate Matter from Both Heavy Fuel Oil and Diesel Fuel Shipping Emissions Show Strong Biological Effects on Human Lung Cells at Realistic and Comparable In Vitro Exposure Conditions. *PLOS ONE*, 10(6), e0126536. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126536>
- Ordinioha, B., & Brisibe, S. (2013). The human health implications of crude oil spills in the Niger delta, Nigeria: An interpretation of published studies. *Nigerian Medical Journal: Journal of the Nigeria Medical Association*, 54(1), 10-16. <https://doi.org/10.4103/0300-1652.108887>
- Park, K., & Clenfield, J. (2019). *The cargo industry takes steps to clean up its smoke-belching ships*. The Seattle Times. <https://www.seattletimes.com/business/the-cargo-industry-takes-steps-to-clean-up-its-smoke-belching-ships/>

- Pavlenko, N. (2020). *The climate implications of using LNG as a marine fuel*. 40. <https://theicct.org/publications/climate-impacts-LNG-marine-fuel-2020>
- Pedersen, C., Berntsen, T., Gerland, S., & Warren, S. (2010). *Black carbon in snow – sampling, albedo effects and climate impact*.
- Pickering, H., Whitmarsh, D., & Jensen, A. (1998). Artificial Reefs as a Tool to Aid Rehabilitation of Coastal Ecosystems: Investigating the Potential. *Marine Pollution Bulletin*, 37, 10.
- Polglaze, J. (2003). Can we always ignore ship-generated food waste? *Marine pollution bulletin*, 46, 33-38. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00324-7](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00324-7)
- Port Waste Management Plan*. (2018). 19.
- Puthucherril, T. G. (2011). *Ballast Waters and Aquatic Invasive Species: A Model for India* (SSRN Scholarly Paper ID 1908141). Social Science Research Network. <https://papers.ssrn.com/abstract=1908141>
- Rabbi, H. R., & Rahman, A. (2017). Ship Breaking and Recycling Industry of Bangladesh; Issues and Challenges. *Procedia Engineering*, 194, 254-259. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.143>
- Rako-Gospić, N., & Picciulin, M. (2019). Chapter 20 - Underwater Noise: Sources and Effects on Marine Life. En C. Sheppard (Ed.), *World Seas: An Environmental Evaluation (Second Edition)* (pp. 367-389). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00023-1>
- Reavie, E. D., Cangelosi, A. A., & Allinger, L. E. (2010). Assessing ballast water treatments: Evaluation of viability methods for ambient freshwater microplankton assemblages. *Journal of Great Lakes Research*, 36(3), 540-547. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2010.05.007>
- Reducing Ship Speeds Seen as «Silver Bullet» for Reducing Pollution and Protecting Environment*. (2019, noviembre 12). GCaptain. <https://gcaptain.com/reducing-ship-speeds-seen-as-silver-bullet-for-reducing-pollution-and-protecting-environment/>
- The Maritime Executive. (2019). *Report: Cruise Ships Emitted More SOx than Europe's Cars in 2017*. <https://www.maritime-executive.com/article/report-cruise-ships-emitted-more-sox-than-europe-s-cars-in-2017>
- Ritchie, H., & Roser, M. (2018). Plastic Pollution. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>
- Rojano, R., Arregoces Reinoso, H., Angulo Argote, L., & Restrepo, G. (2016). *PM 10 emissions due to storage in coal piles in a mining industrial area*. 87-97. <https://doi.org/10.2495/AIR160091>
- Rose, J. J., Wang, L., Xu, Q., McTiernan, C. F., Shiva, S., Tejero, J., & Gladwin, M. T. (2017). Carbon Monoxide Poisoning: Pathogenesis, Management, and Future Directions of Therapy. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 195(5), 596-606. <https://doi.org/10.1164/rccm.201606-1275CI>
- Rozante, J. R., Rozante, V., Souza Alvim, D., Ocimar Manzi, A., Barboza Chiquetto, J., Siqueira D'Amelio, M. T., & Moreira, D. S. (2017). Variations of Carbon Monoxide Concentrations in the

- Megacity of São Paulo from 2000 to 2015 in Different Time Scales. *Atmosphere*, 8(5), 81. <https://doi.org/10.3390/atmos8050081>
- Safety4Sea. (2018). Complying with NOx Tier III standards: What you need to know. <https://safety4sea.com/cm-complying-with-nox-tier-iii-standards-what-you-need-to-know/>
- Safety4Sea. (2019). Torrey Canyon: The world's first major oil tanker disaster. <https://safety4sea.com/cm-torrey-canyon-the-worlds-first-major-oil-tanker-disaster/>
- Safety4Sea, S. (2018). The problems of ship breaking in India: An overview.. <https://safety4sea.com/the-problems-of-ship-breaking-in-india-an-overview/>
- Sanchez, J. O. (2014). *Coal as a marine pollutant*. 131.
- Schmidt, C. W. (2011). Black Carbon: The Dark Horse of Climate Change Drivers. *Environmental Health Perspectives*, 119(4), A172-A175.
- Schnurr, R., & Walker, T. (2019). Marine Transportation and Energy Use. *Environmental Earth Sciences*.
- Schrooten, L., Vlieger, I. D., Panis, L. I., Chiffi, C., & Pastori, E. (2009). *EMISSIONS OF MARITIME TRANSPORT: A REFERENCE SYSTEM*. 10.
- Sèbe, M., Kontovas, C. A., & Pendleton, L. (2020). Reducing whale-ship collisions by better estimating damages to ships. *Science of The Total Environment*, 713, 136643. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136643>
- Langrella, G., Iodice, P., Senatore, A. (2016) *Ship engines and air pollutants: Emission during fuel change-over and dispersion over coastal areas* | SpringerLink. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40095-016-0211-7>
- Silber, G., Vanderlaan, A., Arceredillo, A., Johnson, L., Taggart, C., Brown, M., Bettridge, S., & Sagarminaga, R. (2012). The role of the International Maritime Organization in reducing vessel threat to whales: Process, options, action and effectiveness. *Marine Policy*, 36, 1221–1233. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2012.03.008>
- Simona, U., & Dragomir, C. (2016). Managerial Ship Procedures in Case of Oil Pollution in Maritime Transport. *Analele Universitatii Ovidius Constanta*, 16.
- Singla, S. (2019). *Effects of Noise Pollution from Ships on Marine Life*. <https://www.marineinsight.com/environment/effects-of-noise-pollution-from-ships-on-marine-life/>
- Sivaramanan, S. (2015). *Acid rain, causes, effects and control strategies*.
- Sofiev, M., Winebrake, J. J., Johansson, L., Carr, E. W., Prank, M., Soares, J., Vira, J., Kouznetsov, R., Jalkanen, J.-P., & Corbett, J. J. (2018). Cleaner fuels for ships provide public health benefits with climate tradeoffs. *Nature Communications*, 9(1), 406. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02774-9>

Sprovieri, M., Barra, M., Martino, G. D., Gherardi, S., Innangi, S., Oliveri, E., Passaro, S., Romeo, T., Rumolo, P., Manta, D. S., Tamburrino, S., Tonielli, R., Traina, A., Vallefucio, M., Mazzola, S., & Andaloro, F. (2013). *MARINE POLLUTION FROM SHIPWRECKS AT THE SEA BOTTOM: A CASE STUDY FROM THE MEDITERRANEAN BASIN*. 23.

Statista. (2019). *Global merchant fleet—Number of ships by type*. <https://www.statista.com/statistics/264024/number-of-merchant-ships-worldwide-by-type/>

Suárez, B., Lope, V., Pérez-Gómez, B., Aragonés, N., Rodríguez-Artalejo, F., Marqués, F., Guzmán, A., Viloria, L. J., Carrasco, J. M., Martín-Moreno, J. M., López-Abente, G., & Pollán, M. (2005). Acute health problems among subjects involved in the cleanup operation following the Prestige oil spill in Asturias and Cantabria (Spain). *Environmental Research*, 99(3), 413-424. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2004.12.012>

Suran, M. (2011). Natural healing. *EMBO Reports*, 12(1), 27-30. <https://doi.org/10.1038/embo.2010.197>

Takemura, T., & Suzuki, K. (2019). Weak global warming mitigation by reducing black carbon emissions. *Scientific Reports*, 9(1), 1-6. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41181-6>

Thomsen, F., Campbell, J., Fredheim, B., Unger, S., Ashe, S., & Middleton, B. (2009). *Overview of the Impacts of Anthropogenic Underwater Sound in the Marine Environment*. 134.

Thomson, H., Corbett, J. J., & Winebrake, J. J. (2015). Natural gas as a marine fuel. *Energy Policy*, 87, 153-167. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.027>

Tollefson, J. (2018). Global negotiations set to limit greenhouse-gas pollution from ships. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-04100-9>

Tsai, W. (2016). Toxic Volatile Organic Compounds (VOCs) in the Atmospheric Environment: Regulatory Aspects and Monitoring in Japan and Korea. *Environments*, 3(4), 23. <https://doi.org/10.3390/environments3030023>

UNCTAD. (2020). *REVIEW OF MARITIME TRANSPORT 2019*. UNITED NATIONS.

Volatile organic compounds (VOC) – Regulation 15. (s. f.). Recuperado 9 de abril de 2020, de [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Volatile-organic-compounds-\(VOC\)-%E2%80%93-Regulation-15.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Volatile-organic-compounds-(VOC)-%E2%80%93-Regulation-15.aspx)

OCIMF. (2019) *Volatile Organic Compound emissions from cargo systems on oil tankers*.

Wankhede, A. (2019). Waste Oil Incinerator: Construction And Working. *Marine Insight*. <https://www.marineinsight.com/guidelines/construction-and-working-of-waste-oil-incinerator/>

Wankhede, A. (2019). General Requirements For Utilizing Volatile Organic Compounds (VOC) as Engine Fuel in Tankers. *Marine Insight*. <https://www.marineinsight.com/main-engine/general-requirements-for-utilizing-volatile-organic-compounds-voc-as-engine-fuel-in-tankers/>

EGCSA. (s. f.). *What are the effects of sulphur oxides on human health and ecosystems?* <https://www.egcsa.com/technical-reference/what-are-the-effects-of-sulphur-oxides-on-human-health-and-ecosystems/>

Woodward, A. (2019, junio 7). *We Totally Missed Most of The Plastic Pollution in The Ocean, Study Reveals.* <https://www.sciencealert.com/the-amount-of-plastic-swirling-in-the-oceans-depths-is-far-more-than-we-thought>

World Bank. (1999). *Pollution prevention and abatement handbook, 1998: Toward cleaner production.* The World Bank. <https://doi.org/10.1596/0-8213-3638-X>

Yang, L., Hoffmann, P., & Scheffran, J. (2017). Health impacts of smog pollution: The human dimensions of exposure. *The Lancet Planetary Health*, 1, e132-e133. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30067-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30067-0)

Yilmaz, A., Karacık, B., Yakan, S. D., Henkelmann, B., Schramm, K.-W., & Okay, O. S. (2016). Organic and heavy metal pollution in shipbreaking yards. *Ocean Engineering*, 123, 452-457. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.06.036>

Yu, L., Han, M., & He, F. (2017). A review of treating oily wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S1913-S1922. <https://doi.org/10.1016/j.arabic.2013.07.020>

Yue, X.-L., & Gao, Q.-X. (2018). Contributions of natural systems and human activity to greenhouse gas emissions. *Advances in Climate Change Research*, 9(4), 243-252. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2018.12.003>

Yuewen, D., & Adzigbli, L. (2018). Assessing the Impact of Oil Spills on Marine Organisms. *Journal of Oceanography and Marine Research*, 06. <https://doi.org/10.4172/2572-3103.1000179>

Yusuf, S. (2019, septiembre 29). Eutrophication: How Does Our Food Waste Impact Seas & Other Water Bodies?. <https://www.scienceabc.com/nature/how-does-our-food-waste-affect-the-seas.html>