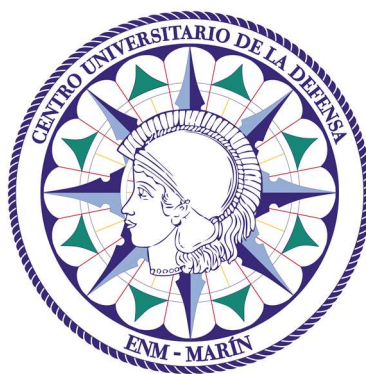


Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar



TRABAJO FIN DE GRADO

Análisis y mejoras del plan de gestión de residuos en barcos de la Armada

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Guillermo Aycart Celdrán

DIRECTORES: Rocío Maceiras Castro

Leticia Pérez Rial

CURSO ACADÉMICO: 2021-2022

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Análisis y mejoras del plan de gestión de residuos en barcos de la Armada

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

Universidade de Vigo

RESUMEN

Los buques de la Armada son instrumentos que, por su permanente actividad marítima en colaboración con instituciones representantes de otros países, constituyen un papel fundamental como escaparate y embajada flotante representando a España a nivel internacional. En este sentido, la principal fuente de motivación de este trabajo es el posicionamiento de la Armada y de España a la vanguardia del desarrollo sostenible ante la comunidad internacional. El ambicioso objetivo de este estudio consiste, por tanto, en llevar a cabo un innovador sistema de tratamiento de los residuos sólidos generados, tanto en las fragatas F-100 como el día de mañana en las futuras fragatas F-110. Para ello, se propone la utilización de una briquetadora para buques, optimizando de esta manera el funcionamiento del incinerador en el que se introducirán posteriormente las briquetas conformadas, además de la implementación de un proceso de aprovechamiento energético del calor liberado durante el proceso de incineración para conformar un sistema auxiliar de calentamiento de agua que sirva como apoyo al sistema principal de calderas existentes en este tipo de buques. Para conseguir las metas marcadas se ha llevado a cabo un análisis tipológico y una cuantificación de los residuos sólidos generados en los diferentes buques que integran la Armada Española, así como un estudio en profundidad de las actuales alternativas de tratamiento existentes en las fragatas F-100.

PALABRAS CLAVE

Residuos Sólidos, Incineración, Valorización Energética, Buque, Sistema de Tratamiento.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría hacer una mención especial en este apartado a todos los miembros de los diferentes buques con los que he estado en contacto por demostrar, una vez más, con su incondicional ayuda desinteresada, que el verdadero valor de la Armada Española reside en cada una de las personas que la componen. Se podrían personificar estas palabras en mucha gente que ha hecho posible este proyecto, entre las cuales me gustaría destacar a Don Alejandro, mi fiel colaborador en la fragata F-102 “Almirante Juan de Borbón”, a mis tutoras Doña Rocío y Doña Leticia por su paciencia y dedicación diaria, y, por último, a mis compañeros de estudio Charlie, Carlitos y Felipe por sus brillantes aportaciones.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas	6
1 Introducción y objetivos	7
1.1 Introducción.....	7
1.2 Motivación.....	8
1.3 Objetivos.....	8
2 Estado del arte	9
2.1 Medioambiente y Fuerzas Armadas	9
2.1.1 Política Ambiental del Ministerio de Defensa	9
2.1.2 Gestión Ambiental en la Armada	9
2.2 La contaminación marina	10
2.2.1 Tipos de contaminantes hallados en el mar.....	11
2.2.2 Principales focos de contaminación de las aguas.....	11
2.2.3 Evolución en las fuentes de contaminación en barcos	16
2.3 Gestión de los residuos sólidos.....	18
2.3.1 Principales tratamientos para residuos sólidos.....	18
2.3.2 Normativa medioambiental aplicable a residuos sólidos	20
2.4 Residuos generados en buques de la Armada.....	24
2.4.1 Definiciones	24
2.4.2 Clasificación de residuos según tipología y peligrosidad	24
2.4.3 Clasificación de residuos según el tratamiento requerido	26
2.5 Tratamiento de residuos en buques de la Armada.....	27
2.5.1 Tratamiento a bordo de los buques	27
2.5.2 Tratamiento de residuos en tierra	32
3 Desarrollo del TFG	34
3.1 Tratamiento y gestión actual de residuos sólidos en buques de la Armada ...	34
3.1.1 Identificación y cuantificación de residuos sólidos.....	37
3.1.2 Plantas de tratamiento actuales	56
3.1.3 Justificación de ausencia de tratamiento de residuos en ciertos buques ..	62
3.2 Caso de estudio: análisis del buque seleccionado	63
3.2.1 Justificación de la elección.....	63

3.3 Sistema de tratamiento de residuos sólidos	65
3.3.1 Descripción preliminar del sistema	66
3.3.2 Triturador de residuos con control de descarga	67
3.3.3 Briquetadora de residuos	68
3.3.4 Incinerador de residuos	76
3.3.5 Valorización energética.....	77
3.3.6 Cálculo de volumen reducido.....	79
3.3.7 Estudio económico	81
3.4 Reflexión personal	82
3.4.1 Tratamiento y gestión actual de residuos sólidos.....	82
3.4.2 Cuantificación de residuos sólidos.....	82
3.4.3 Sistema de tratamiento de residuos propuesto	84
4 Conclusiones y líneas futuras.....	86
4.1 Conclusiones.....	86
4.2 Líneas futuras	87
5 Bibliografía	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Economía circular [4].....	8
Figura 2-1 Montaña de plástico a las orillas del mar Árábigo en Bombay (India) [10].	12
Figura 2-2 Alumnos de la Escuela Naval de Marín ayudando a la limpieza de la Playa de Canesol en la Isla de Ons tras el desastre del <i>Prestige</i> en el año 2002 [9].	13
Figura 2-3 Esquema de una planta de minería submarina [11].	14
Figura 2-4 Vertidos industriales en el Mar Menor (Región de Murcia) [13].	16
Figura 2-5 Ilustración del Acorazado “Pelayo” en el siglo XIX [14].	17
Figura 2-6 Sobreexplotación pesquera [15].	18
Figura 2-7 Los restos de comidas se introducen en trituradores en los buques de la Armada.	19
Figura 2-8 Esquema de clasificación de residuos producidos en buques de la Armada. Elaboración propia.	25
Figura 2-9 Esquema de clasificación de residuos especiales. Elaboración propia. .	26
Figura 2-10 Esquema de una planta TAR FQ-15 utilizada en buques de la Armada.	28
Figura 2-11 Esquema de un separador de aguas oleosas DETEGASA utilizado en buques de la Armada.	28
Figura 2-12 Esquema del sistema de tratamiento de residuos orgánicos utilizado en buques de la Armada.	29
Figura 2-13 Contenedor de recogida de pilas usadas empleado en buques de la Armada. Elaboración propia.	30
Figura 2-14 Ejemplo de etiqueta de residuo peligroso. Elaboración propia.	31
Figura 2-15 Arsenal Militar de Cartagena en el año 2012 [30].	33
Figura 3-1 Esquema del proceso llevado a cabo para la cuantificación de residuos. Elaboración propia.	34
Figura 3-2 Lamina de la flota buques de la Armada en activo.	36
Figura 3-3 LHD Juan Carlos I: (a) escudo del buque, (b) plataforma [31].	38
Figura 3-4 Cuantificación de residuos sólidos del LHD Juan Carlos I en kg/día. Elaboración propia.	39
Figura 3-5 BAA Galicia: (a) escudo del buque, (b) plataforma [32].	40
Figura 3-6 Cuantificación de residuos sólidos del BAA Galicia en kg/día. Elaboración propia.	41
Figura 3-7 Fragatas F-100: (a) escudo del buque, (b) plataforma [33].	41
Figura 3-8 Cuantificación de residuos sólidos de las fragatas F-100 en kg/día. Elaboración propia.	42

Figura 3-9 Fragatas F-80: (a) escudo del buque, (b) plataforma [34].....	43
Figura 3-10 Cuantificación de residuos sólidos de las fragatas F-80 en kg/día. Elaboración propia.....	44
Figura 3-11 BAC Cantabria: (a) escudo del buque, (b) plataforma [35].	44
Figura 3-12 Cuantificación de residuos sólidos del BAC Cantabria en kg/día. Elaboración propia.....	45
Figura 3-13 Cazaminas Duero: (a) escudo del buque, (b) plataforma [36].	46
Figura 3-14 Cuantificación de residuos sólidos en el Cazaminas Duero en kg/días. Elaboración propia.....	47
Figura 3-15 Patrullero Tabarca: (a) escudo del buque, (b) plataforma [37].	47
Figura 3-16 Cuantificación de residuos sólidos en el Patrullero Tabarca en kg/día. Elaboración propia.....	48
Figura 3-17 Patrullero Arnomendi: (a) escudo del buque, (b) plataforma [38].	49
Figura 3-18 Cuantificación de residuos sólidos en el Patrullero Arnomendi en kg/día. Elaboración propia.....	50
Figura 3-19 BAM Rayo: (a) escudo del buque, (b) plataforma [39].	50
Figura 3-20 Cuantificación de residuos sólidos en el BAM Rayo en kg/día. Elaboración propia.....	51
Figura 3-21 Buque Auxiliar Remolcador Mahón: (a) escudo del buque, (b) plataforma [40].	52
Figura 3-22 Cuantificación de residuos sólidos en el Remolcador Mahón en kg/día. Elaboración propia.....	53
Figura 3-23 BIO Hespérides: (a) escudo del buque, (b) plataforma [41].	54
Figura 3-24 Cuantificación de residuos sólidos en el BIO Hespérides en kg/día. Elaboración propia.....	55
Figura 3-25 Buque Escuela Juan Sebastián Elcano: (a) escudo del buque, (b) plataforma [42].	55
Figura 3-26 Cuantificación de residuos sólidos en el BE Juan Sebastián de Elcano en kg/día. Elaboración propia.....	56
Figura 3-27 Planta TAR DELTA-FQ15 [44].	57
Figura 3-28 Separador de sentinas usado en fragatas F-100 [44].	58
Figura 3-29 Púlper de residuos orgánicos [45].	59
Figura 3-30 Hidroextractor de residuos orgánicos [45].	59
Figura 3-31 Tanque almacén de residuos orgánicos [45].	60
Figura 3-32 Trituradora/compactadora SPA 300 [46].	61
Figura 3-33 Incinerador de residuos DELTA IRL-65 [47].	62
Figura 3-34 Las 5 fragatas F-100 navegando juntas.	63
Figura 3-35 Instalaciones de los astilleros Navantia en Ferrol.	64
Figura 3-36 La fragata F-105 capitanea la flota de la SNMG-2.	64

Figura 3-37 Esquema de especificaciones de las F-110	65
Figura 3-38 Fases del sistema propuesto para F-100. Elaboración propia.	66
Figura 3-39 Fases del sistema propuesto para F-110. Elaboración propia.	66
Figura 3-40 Trituradora Evac OWMS.	68
Figura 3-41 Proceso de briqueteado de residuos sólidos por una briquetadora para buques [49].	69
Figura 3-42 Ejemplos de briquetadoras.	70
Figura 3-43 Ubicación del compartimento de compactado en fragatas F-100.	72
Figura 3-44 Ubicación del compartimento de compactado en fragatas F-100.	73
Figura 3-45 Ubicación del compartimento del compactador de basuras en una F-100.	74
Figura 3-46 Biomasa residual triturada entrando en una briquetadora.	75
Figura 3-47 Briquetadora Evac [50].	75
Figura 3-48 Proceso de conformación de briquetas [50]	76
Figura 3-49: (a) Incinerador ciclónico Evac (b) Proceso de incineración [51].....	77
Figura 3-50 Esquema del sistema de calentamiento de agua utilizado en F-100. ...	78
Figura 3-51 Propuesta del sistema auxiliar de calentamiento de agua para la F-100.	79
Figura 3-52 Cálculo de reducción del volumen de residuos sólidos generados en F-100. Elaboración propia.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Resumen de los principales residuos orgánicos e inorgánicos generados a bordo de un buque y tratamientos recibidos. Elaboración propia.	30
Tabla 3-1 Tabla resumen de los residuos sólidos generados en buques de la Armada. Elaboración propia.....	37
Tabla 3-2 Cuantificación de residuos sólidos del LHD Juan Carlos I en kg/día. Elaboración propia.....	39
Tabla 3-3 Cuantificación de residuos sólidos del BAA Galicia en kg/día. Elaboración propia.	40
Tabla 3-4 Cuantificación de residuos sólidos de las fragatas F-100 en kg/día. Elaboración propia.....	42
Tabla 3-5 Cuantificación de residuos sólidos de las fragatas F-80 en kg/día. Elaboración propia.....	43
Tabla 3-6 Cuantificación de residuos sólidos del BAC Cantabria en kg/día. Elaboración propia.....	45
Tabla 3-7 Cuantificación de residuos sólidos en el Cazaminas Duero en kg/día. Elaboración propia.....	46
Tabla 3-8 Cuantificación de residuos sólidos en el Patrullero Tabarca en kg/día. Elaboración propia.....	48
Tabla 3-9 Cuantificación de residuos sólidos en el Patrullero Arnomendi en kg/día. Elaboración propia.....	49
Tabla 3-10 Cuantificación de residuos sólidos en el BAM Rayo en kg/día. Elaboración propia.....	51
Tabla 3-11 Cuantificación de residuos sólidos en el Remolcador Mahón en kg/día. Elaboración propia.....	53
Tabla 3-12 Cuantificación de residuos sólidos en el BIO Hespérides en kg/día. Elaboración propia.....	54
Tabla 3-13 Cuantificación de residuos sólidos en el BE Juan Sebastián de Elcano en kg/día. Elaboración propia.....	56
Tabla 3-14 Coste unitario de la maquinaria del sistema propuesto. Elaboración propia.	81
Tabla 3-15 Coste total propuesta fragatas F-100. Elaboración propia.....	81
Tabla 3-16 Coste total propuesta fragatas F-110. Elaboración propia.....	82
Tabla 3-17 Tabla resumen de cuantificación de residuos sólidos. Elaboración propia.	84

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

Al teclear las palabras “gestión de residuos” en el buscador web de organizaciones ecologistas internacionales como Greenpeace, lo primero que uno puede encontrar son aparentes *clickbait*s tales como: “La mala gestión de los residuos de envases cuesta a la ciudadanía española hasta 744 millones de euros anuales” [1]. Este tipo de títulos, que incitan al lector a entrar en el enlace y leer la noticia, basan su importancia en la necesidad de concienciar a la sociedad sobre los beneficios de una adecuada gestión de los residuos.

La realidad es que la generación de residuos y su posterior desecho es un tema de creciente actualidad debido a que, conforme pasa el tiempo y surgen nuevos avances tecnológicos e industriales, se produce un aumento del consumo y una reducción del periodo de vida de los productos, lo cual, sumado al crecimiento demográfico de dicha sociedad consumidora, se traduce en un aumento en la cantidad, tipología y variedad de los residuos generados [2].

Es conveniente tener en cuenta que la mala gestión de los residuos no sólo es un problema medioambiental, lo cual resulta evidente, sino que también afecta considerablemente al ámbito económico; el prototipo actual de producción y administración de recursos, productos y servicios tiene como objetivo fomentar el consumo de usar y tirar, es decir, darle a los bienes un solo uso, afectando de manera considerable al desarrollo sostenible del planeta, así como al bolsillo de los consumidores.

Es en este contexto, donde aparecen conceptos como el de *economía circular*, cuyo esquema explicativo encontramos en la Figura 1-1, el cual rechaza el modelo de producir, usar y tirar, apostando por el de reducir, reusar y reciclar. Con esta metodología se consigue establecer un equilibrio entre el beneficio medioambiental, mediante la reducción de residuos vertidos, y el beneficio económico y social, reduciendo el precio de producción, ya que los productos no hay que crearlos desde cero, y con él, también el precio de venta al consumidor [3].



Figura 1-1 Economía circular [4].

1.2 Motivación

Es necesario contextualizar este trabajo en dos ámbitos fundamentales para su comprensión:

1. **La gestión de residuos sólidos generados a bordo de un barco.** La contaminación marina viene dada por la introducción, directa o indirecta, de sustancias residuales en el mar, lo cual produce daños irreversibles en sus ecosistemas y recursos vivos. En los años 90, la Organización Marítima Internacional (OMI) reguló la evacuación de residuos al mar mediante el Anexo V del convenio MARPOL [4]. En este Anexo vienen especificadas las instrucciones a seguir a la hora de arrojar desechos al agua en función de factores como su tipología o la distancia a costa en el momento del vertido.
2. Los barcos que se utilizarán como objeto de estudio serán **buques de la Armada Española**. En este sentido se considera de vital importancia que una institución estatal y representativa como esta, sea la primera en servir como ejemplo de compromiso medioambiental y responsabilidad social para el resto de los componentes de la comunidad marítima. En este trabajo se analizarán por tanto los diferentes tipos de gestión de residuos que llevan a cabo estos buques atendiendo a aspectos como sus dimensiones, el número de personas que componen sus dotaciones o el tipo de buque según su propósito o función dentro de la Armada.

1.3 Objetivos

El objetivo final del proyecto es, por tanto, el análisis y estudio de posibles mejoras en la gestión de residuos sólidos en los buques de la Armada. Para alcanzar esta meta, han sido marcados una serie de objetivos intermedios relacionados entre sí, tales como:

- Estudio de los principales focos de contaminación marina (transporte marítimo, vertidos de hidrocarburos, minería oceánica...)
- Cuantificación y clasificación de residuos sólidos generados y estudio del tratamiento realizado por cada uno de los tipos de buques de la Armada.
- Selección de un tipo de buque para su posterior estudio de gestión de residuos sólidos en detalle.
- Propuesta y justificación de implementación de mejora del tratamiento del buque estudiado.
- Estudio económico asociado al sistema propuesto.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Medioambiente y Fuerzas Armadas

2.1.1 Política Ambiental del Ministerio de Defensa

En la década de los 80 se producían en España las primeras tomas de contacto entre organizaciones de carácter público e instituciones pertenecientes al entorno del medioambiente como el ya desaparecido Instituto para la Conservación de la Naturaleza. Fruto de estos primeros pasos se abrió un camino hacia políticas ambientales comprometidas y eficientes, rubricadas en la Directiva 107/1997 del Ministerio de Defensa, con el fin de generar un espíritu de concienciación y respeto medioambiental entre los miembros que componen nuestras Fuerzas Armadas.

La directiva 107/1997 del ministro de Defensa, citada anteriormente, junto con la Instrucción 59/2014 del secretario de Estado de Defensa, enmarcan legalmente la política ambiental del Ministerio de Defensa. En el propio organigrama del Ministerio de Defensa se encuentra la Dirección General de Infraestructuras (DIGENIN), la cual es responsable de elaborar las líneas estratégicas en las que se basa la política ambiental, además de su control, supervisión e implantación de posibles mejoras [5].

El desarrollo sostenible es el pilar fundamental sobre el que se sustenta la política ambiental del Ministerio de Defensa. Este se define como el proceso de satisfacción de las necesidades de las generaciones del presente sin comprometer las de las generaciones futuras, utilizando como herramienta de equilibrio entre tres factores fundamentales: económico, social y medioambiental. Así mismo, esta política ambiental debe ser totalmente compatible con las funciones desempeñadas por las Fuerzas Armadas, para lo cual surgió el primer Plan General de Medioambiente en el año 2003.

Con el fin de asegurar la compatibilidad de la política ambiental con el desarrollo de las actividades de las Fuerzas Armadas, se crean los Sistemas de Gestión Ambiental (SGA) regidos por los principios de la Norma ISO 14001, lo cual demuestra la responsabilidad ética y el compromiso del Ministerio de Defensa. Compromiso que se ve reflejado en datos como que España sea el miembro de la Unión Europea que más infraestructuras militares tiene con certificación de la Norma ISO 14001, lo que se traduce en que un 92 % de las unidades e instalaciones del Ministerio de Defensa cuentan con un Sistema de Gestión Ambiental con certificación en vigor. Estas certificaciones son renovadas anualmente por cada uno de los organismos [5].

2.1.2 Gestión Ambiental en la Armada

La política ambiental de la Armada está definida en el documento Líneas Generales de la Armada, promulgado por el Almirante jefe de Estado Mayor de la Armada (AJEMA) en septiembre de 2007. En este documento se marcan las pautas a seguir por los miembros de la Armada para cumplir con el compromiso de protección ambiental tanto en buques como en instalaciones en tierra, así como para

minimizar el impacto sobre el medioambiente y los ecosistemas marinos durante el desempeño de las actividades por parte de las unidades de la fuerza.

Esta política ambiental de compromiso con el entorno marino nace, junto con la de muchos otros países y organismos internacionales, de la necesidad de regular los vertidos desde los buques e implementar sistemas y dispositivos de tratamiento de los residuos generados. En este contexto fue desarrollado el Convenio Internacional MARPOL 73/78 de la mano de la Organización Marítima Internacional y que fue ratificado en el año 1984 por el Gobierno español. Los buques de guerra están exentos de cumplir con el Convenio MARPOL, no obstante, los buques de la Armada llevan a cabo una política paralela a las líneas de acción establecidas por dicho Convenio.

La Armada especifica su política ambiental en los Sistemas de Gestión Ambiental, de acuerdo con el modelo ISO 14001. La certificación ISO 14001 aporta a la Armada las claves e instrumentos necesarios para llevar a cabo una correcta gestión del resultado medioambiental y económico, y proporciona una serie de ventajas desarrolladas a continuación [6]:

- Asegurar el cumplimiento de la legislación medioambiental.
- Mejorar la imagen de la Armada frente a organismos reguladores, nacionales e internacionales, y al público en general.
- Mejorar la gestión de residuos, especialmente los peligrosos, reduciendo la generación de desperdicios y costes de eliminación.
- Prevenir la contaminación del suelo, del agua y del aire, mejorando el control de las emisiones y vertidos perjudiciales, contribuyendo al esfuerzo de conservar el medioambiente.
- Proporcionar un sistema de trabajo estandarizado orientado a obtener los resultados ambientales planificados, mejorando la comunicación interna.
- Aumentar la concienciación y sensibilización ambiental de todas las personas inherentes a la organización.
- Mejora continua que permite ser más eficiente en el consumo de materias primas y aumenta el rendimiento, lo que lleva asociado una reducción de costes.

2.2 La contaminación marina

La contaminación marina se define como “la introducción, directa o indirecta, de sustancias o energéticos en el medio marino (incluyendo los estuarios), la cual acaba por dañar los recursos vivos, poner en peligro la salud humana, alterar las actividades marinas, entre ellas la pesca, y reducir el valor recreativo y la calidad del agua del mar” (Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution, 1972).

El 70 % de la superficie terrestre está cubierta por el mar, lo cual a lo largo de la historia ha llevado al paradigma de que este podría servir como el gran vertedero del planeta. Este mito sería real si los residuos pudiesen disolverse y si tal disolución fuera instantánea, sin embargo, muchos de los residuos arrojados permanecen hasta cientos de años, de manera que los desechos acaban por acumularse en ciertas regiones causando daños al entorno.

Los océanos albergan gran diversidad y tipos de sustancias dañinas y contaminantes. Estas sustancias pueden llegar a ellos a través de los ríos, los cuales transportan contaminantes procedentes de actividades humanas como la agricultura o la minería. En ocasiones los contaminantes son vertidos directamente a los océanos como desechos industriales; productos radioactivos, insecticidas, o metales tóxicos están presentes en los océanos por la propia interacción de este con la atmósfera.

Suponiendo tan solo un 10 % de la superficie oceánica, las regiones costeras albergan el 99 % de la captura mundial de peces, por lo tanto, es necesario prestar especial atención a estas zonas en cuanto a protección de los recursos vivos marinos. La presencia de breas y alquitranes en el mar, el incremento de los derrames de petróleo en las playas más cercanas a las rutas de transporte, las altas concentraciones

de metales tóxicos en peces y residuos de hidrocarburos en los organismos marinos de diferentes áreas geográficas de la superficie marina suponen una serie de hechos alarmantes a la hora de estudiar y analizar la contaminación y los efectos de la actividad humana en áreas costeras y estuarios [7].

Una gran diversidad de actividades humanas como son el transporte, el urbanismo, la energía, la recreación o la alimentación tienen lugar en las regiones costeras. Son, por tanto, ecosistemas altamente productivos, complejos y ecológicamente estables, aunque frágiles y con numerosas fronteras. Son zonas extremadamente valiosas desde el punto de vista medioambiental económico y sociopolítico, lo cual implica una gran explotación de sus recursos por parte del ser humano que, a su vez, en muchas ocasiones, lleva a efectos nocivos irreversibles.

2.2.1 Tipos de contaminantes hallados en el mar

Fundamentalmente, las sustancias que componen el grupo de contaminantes del medio marino pueden dividirse en dos grupos: naturales y artificiales.

Componentes no refinados del petróleo, sustancias nutrientes derivadas del nitrógeno y el fósforo o metales pesados como el mercurio y el cadmio, forman parte del grupo de contaminantes naturales. Las concentraciones de este tipo de contaminantes varían en función del tiempo y lugar. Su flujo se ha visto incrementado por la intervención del ser humano en sus actividades, lo cual dificulta su distinción entre estas concentraciones y las que se producen de forma natural.

Productos refinados del petróleo, hidrocarburos halogenados, detergentes, plásticos y elementos radiactivos son contaminantes que han sido sintetizados por el hombre, es decir, contaminantes artificiales. Su sola presencia implica evidencias contundentes de contaminación marina ya que los ecosistemas no son capaces de degradarlos, por lo que, por regla general, son los más peligrosos y persistentes.

Dentro de este último grupo también podemos distinguir entre desechos orgánicos e inorgánicos. Los primeros provienen de industrias alimentarias, productores de grasas, industrias cerveceras, destilerías, etc. Industrias como las mineras, metalúrgicas o de explosivos producen únicamente residuos inorgánicos. Por último, las fábricas de papel, plásticos y textiles, las curtidurías y las industrias fotográficas producen desechos orgánicos e inorgánicos.

Al verter residuos inorgánicos como ácidos, álcalis, cloruros, sulfuros y sales de metales pesados en el medio marino, se alteran de manera drástica las condiciones naturales de este. Metales como el cobre, zinc, arsénico y mercurio se acumulan en los organismos, lo cual puede producir su muerte y representa un peligro extremo para sus consumidores. En zonas costeras donde se precipitan estos desechos se reduce considerablemente la transparencia del agua y se produce un incremento en la concentración de sólidos en suspensión.

2.2.2 Principales focos de contaminación de las aguas

Como ya ha sido mencionado, en la década de los 80 los líderes de las principales potencias mundiales creían que, al verter desechos plásticos y nucleares a los océanos, estos harían desaparecer dichos desechos. Este error, fruto de la falta de información, ha desencadenado en la actual acumulación de cientos de toneladas de plásticos en playas e islas, en la Figura 2-1 se puede observar el caso de la Isla de Pascua, la cual se encuentra a la altura del ecuador y muy cerca de una de las mayores islas de plástico del mundo.

La contaminación de las aguas se produce cuando se dan efectos perjudiciales resultado del vertido al océano de productos químicos, desechos industriales, agrícolas, ruido excesivo, partículas o plásticos. La contaminación marina, en su mayor parte, proviene de tierra, aunque también encontramos casos en los que el aire, al trasladar partículas de pesticidas u otros contaminantes, es el causante del proceso de la contaminación.



Figura 2-1 Montaña de plástico a las orillas del mar Árábigo en Bombay (India) [10].

A continuación, se exponen algunos de los principales focos de contaminación del entorno marino:

A. Transporte marítimo.

En torno al 90 % del comercio mundial de mercancías se lleva a cabo a través del mar por medio de más de 90.000 barcos que, como muchos otros medios de transporte que usan combustibles fósiles, emiten dióxido de carbono, contribuyendo sustancialmente a la acidificación de los océanos y al cambio climático.

La industria naval es la que encabeza la lista en cuanto a crecimiento en emisiones de gases de efecto invernadero. Al transporte marítimo se le relacionan el 3 % de las emisiones de dióxido de carbono, además de la gran mayoría de las emisiones de óxido de nitrógeno y dióxido de azufre. Se estima que el 45 % de estas emisiones provienen de buques con pabellón europeo y el 20 % de ellas se producen dentro de las 12 millas náuticas de mar territorial [8].

En Europa, existen áreas en las que se lleva un control estricto de las emisiones de azufre producidas por la quema de combustibles, son las SECAs (Sulphur Emission Control Areas). Estas zonas de control de emisiones fueron declaradas por la Organización Marítima Internacional debido a la importante contribución a esta contaminación por los barcos. Se designaron dos zonas dentro de la Unión Europea: una en el Mar Báltico, que está en vigor desde mayo de 2006, y otra en el Mar del Norte y el Canal Inglés, en vigor desde noviembre de 2007.

Las emisiones que proceden de los buques pueden recorrer cientos de kilómetros y por tanto contribuyen a problema de calidad de aire en las ciudades portuarias. La deposición de compuestos de nitrógeno y azufre causan la acidificación de los ecosistemas y ponen en grave peligro la biodiversidad por medio de los excesos de compuestos derivados de nitrógeno (eutrofización). Las instalaciones de refrigeración, las incineraciones, los sistemas de extinción de incendios utilizados por los buques emiten también gases que agotan el ozono.

Todos estos factores nos llevan a la conclusión de que existe una imperiosa necesidad de luchar contra las emisiones a la atmósfera procedentes del transporte marítimo. Teniendo en cuenta los datos citados en cuanto al peso que este sector tiene en el comercio internacional, resulta evidente que será uno de los que más afectados se verá, por ejemplo, en la eficiencia de las rutas comerciales, que tendrán que adaptarse en la medida de lo posible y luchar contra las consecuencias negativas.

Se deberá encontrar, por tanto, un equilibrio entre la rentabilidad y la sostenibilidad en el transporte marítimo. Para llevar a cabo este equilibrio se han estudiado medidas como la reducción del contenido de azufre en los combustibles utilizados por el sector del transporte marítimo, o el establecimiento de una velocidad económica ideal en la operativa de un buque. Esta última es una tarea compleja ya que el

consumo de combustible de un buque es variable en cuanto al tamaño y tipo. Este consumo aumenta cuando se incrementa la velocidad de marcha, y al incrementar el consumo es cuando se produce un mayor número de emisiones a la atmósfera.

B. Vertidos de petróleo.

Los océanos, cuyas aguas constituyen un ecosistema complejo y muy dinámico, son frecuentemente víctimas de los contaminantes químicos, entre los que se encuentran el petróleo y sus derivados, a menudo vertidos por la actividad humana. Dichos contaminantes entran en contacto con el agua y son diluidos por vientos, oleajes, tormentas, corrientes y mareas comprometiendo la cadena alimentaria del medio marino. Cerca de las costas, donde se producen la mayoría de las grandes contaminaciones por petróleo, se producen daños devastadores de extrema importancia como la degradación de la flora y fauna marina permanente o migratoria de estas regiones. En la Figura 2-2 se puede observar a los alumnos de la Escuela Naval de Marín ayudando a la limpieza de la Playa de Canesol en la Isla de Ons tras el desastre del *Prestige* en el año 2002.

Además de la explotación de las industrias petroleras, una de las fuentes contaminantes principales en el ámbito de los vertidos de petróleo son las rutas y cercanía de vías utilizadas por los buques tanques petroleros, los cuales lavan y descargan los residuos de fondo. Como resultado de estos residuos, denominados “sludges” y definidos como masas viscosas de decantación vertidas directamente al mar, aparecen grandes volúmenes de alquitrán, con componentes de parafinas de cadena larga, en cantidad mayor a lo que contiene un petróleo crudo, halladas en el mar y en las playas. Estas enormes cantidades de residuos de petróleo siguen contaminando el entorno por un periodo muy largo de tiempo, pues son de muy lenta degradación.



Figura 2-2 Alumnos de la Escuela Naval de Marín ayudando a la limpieza de la Playa de Canesol en la Isla de Ons tras el desastre del *Prestige* en el año 2002 [9].

El mar tiene, sobre ciertas sustancias, un poder depurador porque consigue disolverlas y diluirlas, la actuación e intervención de los componentes bióticos y abióticos del entorno lo hace posible. En el caso de los hidrocarburos, los organismos vivos, especialmente los vegetales unicelulares como bacterias o enzimas tienen la capacidad de actuar sobre ellos. El problema en este aspecto reside en que los hidrocarburos vertidos al mar, al penetrar y ser ingeridos en distintos niveles de la cadena alimenticia, se concentran gradualmente y llegan hasta el hombre, que ingiere todos los elementos tóxicos acumulados por los anteriores niveles tróficos. Abundan entre estos los hidrocarburos aromáticos polinucleares.

Durante sus migraciones, los animales marinos captan estos contaminantes y contribuyen a diseminarlos. La cadena alimentaria se compone de la siguiente manera; vegetales-animales herbívoros-animales carnívoros-ser humano. El hombre, por tanto, recibe una dosis de contaminación considerable, aunque los organismos consumidos no presenten muestras de dicha contaminación, pues esta está concentrada y su efecto se produce a largo plazo. Continuando con esta línea de contaminación en cadena, los

hidrocarburos se asocian a los lípidos, los cuales se ligan a las proteínas movilizadas en el cuerpo humano, afectando a los ácidos nucleicos (ADN y ARN), deteriorando el código genético y afectando, por tanto, a la memoria de la especie.

C. Minería oceánica.

La minería es una de las actividades que genera mayor impacto ambiental, pero ¿qué ocurre cuando la minería no se lleva a cabo en la corteza terrestre, sino en el fondo de los océanos? la respuesta a esta pregunta tiene como resultado la extracción de recursos económicamente explotables a grandes profundidades, sometiendo equipos a altas presiones y sometiendo al ecosistema marino a una actividad altamente contaminante y de gran impacto ambiental.

La magnitud del impacto ambiental provocado en la minería de fondos oceánicos depende en su mayor medida de los sistemas y subsistemas mineros utilizados; métodos de desplazamiento por el sitio minero, sistemas de recolección y levantamiento de los nódulos, trituración, transporte de nódulos a la superficie y operaciones a bordo en la plataforma o barco minero, y concentración del material minero y disposición de los desechos mineros, algunos de ellos pueden observarse en la Figura 2-3. También influyen en estos impactos las condiciones ambientales imperantes en el sitio de las operaciones mineras, tanto en la columna de agua como en el fondo, además de la localización y la profundidad de los yacimientos y la duración de la actividad minera.

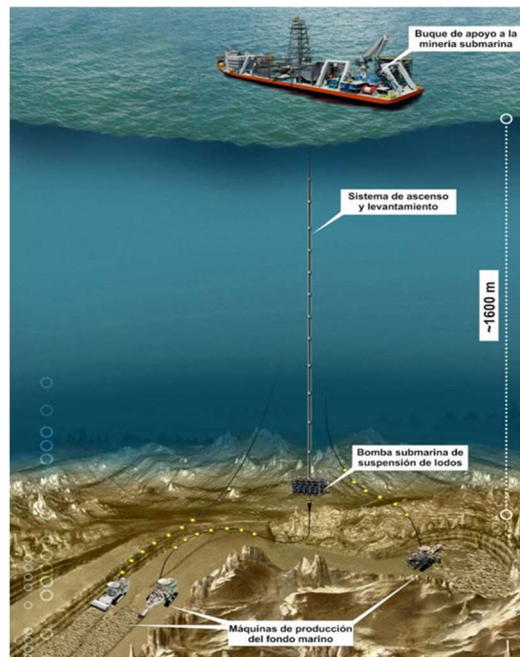


Figura 2-3 Esquema de una planta de minería submarina [11].

Existe una relación entre el tamaño de los nódulos y su ubicación dentro de la capa superficial de los sedimentos. El levantamiento de estos nódulos requiere mayor eficiencia del colector minero cuanto mayor sean los nódulos, por tanto, el impacto en el fondo oceánico se agravaría de forma considerable. Las operaciones llevadas a cabo por el vehículo minero sobre el lecho marino tienen también un gran impacto, alterando la capa superior de los sedimentos, comprimiendo, apelmazando y fragmentando la capa más dura subyacente, produciendo cambios en la morfología del fondo y en el equilibrio de los sedimentos superficiales. Los efectos en las comunidades marinas son inmediatos, donde nos podemos topar con organismos bentónicos ubicados a lo largo del recorrido del colector [10].

Todo esto conlleva alteraciones en los mecanismos tróficos, tanto de la fauna suspendida, como de la que vive dentro y sobre la capa semilíquida, por cubrimiento de las partículas alimenticias en suspensión, así como por la destrucción de la fauna que constituye el alimento de otras especies.

Una vez que el material minero llega a la superficie, este es librado del exceso de agua, sedimentos y concentrado, después de lo cual los desechos son vertidos de nuevo al mar. El vertido de los desechos mineros en la columna de agua constituye otro de las áreas de contaminación ya que provoca la suspensión de sedimentos. Este vertido forma una concentración de sedimentos en la superficie, que interfieren con la productividad primaria y alteran las cadenas tróficas, disminuyen la penetración de luz, dificultan la migración vertical e introducen bacterias y otros organismos presentes en los sedimentos del fondo o en el agua, incluyendo metales disueltos y partículas con contenidos de metales pesados.

D. Vertidos de aguas residuales.

Estos vertidos provienen de las aguas negras (fecales) y constituyen una fuente continua de enfermedades como por ejemplo otitis o gastroenteritis. Además de afectar a la salud del ser humano, estos residuos contaminan gravemente los ecosistemas marinos, desapareciendo las especies originales y en su lugar nacen otras adaptadas a estos altos niveles de contaminación. Por ejemplo, disminuye la presencia de especies beneficiosas como la *Posidonia oceánica*, generadora de aguas transparentes y playas de arena blanca y clave en el mantenimiento de la biodiversidad, y aumenta la aparición de especies como cianobacterias o microalgas.

La ausencia o insuficiencia de depuradora, las fugas en los sistemas de conducción de aguas fecales o los puntos de vertidos no autorizados son las principales causas de la deficiente depuración de las aguas residuales. Las principales fuentes de aguas residuales producidas por el hombre provienen de tierra firme como las alcantarillas municipales o las plantas de tratamiento. Sin embargo, la descarga de aguas residuales al mar por parte de buques también contribuye a la contaminación marina. Estos vertidos también pueden suponer la disminución de oxígeno, además de contaminación visual en las zonas costeras, lo cual supondría un problema de gran magnitud para regiones con un importante sector turístico.

En líneas generales, se considera que en alta mar los océanos son capaces de asimilar y hacer frente a las aguas residuales mediante la acción bacteriana natural. Por lo tanto, las normativas del Anexo IV de MARPOL prohíben el vertido de aguas residuales al mar a una distancia específica de la costa más próxima, a menos que se disponga de una planta de tratamiento de aguas residuales en funcionamiento aprobada.

E. Vertidos procedentes de las industrias.

Los vertidos industriales en las aguas pueden definirse como la introducción de sustancias contaminantes por parte de fábricas e industrias, intencionada o accidentalmente, en las masas de agua. Dichos vertidos alteran y perjudican la calidad del agua suponiendo una amenaza a las comunidades de seres vivos que habitan en él. De todos los tipos de residuos, este grupo es el que más perjudica los ecosistemas marinos [12]. En la Figura 2-4 se ilustra el estado de las playas del Mar Menor debido a los vertidos industriales sin control cometidos en sus costas.

Existe una gran tipología de industrias y dependiendo de su naturaleza estas pueden generar residuos más o menos contaminantes. A continuación, se presentan algunos ejemplos:

- Construcción: residuos ricos en sólidos en suspensión y metales. Pueden ocasionar la variación del pH de las aguas receptoras.
- Minería: también produce sólidos en suspensión, metales pesados que pueden alterar el pH. Además, genera materia orgánica y cianuros.
- Textil y piel: los residuos procedentes de estas industrias pueden contener metales como el cromo, taninos, sustancias tensoactivas, sulfuros, colorantes y tintes, grasas, disolventes, ácidos (acético, fórmico, etc.) y sólidos en suspensión. Dentro de estos sólidos se encuentran las fibras textiles sintéticas que se consideran micro plásticos.
- Automoción: es una de las industrias más contaminantes. Produce aceites, lubricantes, pinturas, metales, virutas, combustibles y aguas residuales.

- Naval: fundamentalmente petróleo, productos químicos, disolventes y pigmentos.
- Siderúrgica: metales pesados, ácidos y bases, aceites, virutas y sólidos.
- Química inorgánica: sustancias químicas, halogenados, residuos con mercurio, fósforo, manganeso, molibdeno, plomo, plata, selenio, zinc y otros compuestos como cianuro, amoníaco, nitrogenados, ácidos y bases.
- Fertilizantes: nutrientes en forma de nitratos y fosfatos.
- Papel: sólidos en suspensión, cloro, bases y otras sustancias que pueden afectar a la cantidad de oxígeno disuelto en las aguas receptoras.
- Pinturas, barnices y tintes: compuestos metálicos con zinc, cromo, selenio, molibdeno, titanio, estaño, bario o cobalto entre otros.



Figura 2-4 Vertidos industriales en el Mar Menor (Región de Murcia) [13].

Debido a que los vertidos industriales pueden ser de distintos tipos y de diversa composición, es difícil establecer un tratamiento general que elimine todos los residuos. A la hora de definir los tratamientos es importante conocer la composición específica de cada vertido, definir los puntos de vertido y establecer los métodos de depuración físicos, químicos o biológicos adecuados.

2.2.3 Evolución en las fuentes de contaminación en barcos

Hasta el siglo XVIII los barcos eran propulsados a vela por lo que contaminaban relativamente poco. A finales del siglo XIX, con barcos propulsados a base de carbón como el que se ilustra en la Figura 2-5, comenzó un tipo de contaminación desconocida en la época, y, por lo tanto, inconsciente e incontrolada. Las emisiones de humos procedentes de la combustión del carbón suponían una fuente de contaminación de desmesuradas proporciones. En la actualidad, un barco genera una gran diversidad de residuos, no sólo derivados de su propulsión, no obstante, hoy en día contamos con efectivos sistemas de control para llevar a cabo una correcta y eficaz gestión de los residuos generados, pudiendo hacer que su impacto ambiental sea mínimo.

En el caso de los buques de guerra y en cuanto a la generación de contaminantes, se puede apreciar un notable incremento en la producción de residuos de diversos tipos a medida que la tecnología ha ido implantándose en ellos. Los buques de dos siglos atrás generaban contaminantes a partir de: aguas sucias, sentinas, cocinas, basuras, breas de calefactado y productos tóxicos almacenados. Un siglo atrás los buques de guerra generaban contaminantes debido a todo lo mencionado para los buques del siglo XVIII además de: humos procedentes de la combustión del carbón, enfermería, lavandería, tanques de fuel, carbón almacenado, petróleo, pintura antiincrustante y residuos industriales. A partir de mediados del siglo XX aparecen fragatas más modernas cuyas fuentes de contaminación superan todo lo anteriormente citado: operaciones de petróleo en la mar, emisión de humos, sistemas de contraincendios, sistemas de aire acondicionado y frigoríficas, plásticos, basuras además de todo lo citado en siglos anteriores, a excepción de las emisiones por combustión de carbón del siglo XIX.



Figura 2-5 Ilustración del Acorazado “Pelayo” en el siglo XIX [14].

La preocupación ambiental en cuanto a la gestión de residuos es un problema que se ve agudizado en el caso de los buques por la escasez y la necesidad de espacio para su tratamiento. Estas dificultades se ven incrementadas cuando el número de componentes de la dotación es elevado. Desde las fases iniciales de diseño, es necesario tener en cuenta que la instalación de un posible sistema de gestión de residuos debe actuar de manera eficiente, sin entorpecer la misión principal del buque.

Los sistemas de control de la contaminación ambiental se pueden sintetizar en tres áreas independientes que gestionan los diferentes tipos de residuos; un sistema de tratamiento de aguas residuales, que a su vez se componen de aguas negras y grises, un sistema de tratamiento de aguas aceitosas y aguas contaminadas, y un sistema de tratamiento de los residuos sólidos, es decir, basuras.

Las aguas residuales son generadas durante el normal funcionamiento del buque y deben ser desechadas ya que contienen gran cantidad de sustancias y microorganismos contaminantes. Las aguas sucias o residuales se clasifican en aguas negras, procedentes de retretes y urinarios, y aguas grises, procedentes de lavabos, duchas, lavanderías y cocinas. La planta de tratamiento de aguas residuales (Planta TAR) sirve para separar a los residuos del agua para que, una vez esta sea desinfectada, pueda ser vertida al mar, y los sólidos sean enviados a un tanque de lodos, para su posterior eliminación.

La regla 8 del Anexo IV del convenio MARPOL describe las limitaciones para la descarga de aguas residuales. Solo están permitidas las descargas de aguas negras tratadas a más de doce millas de costa y nunca en puerto. Los buques deben cumplir esta normativa en todo lo referente a descargas de hidrocarburos, basuras y aguas negras y grises. Además, según lo escrito en la normativa, los barcos deben disponer de un sistema para el tratamiento de los residuos alimenticios y otro para la trituración e incineración de los residuos sólidos.

Por tanto, aguas grises son todas aquellas que, en conexión con un sistema sanitario, no reciba sustancias fecales u orina. Dentro de las aguas negras están incluidas las procedentes de líquidos de los espacios médicos. Estos últimos necesitan un tratamiento especial, por la posibilidad de contener gérmenes patógenos o restos de medicamentos.

Debido a su gran poder contaminante, los residuos tóxicos y peligrosos deben recibir tratamientos específicos. Su descarga está prohibida, con lo cual deben almacenarse a bordo, embalados y etiquetados, para su posterior gestión en puerto. Residuos peligrosos que podemos encontrar a bordo de un barco podrían ser: ácidos, detergentes, decapantes, disolventes, pinturas, desengrasantes, metales pesados, aerosoles, peróxidos, equipos electrónicos, etcétera.

Otro foco de contaminación en creciente desarrollo es la actividad pesquera es su práctica a gran escala. Esta explotación pesquera pone en compromiso, como se muestra en la Figura 2-6 la supervivencia de algunas especies, altamente vulnerables a la presión de la pesca. Al utilizar buques de desproporcionadas dimensiones para capturar un banco entero de peces, surgen problemas como la pérdida de especies que estamos acostumbrados a consumir hoy en día, al no permitir la regeneración natural de estas. Otro de los principales problemas ocasionados proviene de la utilización de grandes y potentes ecosondas que alteran el hábitat de los ecosistemas marinos.



Figura 2-6 Sobreexplotación pesquera [15].

Las basuras de los buques, por su parte, pueden ser igual de perjudiciales para la flora y fauna marinas que los hidrocarburos y los productos químicos. El mayor peligro lo constituye el plástico, que puede flotar durante años. Los peces y los mamíferos marinos en ocasiones confunden estos plásticos con alimentos y pueden quedar atrapados en cuerdas de plástico, redes, bolsas y otros artículos, algunos tan aparentemente insignificantes como los aros de plástico utilizados para sujetar latas de refrescos. El Anexo V del convenio MARPOL regula las descargas de basura desde los buques en aguas costeras y zonas especiales.

2.3 Gestión de los residuos sólidos

Aunque se trata de sustancias no peligrosas, es muy importante llevar a cabo un correcto tratamiento de residuos sólidos con el fin de minimizar al máximo posible los impactos sobre el medio ambiente. En este apartado se describen algunos de los tratamientos más importantes de residuos sólidos utilizados actualmente, así como la legislación vigente que rige la gestión de los mismos.

2.3.1 Principales tratamientos para residuos sólidos

Estos desechos, en su gran mayoría, son fruto de la actividad de las personas y se producen diariamente en hogares, empresas, oficinas, comercios, y en nuestro caso de estudio, en buques. Al tratarse de residuos generados por la actividad humana rutinaria, estos residuos se componen principalmente de: materia orgánica, papel, cartón, vidrio o plástico.

En los buques, como se verá posteriormente, cada persona produce aproximadamente 1,5 kg de residuos diarios, por lo que, sin un tratamiento de residuos sólidos adecuado, esta cantidad de desechos podría tener efectos muy nocivos para el medio ambiente. Generar residuos es algo inherente a la vida de las personas, por lo que a bordo de los barcos se busca que el personal intente minimizar la cantidad individual de residuos producidos, pero resulta una tarea verdaderamente complicada. Es por esto por lo que la única solución válida para evitar que todos los desechos generados deterioren el medio ambiente, es abordar un tratamiento adecuado de los mismos. Como se observa en la Figura 2-7, en los buques de la Armada los restos de comida son introducidos en trituradores para reducir su volumen.



Figura 2-7 Los restos de comidas se introducen en trituradores en los buques de la Armada.

El tratamiento de residuos sólidos tiene como fin recuperar sustancias y materiales valorizables, facilitar la utilización de estos residuos como fuente de energía y preparar los residuos para su tratamiento final. Es de vital importancia tener en cuenta que muchos de los desechos que generamos diariamente están formados por materiales a los que se les puede dar una segunda vida, por lo que el tratamiento de residuos sólidos se convierte en un factor clave para mantener la economía circular, previamente mencionada en este trabajo. Además de materiales reutilizables, gracias a los sistemas de tratamientos de residuos sólidos también es posible obtener energía o combustible.

Aunque existen muchos sistemas de tratamiento de residuos sólidos, entre los más utilizados se encuentran la incineración, el vertido controlado, la pirólisis y biometanización, y el compostaje:

-Incineración: consiste, como su propio nombre indica, en incinerar residuos, es decir, en destruirlos térmicamente hasta transformarlos en gases de combustión o productos como la ceniza. El empleo de plantas especializadas de incineración hace posible obtener grandes cantidades de energía a partir de los residuos incinerados, lo que hace que este sistema de tratamiento sea uno de los más utilizados a nivel europeo. Asimismo, este sistema presenta la ventaja de reducir de manera sustancial el volumen ocupado por los desechos.

-Vertido controlado en vertederos: para evitar que los residuos contaminen el terreno o las aguas cercanas, es necesaria una buena gestión del vertedero y un buen diseño de este. Los vertederos pueden ser subterráneos, para lo cual se utilizan canteras o minas abandonadas, o situarse en una superficie. En cualquier caso, los vertederos deben ser lugares estudiados y controlados para que la repercusión que tengan los residuos en el medio ambiente sea mínima.

-Pirólisis: es un sistema de tratamiento de residuos sólidos en el que estos son sometidos a un proceso térmico en un contenedor sellado a alta presión. Lo que hace a este sistema de tratamiento destacar es que su efectividad es mayor que la de la incineración, ya que con la pirólisis se consiguen cantidades de energía mucho mayores. La degradación térmica de los residuos se hace con una cantidad de oxígeno muy limitada, y obtiene como producto gases, líquidos y materiales inertes.

-Biometanización: consiste en la obtención de un biogás procedente de la digestión anaerobia de la fracción orgánica de los residuos, siendo este valorizable como gas renovable para usos residenciales, industriales o de movilidad.

-Compostaje: consiste en la transformación aerobia de la materia orgánica por parte de diferentes tipos de agentes microbianos como bacterias y hongos; razón por la que es indispensable mencionar los factores físicos, químicos y biológicos, que influyen sobre su metabolismo, con el objetivo de acelerar la descomposición de los residuos utilizados para la obtención de un producto estable de excelente calidad biológica y química. Además, debe tenerse en cuenta que los factores ambientales óptimos para el proceso de compostaje están directamente relacionados con el metabolismo propio de los

microorganismos implicados en las diferentes fases o etapas del proceso. De esta manera, factores como temperatura, oxígeno, humedad, pH, tamaño de la partícula y relación carbono-nitrógeno determinan la velocidad de las reacciones de oxidación y las características físicas y químicas del compost obtenido.

2.3.2 Normativa medioambiental aplicable a residuos sólidos

Existen una serie de normativas que dictan la forma adecuada de llevar a cabo la gestión de los residuos sólidos a bordo:

i. Anexo V revisado del Convenio MARPOL

El Comité de protección de medio marino (MEPC) llevó a cabo en 2006 una revisión completa del citado Anexo. En el contexto de esta revisión se tuvo en cuenta la resolución A/RES/60/30 de la Asamblea General de las Naciones Unidas, en la que se había invitado a la OMI a que, en consulta con las organizaciones y los órganos competentes, examinase el Anexo y evaluase su eficacia para combatir las fuentes marinas de los desechos [16].

En julio de 2011, el MEPC 62 adoptó, mediante la resolución MEPC.201(62), el Anexo V revisado del Convenio MARPOL, que entró en vigor desde el 1 de enero de 2013.

En marzo de 2012, el MEPC 63 adoptó la resolución MEPC.219(63); “Directrices de 2012 para la elaboración de planes de gestión de basuras”.

En este Anexo revisado generalmente se prohíbe la descarga de toda basura en el mar, salvo las excepciones establecidas en las reglas 4, 5, y 6 del Anexo, que se relacionan con desechos de alimentos, agentes o aditivos de limpieza y cadáveres de animales. En el marco del Anexo revisado, se entiende por basuras toda clase de alimentos, desechos domésticos y operacionales, todos los plásticos, residuos de carga, aceite de cocina y artes de pesca resultantes de las operaciones normales del buque y que suelen eliminarse continua o periódicamente. El término “basuras” no incluye el pescado fresco ni cualesquiera partes del mismo resultante de actividades pesqueras realizadas durante el viaje, o resultantes de actividades acuícolas.

Las zonas especiales, en las que debido a sus condiciones oceanográficas o a su elevado tráfico marino es obligatorio adoptar medidas especiales son:

- La región del Gran Caribe
- La zona de los Golfos
- La zona del Antártico
- La zona del mar Báltico
- La zona del mar del Norte
- La zona del mar Mediterráneo
- La zona del mar Negro
- La zona del mar Rojo

Entre los desechos más comunes generados por los buques podemos destacar los relacionados con los siguientes ámbitos:

- Alimentos, plásticos, domésticos
- Cocina
- Relacionados con la carga
- Mantenimiento
- Cenizas y escorias procedentes de incineradores y calderas de carbón a bordo

ii. Convenio OILPOL

“International Convention for the Prevention of Pollution of the Sea by Oil” (OILPOL) es un convenio internacional, firmado en Londres en 1954. Busca limitar la contaminación por parte de los buques con hidrocarburos pesados en las aguas marinas.

Este convenio surge a partir de la advertencia de gran contaminación en el medio marino, de manera que establece una distancia mínima en la que derramar los vertidos de desecho de hidrocarburos, situándose lejos de tierra. Así como la prohibición en ciertas zonas consideradas con gran riesgo para el medioambiente [17].

iii. Ley 20/1986, de 14 de mayo, Ley Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos

Consta de 22 artículos en los que se define como residuo tóxico o peligroso a todo material sólido, pastoso, líquido, gaseosos contenidos en recipientes, que, siendo el resultado de un proceso de producción, transformación, utilización o consumo, su productor destine al abandono y contengan en su composición alguna de las sustancias y materias que figuran en el anexo de la presente Ley; en cantidades o concentraciones tales que representen un riesgo para la salud humana, recursos naturales y medioambiente.

Esta ley presenta un anexo con una lista de la relación de sustancias o materias tóxicas y peligrosas en la que aparecen los aceites usados minerales o sintéticos, incluyendo las mezclas agua-aceite y las emulsiones [18].

iv. Real Decreto 833/1988, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos

Reglamento que pretende hacer efectiva la ley del apartado anterior, está formado por 5 capítulos, 2 disposiciones transitorias y una adicional que pretenden hacer efectiva esta ley [19].

v. Real Decreto 952/1997, de 20 de junio, por el que se modifica el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos, aprobado mediante Real Decreto 833/1988, de 20 de julio

Por medio de este se busca ampliar el anterior Real Decreto para ajustarse a la nueva Directiva 78/319/CEE de aquel momento dictada por Europa [20].

En el Anexo II de este se encuentra una lista de residuos tóxicos y peligrosos ampliada con respecto al anterior RD, en la que se clasifican, entre otros, dos residuos relacionados con el entorno marítimo:

- 16701: Residuos de la limpieza de cisternas de transporte marítimo que contienen productos químicos.
- 160702: Residuos de la limpieza de cisternas de transporte marítimo que contienen hidrocarburos.

vi. Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos

Con esta ley promulgada el 22 de abril de 1998 se pretende reducir la generación de residuos y aumentar la reutilización y el reciclaje. Para ello pretende regular la producción y gestión mediante una serie de obligaciones definidas en este.

Hace especial mención en las normas específicas sobre la producción y gestión de residuos peligrosos, a los que define como aquellos que figuren en la lista de residuos aprobada en el Real Decreto 952/1997, así como los recipientes y envases que los hayan contenido. Los que hayan sido calificados como peligrosos por la normativa comunitaria y los que pueda aprobar el Gobierno de conformidad con lo establecido en la normativa europea o en convenios internacionales de los que España sea parte [21].

vii. Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos

Esta Orden en Materia de Medioambiente tiene como objetivo la protección de este según lo establecido en el artículo 149.1.23 de la Constitución en consenso con las autonomías. En ella aparecen las operaciones de valorización y eliminación de residuos que deben cumplir las normas dictadas por la comunidad europea que aparecen en la Decisión 96/350/CE de 24 de mayo [22].

Se clasifican operaciones de valorización de aceite como:

-R9 Regeneración u otro nuevo empleo de aceites

-Referencia a residuos pertenecientes al Anexo I de MARPOL:

- 13 04 Aceites de sentinas
- 13 04 01* Aceites de sentinas procedentes de la navegación en aguas continentales
- 13 04 02* Aceites de sentinas recogidos en muelles
- 13 04 03* Aceites de sentinas procedentes de otros tipos de navegación

[*] Sustancias peligrosas según la Directiva 91/689/CEE

viii. Real Decreto 1381/2002, de 20 de diciembre, sobre instalaciones portuarias de recepción de desechos generados por los buques y residuos de carga.

Este Real Decreto busca reducir la contaminación marina regulando los vertidos que arrojan al mar los buques. Para ello, pretende mejorar las instalaciones portuarias de recogida de estos residuos y desechos.

Es aplicable a todo tipo de buques y de cualquier pabellón que haga uso de las instalaciones portuarias españolas.

Establece la creación de unos planes de recepción y manipulación de desechos donde deben aparecer las necesidades y características de cada instalación.

El principal responsable del buque deberá asegurarse entregar todos los residuos generados durante la navegación en puerto:

“El capitán de un buque que haga escala en un puerto español entregará obligatoriamente, antes de abandonar el puerto, todos los desechos generados por el buque en una instalación portuaria receptora autorizada”.

En el siguiente párrafo menciona que el buque podrá salir del puerto de escala sin entregar los desechos en dicho puerto, en este caso Capitanía Marítima se debe asegurar que el puerto de destino está capacitado para gestionar estos residuos, de no ser así obligará al buque a entregar los residuos antes de su salida [23].

ix. Ley 33/2010, de 5 de agosto, de modificación de la Ley 48/2003, de 26 de noviembre, de régimen económico y de prestación de servicios de los puertos de interés general

En el capítulo 10º de esta Ley se regulan las normas sobre contaminación de carácter portuario y las normas sobre la recogida de residuos. “Los desechos generados por buques deberán descargarse a tierra, debiendo solicitar a tal efecto el servicio de recepción de desechos generados por buques regulados en el artículo 87 de esta ley”.

En el artículo 87 se trata el servicio de recepción de desechos generados por buques. Clasifica como residuo de buque a las aguas residuales y los que no proceden de la carga tal y como dicta MARPOL 73/78. Este artículo establece una tarifa fija, regulable con el IPC sobre el precio del metro cúbico de residuo generado por buques. Los buques que la Administración considera como eficientes tendrán un descuento del 20 % [24].

x. Orden FOM/1392/2004, de 13 de mayo, relativa a la notificación y entrega de desechos generados por los buques

Pretende regular las concesiones de las capitanías marítimas sobre las certificaciones para la exención de las notificaciones descritas del Real Decreto 1381/2002 [25].

xi. Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados

Ley en vigor con respecto a los residuos tóxicos que sustituye a la anterior ley vigente Ley 10/1998. Cambio necesario para cumplir con las directrices promulgadas por la Directiva 2008/98/CE del

Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008. Esta ley es la que regula la gestión de residuos MARPOL, pero no hay cambios en este ámbito [26].

- xii. Real Decreto Legislativo 2/2011, del 5 de septiembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante; artículos 63 y 132

-Artículo 63. Recepción de desechos y residuos procedentes de buques:

En este artículo se obliga a las Autoridades Portuarias a elaborar y aprobar cada tres años un plan de recepción de residuos conforme al Real Decreto 1381/2002. Estas también deben acreditar la aceptación de desechos y residuos por parte del gestor autorizado. En caso de no disponer este tipo de instalaciones se podrá no autorizar la entrada de buques a estos lugares. Cada buque que utilice los servicios de recepción de un puerto deberá expedir un recibo de residuos MARPOL unificado en el anexo III del Real Decreto 1381/2002.

-Artículo 132. Régimen de prestación:

Regula el servicio portuario de recepción de desechos, residuos generados por buques, traslado, almacenamiento y tratamiento debidamente autorizados por las autoridades competentes y debidamente dimensionado y optimizado para no causar demoras a los buques.

Las Autoridades Portuarias cobrarán una tarifa a los buques que atraquen, con la cual tienen derecho a descargar en la Zona I del puerto y a medios de recogida terrestre, durante los 7 primeros días del atraque, para cualquier volumen de desechos de los Anexos I y V de MARPOL 73/78.

Si la descarga es por medios marinos en la Zona II la tarifa fija se incrementará en un 25 %. Por las descargas IV y VI y por las realizadas después del séptimo día se abonará directamente al prestador del servicio según tarifas pertinentes.

El pago de la tarifa fija es obligatorio para todos los buques, pudiéndose aplicar bonificaciones en función de la calidad de su gestión medioambiental. Están exentos del pago de esta tarifa los buques de guerra o auxiliares propiedad de países de la Unión Europea en servicios no comerciales, o debidamente acreditados para servicios gubernamentales, embarcaciones de pesca fresca y deportivas acogidos a convenios pertinentes con la Autoridad Portuaria, buques que fondeen en zonas sin obras ni instalaciones, buques inactivos, en construcción, reparación o desguace.

No se considerarán servicios realizados en instalaciones portuarias que no estén debidamente homologadas a nivel internacional (OMI). Las cantidades recaudadas con la tarifa fija serán para la financiación de mejoras tendentes a reducir el vertido de desechos al mar [27].

- xiii. Real Decreto 180/2015 por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado

Este Real Decreto pretende desarrollar el régimen jurídico de los traslados de los residuos que se hacen en el interior del estado, afectando así a las empresas de recogida de residuos de los puertos [28].

En él se enumeran todas las condiciones que debe presentar el contrato con el operador del traslado:

- a) Cantidad estimada de residuos que se van a tratar
- b) Identificación de los residuos mediante su codificación LER
- c) Periodicidad estimada de los traslados
- d) Información relevante para el adecuado tratamiento de los residuos
- e) Tratamiento al que se van a someter los residuos, de conformidad con los anexos I y II de la Ley 22/2011 de 28 de julio
- f) Obligaciones de las partes en relación con la posibilidad de rechazo de los residuos por parte del destinatario.

2.4 Residuos generados en buques de la Armada

En este capítulo se exponen y clasifican los residuos generados a bordo de los diferentes buques con los que cuenta la Armada Española. Es importante tener en cuenta que, en los barcos militares, debido a la diversidad de funciones a desempeñar, el número de tripulantes suele ser mayor que en cualquier otro tipo de barco, por lo que se generan más tipos de residuos. Además, cada buque tiene un cometido principal diferente a los demás, lo que ocasiona que, para cada clase de buque, se obtengan resultados diferentes en cuanto a cantidad y tipología de residuos generados.

2.4.1 Definiciones

En primer lugar, se definen algunos términos importantes a la hora de contextualizar la tipología de los residuos:

- 1) **Gestor:** persona o entidad que realice cualquiera de las operaciones que componen la gestión de los residuos, sea o no el productor de estos.
- 2) **Gestión:** conjunto de actividades encaminadas a dar a los residuos el destino final más adecuado. Así mismo, podemos definir dos tipos de gestión:
 - **Gestión Interna:** operaciones de manipulación, clasificación, envasado, etiquetado, recogida, traslado y almacenamiento dentro de los centros de trabajo, en este caso serían las medidas llevadas a cabo por el propio personal del buque.
 - **Gestión Externa:** operaciones de recogida, transporte, tratamiento y eliminación de los residuos una vez que han sido retirados del centro generador.
- 3) **Productor:** persona o entidad cuya actividad, produzca residuos o que efectúe operaciones de tratamiento previo, de mezcla, o de otro tipo que ocasione un cambio de naturaleza o de composición de los residuos. En el caso de los buques de la Armada, los distintos destinos y servicios de las unidades (buques), tienen la consideración de Productor, cuya responsabilidad se personifica en el jefe de Destino en el cual se esté generando cualquier tipo de trabajo o actividad generadora de residuos.
- 4) **Poseedor:** es el productor de residuos que los tiene en su poder, pero no tiene condición de Gestor. Los residuos que no puedan ser tratados dentro del buque tendrán que almacenarlos de una manera u otra que explicaremos más adelante.
- 5) **Residuo Peligroso (RP):** se consideran RP los que figuran en la lista del Anexo II del anteriormente citado RD 952/1997, los envases y recipientes que los hayan contenido, así como, los que dictamine el Gobierno como con secuencia de lo establecido en la normativa europea o convenios internacionales. Se consideran especialmente Residuos Peligrosos los señalados con un (*) en la Lista Europea de Residuos, publicada en el Anexo II de la Orden MAM 304/2002, también citado en el apartado de normativa.
- 6) **Material Peligroso (MP):** se considera MP cualquier sustancia que, debido a su concentración, cantidad o características físicas o químicas, pueda suponer un peligro sustancial para la salud humana o para el medioambiente en casos de uso incorrecto, liberación de forma intencionada o derrame accidental. En los buques existen tres tipos según su estado:
 - MP excedente: materiales peligrosos existentes a bordo de los que no se va a hacer uso inmediato. Se encuentra almacenado y contenido en sus recipientes originales.
 - MP usado: material peligroso que ya ha sido utilizado a bordo y su recipiente puede ser o no el original.
 - MP caducado: todo aquel material peligroso que ha superado la fecha hasta la cual el fabricante garantiza sus propiedades.

2.4.2 Clasificación de residuos según tipología y peligrosidad

En la Figura 2-8 se elabora un esquema de la tipología de residuos generados en buques de la Armada:

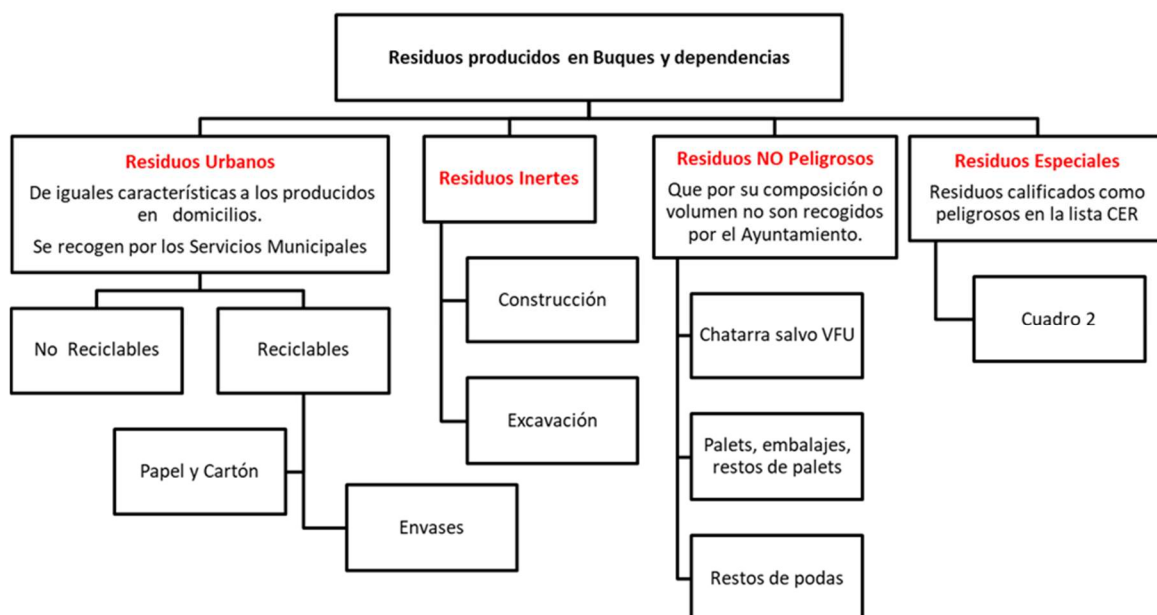


Figura 2-8 Esquema de clasificación de residuos producidos en buques de la Armada. Elaboración propia.

- a) **Residuos urbanos:** residuos orgánicos e inorgánicos generados durante la actividad cotidiana y rutinaria del buque; restos de comida, envases, cartón, folios, madera, vidrios etc.
En este grupo se encuentran los residuos reciclables. Estos son los que se separan del resto con el fin de pasar por un proceso de transformación y producción, en el que son reutilizados para su cometido inicial o para otros fines, incluidos el compostaje y la biometanización.
- b) **Residuos inertes:** según el Real Decreto 1481/2001 son aquellos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas, no son solubles ni combustibles, no reaccionan ni física ni químicamente, no son biodegradables, no afectan a los materiales con los que entran en contacto, tienen una emisión reducida de lixiviados, son muy poco tóxicos, y no suponen ningún riesgo para las aguas superficiales o subterráneas. A este grupo pertenecen residuos derivados de la construcción; escombros, tierras y áridos, restos de hormigón etc. Suelen darse en unidades en tierra, pero no son comunes en buques.
- c) **Residuos no peligrosos:** residuos de tipología parecida a los urbanos ya que no suponen gran riesgo para la salud humana o para el medioambiente al no presentar características de peligrosidad grave. En el caso de los buques podemos encontrar; colchones, pallets, tablones de madera, embalajes, recortes de cables, cartuchos de impresoras, chatarras, residuos de limpiezas etc.
- d) **Residuos especiales:** residuos que requieren la adopción de medidas de prevención especiales durante la recogida, almacenamiento, transporte, tratamiento y deposición del rechazo, tanto dentro como fuera del centro generador, ya que pueden presentar un riesgo para la salud pública. En la Figura 2-9 se presentan los tipos de este tipo de residuos que tienen lugar en buques de la Armada:

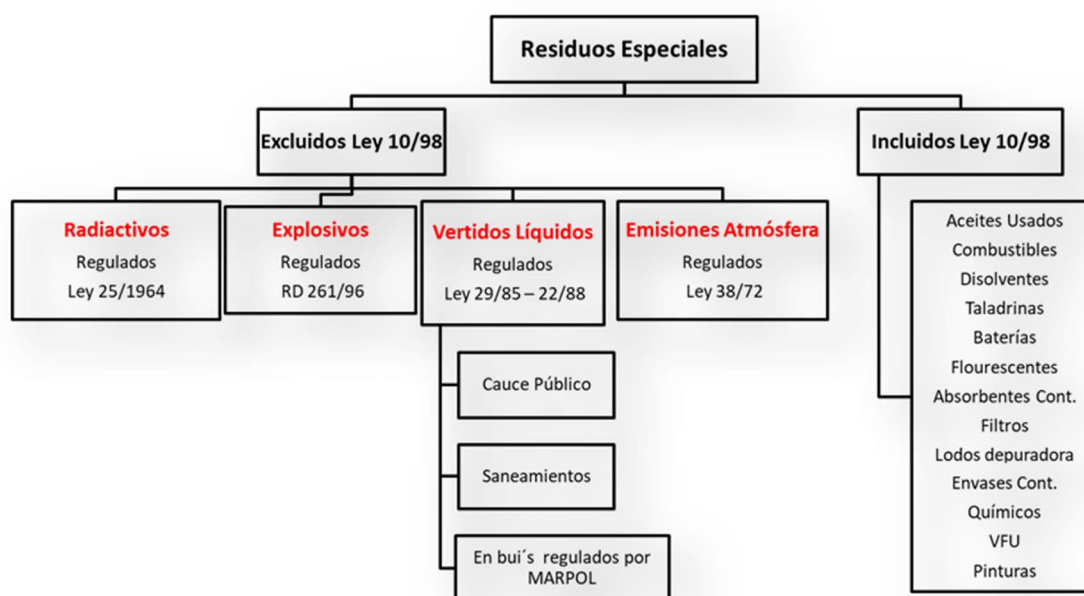


Figura 2-9 Esquema de clasificación de residuos especiales. Elaboración propia.

2.4.3 Clasificación de residuos según el tratamiento requerido

1. Vertidos al mar

Como ya se mencionó en el apartado de los principales focos de contaminación marina, las aguas sucias se clasifican en aguas negras, procedentes de váteres y urinarios, y aguas grises, procedentes de lavabos, duchas, lavanderías y cocinas. En los buques de la Armada se utiliza una planta TAR (Tratamiento de Aguas Residuales) cuya función es separar los residuos del agua. Una vez desinfectada, el agua es vertida al mar y los sólidos (lodos) son enviados a un tanque para su posterior eliminación.

Los residuos oleosos, por su parte, son mezclas de agua con aceites o combustibles en tanques o sentinas. Estos residuos se tratan separando el agua del hidrocarburo por decantación o, en caso de emulsiones, mediante filtros de carbón activo. El agua resultante del proceso se vierte al mar como efluente si la presencia de hidrocarburos en el agua es menor de 15 partes por millón. El hidrocarburo puede reutilizarse o ser enviado a un tanque de lodos para su eliminación.

2. Residuos sólidos

Los residuos sólidos se clasifican en residuos sólidos orgánicos, procedentes de restos de comidas, y residuos sólidos inorgánicos, que a su vez se dividen en combustibles y no combustibles, entre los que se incluyen papeles, plásticos, envases, telas o vidrio.

Los residuos sólidos orgánicos se tratan triturándolos o compactándolos para convertirlos en una pulpa compuesta por partículas menores de 25 milímetros. Después se le extrae el agua a esa pulpa y el producto resultante está listo para ser incinerado o arrojado al mar, si la normativa lo permite.

Los residuos inorgánicos combustibles pueden ser tratados térmicamente para su eliminación y los residuos sólidos inorgánicos no combustibles se someten a un proceso de triturado, compactado y embalado para su posterior descarga a tierra. El convenio MARPOL autoriza su descarga al mar en ciertas condiciones.

Por otra parte, los residuos tóxicos y peligrosos, por su gran poder contaminante, deben recibir un tratamiento específico. Entre estos, encontramos los residuos sanitarios, derivados de actuaciones sanitarias, que necesitan un tratamiento especial, por la posibilidad de contener gérmenes patógenos o restos de medicamentos.

La descarga de esta tipología de residuos está terminantemente prohibida. Deben ser almacenados a bordo, debidamente embalados y etiquetados, para su posterior entrega al centro de gestión de residuos correspondiente.

A bordo podemos encontrar residuos tóxicos y peligrosos de diverso tipo: ácidos, detergentes, decapantes, disolventes, pinturas, desengrasantes, metales pesados, aerosoles, peróxidos, amianto, equipos electrónicos, etc. Es importante señalar que los envases vacíos de este tipo también deben tratarse como residuos tóxicos y peligrosos.

3. Emisiones a la atmósfera

Los humos de exhaustación son emisiones gaseosas con sólidos en suspensión que deben ser minimizadas para emitir a la atmósfera la menor cantidad posible de productos nocivos. Se debe prestar especial atención a la emisión de humos de escapes de máquinas, optimizando las combustiones de motores, turbinas y calderas para reducir la emisión de gases contaminantes, aunque no resulta efectivo añadir filtros a los escapes de máquinas.

Otras fuentes de este tipo de contaminación son los compuestos halogenados, cloro-fluoro carbonos (CFC's) empleados en circuitos de refrigeración, y los halones, empleados en sistemas de extinción de incendios.

2.5 Tratamiento de residuos en buques de la Armada

En este apartado analizaremos el conjunto de operaciones que se realizan sobre los contaminantes producidos por los buques de la Armada con el fin de reducir o eliminar sus efectos. Además, se exponen algunos de los modelos de los sistemas de tratamiento empleados en dichos buques.

2.5.1 Tratamiento a bordo de los buques

A. Aguas residuales

Se definen como mezclas complejas de elementos y materiales disueltos o en suspensión. Deben ser tratadas separando los sólidos en suspensión, y el agua resultante se desinfecta y analiza para poder verterla al mar si el resultado de dicho análisis está dentro del marco legal permitido.

Son tres los tratamientos que pueden recibir las aguas residuales, tanto negras como grises: tratamiento biológico, fisicoquímico y por rayos ultravioleta.

El sistema biológico es el empleado por las depuradoras tradicionales en tierra. Consiste en el tratamiento de las aguas con bacterias. Es un proceso que necesita bastante tiempo, ya que la acción de las bacterias es lenta y, además, las instalaciones utilizadas se caracterizan por ser muy voluminosas.

Los buques medianos y grandes de la Armada disponen de plantas TAR, cuyo esquema se representa en la Figura 2-10, (Tratamiento de Aguas Residuales) fisicoquímicas, las cuales utilizan coagulantes y floculantes para precipitar los sólidos en suspensión. La parte líquida es desinfectada con cloro extraído del agua del mar mediante un generador de hipoclorito. Posteriormente se analiza el efluente antes de ser vertido al mar. Los lodos resultantes del proceso se almacenan en un tanque a bordo para su posterior descarga en tierra, o si se dispone de ella, se incineran en una planta térmica.

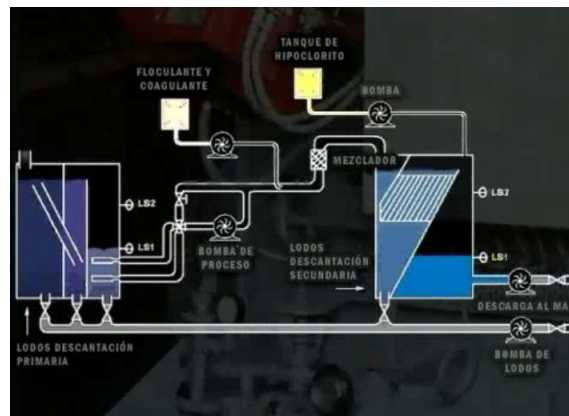


Figura 2-10 Esquema de una planta TAR FQ-15 utilizada en buques de la Armada.

B. Aguas oleosas

Debido al volumen generado y la peligrosidad de estos residuos, compuestos de hidrocarburos y agua, es necesario que reciban tratamiento a bordo. Para llevar a cabo este tratamiento se utiliza un separador de aguas oleosas, cuyo esquema se representa en la Figura 2-11, que puede trabajar por diferencia de densidades, o bien realizar la separación utilizando filtros de carbón activo, en caso de que la mezcla de agua e hidrocarburos haya emulsionado anteriormente.

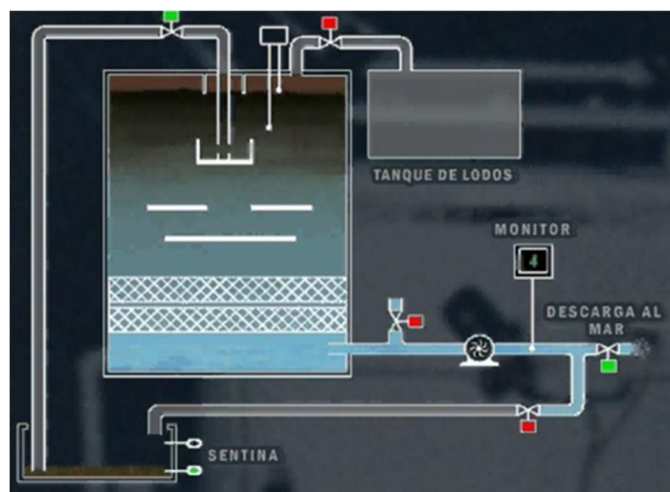


Figura 2-11 Esquema de un separador de aguas oleosas DETEGASA utilizado en buques de la Armada.

Al igual que con las plantas residuales, los lodos resultantes pueden ser almacenados en un tanque a bordo para su posterior descarga en tierra o ser incinerados en una planta térmica si se dispone de ella.

C. Residuos orgánicos

Como ya se ha indicado los residuos orgánicos son, básicamente, restos de las comidas que se producen a bordo. Se utiliza un triturador de desperdicios para reducir el volumen generado, lo que nos permitirá arrojar la pulpa resultante al mar si la normativa lo permite, o almacenarla en un tanque apropiado para su posterior descarga en puerto o incineración. En la Figura 2-12 se ilustra el esquema de funcionamiento de una planta de tratamiento de residuos orgánicos presente en ciertos buques de la Armada:

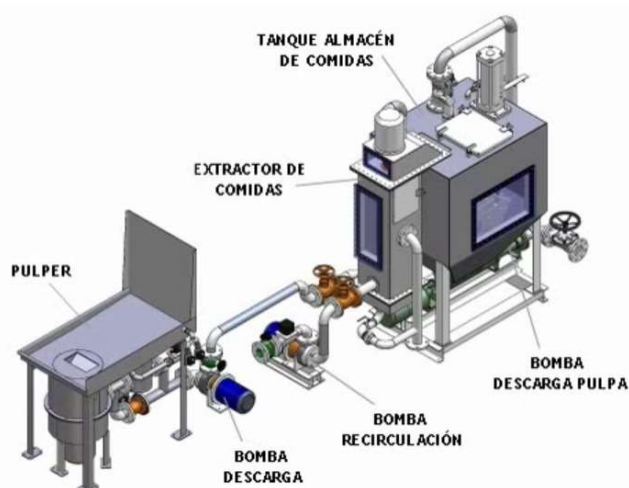


Figura 2-12 Esquema del sistema de tratamiento de residuos orgánicos utilizado en buques de la Armada.

D. Residuos inorgánicos

Regulados por el Catálogo Europeo de Residuos (CER) pueden diferenciarse en residuos segregados, en los cuales la mayor parte es residuo inorgánico, y no segregados, cuya mayor parte es residuo orgánico, para lo cual se pueden establecer puntos de recogida selectiva repartidos por el buque. Los buques grandes pueden disponer de un local de tratamiento de residuos (LTR) para la clasificación y el tratamiento de residuos sólidos inorgánicos.

De acuerdo con el CER, los residuos segregados pueden clasificarse y almacenarse para su posterior entrega a un punto limpio en tierra. La mayoría de los residuos generados a bordo entran dentro de la categoría de residuos municipales. Los buques tienen la opción de solicitar, en el mensaje de requerimientos logísticos en puerto (LOGREQ), la recogida de este tipo de residuos, indicando el tipo de residuo, la cantidad a recoger y su número CER de identificación.

Este tipo de residuos son triturados, compactados, embalados y almacenados hasta su posterior descarga en tierra. Se presta especial cuidado en no introducir un residuo de metal, madera, cristal, papel, tejido, líquido o cualquier otro residuo no adecuado en la trituradora a fin de no dañar las cuchillas del triturador y evitar averías.

Aquellos residuos que, por su composición y materiales, no puedan ser triturados, así como los residuos reciclables, serán compactados y almacenados por separado hasta la llegada a puerto para su posterior tratamiento o reciclaje. En el caso de ser residuos combustibles, pueden ser enviados a la planta de tratamiento térmico para su eliminación.

Hay residuos que, a pesar de ser residuos segregables, pueden ser tratados en la trituradora o compactadora para reducir sus dimensiones antes de ser almacenados. Por ejemplo, un envase con restos de comida se considera como residuo orgánico, sin embargo, será necesario limpiar estos restos para poder introducirlo en las plantas de compactado o triturado con el fin de no mezclar residuos.

En la Tabla 2-1 Resumen de los principales residuos orgánicos e inorgánicos generados a bordo de un buque y tratamientos recibidos. Elaboración propia. lleva a cabo un resumen de los contenedores existentes en buques para cada tipo de residuo y el tratamiento recibido para cada uno.

Tipo de contenedor	Tipo de residuo	Tratamiento recibido
Restos de comida	Restos de comida	Triturado de comidas y descarga al mar según normativa
Inorgánicos triturables	Envases limpios, latas, plásticos en general	Triturado-compactado
Específico para cada uno de los RTP 's	Pilas, residuos sanitarios, disolventes	Almacenado previo y posterior descarga en puerto
Específico para cada uno de los residuos reciclables	Papel, vidrio, cristal, cartón	Compactación y descarga en puerto
Sólidos combustibles no triturables y no reciclables	Envases sucios, madera, telas	Compactado, tratamiento térmico o descarga en puerto
Sólidos no combustibles, no triturables y no reciclables	Bombillas, metal, restos de mobiliario	Compactado, descarga en puerto

Tabla 2-1 Resumen de los principales residuos orgánicos e inorgánicos generados a bordo de un buque y tratamientos recibidos. Elaboración propia.

E. Residuos tóxicos y peligrosos (RTP)

Munición, baterías, pilas, pinturas, equipos electrónicos, envases de productos peligrosos, productos de limpieza tóxicos y medicamentos entre otros, forman parte del grupo RTP 's existentes a bordo. Este grupo debe clasificarse, etiquetarse y almacenarse según normativa hasta la llegada a puerto.

Por ejemplo, si se arrojan pilas al contenedor de basura orgánica se habrá convertido a este en un contenedor de residuos tóxicos que ocupa un gran espacio. Es por ello por lo que los residuos de este tipo se deben arrojar en un contenedor pequeño específicamente preparado y reservado para ello, mostrado en la Figura 2-13.



Figura 2-13 Contenedor de recogida de pilas usadas empleado en buques de la Armada. Elaboración propia.

Los residuos sanitarios tienen una gestión muy similar a los RTP 's y, al igual que estos, deben etiquetarse, embalsarse y almacenarse como corresponda. Los residuos de este tipo se caracterizan por contener restos de medicamentos o por la presencia de gérmenes patógenos, y dentro de esta categoría se incluyen compresas, maquinillas de afeitar y cuchillas desechables etc.

▪ Procedimiento de etiquetado y almacenado de RTP's

El procedimiento de etiquetado y almacenado de RTP se encuentra regulado por el RD 833/1988 en el que también figuran las responsabilidades y obligaciones del personal involucrado en el proceso;

1) Etiquetado:

Los envases siempre deben estar etiquetados de una forma clara y legible, ilustrada en la Figura 2-14. En la etiqueta deberá figurar: código de identificación del residuo, nombre, dirección y teléfono del poseedor del contenido, fecha de envasado, riesgos de la sustancia contenida. Deberán usarse pictogramas normalizados y la etiqueta debe tener unas dimensiones 10x10 cm.

El código de identificación de residuos es la forma de identificar los residuos tóxicos y peligrosos para poder disponer de una serie de informaciones que permitan en todo momento distinguir cada caso en particular. Se consideran siete tablas, compuestas por unos códigos numerados que, utilizados unos con otros, permiten caracterizar todos los residuos y poder controlarlos desde su generación hasta su destino final: la razón de la necesidad de ser gestionados (Q), la forma en que son gestionados (D/R), el tipo genérico al que pertenecen (L, S, P, G), sus principales constituyentes (C), las características peligrosas del residuo (H), la actividad (A) y el proceso que lo ha producido (B).

RESIDUOS PELIGROSOS	
NOMBRE: PILAS BOTÓN	
CODIGO: Q06 // D15 // S37 // C16 // H14 // A871 // B0019	
TITULAR: UNIVERSIDAD DE ALMERIA SECRETARIADO DE POLÍTICA DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES CARLOS Mª GARCÍA MOLINA TLF 950 915903 -915943 LA CAÑADA DE SAN FERNANDO 04129 Almería (ESPAÑA)	FECHA DE ENVASADO :
	

Figura 2-14 Ejemplo de etiqueta de residuo peligroso. Elaboración propia.

2) Almacenamiento:

Los productores dispondrán de zonas seguras de almacenamiento para su gestión posterior que cumplan con la legislación y normas técnicas, bien en su propia instalación o en instalaciones de una entidad gestora de residuos peligrosos. En los buques de la Armada existen varios ejemplos de compartimentos que tienen que cumplir con estos requisitos como los pañoles de municiones o los pañoles de pinturas.

El tiempo de almacenamiento no podrá exceder los seis meses, a no ser que haya una autorización especial de las autoridades competentes para prorrogar este tiempo. Para conseguir un almacenamiento seguro y adecuado se deberán cumplir tres premisas: reducción del stock al mínimo, separación de los productos y aislamiento o confinamiento cuando se requiera.

3) Funciones y responsabilidades:

-*Oficial de Aprovisionamiento:* proporcionar datos sobre movimientos de materiales peligrosos, solicitar las fichas de datos de seguridad al suministrador de todo el material existente a bordo, almacenar los materiales peligrosos de forma correcta sin sobrepasar el nivel máximo de existencias fijado o el cargo del buque, efectuar la devolución del exceso de MP y de aquellos que se encuentren caducados.

-*Jefe de Servicio*: levantar un inventario de todos los materiales peligrosos de uso en su servicio, velar porque el almacenamiento de MP en uso, se haga de forma correcta, asegurarse de que todo el personal cuenta con equipos de protección individual (EPI) y conoce su uso, velar porque las cantidades de MP sean las necesarias para el uso, devolviendo a los pañoles de almacenamiento los excesos de material.

-*Toda la dotación*: devolver el MP que no se haya usado al pañol correspondiente a la hora de finalizar los trabajos diarios y almacenar los RP en los pañoles designados al efecto, conocer las instrucciones de manejo y los equipos EPI a usar antes de manipular MP o RP, poner en conocimiento cualquier anomalía que se advierta en el manejo, almacenamiento o etiquetaje de estos materiales.

2.5.2 Tratamiento de residuos en tierra

Uno de los factores más importantes a la hora de gestionar los residuos a bordo de un barco es llevar a cabo una eficaz separación de los mismos, así como la clasificación de aquellos que no van a ser tratados a bordo, con el fin de tener claro en todo momento qué acciones emprender una vez el buque llega a puerto.

En el caso de los buques de la Armada, cada jefe de destino a bordo es responsable de que se gestionen adecuadamente los residuos propios de su actividad. No obstante, la separación correcta de los residuos individuales que se generan es cosa de cada miembro de la dotación. Llevando a cabo esta separación individual de forma correcta se producen grandes beneficios desde el punto de vista ambiental, además, se disminuye la acumulación de basuras a bordo, evitando los malos olores e incomodidades causadas por la acumulación de residuos.

Una vez realizada la correcta separación de los residuos a bordo, la tarea de la descarga de los residuos almacenados durante la navegación en sus respectivos contenedores se simplifica considerablemente.

En todos los Arsenales Militares y Unidades en tierra dependientes de la Armada se llevan a cabo contrataciones con empresas externas, encargadas de llevar a cabo la recogida de residuos de los contenedores y puntos limpios existentes en dichas unidades. Esta recogida se lleva a cabo según lo estipulado en el contrato entre la empresa y las dependencias del Arsenal. En dicho contrato quedan marcados los horarios de recogida de basuras, los puntos limpios y contenedores a tratar, el destino de los residuos recogidos, etc.

A continuación, se describe como ejemplo el proceso de recogida de residuos llevado a cabo en el Arsenal Militar de Cartagena [29]:

2.5.2.1 Servicio de recogida y tratamiento de residuos no peligrosos del Arsenal de Cartagena y sus unidades dependientes

La recogida de residuos se efectúa diariamente de lunes a sábados, excepto festivos, en horario a convenir, a partir de las 06:00 horas, desde los contenedores de las distintas unidades hasta los centros de tratamiento o vertederos autorizados que considere la empresa adjudicataria, para su valorización o eliminación. Cuando la necesidad así lo requiere, la empresa adjudicataria refuerza temporalmente los puntos de recogida, o bien realiza una nueva recogida si los contenedores quedan llenos antes de la siguiente recogida diaria. Este refuerzo se solicita principalmente para dar servicio a los buques que regresan de navegar con una cantidad de basura que excede la capacidad de los contenedores presentes en el muelle.

Existen áreas de aportación para la recogida selectiva de envases de papel/cartón, envases de plástico y metal y envases de vidrio. La frecuencia del vaciado de estos contenedores depende de su llenado, se estima en una vez a la semana para las fracciones papel y metal/plástico, y una vez cada dos meses para la fracción de vidrio.

El servicio de recogida de otros residuos domésticos tales como ropa, muebles y enseres, residuos y escombros de obras menores de construcción y reparación, residuos industriales no peligrosos derivados de la actividad naval y biorresiduos, se efectúa con la periodicidad necesaria, estimándose de una vez cada quince días para el punto limpio del Arsenal, en día laborable y en horario de mañana. Cabe destacar también que existen tres puntos limpios en el Arsenal de Cartagena.

La empresa adjudicataria designa un representante para coordinar y mantener una relación directa en todas las acciones del personal que preste el servicio y el propio jefe de la Sección de Protección Medioambiental y Eficiencia Energética del Arsenal de Cartagena.

En la Figura 2-15 se muestra una foto tomada en el año 2012 del Arsenal Militar de Cartagena.



Figura 2-15 Arsenal Militar de Cartagena en el año 2012 [30].

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Tratamiento y gestión actual de residuos sólidos en buques de la Armada

El propósito del presente capítulo consiste en realizar un análisis detallado de la tipología de residuos sólidos generados en los distintos buques de la Armada Española, así como una cuantificación de los mismos, evaluando a su vez los diferentes sistemas de tratamiento y/o gestión que están siendo abordados en la actualidad y justificando la ausencia de dichos tratamientos en ciertos buques.

Para llevar a cabo el estudio descrito en los apartados de este capítulo se han llevado a cabo los siguientes procesos mostrados en la Figura 3-1 y descritos a continuación:



Figura 3-1 Esquema del proceso llevado a cabo para la cuantificación de residuos. Elaboración propia.

- Selección de las clases de buques a estudiar. Se han escogido, dentro del conjunto de buques de la Armada, distintas clases de buques para poder, de esta manera, apreciar las diferencias que se producen en cuanto a la generación de residuos según parámetros como las dimensiones o la misión principal del buque, entre otros.

- b) Una vez seleccionadas las clases a estudiar, se ha contactado con uno o varios buques de cada una de las clases para llevar a cabo la cuantificación de los residuos sólidos producidos a bordo.
- c) Elaboración de un breve informe para cada buque contactado, con información relevante para nuestro estudio: tipo de buque, número de personas que componen la dotación, días de navegación anuales, tipología y cantidades de residuos generados y tratamientos llevados a cabo.
- d) Recopilación de la información mencionada anteriormente en una tabla resumen que refleja, de manera más gráfica, las diferencias en cuanto a generación de residuos que se producen en los buques dependiendo de factores como el número de personas que componen su dotación o cuál sea la misión principal de estos.
- e) Además, se han visitado algunos de estos buques para el estudio de los sistemas de tratamiento que llevan a cabo actualmente.

Debido al elevado número de buques existentes en la Armada y para una mayor comprensión del presente apartado, a continuación se presenta la Figura 3-2 donde se ilustra la clasificación oficial de los buques de la Armada que se encuentran en servicio activo en la actualidad.

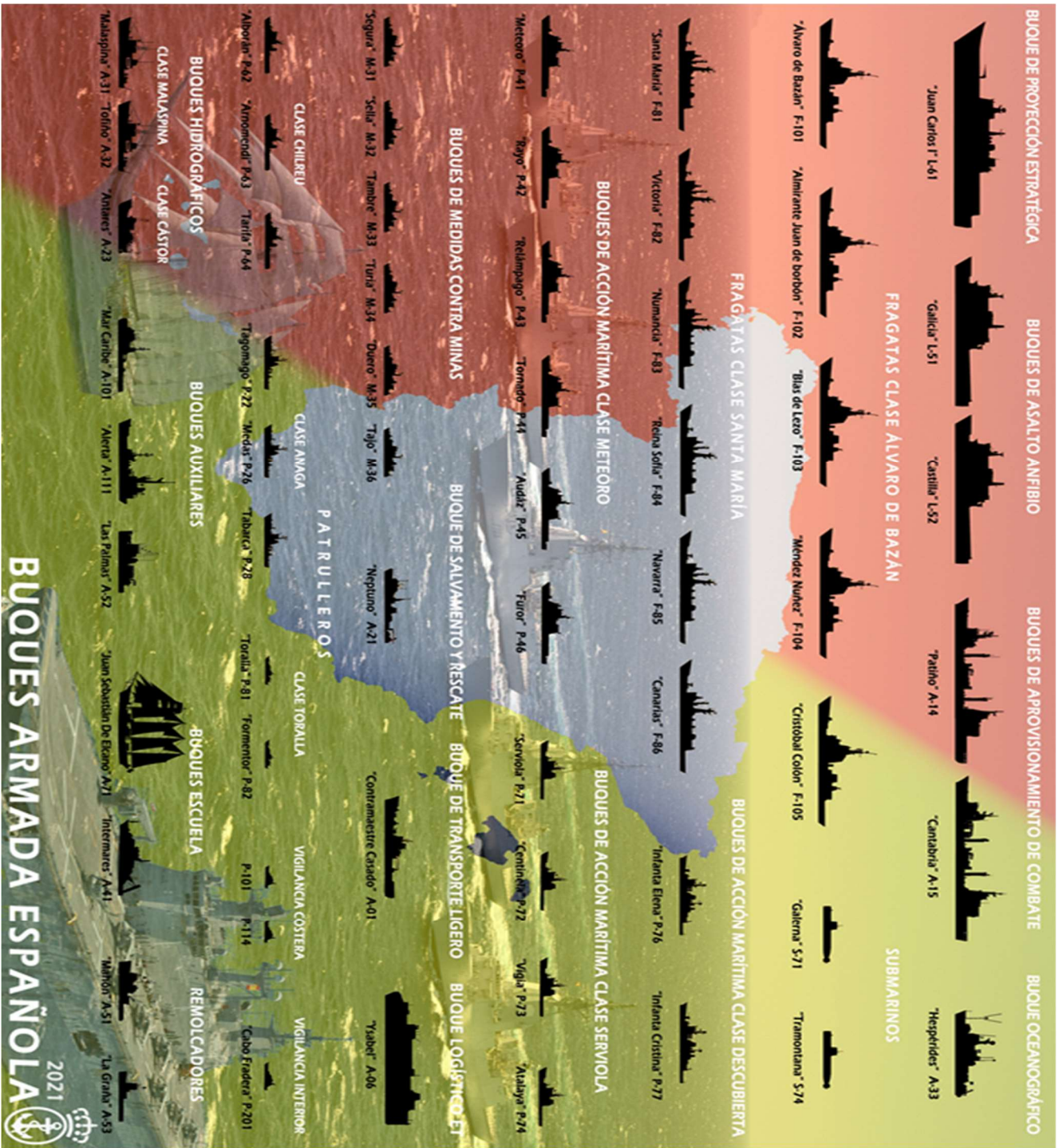


Figura 3-2 Lamina de la flota buques de la Armada en activo.

3.1.1 Identificación y cuantificación de residuos sólidos

En este apartado se pretende realizar un estudio de los tipos y cantidades de residuos sólidos que generan los buques de la Armada durante una singladura completa (24 horas de navegación).

La elección de 24 horas como periodo de tiempo para la cuantificación de los residuos está justificada en una serie de factores que se exponen a continuación:

1. Por lo general, el grueso de la actividad de los buques de la Armada consiste en navegaciones de adiestramiento individual en las que el barco sale de su base de estacionamiento y entra en esta en el mismo día.
2. Cuantificar residuos día a día resulta más sencillo y preciso que hacerlo semanal o mensualmente. De este modo, este estudio puede servir para establecer un posterior cálculo, estimado para cada buque, de la cantidad de residuos generados durante un despliegue de más de un día.
3. Teniendo en cuenta que las salidas a navegar a las que llamamos “de un día” suelen tener duraciones de entre 6, 8 y 12 horas en las que siempre se realiza, al menos, una comida a bordo y que, salvo excepciones que explicaremos más adelante, la inmensa mayoría de los residuos sólidos generados por buques militares están constituidos por basura doméstica orgánica procedente de las comidas, 24 horas parece la cifra más razonable para cuantificar estos residuos.

Para llevar a cabo el análisis cuantitativo de las diferentes tipologías de residuos generados, se ha escogido un buque de cada una de las clases más representativas existentes en la Armada Española, las cuales aparecen representadas en la Tabla 3-1. En dicha tabla se presentan además datos como la dotación real o estimada para cada uno de los navíos, así como la frecuencia de navegación.

	Tipo de barco	Dotación	Frecuencia navegación
Juan Carlos I	LHD	300, capacidad hasta 1000	Media de 5 salidas/mes + 1/2 semanas cada 2 meses
Galicia	BAA	200	Media de 5 salidas/mes + 1/2 semanas cada 2 meses
Patiño	BAC	150	Media de 10 días al mes
Álvaro de Bazán	F-100	180	150 días al año en total
Segura	MCM	42	Despliegues 2/3 meses + 5 salidas mensuales
Santa María	F-80	220	Despliegues de 2 meses y/o 2 semanas al mes
Anaga	Patrullero	30	Media de 10 días al mes
Alborán	Colaboración pesquera	32	Despliegues 1/2 meses + 10 días al mes
Meteoro	BAM	53	Media de 15 días al mes + posibles despliegues
Mahón	Auxiliar	32	Media de una semana al mes
Hespérides	BIO	55 dotación + 37 científicos	2 despliegues de 5 meses anuales + 1 mes de campaña
Juan Sebastián Elcano	Buque Escuela	230	1 crucero de 6 meses al año

Tabla 3-1 Tabla resumen de los residuos sólidos generados en buques de la Armada. Elaboración propia

3.1.1.1 LHD “Juan Carlos I” (L-61)

○ Descripción:

Este buque anfibio portaaviones es un buque multipropósito y el mayor buque de guerra construido en España. Entregado a la Armada en el año 2010, su denominación OTAN es LHD (Landing Helicopter Dock) y toma su nombre de S.M. El Rey Don Juan Carlos I. El buque constituye una herramienta de la Armada para garantizar la capacidad de respuesta e influencia global a disposición del poder político, en apoyo a la creciente proyección internacional de España en escenarios muy variados. Su estacionamiento es la Base Naval de Rota (Cádiz).

El buque cuenta con una dotación base de 295 efectivos, aunque esta puede aumentar hasta a 1000 efectivos en función de la misión que se lleve a cabo en cada escenario. El Juan Carlos I, ilustrado en la Figura 3-3b, se ha diseñado para los siguientes perfiles de misión:

- Capacidad de transporte de tropas para realizar un desembarco, apoyando operaciones en tierra y capacidad de transporte de fuerzas de cualquier ejército.
- Capacidad de plataforma eventual para aviación embarcada.
- Operaciones no bélicas: apoyo humanitario, evacuación de personal de zonas de críticas, buque-hospital en zonas afectadas por catástrofes, etc. [31].



(a)



(b)

Figura 3-3 LHD Juan Carlos I: (a) escudo del buque, (b) plataforma [31].

El Juan Carlos I es el buque insignia de la Armada Española, sin embargo, por motivos de diferente índole, como el elevado coste económico y logístico derivados de su gran envergadura, es uno de los buques que menos sale a navegar, reservando así su total operatividad para misiones con una importancia de primer grado.

Además, como se ha mencionado anteriormente, el número de personas a bordo de este buque varía en cada navegación en función del tipo de misión encomendada. Todos estos factores complican la tarea de realizar un estudio preciso de cuantificación de los residuos producidos con cantidades exactas.

Se ha realizado un cálculo promedio, plasmado en la Tabla 3-2, en el cual este portaaviones anfibio, con su dotación oficial de 300 personas, realiza navegaciones de 10 días cada dos meses, más 5 salidas de un día cada mes. En base a estos datos, obtenemos que se produce una cantidad media de 550 kg diarios de residuos sólidos tanto orgánicos como inorgánicos.

Como se puede extraer de la tabla, los residuos más abundantes son los residuos orgánicos, en su gran mayoría derivados de restos de comidas, seguidos de papel/cartón y plásticos generados durante el trabajo diario a bordo.

○ **Identificación residuos sólidos generados por día de navegación:**

Residuos tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Papel	papeleras con folios, cartón, briks y envases de cocina	64
Plásticos	envoltorios, recipientes, embalajes	16
Otros	metales blandos, aerosoles, pilas y baterías	Despreciable para 24 horas
TOTAL		80
Residuos no tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Orgánicos	restos de comidas, domésticos, servilletas con restos	470
Inertes	restos de obras, maderas, chatarras, mobiliario	Despreciable para 24 horas
Biológicos	fundamentalmente material sanitario	Despreciable para 24 horas
TOTAL		470

Tabla 3-2 Cuantificación de residuos sólidos del LHD Juan Carlos I en kg/día. Elaboración propia.

En la Figura 3-4 se puede observar una representación gráfica de las cantidades representadas en la tabla anterior, las cuales son expresadas en porcentajes. Se refleja una gran superioridad de residuos orgánicos frente a inorgánicos, así como una mayor cantidad de papel y material derivado de trabajos burocráticos frente al volumen de plástico generado, cuya fuente principal son los envases de comida.

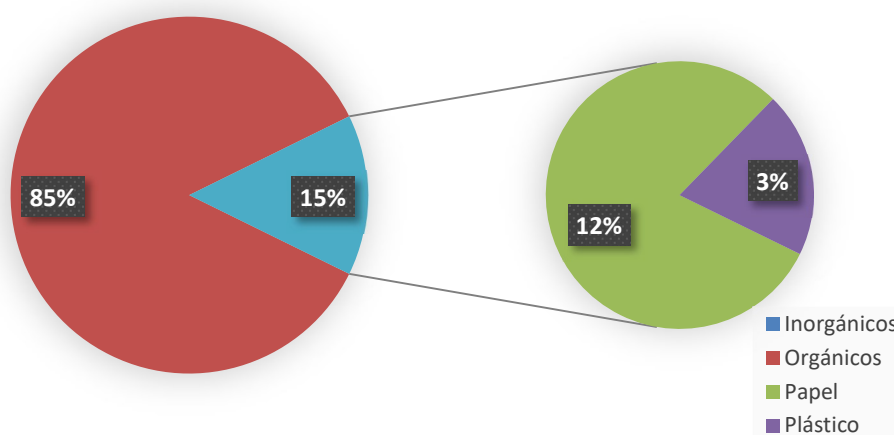


Figura 3-4 Cuantificación de residuos sólidos del LHD Juan Carlos I en kg/día. Elaboración propia.

○ **Tratamiento/gestión realizada a bordo:**

A bordo de este buque se tratan, fundamentalmente, los residuos inorgánicos: plásticos, metales blandos, aerosoles, pilas y baterías, grasas y aceites contaminados. El Juan Carlos I cuenta con una planta incineradora y una compactadora (procesos que explicaremos más adelante), por lo que el tratamiento de residuos se basa en incinerar el papel y el cartón, y en la trituración y compactación de plásticos y demás inorgánicos.

Por su parte, los residuos orgánicos se separan del resto y, en navegaciones de larga duración, se arrojan al mar cumpliendo con la normativa MARPOL.

3.1.1.2 BAA clase "Galicia" (L-51)

○ **Descripción:**

Los BAA (Buque de Asalto Anfibio) han sido diseñados para transportar tropas y vehículos y para operar con embarcaciones anfibias en su dique y con helicópteros en su cubierta de vuelo. Entregados a la Armada a finales de los 90, la misión principal de estos buques es llevar a cabo operaciones anfibias. Sus misiones incluyen también operaciones de mantenimiento de la paz y de ayuda humanitaria, mediante apoyo médico y quirúrgico, en catástrofes naturales, ya que cuenta con un hospital de grandes prestaciones a bordo. Su estacionamiento es en la Base Naval de Rota (Cádiz). Estos buques, mostrado en la Figura 3-5b, cuentan con una dotación base de 185, variable al igual que en muchos buques multipropósito de la Armada, con una capacidad máxima de hasta 615 tripulantes [32].



(a)



(b)

Figura 3-5 BAA Galicia: (a) escudo del buque, (b) plataforma [32].

Saliendo a navegar dos semanas cada tres meses y realizando despliegues anuales de un mes, con su dotación de 185 efectivos se ha estimado que este buque genera unos 350 kg de residuos sólidos por día de navegación. La cuantificación de estos residuos se plasma en la Tabla 3-3:

○ **Identificación residuos sólidos generados por día de navegación:**

Residuos tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Papel	papeleras con folios, cartón, briks y envases de cocina	35
Plásticos	envoltorios, recipientes, embalajes	15
Otros	metales blandos, aerosoles, pilas y baterías	Despreciable para 24 horas
TOTAL		50
Residuos no tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Orgánicos	restos de comidas, domésticos, servilletas con restos	300
Inertes	restos de obras, maderas, chatarras, mobiliario	Despreciable para 24 horas
Biológicos	fundamentalmente material sanitario	Despreciable para 24 horas
TOTAL		300

Tabla 3-3 Cuantificación de residuos sólidos del BAA Galicia en kg/día. Elaboración propia.

La Figura 3-6 refleja un resultado bastante parecido al obtenido en el caso del buque anterior, lo cual se debe a las características similares que presentan estos dos buques en factores como el número de personas que componen sus dotaciones o sus misiones principales.

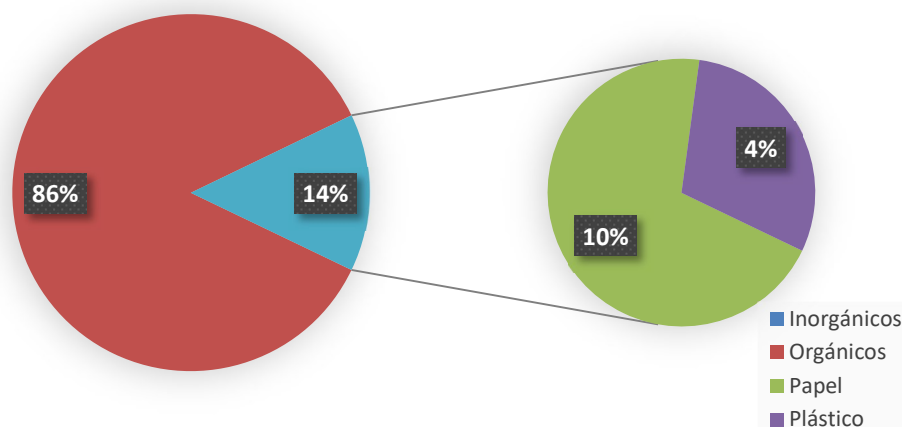


Figura 3-6 Cuantificación de residuos sólidos del BAA Galicia en kg/día. Elaboración propia.

○ **Tratamiento/gestión realizada a bordo:**

En estos buques se tratan los residuos inorgánicos mediante trituración y compactación, no cuentan con planta incineradora, y los residuos orgánicos son separados y arrojados al mar cumpliendo la normativa MARPOL.

3.1.1.3 Fragatas clase “Álvaro de Bazán” (F-100)

○ **Descripción:**

Encuadradas en la 31ª Escuadrilla de Escoltas y recibiendo el nombre de ilustres marinos de la historia de la Armada Española, las fragatas clase “Álvaro de Bazán”, ilustradas en la Figura 3-7, están consideradas como uno de los barcos antiaéreos más capaces y avanzados del mundo, preparados para operar como escoltas en los escenarios más demandantes. Fueron entregadas a la Armada en la primera década del siglo XXI y su base de estacionamiento se encuentra en el Arsenal Militar de Ferrol. Su dotación se compone de 201 personas que puede variar hasta una capacidad total de 236 [33].



(a)



(b)

Figura 3-7 Fragatas F-100: (a) escudo del buque, (b) plataforma [33].

Navegando un total de 150 días al año, con su dotación de 200 personas integrada, las F-100 generan 300 kg de residuos sólidos al día. La cuantificación de los residuos sólidos se refleja en la Tabla 3-4:

○ **Identificación residuos sólidos generados por día de navegación:**

Residuos tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Papel	papeleras con folios, cartón, briks y envases de cocina	24
Plásticos	envoltorios, recipientes, embalajes	16
Otros	metales blandos, aerosoles, pilas y baterías	Despreciable para 24 horas
TOTAL		40
Residuos no tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Orgánicos	restos de comidas, domésticos, servilletas con restos	260
Inertes	restos de obras, maderas, chatarras, mobiliario	Despreciable para 24 horas
Biológicos	fundamentalmente material sanitario	Despreciable para 24 horas
TOTAL		260

Tabla 3-4 Cuantificación de residuos sólidos de las fragatas F-100 en kg/día. Elaboración propia.

Debido a la numerosa dotación de las fragatas, la Figura 3-8 refleja resultados muy similares a los dos buques anteriores, con una gran generación de residuos orgánicos derivados de los restos de comida:

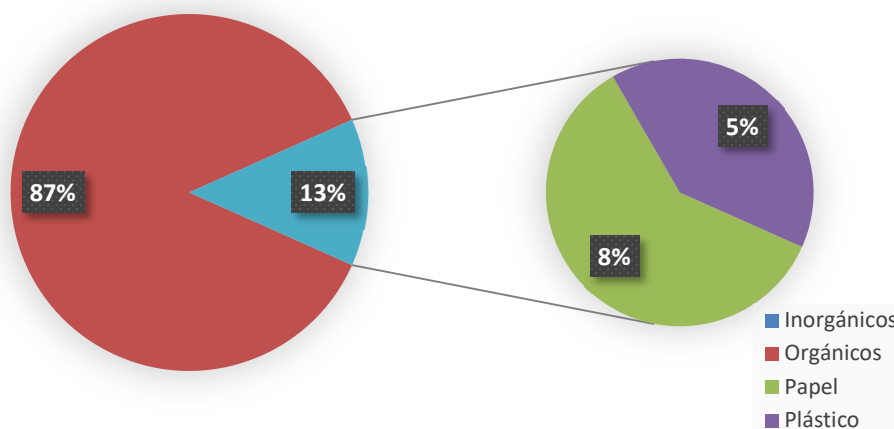


Figura 3-8 Cuantificación de residuos sólidos de las fragatas F-100 en kg/día. Elaboración propia.

○ **Tratamiento/gestión realizada a bordo:**

Al igual que en los anteriores casos, estos buques sólo tratan los residuos inorgánicos mediante trituración y compactación. Cuentan con planta incineradora, pero está en completo desuso, y, en algunos buques de esta clase, averiada o fuera de servicio. Los residuos orgánicos son separados y arrojados al mar según normativa MARPOL.

3.1.1.4 Fragatas clase “Santa María” (F-80)

○ **Descripción:**

Conforman la 41ª Escuadrilla de Escoltas y fueron resultado del proyecto de remodelar la Armada a finales de los 70. Con vistas a la integración en la OTAN, se llevó a cabo su construcción como escolta antisubmarino con gran capacidad antiaérea y optando por el diseño FFG americano. Fueron entregadas a la Armada en la década de los 80 y su base de estacionamiento se encuentra en la Base Naval de Rota. Con capacidad de habitabilidad para 226, las dotaciones de estas fragatas oscilan ligeramente en torno a

200 personas dependiendo de la misión a realizar [34]. Este tipo de fragatas se muestran en la Figura 3-9:



(a)



(b)

Figura 3-9 Fragatas F-80: (a) escudo del buque, (b) plataforma [34].

Se obtienen en estos buques datos similares a los obtenidos en las fragatas F-100 por el parecido entre sus datos de dotación, envergadura y misión de escolta. Navegando 1 semana al mes y realizando despliegues de 2 meses anuales, dependiendo del ciclo, generan 320 kg de residuos diarios. La cuantificación de residuos sólidos se refleja en la Tabla 3-5:

○ **Identificación de residuos sólidos generados por día de navegación:**

Residuos tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Papel	papeleras con folios, cartón, briks y envases de cocina	25
Plásticos	envoltorios, recipientes, embalajes	5
Otros	metales blandos, aerosoles, pilas y baterías	Despreciable para 24 horas
TOTAL		30
Residuos no tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Orgánicos	restos de comidas, domésticos, servilletas con restos	290
Inertes	restos de obras, maderas, chatarras, mobiliario	Despreciable para 24 horas
Biológicos	fundamentalmente material sanitario	Despreciable para 24 horas
TOTAL		290

Tabla 3-5 Cuantificación de residuos sólidos de las fragatas F-80 en kg/día. Elaboración propia.

En la Figura 3-10 se puede apreciar, como en los casos anteriores, la gran cantidad de residuos orgánicos generados, además de un incremento en la generación de residuos derivados del papel frente a los de plástico.

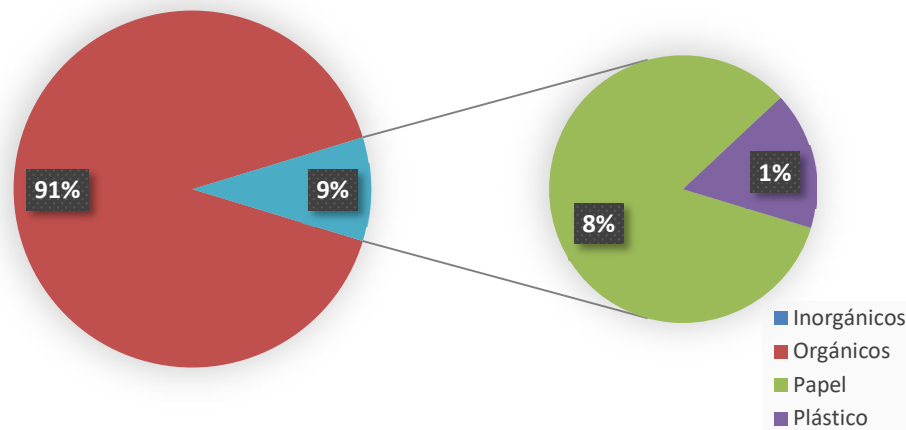


Figura 3-10 Cuantificación de residuos sólidos de las fragatas F-80 en kg/día. Elaboración propia.

○ **Tratamiento/gestión realizada a bordo:**

Al igual que en los anteriores casos, estos buques sólo tratan los residuos inorgánicos mediante trituración y compactación. Cuentan con planta incineradora, pero está en completo desuso, y, en algunos buques de esta clase, averiada o fuera de servicio. Los residuos orgánicos son separados y arrojados al mar según normativa MARPOL.

3.1.1.5 BAC clase “Patiño” (A-14)

○ **Descripción:**

Los Buques de Aprovisionamiento en Combate (BAC), ilustrados en la Figura 3-11b, constituyen el plantel de buques logísticos de la Flota. Por estar capacitado para el aprovisionamiento y la función de hospital en la mar, su función primordial es la de proporcionar combustible, agua, munición, víveres, repuestos, pertrechos, vestuario, farmacia y asistencia sanitaria a las unidades de combate en la mar. Entregados a la Armada a mitades de los 90 cuentan con una dotación de unos 154 efectivos, su base de estacionamiento se encuentra en el Arsenal Militar de Ferrol [35].



(a)



(b)

Figura 3-11 BAC Cantabria: (a) escudo del buque, (b) plataforma [35].

Estos buques de aprovisionamiento navegan una media de 10 días al mes, generando, con 150 efectivos de dotación, 240 kg de residuos al día. La cuantificación de los residuos sólidos se refleja en la Tabla 3-6:

○ **Identificación de residuos sólidos generados por día de navegación:**

Residuos tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Papel	papeleras con folios, cartón, briks y envases de cocina	35
Plásticos	envoltorios, recipientes, embalajes	10
Otros	metales blandos, aerosoles, pilas y baterías	Despreciable para 24 horas
TOTAL		45
Residuos no tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Orgánicos	restos de comidas, domésticos, servilletas con restos	195
Inertes	restos de obras, maderas, chatarras, mobiliario	Despreciable para 24 horas
Biológicos	fundamentalmente material sanitario	Despreciable para 24 horas
TOTAL		195

Tabla 3-6 Cuantificación de residuos sólidos del BAC Cantabria en kg/día. Elaboración propia.

La Figura 3-12 vuelve a poner de manifiesto la gran cantidad de residuos orgánicos generados en buques con grandes dotaciones.

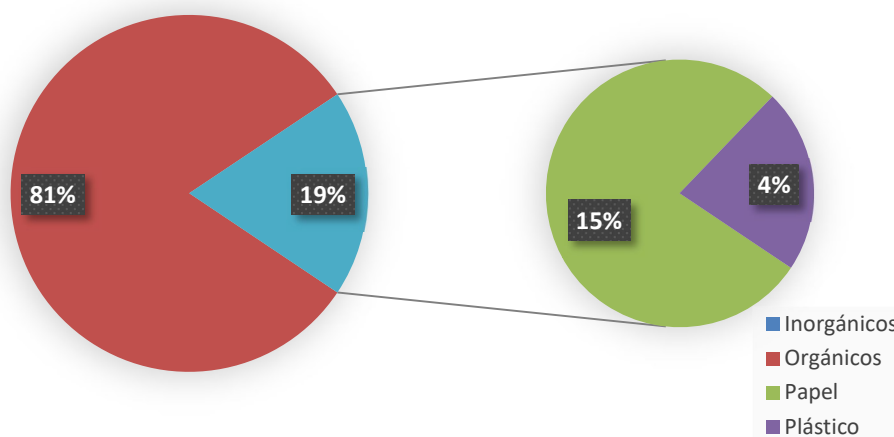


Figura 3-12 Cuantificación de residuos sólidos del BAC Cantabria en kg/día. Elaboración propia.

○ **Tratamiento/gestión realizada a bordo:**

Tratamiento de residuos inorgánicos mediante trituración, compactación e incineración y separación y arrojo al mar de los orgánicos cumpliendo normativa MARPOL.

3.1.1.6 Cazaminas clase “Segura” (M-31)

○ **Descripción:**

Encuadrados en la 1ª Escuadrilla de Medidas Contra Minas, los cazaminas clase “Segura” tienen como cometido principal la detección, localización, identificación y neutralización de minas de fondo y orinque, así como el levantamiento, rastreo y conocimiento de los fondos marinos. Fueron entregados a la Armada a finales de los 90 y su son barcos de menores dimensiones que los anteriormente citados, contando con dotaciones compuestas de alrededor de 35 personas. Su base de estacionamiento se encuentra en el Arsenal Militar de Cartagena [36]. Estos buques se muestran en la Figura 3-13b:



(a)



(b)

Figura 3-13 Cazaminas Duero: (a) escudo del buque, (b) plataforma [36].

Comenzamos, con los cazaminas, el estudio de buques de menores dimensiones. Estos buques navegan una media de 5 días, en salidas de un día, al mes y, dependiendo del ciclo, realizan despliegues de dos meses al año. Navegando con su dotación de 35 personas, generan unos 75 kg de residuos diarios. La cuantificación de los residuos sólidos se refleja en la Tabla 3-7:

○ **Identificación de residuos sólidos generados por día de navegación:**

Residuos tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Papel	papeleras con folios, cartón, briks y envases de cocina	10
Plásticos	envoltorios, recipientes, embalajes	5
Otros	metales blandos, aerosoles, pilas y baterías	Despreciable para 24 horas
TOTAL		15
Residuos no tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Orgánicos	restos de comidas, domésticos, servilletas con restos	60
Inertes	restos de obras, maderas, chatarras, mobiliario	Despreciable para 24 horas
Biológicos	fundamentalmente material sanitario	Despreciable para 24 horas
TOTAL		60

Tabla 3-7 Cuantificación de residuos sólidos en el Cazaminas Duero en kg/día. Elaboración propia

La Figura 3-14 refleja un resultado similar al de los buques anteriores a pesar de ser un buque con un número de dotación mucho más reducido, algo que contrasta con la línea del estudio de cuantificación realizado en el que se ha apreciado, en la gran mayoría de los casos, que los buques grandes generan mayor cantidad de residuos orgánicos procedentes de restos de comidas.

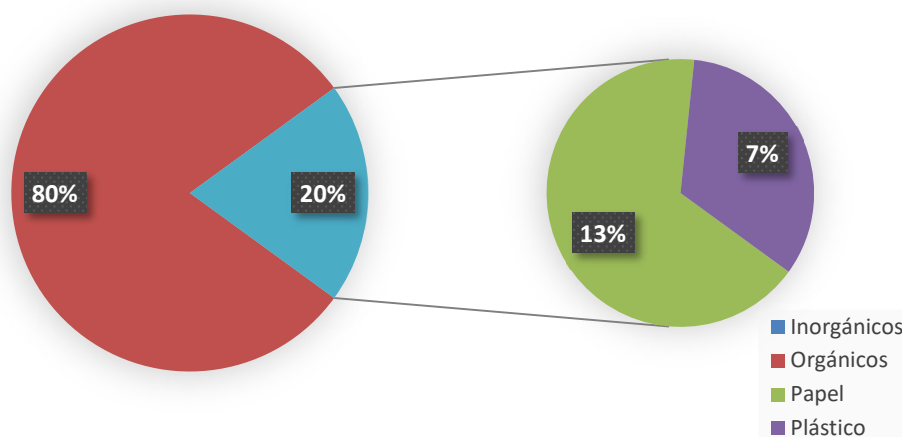


Figura 3-14 Cuantificación de residuos sólidos en el Cazaminas Duero en kg/día. Elaboración propia

○ **Tratamiento/gestión realizada a bordo:**

Estos buques, de menor envergadura que los anteriores, no cuentan con dispositivos de tratamiento de residuos sólidos. Se lleva a cabo la separación los residuos orgánicos para arrojarlos al mar cumpliendo con la normativa MARPOL y se almacenan los inorgánicos en contenedores, según su clasificación, para su posterior evacuación en puerto por una empresa externa.

3.1.1.7 Patrulleros clase “Anaga” (P-21)

○ **Descripción:**

Serie de diez patrulleros diseñados especialmente para el servicio de vigilancia de costas, pesca y salvamento en caso de naufragio o accidentes en la mar. Entregados a la Armada a principios de los 80, su dotación oscila en torno a las 30 personas. Actualmente hay tres patrulleros de esta clase en activo, cuyas bases de estacionamiento se encuentran en Málaga, Cádiz y Marín [37]. En la Figura 3-15b se muestra cómo son estos patrulleros:



(a)



(b)

Figura 3-15 Patrullero Tabarca: (a) escudo del buque, (b) plataforma [37].

Con una dotación de 30 personas, estos antiguos patrulleros costeros realizan una media de 10 salidas de un día al mes, o bien 5 salidas de un día y 5 días seguidos mensualmente, generando unos 50 kg de residuos al día. La cuantificación de residuos sólidos se refleja en la Tabla 3-8:

○ **Identificación de residuos sólidos generados por día de navegación:**

Residuos tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Papel	papeleras con folios, cartón, briks y envases de cocina	14
Plásticos	envoltorios, recipientes, embalajes	6
Otros	metales blandos, aerosoles, pilas y baterías	Despreciable para 24 horas
TOTAL		20
Residuos no tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Orgánicos	restos de comidas, domésticos, servilletas con restos	30
Inertes	restos de obras, maderas, chatarras, mobiliario	Despreciable para 24 horas
Biológicos	fundamentalmente material sanitario	Despreciable para 24 horas
TOTAL		30

Tabla 3-8 Cuantificación de residuos sólidos en el Patrullero Tabarca en kg/día. Elaboración propia.

En la Figura 3-16 se puede apreciar la equiparación gradual entre residuos orgánicos e inorgánicos, mencionada en el apartado anterior, que se produce en los buques de menor tamaño.

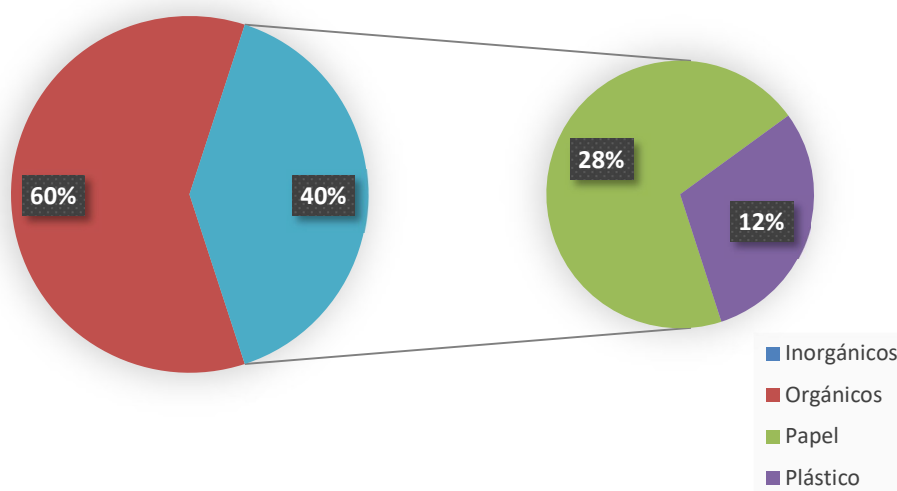


Figura 3-16 Cuantificación de residuos sólidos en el Patrullero Tabarca en kg/día. Elaboración propia.

○ **Tratamiento/gestión realizada a bordo:**

Estos buques, de menor envergadura que los anteriores, no cuentan con dispositivos de tratamiento de residuos sólidos. Se lleva a cabo la separación los residuos orgánicos para arrojarlos al mar cumpliendo con la normativa MARPOL y se almacenan los inorgánicos en contenedores, según su clasificación, para su posterior evacuación en puerto por una empresa externa.

3.1.1.8 Patrulleros de Cooperación Pesquera clase “Chilreu” (P-61)

○ **Descripción:**

Pertenecientes a la clase de buques SEGEPESCA, estos buques de la Armada, ilustrados en la Figura 3-17b, son Patrulleros de Altura que tienen como misión principal la vigilancia e inspección pesquera.

Entregados a la Armada a finales de los 90, cuentan con una dotación de unas 35 personas, aunque estos barcos tienen capacidad para unas 20 personas más, al tener que embarcar a menudo efectivos del sector pesquero. Actualmente hay tres de ellos en activo, cuyas bases de estacionamiento están los arsenales Militares de Ferrol y Cartagena [38].



(a)



(b)

Figura 3-17 Patrullero Arnomendi: (a) escudo del buque, (b) plataforma [38].

Este tipo de patrulleros tiene una dotación de unas 35 personas. Realizan despliegues de entre 30 y 60 días de duración cada año y unas 10 salidas de un día al mes. En este tipo de barcos se incrementan los residuos orgánicos e inorgánicos cuando se realizan labores de vigilancia pesquera, generando una media de 60 kg diarios. La cuantificación de residuos sólidos se refleja en la Tabla 3-9 :

○ **Identificación de residuos sólidos generados por día de navegación:**

Residuos tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Papel	papeleras con folios, cartón, briks y envases de cocina	10
Plásticos	envoltorios, recipientes, embalajes	5
Otros	metales blandos, aerosoles, pilas y baterías	Despreciable para 24 horas
TOTAL		15
Residuos no tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Orgánicos	restos de comidas, domésticos, servilletas con restos	45
Inertes	restos de obras, maderas, chatarras, mobiliario	Despreciable para 24 horas
Biológicos	fundamentalmente material sanitario	Despreciable para 24 horas
TOTAL		45

Tabla 3-9 Cuantificación de residuos sólidos en el Patrullero Arnomendi en kg/día. Elaboración propia.

En la Figura 3-18 se representan los datos de cuantificación del Patrullero Arnomendi, en los que se destaca el incremento del porcentaje de plástico, dentro de los residuos inorgánicos, debido a las labores de vigilancia pesquera que se llevan a cabo a bordo de este buque.

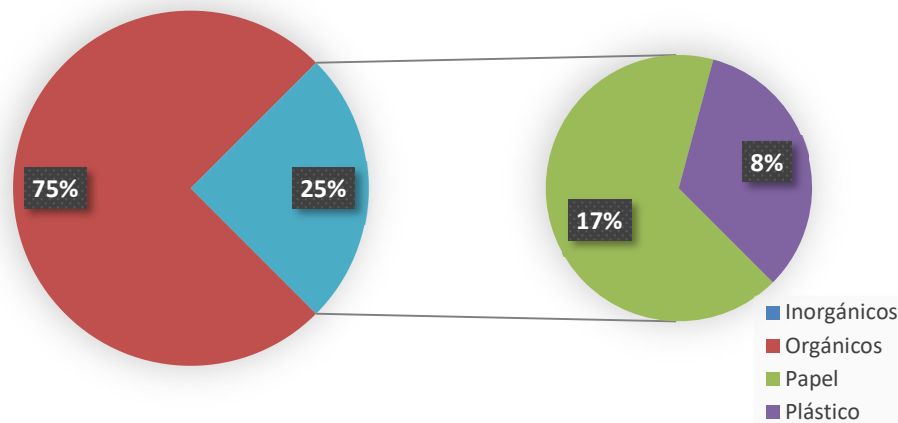


Figura 3-18 Cuantificación de residuos sólidos en el Patrullero Arnomendi en kg/día. Elaboración propia.

○ **Tratamiento/gestión realizada a bordo:**

Esta clase de buques trata los residuos inorgánicos mediante compactado, además están en vías de llevar a cabo una remodelación en la que tienen prevista la incorporación de una planta incineradora. Realizan la separación de orgánicos, y generalmente los almacenan para su posterior evacuación en puerto ya que, debido a su función de vigilancia pesquera, les resulta complicado ir hasta las 12 millas náuticas que marca el convenio MARPOL para arrojar los desechos orgánicos al mar.

3.1.1.9 BAM clase “Meteoro” (P-41)

○ **Descripción:**

El proyecto BAM (Buque de Acción Marítima) comenzó en el año 2004, fruto de la necesidad de la Armada de renovar sus patrulleros con unidades modernas y polivalentes. Dotados de una tecnología avanzada dotada de numerosos automatismos que permiten a estos barcos contar con una dotación reducida y cumplir con los más altos estándares anticontaminación, la función principal de estos patrulleros oceánicos es la de vigilancia costera y patrulla marítima. Fueron entregados a la Armada durante la década de 2010 a 2020 y cuentan con una dotación de 52 personas con capacidad máxima para 88. Forman parte de una serie de 6 unidades que se reparten su base de estacionamiento entre los Arsenales Militares de Las Palmas y Cartagena [39]. Este tipo de buques se muestran en la Figura 3-19b:



(a)



(b)

Figura 3-19 BAM Rayo: (a) escudo del buque, (b) plataforma [39].

Los buques de acción marítima llevan a cabo navegaciones de conocimiento del entorno marítimo por unos 15 días mensuales durante todo el año, además de unas 3 salidas al mes de un día para adiestramiento individual. Su dotación reducida es de 52 personas y suelen generar unos 100 kg al día de residuos. La cuantificación de residuos se refleja en la Tabla 3-10:

○ **Identificación de residuos sólidos generados por día de navegación:**

Residuos tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Papel	papeleras con folios, cartón, briks y envases de cocina	17
Plásticos	envoltorios, recipientes, embalajes	8
Otros	metales blandos, aerosoles, pilas y baterías	Despreciable para 24 horas
TOTAL		25
Residuos no tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Orgánicos	restos de comidas, domésticos, servilletas con restos	75
Inertes	restos de obras, maderas, chatarras, mobiliario	Despreciable para 24 horas
Biológicos	fundamentalmente material sanitario	Despreciable para 24 horas
TOTAL		75

Tabla 3-10 Cuantificación de residuos sólidos en el BAM Rayo en kg/día. Elaboración propia.

La Figura 3-20 refleja los resultados de la cuantificación de residuos en el BAM Rayo, que siguen la línea del resto de buques con un mayor porcentaje para los orgánicos, aunque inferior al ser un buque de dotación reducida.

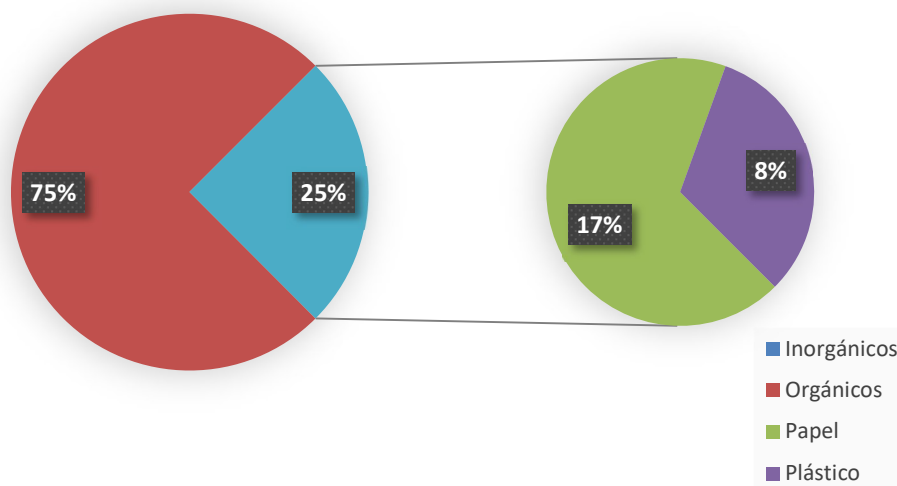


Figura 3-20 Cuantificación de residuos sólidos en el BAM Rayo en kg/día. Elaboración propia.

○ **Tratamiento/gestión realizada a bordo:**

Tratamiento de residuos inorgánicos mediante trituración, compactación e incineración y separación y arrojado al mar de los orgánicos cumpliendo normativa MARPOL.

3.1.1.10 Buque Auxiliar “Remolcador Mahón” (A-51)

- **Descripción:**

La principal misión de este buque es estar preparado para proporcionar remolque a los buques de la Armada y aquellos civiles que se designen según colaboración de la Armada y el Ministerio de Fomento dentro del plan Nacional de Salvamento. Cuentan con una dotación de 30 personas y su base de estacionamiento está en el Arsenal Militar de Ferrol. Fue adquirido por la Armada en 1981 como remolcador de altura, se le instalaron armamento ligero, equipos de comunicaciones y capacidad contraincendios [40]. En la Figura 3-21b se muestra una imagen de este buque:



(a)



(b)

Figura 3-21 Buque Auxiliar Remolcador Mahón: (a) escudo del buque, (b) plataforma [40].

Este remolcador de altura sale a navegar en función de la demanda de otros buques y organismos, se estima que sus navegaciones rondan una semana al mes. Con una dotación de 32 efectivos suelen generar unos 60 kg de residuos diarios. La cuantificación de residuos sólidos se refleja en la Tabla 3-11:

Residuos tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Papel	papeleras con folios, cartón, briks y envases de cocina	18
Plásticos	envoltorios, recipientes, embalajes	2
Otros	metales blandos, aerosoles, pilas y baterías	Despreciable para 24 horas
TOTAL		20
Residuos no tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Orgánicos	restos de comidas, domésticos, servilletas con restos	40
Inertes	restos de obras, maderas, chatarras, mobiliario	Despreciable para 24 horas
Biológicos	fundamentalmente material sanitario	Despreciable para 24 horas
TOTAL		40

Tabla 3-11 Identificación de residuos sólidos generados por día de navegación:

Residuos tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Papel	papeleras con folios, cartón, briks y envases de cocina	18

Plásticos	envoltorios, recipientes, embalajes	2
Otros	metales blandos, aerosoles, pilas y baterías	Despreciable para 24 horas
TOTAL		20
Residuos no tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Orgánicos	restos de comidas, domésticos, servilletas con restos	40
Inertes	restos de obras, maderas, chatarras, mobiliario	Despreciable para 24 horas
Biológicos	fundamentalmente material sanitario	Despreciable para 24 horas
TOTAL		40

Tabla 3-11 Cuantificación de residuos sólidos en el Remolcador Mahón en kg/día. Elaboración propia.

La Figura 3-22 vuelve a poner de manifiesto la menor producción de residuos orgánicos en este tipo de buques. Destaca además el alto porcentaje obtenido de residuos derivados del papel.

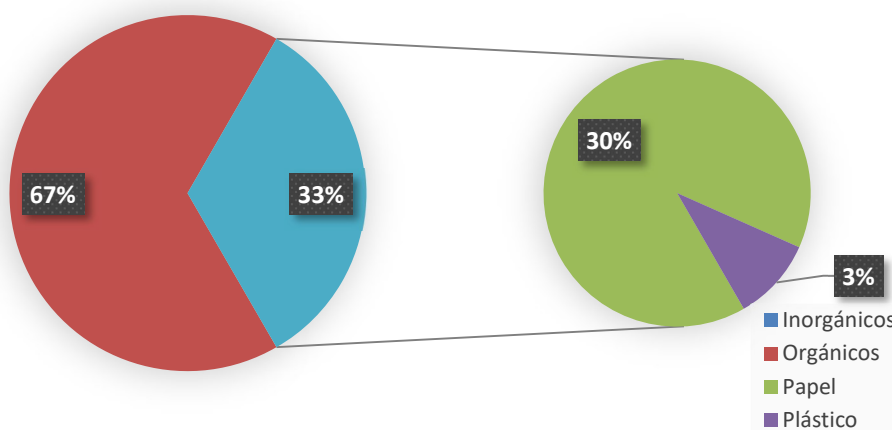


Figura 3-22 Cuantificación de residuos sólidos en el Remolcador Mahón en kg/día. Elaboración propia

○ Tratamiento/gestión realizada a bordo:

Se lleva a cabo la separación los residuos orgánicos para arrojarlos al mar cumpliendo con la normativa MARPOL y se almacenan los inorgánicos en contenedores, según su clasificación, para su posterior evacuación en puerto por una empresa externa.

3.1.1.11 BIO “Hespérides” (A-33)

○ Descripción:

El Buque de Investigación Oceanográfica (BIO) “Hespérides”, mostrado en la Figura 3-23b, es el único buque español diseñado para efectuar investigación científica multidisciplinar en todos los mares y océanos del planeta, inclusive las Zonas Árticas y Antárticas durante los veranos boreales y australes respectivamente. La actividad central de buque se centra en la realización de Campañas Científicas en La Antártida y proporciona el soporte logístico necesario a las dotaciones de las Bases Antárticas Españolas (BAE) “Juan Carlos I” y “Gabriel de Castilla”, proporcionando combustible, material y víveres e insumos en las distintas escalas programadas. Fue entregado a la Armada en 1991, y, aunque pasa fuera de su base una media de 6 meses al año, tiene su base de estacionamiento en el Arsenal de Cartagena. Su dotación está formada por 55 militares + 37 científicos (normalmente civiles) [41].



(a)



(b)

Figura 3-23 BIO Hespérides: (a) escudo del buque, (b) plataforma [41].

Este buque, como ya se ha mencionado, realiza campañas de unos 5 meses de duración más 1 mes de despliegue anual. Un total de 6 meses al año, con su dotación de 92 personas entre científicos y militares, generando una cantidad aproximada de 150 kg de residuos cada día. La cuantificación de residuos sólidos se refleja en la Tabla 3-12:

○ **Identificación de residuos sólidos generados por día de navegación:**

Residuos tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Papel	papeleras con folios, cartón, briks y envases de cocina	23
Plásticos	envoltorios, recipientes, embalajes	12
Otros	metales blandos, aerosoles, pilas y baterías	Despreciable para 24 horas
TOTAL		35
Residuos no tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Orgánicos	restos de comidas, domésticos, servilletas con restos	115
Inertes	restos de obras, maderas, chatarras, mobiliario	Despreciable para 24 horas
Biológicos	fundamentalmente material sanitario	Despreciable para 24 horas
TOTAL		115

Tabla 3-12 Cuantificación de residuos sólidos en el BIO Hespérides en kg/día. Elaboración propia.

En la Figura 3-24 se vuelve a reflejar un incremento del porcentaje de residuos derivados del plástico, producido por la actividad científica que se da en este buque.

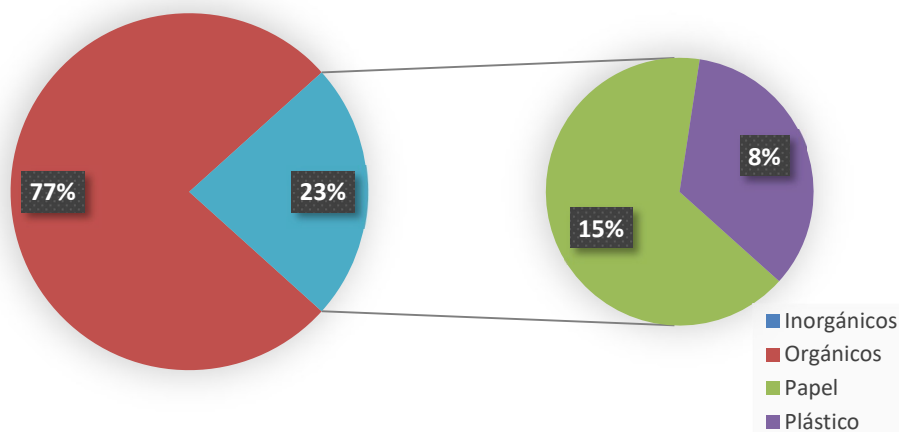


Figura 3-24 Cuantificación de residuos sólidos en el BIO Hespérides en kg/día. Elaboración propia.

○ **Tratamiento/gestión realizada a bordo:**

Tratamiento de residuos inorgánicos mediante trituración, compactación e incineración y separación y arrojó al mar de los orgánicos cumpliendo normativa MARPOL.

3.1.1.12 Buque Escuela “Juan Sebastián de Elcano” (A-71)

○ **Descripción:**

Mostrado con todo su aparejo en la Figura 3-25b, este emblemático bergantín-goleta es el barco más representativo de la Armada Española. Cuando este Buque Escuela de 94 años sale de Cádiz y visita otros lugares del mundo, representa, para aquellos españoles que viven en ese lugar, un pedacito de su tierra y un vínculo con sus paisanos. Para los países visitados es una bella embajada de España, joven y amable que viene de una nación amiga.

La Armada centra gran parte de sus esfuerzos en cuidar su mayor talismán que, entregado a esta en 1928, ha realizado fielmente desde esta fecha el crucero de instrucción de los Guardias Marinas, futuros oficiales de la Armada, hasta la actualidad. Por tanto, durante sus periodos de navegación por todos los mares del mundo, la misión de este buque es la de curtir personas en materias como navegación a vela, léxico marinero y valores como el honor, el valor, la disciplina y la lealtad. Por otra parte, durante sus paradas en puertos extranjeros, el Juan Sebastián del Cano actúa de pequeña embajada flotante en representación de España. Cuenta con una dotación variable en función del número de alumnos de unas 230 personas y tiene su base de estacionamiento en el Arsenal de La Carraca (Cádiz) [42].



(a)



(b)

Figura 3-25 Buque Escuela Juan Sebastián Elcano: (a) escudo del buque, (b) plataforma [42].

Este buque realiza cruceros de 6 meses con una dotación media de unas 230 personas, generando 325 kg de residuos diarios. La cuantificación de residuos se refleja en la Tabla 3-13:

○ **Identificación de residuos sólidos generados por día de navegación:**

Residuos tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Papel	papeleras con folios, cartón, briks y envases de cocina	38
Plásticos	envoltorios, recipientes, embalajes	17
Otros	metales blandos, aerosoles, pilas y baterías	Despreciable para 24 horas
TOTAL		55
Residuos no tratados a bordo	Descripción	Cantidad generada (kg/día)
Orgánicos	restos de comidas, domésticos, servilletas con restos	470
Inertes	restos de obras, maderas, chatarras, mobiliario	Despreciable para 24 horas
Biológicos	fundamentalmente material sanitario	Despreciable para 24 horas
TOTAL		470

Tabla 3-13 Cuantificación de residuos sólidos en el BE Juan Sebastián de Elcano en kg/día. Elaboración propia.

La Figura 3-26 vuelve a poner de manifiesto la mayor producción de residuos orgánicos en buques con dotaciones numerosas.

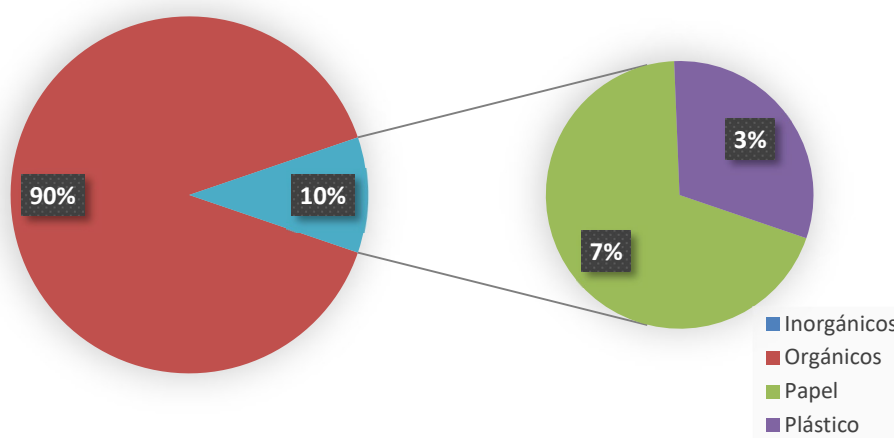


Figura 3-26 Cuantificación de residuos sólidos en el BE Juan Sebastián de Elcano en kg/día. Elaboración propia.

○ **Tratamiento/gestión realizada a bordo:**

Este buque tritura y compacta los residuos inorgánicos y los evacua en cada puerto de su crucero, Separa los orgánicos y los arroja al mar cumpliendo la normativa MARPOL.

3.1.2 Plantas de tratamiento actuales

En este apartado se realiza una exposición de la maquinaria utilizada por algunos de los buques estudiados en el apartado anterior, en la que se describen brevemente las etapas y procesos que tienen lugar en las plantas de tratamiento a bordo de dichos buques.

3.1.2.1 Planta de tratamiento de aguas residuales “DELTA” FQ15

Pese a que el tratamiento de aguas residuales no es objeto del presente Trabajo Fin de Grado, a continuación se describe el modelo DELTA-FQ15 utilizada para en las fragatas F-100 clase “Álvaro de Bazán” con el fin de proporcionar al lector una visión integral de los sistemas de tratamiento con los que cuenta actualmente este tipo de buques [43]. Obsérvese esta Planta TAR en la Figura 3-27:

-Descripción del proceso:

Las aguas residuales (grises y negras) entran en el tanque colector por dos sitios diferentes; uno es a través de un colector general, en el que se mantiene el vacío por medio de una bomba generadora de vacío, y otro es por medio de la bomba de eyectores a través del propio eyector. El tanque colector está dividido en tres zonas diferenciadas que tienen como objeto ayudar a la precipitación de los sólidos más pesados, de forma que en la zona de filtros el líquido esté ya parcialmente clarificado.

El líquido es aspirado por las bombas de proceso, a través de los filtros que limitan el tamaño de las partículas en suspensión. El flujo se va cambiando alternativamente mediante una válvula neumática de cuatro vías, con un ciclo de un minuto.

A medida que el flujo de proceso es bombeado al tanque de desinfección, se añade floculante y coagulante. El floculante es introducido por una bomba que lo inyecta en la zona de descarga de las bombas de proceso. Este floculante provoca la rápida precipitación de las partículas finas en suspensión; disminuyendo de esta forma los sólidos en suspensión. El coagulante es inyectado por la bomba de coagulante en servicio al tanque colector en la zona de aspiración de las bombas de proceso.



Figura 3-27 Planta TAR DELTA-FQ15 [44].

Las bombas de proceso bombean un flujo constante y prefijado al tanque de desinfección, que está dividido en dos secciones, y el líquido es forzado a pasar a la segunda sección a través de una serie de tubos inclinados que estabilizan el flujo, ayudando de esta manera a la precipitación de los sólidos de menor volumen al fondo del tanque. A medida que entra líquido por la parte inferior de los tubos, va rebosando por su parte superior a la segunda sección del tanque.

Cuando el nivel en la segunda sección del tanque de desinfección llega al interruptor de nivel entra en funcionamiento la bomba de efluente, descargando el agua tratada al mar hasta que el nivel del líquido descienda hasta el interruptor, momento en que para la bomba de efluente. Después de un periodo aproximado de cuatro semanas, se deben descargar los lodos residuales por medio de la bomba de lodos al mar. Cuando el líquido alcance el interruptor de nivel funcionará la alarma, por lo que se deben dejar de utilizar los servicios sanitarios del buque para evitar el rebose de la planta.

3.1.2.2 Separador de sentinas utilizado en las fragatas F-100

Procesa agua sucia almacenada en la sentina del buque, obteniendo un efluente limpio con un contenido de hidrocarburos inferior a 15 partes por millón, de acuerdo con los requerimientos del convenio MARPOL [44]. Se ilustra este separador de aguas oleosas en la Figura 3-28:

-Tratamiento en dos fases:

- Separador estático de gravedad y filtros coalescentes: divide una mezcla de dos líquidos usando la tensión interfacial entre dos líquidos y la diferencia en la adherencia los líquidos a una superficie porosa.
- Adsorción por medio de filtros.

La técnica consiste en separar los hidrocarburos libres en el separador de gravedad y si existe emulsión adsorber la misma en el tanque de adsorción que se dispone a continuación.

Los resultados son digitalizados, tratados en un procesador y presentados en pantalla en tiempo real, este sistema avisa e interrumpe la descarga en caso de que sobrepase el límite establecido.



Figura 3-28 Separador de sentinas usado en fragatas F-100 [44].

Al igual que con las plantas residuales, los lodos resultantes pueden ser almacenados en un tanque a bordo para su posterior descarga en tierra o ser incinerados en una planta térmica si se dispone de ella. La descarga al mar deber tener una contrapresión de 0,2 bares con el objeto de mantener una buena circulación de fluido por el interior del tubo.

3.1.2.3 Púlper, hidroextractor y tanque almacén de comidas utilizados en las fragatas F-100

El púlper hidroextractor y el tanque almacén de comidas forman parte del sistema de tratamiento de comidas utilizado en las fragatas F-100. El púlper es alimentado con los restos de comida de los platos, previamente limpiados con un chorro de aguas disponible en la entrada de este. Está parcialmente relleno de agua y dispone de un mecanismo de cuchillas capaz de triturar sólidos de hasta 25 mm de diámetro. La pulpa, mezcla de restos de comida triturada y agua, entra en el hidroextractor, que está formado por un tornillo helicoidal que se alimenta por la parte inferior y se descarga por la parte superior al tanque de comidas debido al efecto compresor del tornillo contra las paredes del hidroextractor. El agua se recoge en dos zonas; una para la recirculación de un nuevo ciclo y otra es enviada directamente al separador de grasas. La pulpa es almacenada en el tanque de comidas que debe estar continuamente agitándose mediante unas cuchillas y un cilindro neumático debido a que, al ser una pasta, si se seca puede incrustarse fácilmente en las paredes del tanque [45].

-Púlper:

El sistema consiste en un impulsor removido por un motor eléctrico. El impulsor está hecho de acero inoxidable, así como las cuchillas y la carcasa. El impulsor va montado en una carcasa perforada que limita el tamaño del residuo a triturar. Todos los componentes del púlper forman parte de una construcción modular con material resistente a la corrosión, este aparece ilustrado en la Figura 3-29.



Figura 3-29 Púlper de residuos orgánicos [45].

-Hidroextractor:

Consiste en un tornillo helicoidal rodeado de un cilindro perforado por donde se realiza la separación entre el agua y la pulpa. Esta realizado en acero inoxidable y dispone de un motor reductor en la parte superior del equipo como se puede observar en la Figura 3-30. Los restos de comida entran en la parte inferior del equipo y son conducidos hacia la parte superior por medio del tornillo helicoidal. El agua irá traspasando la rejilla perforada y la pulpa se introducirá en el tanque de comidas.

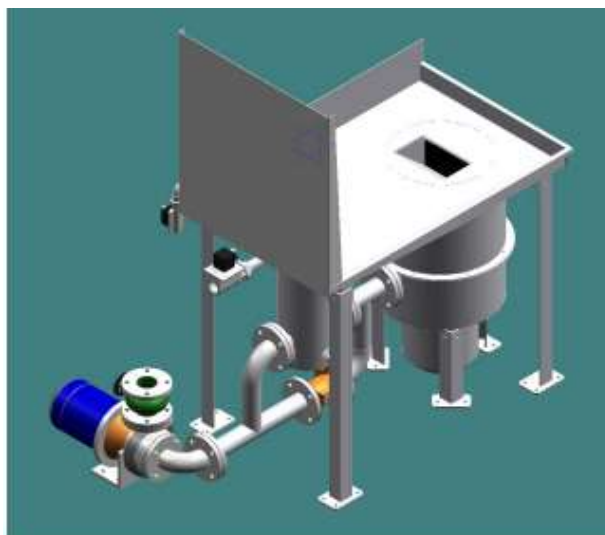


Figura 3-30 Hidroextractor de residuos orgánicos [45].

-Tanque almacén de comidas:

Su función es mantener siempre en movimiento la pulpa que almacena, para ello dispone de un juego de cizallas conectadas a un cilindro neumático que continuamente está removiendo la pulpa para que no se seque. Para el sistema de descarga, dispone de una bomba con tornillo helicoidal y un sistema de tolva, además de una recirculación controlada por una válvula de diafragma con actuador neumático que

nos permite controlar el caudal de salida de pulpa del tanque. Está construido de acero inoxidable. Se muestra en la Figura 3-31:

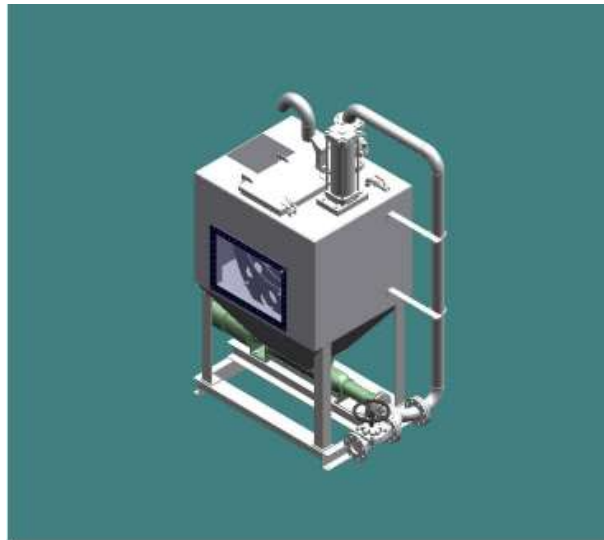


Figura 3-31 Tanque almacén de residuos orgánicos [45].

3.1.2.4 Trituradora/Compactadora de residuos sólidos SPA-300 F-100

El objetivo de la máquina "Trituradora de Desechos" SPA-300 instalada en las fragatas F-100 clase "Álvaro de Bazán" y mostrada en la Figura 3-32, es el de reducir al máximo el volumen de residuos mediante la trituración o partición, reduciendo el tamaño de estos, facilitando su posterior almacenaje.

El diseño de la máquina trituradora/compactadora de residuos ha sido realizado considerando el mínimo peso y dimensiones, dado el reducido espacio para su instalación con que se cuenta en un buque. Así pues, en una sola máquina se integran las dos funciones, trituración y compactación, pudiéndose realizar las dos fases consecutivamente o bien cada una de ellas de forma independiente.

Es de especial interés en el caso de elementos de gran volumen (cartones, embalajes, cajas de madera, etc.), o en aquellos que tienen alta capacidad de deformación y recuperación (plásticos, etc.) [46].

-Funcionamiento:

La alimentación de los residuos se realizará a través de una puerta situada en el frontal superior de la máquina. Una vez realizada la trituración los restos caen al contenedor donde pueden ser compactados posteriormente, realizándose tantos procesos de carga y compresión como sean necesarios hasta alcanzar la máxima reducción de volumen deseada, aunque no es conveniente el sobrepasar el peso de 25 kg que es el máximo recomendado para ser transportable por un sólo hombre.

-Sistema de trituración:

El principio de funcionamiento del triturador está basado en el uso de un accionamiento electromecánico, constituido por un conjunto motor reductor, del tipo VIS-SINFÍN, que acciona a una velocidad lenta dos ejes hexagonales que giran uno al contrario del otro y equipados con varias cuchillas desfasadas entre sí, de forma y dureza adecuada para provocar el corte y trituración de los desechos.



Figura 3-32 Trituradora/compactadora SPA 300 [46].

El sistema de trituración recibe los desechos depositados en la tolva de alimentación, y mediante un sistema de cuchillas rotativas y fijas, corta el material al obligarlo a pasar a través de ranuras. La salida de la trituradora, mediante una placa deflectora, pasa directamente al contenedor de compactación.

-Sistema de compactación:

La compactación se realiza mediante la acción de un pistón accionado mediante un cilindro hidráulico que provoca una fuerza de aplastamiento sobre los residuos depositados en un cubo especialmente diseñado para tal efecto. La alimentación de basura se realiza a través de una puerta situada en el frontal de la máquina, realizándose tantos procesos de carga y compresión como sean necesarios hasta alcanzar la máxima reducción de volumen deseada, aunque no es conveniente sobrepasar el peso de 20-25 kg, que es el máximo recomendado para ser transportado por un solo hombre.

3.1.2.5 Incinerador de residuos sólidos y líquidos “DELTA” IRL-65

El objeto de este incinerador, modelo “DELTA” IRL-65, ilustrado en la Figura 3-33, con capacidad máxima de 650.000 kcal/h, es eliminar por combustión todos los residuos sólidos y líquidos combustibles.

Sólidos: procedentes de compactadora de residuos de cocinas, procedentes de trituradoras, trapos y materiales de limpieza o cualquier otro tipo de residuo sólido combustible.

Líquidos: lodos procedentes de drenajes de tanques, aceites y combustibles, lodos procedentes de aguas separadas de sentinas, lodos procedentes de depuraciones de aceites y combustibles, lodos procedentes de aguas residuales mezclados con residuos [47].



Figura 3-33 Incinerador de residuos DELTA IRL-65 [47].

-Funcionamiento:

Como en cualquier combustión, consiste en mezclar regulando adecuadamente sus dos factores: el oxígeno del aire y el combustible. La combustión tiene lugar en la cámara de combustión de lodos y sólidos. Se introduce aire en la cámara de combustión de dos formas diferentes; uno forzado, producido por el ventilador del quemador de diesel-oil para favorecer la difusión de este al mezclarse con el combustible pulverizado, y otro aspirado por el ventilador de los gases de escape, para mantener el vacío en la cámara y asegurar la refrigeración de la estructura del incinerador.

El aire general se regula con la charnela de gases de manera que la cámara de combustión esté siempre con vacío para evitar un posible aumento brusco de combustión y el peligro de una posible salida de llama.

El diesel-oil es el combustible base utilizado para iniciar el proceso de encendido y aumentar la temperatura dentro de la cámara de combustión que permitirá quemar los sólidos y lodos. Este combustible es aspirado del tanque atomizado mecánicamente y mezclado con el aire por medio del difusor, en el quemador.

Cuando se desea incinerar los residuos sólidos, estos pueden ser alimentados a través de la puerta frontal, que solo se puede abrir cuando la temperatura en la cámara es inferior a 60 °C, o a través de la puerta de carga continua en cualquier momento.

En el caso de los lodos, antes de quemarlos han de prepararse, elevando su temperatura para adaptar su viscosidad y eliminar el alto porcentaje de agua. Para ello "DELTA" utiliza un tanque con bomba de recirculación dotado con sistema de calefacción (de vapor o eléctrica).

Una vez preparados los lodos se introducen en la cámara de combustión por medio de la bomba dosificadora y son atomizados en el quemador de lodos con vapor o aire.

3.1.3 Justificación de ausencia de tratamiento de residuos en ciertos buques

Como se ha podido comprobar en el apartado anterior, casi todos los buques de la Armada cuentan con dispositivos de tratamiento de los residuos sólidos: trituradoras, compactadoras, incineradoras, etc. Al ser residuos derivados de la actividad diaria del buque, es necesario reducir este volumen de desechos para poder seguir desempeñando su función en la mar con total normalidad. Sin embargo, hay ciertos tipos de buques que no realizan tratamiento de esta tipología de desperdicios, más allá de su almacenamiento y posterior descarga en puerto.

Esta ausencia de tratamiento se da en aquellos buques que, por sus cortos periodos de navegación, no necesitan reducir el volumen de basuras generado a bordo ya que tienen capacidad para almacenarlo y descargarlo en puerto, o en la mar respetando la normativa MARPOL 73/78.

El hecho de realizar únicamente cortos periodos de navegación, en la mayoría de las ocasiones está relacionado con el tamaño del buque. Los patrulleros costeros y los cazaminas, entre otros, son barcos que, como se ha indicado, no realizan ningún tratamiento a bordo ya que son barcos cuyo periodo de navegación más largo no sobrepasa el mes y medio.

3.2 Caso de estudio: análisis del buque seleccionado

Habiendo realizado un análisis de cuantificación de los residuos sólidos producidos en las diferentes clases de buques de la Armada, así como las plataformas y sistemas con las que dichos residuos son tratados en estos buques, se pretende en este apartado llevar a cabo el estudio de implantación de un sistema de tratamiento viable y eficaz que mejore las prestaciones de la actual gestión de residuos sólidos llevada a cabo en las fragatas F-100. Para ello, se contextualizará este estudio llevando a cabo una justificación de las fragatas clase “Álvaro de Bazán” como buque elegido para llevar a cabo este proceso y se realizará una descripción detallada del sistema de tratamiento propuesto.

3.2.1 Justificación de la elección

Para llevar a cabo el proceso de selección del buque a analizar, ha sido necesario estudiar la naturaleza de cada uno de los barcos de la Armada, así como su actividad diaria y la misión principal para la que fueron construidos, ya que no todos los barcos generan las mismas cantidades y tipología de residuos.

Se debía buscar un buque que cumpliera con una serie de requisitos y estándares a la hora de llevar a cabo el estudio de implantación del sistema propuesto. El contar con espacio suficiente para la instalación del sistema, el análisis previo de sus actuales sistemas de tratamiento, el número de personas que componen la dotación del buque o la alta disponibilidad de despliegue en navegación para la Armada y el fundamental papel que actualmente y desde su adquisición han venido desempeñando estos buques han sido claves en la elección final de las fragatas F-100 para la realización del caso de estudio.

La elección de las fragatas F-100 como caso de estudio está motivada por diferentes razones de peso, entre ellas, que son la punta de lanza de la Armada Española. Asimismo, están consideradas como uno de los mejores barcos de guerra del mundo debido a su alto nivel tecnológico tanto a nivel táctico como a nivel operacional, ya que cuentan con los sistemas más novedosos actualmente implantados y con uno de los mejores sistemas de combate. Prácticamente todos los subsistemas están automatizados por un sistema integrado de control de plataforma, lo que aporta una gran comodidad y rapidez al trabajo de la dotación de estos buques. En la Figura 3-34, se ilustra una formación en línea de frente de las 5 F-100.



Figura 3-34 Las 5 fragatas F-100 navegando juntas.

Además de estos motivos, a continuación, se exponen los factores más determinantes que han motivado la elección de las fragatas F-100 en el proceso de selección llevado a cabo:

- En primer lugar, como ya ha sido indicado, las fragatas F-100 son el modelo de barco que actualmente representa el avance y la modernidad que caracteriza a la Armada Española. Esto hace que sean los buques que más se promocionan en el extranjero, quedando patente el lugar que ocupa España a la vanguardia de la tecnología naval.

Además, es de vital importancia mencionar que estas fragatas son de construcción española. Con el programa de las F-100, los astilleros Navantia, entre ellos el de Ferrol, ilustrado en la Figura 3-35, lograron crear y evolucionar una solución nacional de los sistemas críticos de los buques de la Armada y proyectarla a productos de exportación. Actualmente, existen cinco fragatas F-100 en servicio, además de tres unidades contratadas por Australia, la clase Hobart, a construir en el país austral. Sobre la base de este modelo se desarrolló asimismo una versión reducida, de la que se han vendido cinco unidades a Noruega, fabricadas en España, la Clase Fridtjof Nansen. Este hecho supone un factor muy importante para nuestro estudio ya que permite la estandarización de un sistema de tratamiento que no sólo sirva para buques españoles sino para cada uno de los buques inspirados en el modelo F-100.



Figura 3-35 Instalaciones de los astilleros Navantia en Ferrol.

- Se considera imprescindible para el proceso de selección que el buque escogido tenga un gran peso dentro de la actividad de la Armada, es decir, que el buque navegue durante periodos de tiempo superiores a un mes, con el fin de poder obtener el mayor rendimiento posible para el sistema propuesto en el presente trabajo. En este sentido y enlazando con lo explicado anteriormente, las fragatas F-100, al ser los escoltas más modernos y con las mayores capacidades de defensa, son los buques escogidos por el Estado Mayor de la Defensa para participar en un mayor número de despliegues, ejercicios con otras Armadas, misiones, etc. En la Figura 3-36, la F-105 lidera una formación con buques de la OTAN.



Figura 3-36 La fragata F-105 capitanea la flota de la SNMG-2.

- Durante la realización de este trabajo se ha podido apreciar que uno de los factores más influyentes en la generación de residuos es el número de personas de las que se compone la dotación del buque, aunque a su vez, esta cifra varía en función de la misión a realizar por dicho

buque. Existen buques de mayor tamaño que las F-100 que, sin embargo, producen menos residuos debido a que su dotación consta de un número de personas más reducido. Del mismo modo, buques con menor número de componentes en su dotación generan, en proporción, más residuos debido a la labor que realizan. Es el ejemplo de los patrulleros de altura dedicados a la vigilancia pesquera, que generan grandes cantidades de residuos derivados de las artes de pesca. La dotación de estas fragatas, compuesta por 200 efectivos, genera una media de 300 kg de residuos sólidos, en su mayor parte derivados de la actividad humana cotidiana (restos de comida, papel, envases de plástico) por día de navegación. Esta cantidad de residuos generados hace viable la implantación del sistema de tratamiento propuesto en este estudio ya que, de escoger un buque con menor producción de residuos el sistema perdería parte de su utilidad.

- Por último, aunque no por ello menos importante, una de las claves con mayor peso en la elección de las fragatas F-100 es su papel como predecesoras del nuevo proyecto de fragata para la Armada en sus próximos planes de adquisición. El programa F-110, ilustrado en la Figura 3-37, supondrá una importante apuesta por la proyección de la industria de construcción naval militar española en el mundo. Un sector que, como ya se ha comentado anteriormente en este apartado, ya ha cosechado éxitos como las fragatas F-100, además de barcos logísticos y buques anfibios.

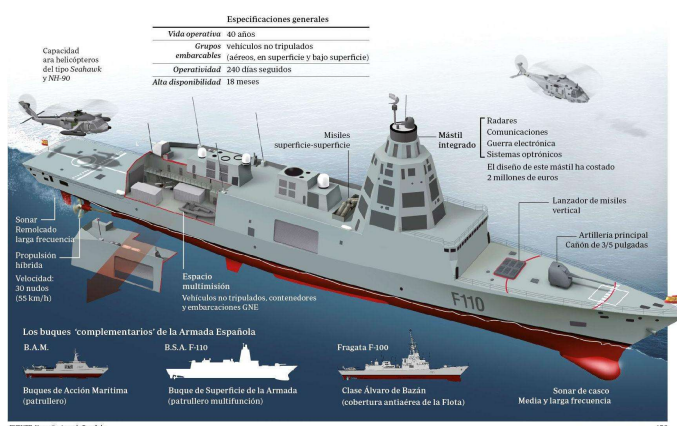


Figura 3-37 Esquema de especificaciones de las F-110

Se estima que estos buques tendrán entre 120 y 150 metros de eslora y capacidad de desplazamientos de entre 5000 y 12000 toneladas, además de dotaciones de entre 150 y 200 personas, características de gran similitud, en estos aspectos, con las de sus predecesoras.

Junto con los submarinos S-80, el programa F-110 es el mayor reto que la Armada Española tiene por delante y, como se ha mencionado anteriormente, el proyecto F-100 supone un prólogo para este. Por lo tanto, al implementar el sistema de tratamiento propuesto, se está proporcionando una solución que tiene cabida en el presente más inmediato con las fragatas F-100 y a largo plazo, con las fragatas F110.

3.3 Sistema de tratamiento de residuos sólidos

Una vez establecidos los criterios de selección, escogidas y justificadas las fragatas F-100 y F-110 como la clase de buque óptima para realizar el estudio del presente trabajo, en este apartado se presentará una descripción detallada del sistema de tratamiento de residuos sólidos propuesto.

Se pretenden realizar dos propuestas de sistemas paralelas: una para fragatas F-100, resumido en la Figura 3-38, y otra para el programa de fragatas F-110, en la Figura 3-39:



Figura 3-38 Fases del sistema propuesto para F-100. Elaboración propia.

- **Fragatas F-100:** sustitución de la actual compactadora instalada por un modelo de briquetadora propuesto y aplicación de aprovechamiento energético en el incinerador actual, utilizando el calor residual generado como sistema auxiliar para la producción de agua caliente.

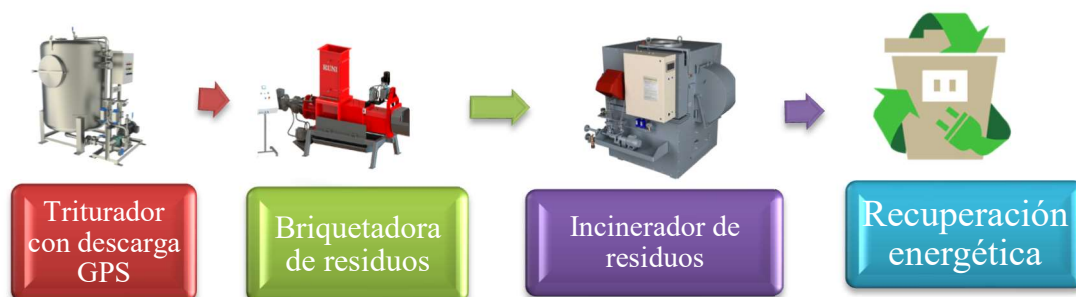


Figura 3-39 Fases del sistema propuesto para F-110. Elaboración propia.

- **Fragatas F-110:** implantación de un modelo de triturador de restos orgánicos con descarga al mar por GPS, sistema mucho más novedoso que los existentes en la actualidad en algunos de los buques de la Armada, utilización del mismo modelo de briquetadora propuesto para fragatas F-100, instalación de un modelo de incinerador de residuos con características apropiadas para la utilización de las briquetas de residuos como combustible, y, con el mismo propósito que en las F-100, aplicación de aprovechamiento energético.

3.3.1 Descripción preliminar del sistema

Tal y como se ha planteado en el apartado anterior, los sistemas propuestos para el tratamiento de residuos sólidos están integrados por un total de cuatro y tres etapas para fragatas F-110 y F-100 respectivamente, siendo la primera de la descripción (triturador con descarga GPS) únicamente aplicable a las F-110 y las tres siguientes comunes a ambos buques. A continuación, se presenta una breve descripción de cada una de ellas:

1. Tratamiento de residuos orgánicos procedentes de restos de comidas mediante una **trituradora** con sistema de vacío y control de descarga por GPS que permite almacenar este tipo de residuos en un tanque con control de nivel y descargarlo de manera automática al mar cuando la normativa lo permita.
2. Los residuos son compactados mediante una **briquetadora**, que es capaz de disminuir el volumen de estos en hasta 6 veces. Estos sistemas convierten grandes cantidades de residuos en pequeñas briquetas que serán posteriormente destinadas a la unidad de incineración. De esta forma, reducen con rapidez el volumen de los desechos de forma eficaz y disminuyen la

necesidad de transporte interno, permitiendo mantener pasillos, corredores y otros espacios del buque libres de estorbos.

3. Posteriormente, las briquetas obtenidas serán introducidas en un **incinerador** de residuos donde su volumen se verá mermado todavía más. Por lo tanto, el incinerador es la instalación donde se produce la combustión controlada a temperaturas muy elevadas (más de 850 °C). Como resultado del proceso de incineración se obtiene:
 - Gases de combustión, compuestos principalmente por dióxido de carbono, agua, oxígeno no reaccionado, nitrógeno del aire empleado para la combustión y otros compuestos en menores proporciones procedentes de los diferentes elementos que formaban parte de los residuos. Los componentes minoritarios presentes pueden contener gases ácidos derivados de reacciones de halógenos, azufre, metales volátiles o compuestos orgánicos (como dioxinas y furanos) que no se hayan oxidado. Finalmente, los gases de combustión contendrán partículas, que son arrastradas por los gases.
 - Residuo sólido, compuesto fundamentalmente por escorias inertes, cenizas y residuos del sistema de depuración de los gases de combustión. Estos restos serán almacenados en un contenedor específicamente destinado para este fin y descargadas en puerto.
4. El cometido principal de un sistema incinerador a bordo de un buque es la disminución del volumen de todos los residuos sólidos que puedan ser tratados térmicamente, es por ello por lo que la presencia de este tipo de sistemas es frecuente en buques cuyas travesías suelen ser de larga duración. Sin embargo, este estudio busca aportar a estos incineradores un valor añadido introduciendo el concepto de **valorización energética**. El calor residual de los gases a la salida de la cámara de postcombustión puede ser aprovechado para calentar agua. Debido al funcionamiento discontinuo del incinerador este sistema de calentamiento de agua puede ser utilizado como un sistema de apoyo o auxiliar al sistema principal de calefacción o producción de agua caliente.

3.3.2 Triturador de residuos con control de descarga

Con esta propuesta se pretende mejorar el sistema triturador de alimentos instalado actualmente en las fragatas F-100, descrito en el apartado 3.1.2.4. El valor añadido del modelo de triturador propuesto en este apartado reside en su capacidad de almacenamiento de los residuos triturados para su posterior descarga automática por control GPS que, posibilita al buque la descargar al mar de los residuos de manera automática cuando la normativa lo permita.

Se ha optado por proponer esta mejora únicamente para el programa de fragatas F-110, ya que su instalación es muy sencilla de llevar a cabo para buques de nueva construcción. Sin embargo, su implantación en un buque que ya cuenta con otros sistemas alternativos puede no acabar siendo todo lo rentable que se podría esperar debido al coste que podría suponer las obras para la instalación de tuberías que descarguen los residuos al mar.

A continuación, se describe en mayor detalle un modelo comercial de trituradora de residuos sólidos especialmente diseñada para su implantación en buques:

Trituradora Evac OWMS

Sistema diseñado para la recogida y el tratamiento higiénicos de los de alimentos de acuerdo con el Anexo V de la OMI MARPOL 73/78 y otros reglamentos y normas pertinentes. Los residuos de alimentos se trituran mediante maceradores locales y una trituradora de alta resistencia ubicada en la cocina del barco, posteriormente se transportan por vacío a un tanque de retención especial, que está diseñado específicamente para residuos de alimentos. Esto permite que el sistema funcione cuando el buque opera en una zona en la que está prohibido el vertido.

Esta tecnología está equipada con control de puente, monitorización del nivel y descarga automática. El control del puente permite la descarga del tanque de retención, el bloqueo de descargas manuales o automáticas y el control del nivel real de residuos de alimentos en el tanque. El sistema de control de

descarga por GPS garantiza que los residuos de alimentos se descarguen en el mar sólo cuando está permitido según normativa MARPOL y normas y reglamentos locales. Además, el sistema debe vaciar automáticamente el tanque de residuos de alimentos antes de entrar en una zona restringida. Todas las descargas del tanque de residuos de alimentos se registran electrónicamente. La información es registrada durante dos años en cumplimiento de los requisitos del Libro de Registro de Basura. Cabe destacar que el sistema propuesto permite manejar con total seguridad los residuos procedentes de alimentos, presenta un bajo consumo de agua, pequeño diámetro de tubería y trazado flexible de las tuberías [48].

Las ventajas de este sistema, ilustrado en la Figura 3-40, con respecto al triturador instalado en las fragatas F-100 son las siguientes:

- ✓ El primer sistema de este tipo en el mercado.
- ✓ Diámetro de tubería pequeño y tubería flexible.
- ✓ Riesgo mínimo de obstrucción.
- ✓ Bajo consumo de energía y agua.
- ✓ No se utilizan productos químicos.
- ✓ Fácil de instalar y manejo sencillo.
- ✓ Control de puente y control de nivel.
- ✓ Control de descarga por GPS.
- ✓ Alta resistencia.



Figura 3-40 Trituradora Evac OWMS.

3.3.3 Briquetadora de residuos

La briquetadora es una compactadora especial, cuyo uso está generalmente dirigido a unos materiales complicados de tratar, como son poliestireno expandido (EPS), polipropileno expandido (PPE), poliestireno extruido (XPS), poliuretano (PUR), polietileno expandido (PE), botellas de PET o latas. La función de la briquetadora es compactar estos residuos para que ocupen mucho menos espacio, ahorrando costes de transporte, de ocupación de espacio y facilitando la valorización de los materiales. Además, las briquetadoras también pueden ser utilizadas para compactar en briquetas restos de las comidas, lo que constituye una alternativa válida para el tratamiento de esta tipología de residuos.

Mediante el uso de una briquetadora se solucionan algunos problemas existentes en las compactadoras convencionales que encontramos actualmente en los buques de la Armada como, por ejemplo, el de los residuos que llevan líquidos, ya que permite la separación de la parte sólida y la líquida, ahorrando peso y costes de tratamiento. Los recipientes, como botellas o latas, que se encuentran medio llenos son compactados y vaciados con facilidad y eficacia. La briquetadora es una máquina muy

utilizada en empresas del sector agroalimentario, como empresas pesqueras y embotelladoras, pudiendo resultar muy útil a su instalación en buques.

En nuestro caso de estudio, los residuos sólidos producidos a diario en los buques se introducen en la briquetadora, que lleva a cabo la compactación de dichos residuos conformando las briquetas mediante un proceso que explicaremos a continuación. Posteriormente estas briquetas se utilizarán a modo de combustible para llevar a cabo la reacción de combustión que se produce dentro del incinerador de residuos del buque.

¿Cómo hacer briquetas a partir de residuos sólidos?

Las briquetas suelen elaborarse siguiendo una serie de etapas:

1. Preparación de la materia prima: fragmentación mecánica de las materias primas por una máquina de trituración o briquetadora que debe garantizar la calidad y el tamaño perfecto del material.
2. Secado del material triturado en caso de que el contenido de humedad sea demasiado alto.
3. Las briquetas se fabrican con una gran densidad con el fin de que el producto final no se rompa y se mantenga con sus dimensiones permanentes, geométricas y bien definidas.

El briqueteado es un proceso de compactación, mediante la aplicación de presión, sobre materiales principalmente granulares que experimentan una aglomeración por vía física directa y una reducción de volumen del sólido entrante. Los productos del proceso son sólidos compactos de alta densidad denominados briquetas, las cuales no se desarmen o disgregan frente a manipulación o condiciones ambientales determinadas. Los compactados iniciales pueden ser briquetas convencionales (ladrillos, cilindros de distintas dimensiones y razones de aspecto), briquetas en forma de bastón o placas lisas o corrugadas continuas.

Dentro de la maquinaria ampliamente comercializada, se aplica compresión a través de prensas, ya sea por placas o cilindros de compactación en moldes o cámaras cerradas. Otra opción es trabajar con rodillos de compresión en moldes abiertos, donde se permite con facilidad la fluencia del material de trabajo a lo largo de la línea de proceso (continuidad de flujo). Cuando las briquetas se hacen sin aglutinantes, el proceso depende de la trituración o de la deformación plástica de las partículas para aproximarlas al máximo y generar la densificación. Las briquetas hechas con aglutinantes son generalmente prensadas a baja presión. En la Figura 3-41 se observa el final de este proceso.



Figura 3-41 Proceso de briqueteado de residuos sólidos por una briquetadora para buques [49].

Propuesta de un modelo de briquetadora existente en el mercado

Una vez descritas las características de las briquetadoras, se intentarán definir las necesidades del caso de estudio aquí presentado, proponiendo y describiendo un modelo de briquetadora actualmente en venta. Realizando una primera búsqueda de los modelos existentes en el mercado, se pueden encontrar briquetadoras de diversos tipos en función de diferentes factores como:

- Materia prima de los residuos a compactar:
 - Biomasa residual
 - Metales
 - Madera
 - Carbón vegetal
 - Mezcla de diferentes compuestos
- Tamaño y forma final de briqueta deseados:
 - Rectangular
 - Cilíndrica
 - Con agujero en el centro
- Mecanismo de funcionamiento, véase Figura 3-42:
 - Briquetadoras de pistón mecánicas
 - Briquetadoras de pistón hidráulicas
 - Briquetadoras de extrusión por tornillo
 - Briquetadoras por rodillos
- Dimensiones de la briquetadora: dependerá, en gran medida, del espacio de instalación del que se disponga.



(a)



(b)

Figura 3-42 Ejemplos de briquetadoras.

Establecidos los criterios a tener en cuenta a la hora de clasificar los diferentes tipos de briquetadoras ofertadas en el mercado, se analizarán ahora las características particulares de nuestro caso de estudio que nos permitirán una posterior selección del modelo concreto de briquetadora más conveniente.

- Dimensiones y ubicación:

Como se ha justificado en el apartado 3.2.1, el buque de la Armada escogido para la instalación de la briquetadora son las fragatas F-100 y, en un futuro, las F-110. En las fragatas F-100 existe un compartimento en el que está situada la actual compactadora que utilizan estos buques para el tratamiento de los residuos sólidos. Como ya ha sido mencionado anteriormente, la intención de este estudio se basa en la sustitución de dicha compactadora por una briquetadora de residuos, con lo cual se debe centrar la búsqueda en una máquina de dimensiones más o menos similares.

Según su ficha técnica [46], el modelo actual de trituradora-compactadora SPA-200 instalado en las F-100 tiene las siguientes dimensiones: 925 cm de ancho x 700 cm de fondo x 1'850 m de alto. Se

encuentra ubicada en la segunda cubierta, entre la cocina y el pasillo lateral. Esta cubierta es coloquialmente llamada cubierta de seguridad interior. Se describe la ubicación de este compartimento sobre los planos de una fragata F-100 en: Figura 3-43, Figura 3-44 y Figura 3-45. En cuanto a las dimensiones del compartimento en el que se encuentra la actual compactadora, donde se pretende situar la briquetadora son: de proa a popa, 5 m de largo x 4,5 m de ancho.

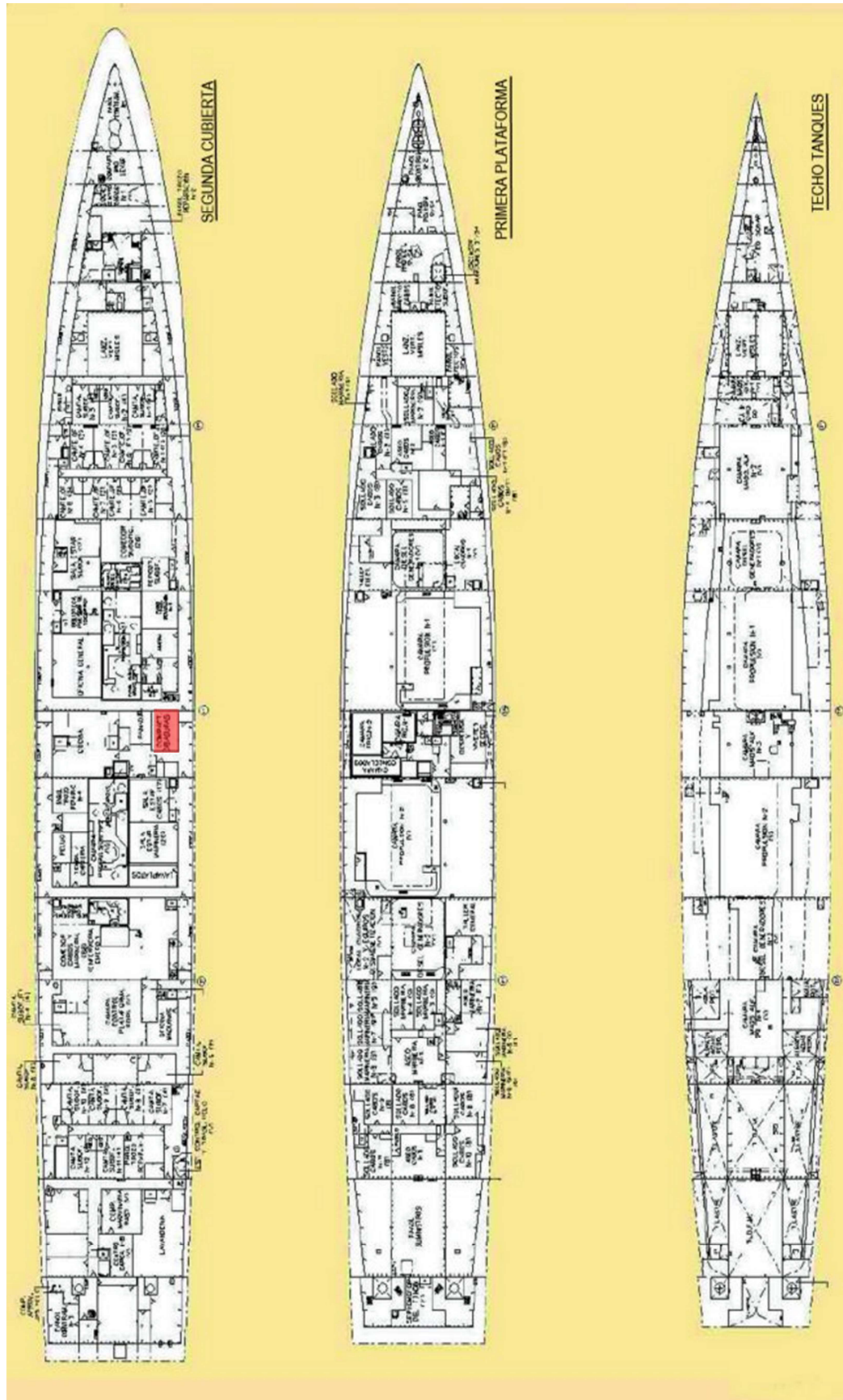


Figura 3-43 Ubicación del compartimento de compactado en fragatas F-100.

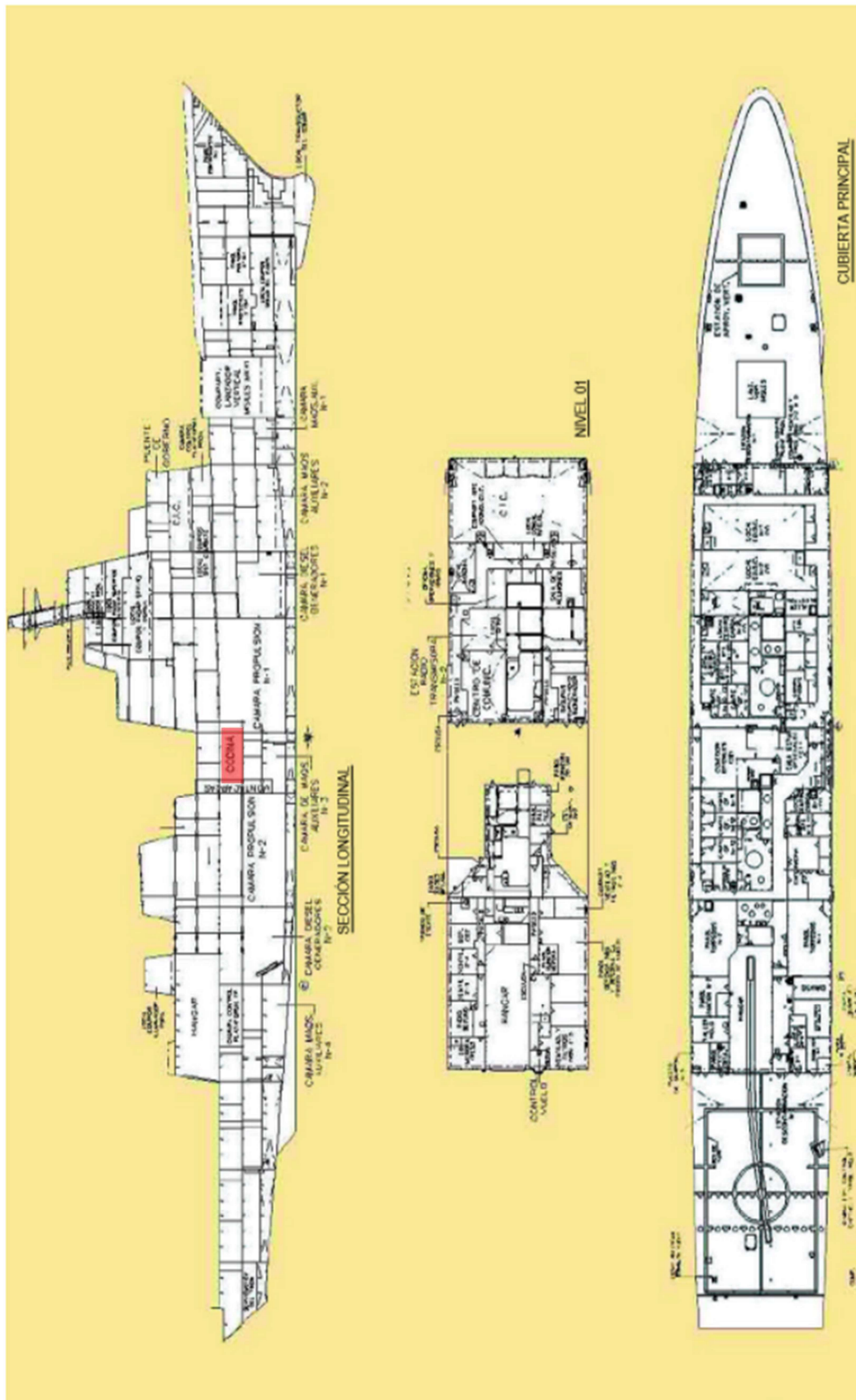


Figura 3-44 Ubicación del compartimento de compactado en fragatas F-100.

- **Materias primas de los residuos a compactar:**

- Mecanismo de funcionamiento:

74

pues serán necesarias menos horas de funcionamiento del incinerador para deshacerse de una misma cantidad de residuos.



Figura 3-46 Biomasa residual triturada entrando en una briquetadora.

Por esta razón, se deberá escoger un modelo de briquetadora cuyo mecanismo de funcionamiento permita la obtención de briquetas considerablemente densas. Según se ha investigado, las briquetadoras de extrusión por tornillo sin fin son las que mejor se adaptan a las condiciones anteriormente expuestas. A continuación, se procede a explicar brevemente el funcionamiento de este tipo de briquetadoras:

-Briquetadoras de tornillo sin fin:

Se trata de un sistema basado en la presión ejercida sobre la biomasa por un tornillo sin fin especial, normalmente fabricado de aleaciones de cromo-níquel o carburo de tungsteno, que gira con velocidad variable, haciendo avanzar el producto hasta una cámara con forma cónica, es decir, que se estrecha progresivamente. Las producciones suelen oscilar entre los 500 y 2.500 kg/h y existen modelos que producen simultáneamente varias hileras de briqueta. Mediante estos sistemas de extrusión es posible obtener briquetas de mayor densidad que, por ejemplo, con los sistemas que trabajan por impacto de un pistón con los residuos, pudiendo llegar a alcanzarse densidades próximas a los 1.300 kg/m³.

Briquetadora Evac

Finalmente, una vez analizados todos los factores clave para la elección de una briquetadora existente en el mercado, se ha llegado a la conclusión de que el modelo comercial que se presenta a continuación es el que mejor encaja con el fin de ser instalada en barcos.

La unidad de briqueteado Evac consiste en un sistema avanzado de compactación utilizado para minimizar el volumen de almacenamiento de residuos secos a bordo de los buques. La unidad incluye una trituradora, una compuerta contra incendios, un tanque de almacenamiento de residuos triturados y una máquina briquetadora, tal y como se muestra en la Figura 3-47 [50].



Figura 3-47 Briquetadora Evac [50].

Diseñada para buques de pequeño y mediano tamaño, su innovadora tecnología de briqueteado tiene varias ventajas en comparación con las plantas de compactación tradicionales:

- ✓ La unidad, totalmente automatizada, tiene un tamaño reducido y requiere una intervención mínima del operador.
- ✓ La unidad de briqueteado Evac puede procesar residuos reciclables y no reciclables y tiene una compactación muy alta, obteniendo densidades superiores a las del compactado convencional.
- ✓ Los residuos reciclables del mismo tipo pueden ser briquetados para ser procesados en tierra, mientras que los no reciclables, convertidos en briquetas de residuos, pueden quemarse en un incinerador.
- ✓ Reduce el volumen de basura de los buques por un factor de 10, lo que les permite permanecer más tiempo en la mar sin necesidad de acumular o descargar residuos.

En la Figura 3-48 se puede observar el tornillo sin fin que incluye la briquetadora comercial de Evac así como la forma de las briquetas finalmente obtenidas.



Figura 3-48 Proceso de conformación de briquetas [50]

3.3.4 Incinerador de residuos

Una vez los residuos han sido triturados y compactados por la briquetadora, las briquetas obtenidas serán introducidas en un módulo incinerador específico para buques, de tal manera que su volumen quedará reducido a cenizas. Además, y con el fin de hacer este proceso más eficiente, se llevará a cabo una valorización energética del calor residual generado durante el proceso, cuyo propósito será explicado más adelante.

En las fragatas F-100 se encuentra actualmente instalado un incinerador de residuos, en concreto el modelo DELTA IRL-65 de DETEGASA, cuyo proceso de funcionamiento ha sido previamente descrito en el apartado 3.1.2.5. En este estudio se pretende ir un paso más allá y aprovechar este modelo de incinerador ya instalado para llevar a cabo la recuperación energética anteriormente mencionada y que será explicada en el apartado 3.3.5.

Por otro lado, para el caso del programa de las fragatas F-110, dado que todavía no se han construido, parece lógico proponer un incinerador más novedoso, que incluya los últimos avances tecnológicos y con una eficiencia mayor que los existentes hoy en día en sus predecesoras, las F-100. Este es el caso del incinerador ciclónico de la marca Evac que está específicamente preparado para albergar las briquetas conformadas por el modelo “Evac” de la briquetadora propuesta en el apartado anterior, siendo, al igual que esta, un modelo de la citada marca.

Incinerador ciclónico Evac

El incinerador de ciclón Evac, representado en la Figura 3-49, es un horno diseñado para quemar residuos secos, residuos húmedos, aceite de lodos y la gran parte de los residuos sólidos que puedan ser generados en el buque objeto de estudio. Este innovador incinerador es especialmente adecuado para

buques de crucero. En este módulo comercial la combustión tiene lugar mediante un proceso semipirolítico con la adición de aire para conseguir una combustión sin humos.

La incineradora puede estar equipada con secadores integrados especialmente pensados para residuos alimentarios y residuos biológicos. Estos flujos se secan utilizando la energía térmica sobrante del proceso de combustión y se incineran directamente después del secado. Esta configuración es sencilla y rentable en comparación con los secadores tradicionales que requieren energía adicional, aparte de la que se recicla en el proceso de combustión. El incinerador es modular y consta de dos cámaras separadas: la cámara de rejilla y la cámara de ciclones. También es posible combinar dos cámaras de parrilla móvil con una cámara de ciclón en la segunda etapa [51].

A continuación, se exponen una serie de ventajas que este incinerador presenta con respecto a los incineradores ya instalados en buques de la Armada:

- ✓ Mayor velocidad de combustión.
- ✓ Aporta flexibilidad al diseño de la plataforma.
- ✓ Proporciona un control activo del flujo de aire permitiendo un conducto de gases de combustión más pequeño.
- ✓ Gran capacidad de secado de residuos húmedos.

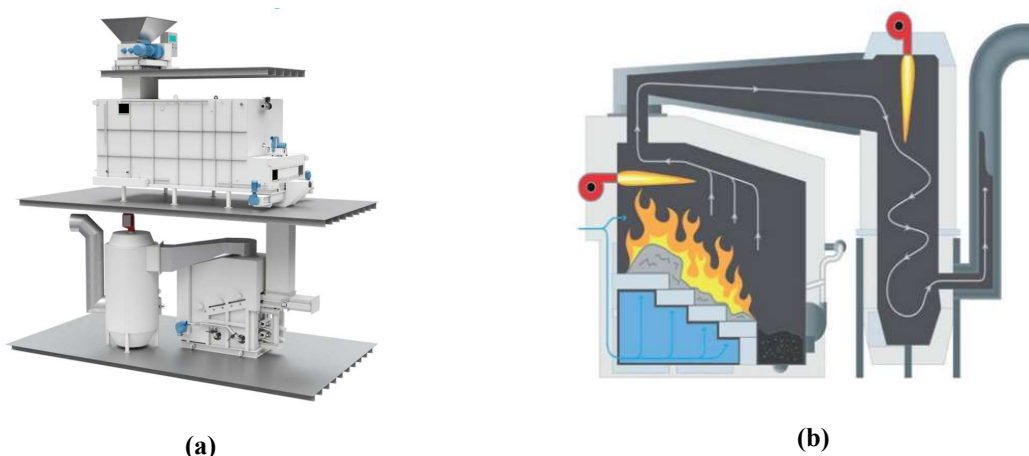


Figura 3-49: (a) Incinerador ciclónico Evac (b) Proceso de incineración [51].

3.3.5 Valorización energética

En este apartado se describe la última etapa del tratamiento de residuos propuesto en este estudio, en la que se pretende llevar a cabo un proceso de recuperación energética a partir del calor generado en el incinerador de residuos. La incineración de residuos tiene lugar a temperaturas comprendidas entre los 850 y 1450 °C por lo que durante este proceso se generan gases de combustión que son usados, en muchas instalaciones industriales, para la generación de vapor y consecuentemente la producción de electricidad o se plantean opciones más eficientes como puede ser la cogeneración de esta energía térmica. Si bien a nivel industrial esta recuperación energética ya es una práctica habitual en buques todavía no se ha implementado.

En este sentido, la intención de este estudio es, por tanto, el aprovechamiento de la energía térmica de los gases de combustión como sistema auxiliar para el calentamiento de agua en las fragatas F-100, pudiendo hacerse extensivo a todos aquellos navíos que cuenten con un incinerador a bordo. Este sistema entraría en funcionamiento cada vez que se esté utilizando el incinerador y que permitiría contribuir, en gran medida, a reducir el tiempo de utilización de la caldera del buque, con el consecuente ahorro de combustible que ello supone. El calor generado en cada ciclo de incineración servirá para el calentamiento del agua almacenándola en tanques, conformando así un sistema secundario de agua caliente cuyo fin sea estar en todo momento disponible para su utilización.

Todo esto es posible gracias a que la combustión producida en el incinerador existente en los buques seleccionados es un proceso exotérmico, es decir, un proceso mediante el cual se genera una gran cantidad de calor. La mayoría de la energía producida durante la combustión se transfiere a los gases de combustión, los cuales serán aprovechados, mediante su enfriamiento, para llevar a cabo la recuperación de la energía producida. En este proceso de recuperación por enfriamiento de los gases calientes, además, se produce una limpieza de los gases de combustión antes de su liberación a la atmósfera.

En incineradores sin recuperación de energía, los gases son enfriados normalmente mediante inyección de agua, aire, o ambos. En este caso, el objetivo es transferir el calor de los gases de combustión a otro líquido, normalmente agua que, casi siempre, se transforma en vapor. Las características del vapor (presión y temperatura) o del agua caliente vienen determinadas por los requisitos energéticos y restricciones técnicas del incinerador. Las características del gas de combustión, por su parte, dependerán mucho del contenido de los residuos, aunque estos siempre serán residuos sólidos no peligrosos. Los residuos peligrosos, por ejemplo, tienden a tener variaciones muy amplias en composición y, en ocasiones, concentraciones muy elevadas de sustancias corrosivas, como cloruros, en el gas crudo. Esto tiene un impacto significativo en las posibles técnicas de recuperación de energía que se emplean.

Análogamente, el ciclo térmico (vapor-agua) dependerá del objetivo, por ejemplo, las mayores potencias eléctricas requieren ciclos más sofisticados, pero, para este caso, los ciclos simples son adecuados para suministro de calor. Las paredes de la cámara de combustión, hechas de tubos de intercambio de calor rellenos de agua, normalmente con un recubrimiento protector de algún tipo, se utilizan ampliamente para enfriar los gases de combustión en los pasos vacíos, es decir, los haces tubulares de intercambio de calor. Los principales usos de la energía transferida a la caldera son: producción y suministro de agua caliente (como vapor o agua caliente) y producción y suministro de electricidad. En la

Figura 3-50 se refleja el esquema del sistema de calentamiento de

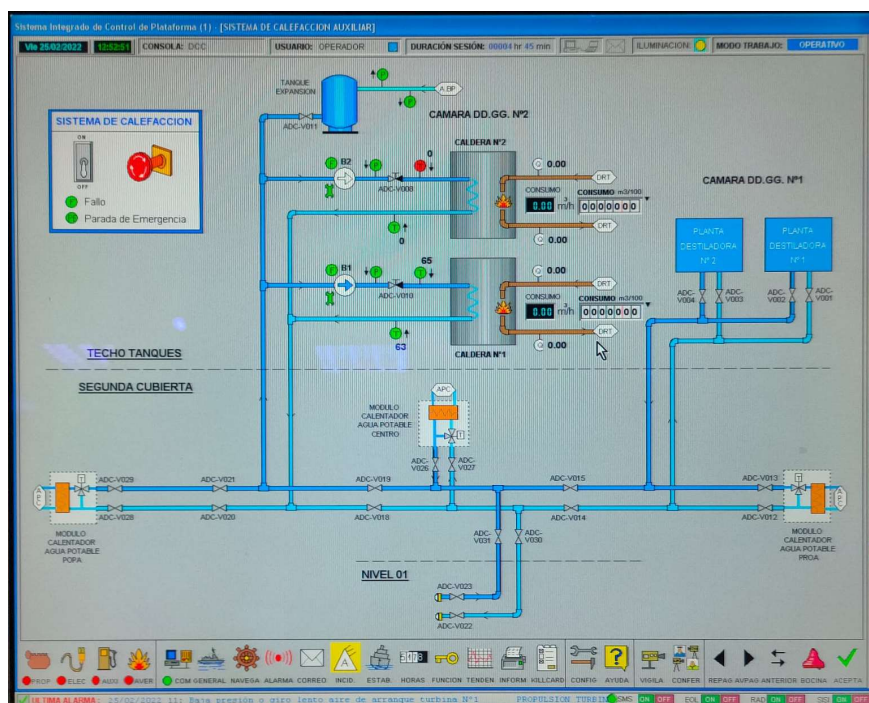


Figura 3-50 Esquema del sistema de calentamiento de agua utilizado en F-100.

En el caso de estudio que nos ocupa y, tras el estudio de diferentes alternativas, la opción que resultaría más viable es la modificación de la unidad de incineración comercial existente en las fragatas F-100 haciendo posible el aprovechamiento energético descrito, y destinando tal energía al calentamiento de agua, como se muestra en la Figura 3-51. De esta manera se conseguiría emplear la

energía térmica residual como sistema de apoyo para el calentamiento de agua caliente del buque. Si bien resulta difícil poder cuantificar el ahorro de combustible que supondría dicho aprovechamiento, pues este vendrá determinado por el tiempo de funcionamiento del incinerador, así como por la demanda de agua caliente, lo que está claro es que la modificación planteada supondría una apuesta clara por la mejora de los sistemas que actualmente dotan al navío, avanzando hacia sistemas más eficientes y sostenibles.

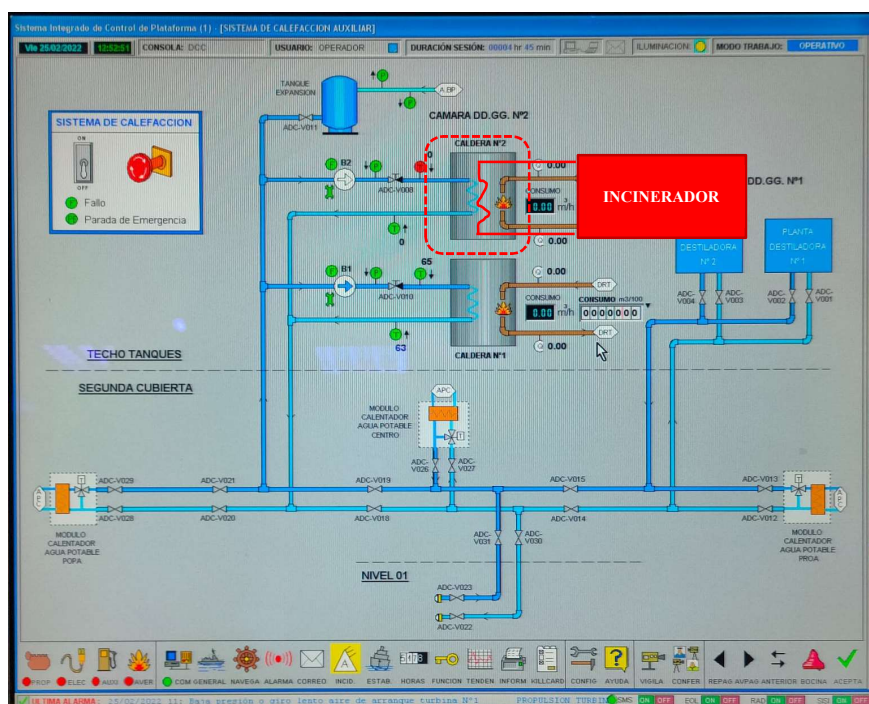


Figura 3-51 Propuesta del sistema auxiliar de calentamiento de agua para la F-100.

3.3.6 Cálculo de volumen reducido

En el presente apartado se presentan los cálculos realizados a partir de las eficiencias de los modelos que componen el sistema de tratamiento de residuos propuesto. De esta manera se obtiene una estimación del volumen de residuos que se consigue reducir por cada día de navegación.

Para ello se utilizan los datos extraídos de la cuantificación de residuos generados durante una jornada de navegación a bordo de una fragata F-100, se verá cuál es su reducción a la salida de la briquetadora, y a continuación se determinará la cantidad de cenizas resultante al introducir las briquetas de residuos posteriormente en el incinerador ciclónico de residuos (Véase Figura 3-52).

Se han investigado las distintas densidades que se necesitan para llevar a cabo el cálculo del volumen reducido por acción del sistema de tratamiento propuesto y se han obtenido los siguientes datos: la densidad de los envases comprende un abanico que va desde 9 kg/m^3 hasta los 187 kg/m^3 , el papel presenta densidades comprendidas entre los 33 kg/m^3 y los 98 kg/m^3 según el gramaje del papel, y la fracción resto, es decir, los residuos restantes después de separar los residuos reciclables, puede presentar densidades muy diferentes dependiendo de la composición. Por lo tanto, existen densidades muy diferentes, para facilitararlo y que resulte más claro se unifican las densidades de los materiales utilizando una media de sus densidades. De modo que, para los envases se utiliza una densidad de 98 kg/m^3 , para el papel-cartón 66 kg/m^3 [52] y para la fracción resto se utiliza una densidad de 500 kg/m^3 [53].

A partir de la densidad y la masa de los residuos sólidos, se puede obtener el volumen de residuos que genera el buque mediante la siguiente fórmula:

$$V = \frac{m \text{ (kg)}}{\rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

Con los datos de densidad se ha procedido a calcular el volumen de residuos sólidos generados a partir de su masa de la siguiente manera:

- Papel: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Masa: 24 kg} \\ \text{Densidad: 66 kg/m}^3 \end{array} \right. \quad \boxed{\frac{24}{66} = 0,363 \text{ m}^3}$
- Plástico: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Masa: 16 kg} \\ \text{Densidad: 98 kg/m}^3 \end{array} \right. \quad \boxed{\frac{16}{98} = 0,163 \text{ m}^3}$
- Orgánicos: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Masa: 260 kg} \\ \text{Densidad: 340 kg/m}^3 \end{array} \right. \quad \boxed{\frac{260}{340} = 0,764 \text{ m}^3}$
- **TOTAL: 1,290 m³**

Según las especificaciones del fabricante, las eficiencias de los modelos propuestos son:

- **Briquetadora Evac:** reducción del volumen de residuos por factor 10, es decir, tiene una eficiencia del 90 %. Se obtiene el resultando multiplicando los m³ de residuo por 0'1.
- **Incinerador Ciclónico Evac:** reducción del volumen de residuos sólidos en un 85 %. Se obtiene el resultado multiplicando los m³ de residuo por 0'15.

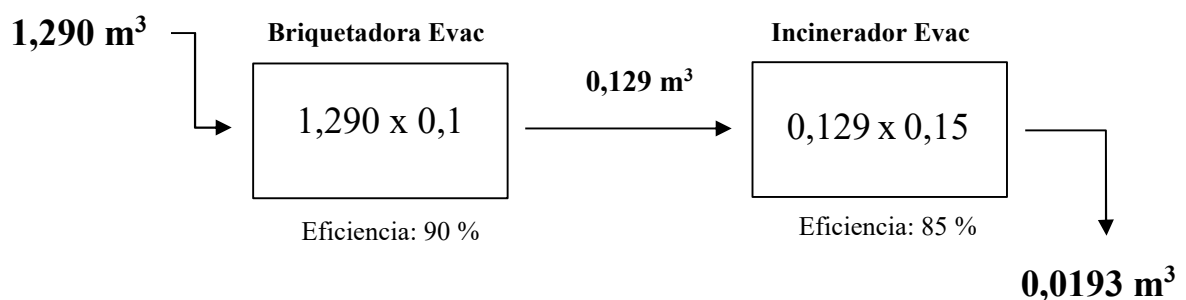


Figura 3-52 Cálculo de reducción del volumen de residuos sólidos generados en F-100. Elaboración propia.

En función de los cálculos realizados, se podría decir que la eficiencia total del sistema briquetadora-incinerador es del 98,5 % en cuanto a reducción del volumen se refiere. Se comprueba así que los residuos sólidos, generados durante un día de navegación y sometidos a un ciclo de briquetadora + incinerador, son reducidos de 1,290 a 0,0193 m³ que, expresado en litros, supone una reducción volumétrica de 1290 litros de residuos a 19,3 litros de cenizas. Queda patente, por tanto, la gran ventaja que aporta este sistema, consiguiendo liberar, con un solo ciclo de uso por día navegado, un espacio similar en dimensiones al de un compartimento del buque. Lo lógico es que, durante

tránsitos de navegación de varios días, la briquetadora realice más de un ciclo con el fin de obtener briquetas suficientes para llenar el incinerador y optimizar de esta manera su uso.

3.3.7 Estudio económico

En este apartado se lleva a cabo una descripción y análisis del coste de implementación del sistema de mejora de residuos sólidos propuesto. Como se ha comentado a lo largo del presente trabajo, el sistema propuesto está pensado, además de como una alternativa de mejora para el sistema actual instalado en las fragatas F-100, como una propuesta de innovación para ser incluido, en fase de construcción, en las fragatas F-110.

En las tablas que siguen, se presenta en primer lugar el coste de la maquinaria y a continuación el coste global de cada propuesta. Para la realización de este estudio económico se ha llevado a cabo un análisis de cada uno de los equipos planteados en base a ofertas de diversas empresas con el fin de poder hacer una estimación del precio de cada equipo en el mercado. Cabe destacar que los costes estimados se calculan para una fragata de cada clase (F-100 y F-110), por lo que habría que multiplicar por el número de fragatas de cada clase para obtener el coste total que le supondría a la Armada.

3.3.7.1 Coste unitario de maquinaria

	Coste Unitario (€)	Precio maquinaria actual F-100 (€)	Diferencia de inversión (€)
Briquetadora	80.700	70.000	+10.700
Incinerador ciclónico	85.500	80.000	+5.500
Triturador con descarga GPS	30.600	-	-

Tabla 3-14 Coste unitario de la maquinaria del sistema propuesto. Elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 3-14, los equipos propuestos para el nuevo sistema de tratamiento tienen un coste algo superior al de los equipos actualmente instalados en las F-100. Todos los modelos de briquetadora son, en general, de coste superior al de las máquinas compactadoras convencionales debido a que proporcionan un servicio mucho más completo y eficiente. Lo mismo ocurre en el caso de los incineradores analizados en este estudio, cuyo objetivo es acoplar las briquetas buscando la optimización del conjunto briquetadora-incinerador.

3.3.7.2 Coste estimado de cada propuesta

1. Fragatas F-100

Como se puede observar en la Tabla 3-15, el coste total de la compra del sistema propuesto que incluye briquetadora e incinerador para fragatas F-100 serían CIENTO SESENTA Y SEIS MIL DOSCIENTOS euros.

Coste Briquetadora (€)	Coste Incinerador (€)	Coste Total (€)
80.700	85.500	166.200

Tabla 3-15 Coste total propuesta fragatas F-100. Elaboración propia.

2. Fragatas F-110

En la Tabla 3-16 se presenta la propuesta para las fragatas F-110 es sistema propuesto incluye el triturador con descarga GPS, la briquetadora y el incinerador, por lo que el coste total de la compra del sistema propuesto para fragatas serían CIENTO NOVENTA Y SEIS MIL OCHOCIENTOS euros.

Coste Triturador (€)	Coste Briquetadora (€)	Coste Incinerador (€)	Coste Total (€)
30.600	80.700	85.00	196.800

Tabla 3-16 Coste total propuesta fragatas F-110. Elaboración propia.

Es importante destacar en este apartado que, como se puede ver reflejado en los costes de la maquinaria actualmente instalada, los presupuestos obtenidos para ambas propuestas no distan demasiado de aquellos que se emplearon en su día en la adquisición de la maquinaria actual. Por tanto, se puede extraer de este estudio económico que, a través de estas propuestas, la Armada tiene la opción de dar un gran salto de calidad en cuanto a eficiencia e innovación en lo que se refiere a tratamiento de residuos sólidos.

3.4 Reflexión personal

Al ser este un proyecto de investigación y análisis de tratamiento de residuos, con una parte final en la que se propone un sistema de tratamiento alternativo, al hablar de resultados hablaremos, en la mayoría de las ocasiones, de resultados teóricos y conclusiones obtenidas a partir de la investigación llevada a cabo en cada fase. Se ha decidido, por tanto, hacer una serie de reflexiones de cada fase del proyecto.

3.4.1 Tratamiento y gestión actual de residuos sólidos

En este apartado se exponen las reflexiones extraídas de las conversaciones mantenidas con Oficiales y demás personal a bordo de los buques de la Armada para conocer de primera mano los sistemas de tratamiento actual de residuos sólidos de los que disponen los buques y llevar a cabo la cuantificación de los mismos.

Como se menciona al principio de este capítulo, en esta fase se encontraron dificultades a la hora de intentar unificar criterios en la cuantificación de los residuos para elaborar una tabla que intentara resumir dicho análisis, esto se debe a la heterogeneidad a la hora de gestionar y tratar los residuos en unos buques respecto a otros. Es decir, hay buques que cuantifican sus residuos al almacenarlos, otros al verterlos al mar, buques que cuantifican a diario y otros que sólo lo hacen semanalmente.

Además, existen distintas configuraciones en cuanto a los equipos que integran los de tratamiento de residuos en según qué buques, lo cual también dificulta su cuantificación ya que muchos de ellos cuantifican directamente la cantidad de residuos que salen de estos dispositivos. Por ejemplo, en distintos buques de una misma clase, como son las fragatas F-100, se dan casos de tener incinerador y compactador, o no tener incinerador y solo compactar, con lo cual, al realizar el recuento, para barcos del mismo tipo, se obtenían resultados diferentes. En esta línea, una de las posibilidades en cuanto a futuros estudios de investigación podría ser la unificación de criterios a la hora de gestionar y cuantificar los residuos sólidos en ciertas clases de buques de la Armada.

3.4.2 Cuantificación de residuos sólidos

Durante esta fase del trabajo se pusieron de manifiesto las dificultades que presentan los buques, por el reducido espacio con el que cuentan, para cumplir con la gestión y el tratamiento de las distintas tipologías de residuos existentes dando así cumplimiento a la normativa en vigor. Cabe destacar, por

tanto, el esfuerzo que supone llevar a cabo tareas de instalación de contenedores específicos, separación diaria de residuos, almacenamientos especiales para residuos de diferente índole, etc. El adiestramiento y concienciación de las dotaciones de los buques, entre las que se encuentran verdaderos expertos en la materia dedicados a la gestión de los residuos, es otro hecho que vuelve a poner de manifiesto el ya mencionado compromiso de la Armada con la prevención de la contaminación marina.

Como se ha visto reflejado, la gran mayoría de residuos generados en los buques de la Armada, en términos generales, son procedentes de la actividad diaria, en su mayoría residuos orgánicos sólidos procedentes de las comidas. Otro factor a tener en cuenta en este apartado es el número considerable de buques en la Armada que, como ya ha sido justificado, no llevan a cabo ningún tipo de tratamiento a bordo por razones, principalmente, de tiempo y espacio.

Por otra parte, y siendo conocedores de las dificultades de lo que esto supone, no se puede dejar pasar en este apartado la necesidad de unificar, en la medida de lo posible, criterios de cuantificación de residuos en ciertos buques, al menos entre los de una misma clase. También es destacable el contraste que se da entre buques de diferentes clases en términos de comodidad y sencillez a la hora de cuantificar residuos. En buques más modernos esta cuantificación se lleva a cabo mediante el sistema automático de control de plataforma, mientras que en otros buques supone un verdadero esfuerzo para la dotación implicada llevar a cabo una cuantificación rigurosa.

Es importante recalcar que los sistemas de tratamiento instalados actualmente en los buques cumplen con su función, aunque el margen de mejora en cuanto a eficiencia es notable. La distribución de los sistemas de tratamiento en los diferentes buques es bastante heterogénea, por lo que, para proponer mejoras es necesario centrarse en las necesidades específicas de cada buque.

En la Tabla 3-17 se refleja un resumen de la cuantificación de residuos sólidos generados en la mayoría de los buques de la Armada y el tratamiento que reciben en función del tipo de buque, la frecuencia de navegación de este, o el número de personas que contenga su dotación. En ella se puede ver que, de los 12 buques tenidos en cuenta en este trabajo, tres no tratan ningún tipo de residuo, cuatro Trituran y compactan los residuos y cinco poseen incineradoras además de triturar y compactar los residuos.

Buque	Tipo de barco	Dotación	Frecuencia navegación	Residuos generados	Cuantificación de residuos	Residuos tratados a bordo	Tratamiento utilizado
Juan Carlos I	LHD	300, capacidad hasta 1000	Media de 5 salidas/mes + 1/2 semanas cada 2 meses	Orgánico Inorgánico, RTP 's	Para dotación: 550 kg/día	Inorgánicos combustibles y no combustibles	Incineración, trituración y compactado de inorgánicos, separación de orgánicos
Galicia	BAA	200	Media de 5 salidas/mes + 1/2 semanas cada 2 meses	Orgánico Inorgánico, RTP 's	350 kg/día	Inorgánicos no combustibles	Trituración y compactación de inorgánicos, separación de orgánicos
Patiño	BAC	150	Media de 10 días al mes	Orgánico Inorgánico RTP 's	240 kg/día	Inorgánicos combustibles y no combustibles	Incineración, trituración y compactación de inorgánicos, separación de orgánicos
Álvaro de Bazán	F-100	180	150 días al año en total	Orgánico e inorgánico, RTP 's	300 kg/día	Inorgánicos no combustibles	Trituración y compactación de inorgánicos, separación de orgánicos
Segura	MCM	42	Despliegues 2/3 meses + 5 salidas mensuales	Orgánico e inorgánico, RTP 's	75 kg/día	No tratan residuos a bordo	Separación orgánicos (descarga al mar) e inorgánicos (descarga en puerto)

Buque	Tipo de barco	Dotación	Frecuencia navegación	Residuos generados	Cuantificación de residuos	Residuos tratados a bordo	Tratamiento utilizado
Santa María	F-80	220	Despliegues de 2 meses y/o 2 semanas al mes	Orgánico e inorgánico, RTP 's	370 kg/día	Inorgánicos combustibles y no combustibles	Incineración, trituración y compactación de inorgánicos, separación de orgánicos
Anaga	Patrullero	30	Media de 10 días al mes	Orgánico e inorgánico, RTP 's	50 kg/día	No tratan residuos a bordo	Separación orgánicos (descarga al mar) e inorgánicos (descarga en puerto)
Alborán	Colaboración pesquera	32	Despliegues 1/2 meses + 10 días al mes	Orgánico e inorgánico, RTP 's	60 kg/día	Inorgánicos no combustibles	Trituración y compactación de inorgánicos, separación de orgánicos
Meteoro	BAM	53	Media de 15 días al mes + posibles despliegues	Orgánico e inorgánico, RTP 's	100 kg/día	Inorgánicos combustibles y no combustibles	Incineración, trituración y compactación de inorgánicos, separación de orgánicos
Mahón	Auxiliar	32	Media de una semana al mes	Orgánico e inorgánico, RTP 's	60 kg/día	No tratan residuos a bordo	Separación orgánicos (descarga al mar) e inorgánicos (descarga en puerto)
Hespérides	BIO	55 dotación + 37 científicos	2 despliegues de 5 meses anuales + 1 mes de campaña	Orgánicos, inorgánicos, Biológicos, RTP 's	70 kg/día	Inorgánicos combustibles y no combustibles	Incineración, trituración y compactación de inorgánicos, separación de orgánicos
Juan Sebastián Elcano	Buque Escuela	230	1 crucero de 6 meses al año	Orgánico e inorgánico	325 kg/día	Inorgánicos no combustibles	Trituración y compactación de inorgánicos, separación de orgánicos

Tabla 3-17 Tabla resumen de cuantificación de residuos sólidos. Elaboración propia.

3.4.3 Sistema de tratamiento de residuos propuesto

El sistema de tratamiento propuesto está formado por una briquetadora de residuos, que reduce el volumen de residuos generados con mayor eficiencia que las compactadoras instaladas actualmente, un incinerador recomendado para continuar con el tratamiento de las briquetas conformadas, y por último una etapa de aprovechamiento de la energía térmica residual generada en el incinerador empleándola como sistema auxiliar para la obtención de agua caliente.

La principal ventaja de los sistemas de tratamiento propuestos es la innovación que supone para el mundo de la industria naval, ya que, por ejemplo, las briquetadoras son dispositivos muy utilizados a nivel industrial pudiendo obtener briquetas a partir de todo tipo de biomásas pudiendo ser posteriormente empleadas como combustible, sin embargo, muy pocos buques tienen instalada, a día de hoy, este tipo de tecnología que, además de eficiente, cuenta con modelos de tamaño reducido, lo cual le proporciona un gran valor añadido al estar hablando de un tecnología válida para su instalación en buques.

Es importante apuntar que, para el sistema de tratamiento propuesto, no hará falta llevar a cabo ninguna modificación en cuanto a mano de obra y personal implicado durante su funcionamiento. Para la briquetadora hace falta un solo operario que la active en el panel manual. Al contrario que en las compactadoras instaladas actualmente, en las que los operarios tienen que estar pendientes del compactado e introducir los residuos poco a poco.

Ese mismo operario que activa la briquetadora, y una vez acabado el proceso recoge las briquetas conformadas, puede ser el encargado de introducirlas en el incinerador, el cual está preparado para la recepción de las briquetas.

Al igual que la innovación aportada por la briquetadora, lo mismo ocurre con la valorización energética implementada en el incinerador. A nivel industrial, existen plantas incineradoras urbanas en las que se reutiliza esta energía, si bien es un concepto nuevo para buques, a pesar de que la inmensa mayoría de ellos lleva a cabo procesos de incineración a bordo para reducir el volumen de sus residuos.

Así mismo, también se ha llegado a la conclusión durante este apartado que los buques idóneos en los que centrar el tiro serían las fragatas F-100, como prólogo de las F-110, para las que además se propone un innovador sistema de trituración con descarga por GPS. El estudio aquí planteado se podría haber realizado también con las fragatas F-80 teniendo en cuenta sus características. Sin embargo, se ha descartado ya que está previsto que sean sustituidas por las F-110 en un futuro muy próximo, por lo que no resultaría rentable implementar los sistemas de tratamiento aquí propuestos.

4 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

En el presente capítulo se pretenden reflejar las conclusiones obtenidas durante la realización de este proyecto, analizando el cumplimiento de los objetivos citados al principio de la memoria. Además, se proponen las líneas futuras necesarias para continuar con el desarrollo del sistema de tratamiento de residuos sólidos propuesto.

4.1 Conclusiones

Las conclusiones extraídas a lo largo del presente trabajo se pueden resumir de la siguiente forma:

1. Una vez llevada a cabo la cuantificación de residuos y analizados los distintos tipos de sistemas de tratamiento de residuos en los buques de la Armada, se puede concluir que las fragatas F-100 son las más susceptibles de implementar las mejoras propuestas por diversos factores entre los que destaca el hecho de significar siempre una de las primeras opciones a la hora de ser desplegadas por sus capacidades operativas. En este sentido, como se ha comentado, estas fragatas son uno de los barcos de guerra más modernos del mundo por lo que se considera importante que utilicen un sistema de tratamiento de residuos en esta misma línea, eficiente e innovador.
2. El proyecto F-110 supone una continuación en el tiempo para el modelo de buque escolta moderno que suponen las fragatas F-100 para la Armada. Por esta razón se llega a la conclusión de los beneficios que podrían acarrear para la Armada el llevar a cabo una propuesta de sistema de tratamiento de residuos sólidos a bordo para estos barcos aún por construir. Como se ha descrito, estos buques serán de características muy similares a las de sus antecesores por lo que la implementación de este sistema se llevaría a cabo de manera muy similar en ambos.
3. Es importante destacar que el sistema propuesto supone una mejora clara en innovación no sólo por el aprovechamiento energético, lo cual representa un hito pionero en la industria naval, sino también por la utilización de una tecnología altamente eficiente como es el uso de briquetadoras que permiten una reducción del volumen de residuos producidos de seis veces, valor superior al obtenido con las compactadoras actuales, lo que además de liberar más espacio en menos tiempo, consigue un funcionamiento óptimo del incinerador de residuos.
4. Para el resto de los buques de la Armada que actualmente cuentan con incinerador, resultaría muy beneficiosa la implementación del sistema de aprovechamiento energético de la energía térmica generada durante el proceso. Este aprovechamiento puede llevarse a cabo en cualquier incinerador y supone un gran ahorro, en cuanto a recursos para el buque en cuestión, convirtiendo una energía residual en un recurso de valor, permitiendo así a la Armada estar cada vez más alineada con las actuales políticas de economía circular.

4.2 Líneas futuras

Este trabajo está pensado para servir de base a futuros proyectos que continúen con el desarrollo del sistema propuesto o de otros sistemas innovadores que puedan ser implementados. Se exponen en este apartado posibles vías de continuación del presente trabajo:

- a. La principal línea de continuación a este trabajo sería la instalación detallada del sistema propuesto en las fragatas, entrando en detalle en cuanto a planos, dimensiones y posibles modificaciones estructurales que hiciesen falta para la instalación completa del sistema.
- b. Otra posible línea de trabajo podría consistir en la implementación técnica del aprovechamiento energético en el incinerador tanto existente a día de hoy en las fragatas F-100 como el propuesto para las fragatas F-110, proponiendo dimensiones de los intercambiadores de calor necesarios y demás elementos auxiliares, así como el esquema hidráulico que incluya este sistema auxiliar de calentamiento de agua de tal forma que se optimice la utilización del combustible y que produzca el mayor ahorro posible.
- c. Estudio de la viabilidad de implementación del sistema propuesto en la mayor cantidad de buques de la Armada posibles, buscando la unificación corporativa en cuanto al tratamiento de residuos.

5 BIBLIOGRAFÍA

[1] Greenpeace, «La mala gestión de los residuos de envases cuesta a la ciudadanía española hasta 744 millones de euros anuales - ES», *Greenpeace España*. <https://es.greenpeace.org/es/sala-de-prensa/comunicados/la-mala-gestion-de-los-residuos-de-envases-cuesta-a-la-ciudadania-espanola-hasta-744-millones-de-euros-anuales/> (accedido 7 de febrero de 2022).

[2] D. Hoornweg, P. Bhada-Tata, y C. Kennedy, «Environment: Waste production must peak this century», *Nature*, vol. 502, n.º 7473, Art. n.º 7473, oct. 2013, doi: 10.1038/502615a.

[3] E.Cerdá y A.Khalilova, «ECONOMÍA CIRCULAR», <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/401/CERD%C3%81%20y%20KHALILOVA.pdf>

[4] «Basura marina». <https://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Paginas/marinelitter-Default.aspx> (accedido 7 de febrero de 2022).

[5] «Política Medioambiental del Ministerio de Defensa - Medio Ambiente». <https://www.defensa.gob.es/medioambiente/formaciondivulgacion/politicaambiental/> (accedido 7 de febrero de 2022).

[6] «Sistema de Gestión Ambiental - Medio Ambiente - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/conocenosmedioambiente/prefLang-es/02GestionAmbiental> (accedido 7 de febrero de 2022).

[7] A. V. Botello, «LA CONTAMINACION MARINA Y LA URGENCIA DE SU LEGISLACIÓN», p. 8.

[8] N. González-Cancelas, F. Soler-Flores, A. Orive, y A. Camarero-Orive, «TRANSPORTE MARÍTIMO Y MEDIO AMBIENTE: LAS IMPLICACIONES DE LAS SECAS Y LAS ECAS», p. 21, 2013.

[9] J. A. Rodríguez, «Los cadetes de la academia de Marín se unen a los voluntarios para limpiar la isla de Ons», *El País*, Madrid, 8 de diciembre de 2002. Accedido: 8 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: https://elpais.com/diario/2002/12/08/espana/1039302014_850215.html

[10] Redacción, «Llega la era de la minería submarina», *Tierra y Tecnología*, 12 de mayo de 2017. <https://www.icog.es/TyT/index.php/2017/05/llega-la-era-de-la-mineria-submarina/> (accedido 16 de febrero de 2022).

- [11] J. Escobar, «El impacto producido por la actividad minera en los fondos profundos oceánicos sobre los recursos genéticos y el Reglamento para la prospección y exploración de nódulos polimetálicos en la Zona», p. 71.
- [12] «Qué son los Vertidos Industriales en el Agua y su Tratamiento», *ecologiaverde.com*. <https://www.ecologiaverde.com/que-son-los-vertidos-industriales-en-el-agua-y-su-tratamiento-1652.html> (accedido 7 de febrero de 2022).
- [13] «SOS Mar Menor - Información, Protección y Defensa del Mar Menor», *SOS Mar Menor*. <https://sosmarmenor.org/> (accedido 8 de febrero de 2022).
- [14] P. por artemilitarynaval, «La Armada española de ultramar». <https://www.artemilitarynaval.es/2021/04/la-armada-espanola-ultramar.html> (accedido 9 de febrero de 2022).
- [15] «Sobreexplotación», *Greenpeace España*. <http://www.greenpeace.org/espana/es/Trabajamos-en/Defensa-de-los-oceanos/pesca/sobreexplotacion/> (accedido 16 de febrero de 2022).
- [16] «Prevención de la contaminación por las basuras de los buques». <https://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Paginas/Garbage-Default.aspx> (accedido 7 de febrero de 2022).
- [17] «Contaminación del Mar». <http://conveniosmaritimos.blogspot.com/p/contaminacion-del-mar.html> (accedido 7 de febrero de 2022).
- [18] Jefatura del Estado, *Ley 20/1986, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos*, vol. BOE-A-1986-12192. 1986, pp. 17864-17867. Accedido: 7 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/l/1986/05/14/20>
- [19] Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, *Real Decreto 833/1988, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos*, vol. BOE-A-1988-18848. 1988, pp. 23534-23561. Accedido: 7 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/1988/07/20/833>
- [20] Ministerio de Medio Ambiente, *Real Decreto 952/1997, de 20 de junio, por el que se modifica el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos, aprobado mediante Real Decreto 833/1988, de 20 de julio*, vol. BOE-A-1997-14934. 1997, pp. 20871-20880. Accedido: 7 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/1997/06/20/952>
- [21] Jefatura del Estado, *Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos*, vol. BOE-A-1998-9478. 1998, pp. 13372-13384. Accedido: 7 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/l/1998/04/21/10>
- [22] Ministerio de Medio Ambiente, *Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos*, vol. BOE-A-2002-3285. 2002, pp. 6494-6515. Accedido: 7 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/o/2002/02/08/mam304>
- [23] Ministerio de la Presidencia, *Real Decreto 1381/2002, de 20 de diciembre, sobre instalaciones portuarias de recepción de desechos generados por los buques y residuos de carga*, vol. BOE-A-2002-24910. 2002, pp. 45003-45016. Accedido: 7 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2002/12/20/1381>
- [24] Jefatura del Estado, *Ley 33/2010, de 5 de agosto, de modificación de la Ley 48/2003, de 26 de noviembre, de régimen económico y de prestación de servicios en los puertos de interés general*, vol. BOE-A-2010-12703. 2010, pp. 68986-69113. Accedido: 7 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/l/2010/08/05/33>

[25] Ministerio de Fomento, *Orden FOM/1392/2004, de 13 de mayo, relativa a la notificación y entrega de desechos generados por los buques*, vol. BOE-A-2004-9433. 2004, pp. 19163-19167. Accedido: 7 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/o/2004/05/13/fom1392>

[26] Jefatura del Estado, *Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados*, vol. BOE-A-2011-13046. 2011, pp. 85650-85705. Accedido: 7 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/l/2011/07/28/22>

[27] Ministerio de Fomento, *Real Decreto Legislativo 2/2011, de 5 de septiembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante*, vol. BOE-A-2011-16467. 2011, pp. 109456-109710. Accedido: 7 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rdlg/2011/09/05/2>

[28] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, *Real Decreto 180/2015, de 13 de marzo, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado*, vol. BOE-A-2015-3715. 2015, pp. 29388-29406. Accedido: 7 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2015/03/13/180>

[29] «DOC20171122142112FAS-13561818.pdf». Accedido: 9 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://contrataciondelestado.es/wps/wcm/connect/07688dff-abc0-49e9-b70f-84f9574d2316/DOC20171122142112FAS-13561818.PDF?MOD=AJPERES>

[30] S. Navy, «Arsenal de Cartagena - Shore Facilities - Photographic Gallery - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/multimedialgaleria/prefLang-en/17arsenalesestacionesNavales--02ArCartagena-es> (accedido 16 de febrero de 2022).

[31] A. Española, «LHD “Juan Carlos I” (L-61) - Buques - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-es/02lhd-juan-carlos-i--03lhd-juan-carlos-i-l-61> (accedido 8 de febrero de 2022).

[32] S. Navy, «Amphibious Ships Galicia (L-51) - B.A.A. “Galicia” - Ships - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-en/03Buquesanfibios--01buque-asalto-anfibio-galicia-l-51> (accedido 8 de febrero de 2022).

[33] «Frigate “Alvaro de Bazán” (F-101) - Fragata “Álvaro de Bazán” - Ships - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-en/04Fragatas-F100-F80--01fragatas-clase-alvaro-de-baza-f-100--01fragata-alvaro-de-bazan-f-101> (accedido 8 de febrero de 2022).

[34] S. Navy, «Frigate Santa Maria (F-81) - Fragata “Santa María” - Ships - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-en/04Fragatas-F100-F80--02fragata-clase-santa-maria-f-80--01fragata-santa-maria-f-81> (accedido 8 de febrero de 2022).

[35] S. Navy, «AOR “CANTABRIA” (A-15) - AOR Cantabria - Ships - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-en/06buques-logisticos--02buque-aprovisionamiento-combate-cantabria> (accedido 8 de febrero de 2022).

[36] S. Navy, «Minehunter “SEGURA” (M-31) - Ships - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España».

<https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-en/07medidas-contraminas--021-escuadrilla-mcm--02cazaminas-segura-m-31> (accedido 8 de febrero de 2022).

[37] «Patrol Boat “Tagomago” (P-22) - Patrullero “Tagomago” - Ships - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-en/08patrulleros--04patrulleros-clase-anaga--01patrullero-tagomago-p-22> (accedido 8 de febrero de 2022).

[38] S. Navy, «Patrol boat “TARIFA” (P-64) - Ships - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-en/08patrulleros--06patrulleros-clase-chilreu--04patrullero-tarifa-p-64> (accedido 8 de febrero de 2022).

[39] A. Española, «Buques de Acción Marítima “Furor” (P-46) - B.A.M. “Furor” - Buques - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-es/10buques-accion-maritima--06buque-accion-maritima-Furor-p46> (accedido 8 de febrero de 2022).

[40] S. Navy, «Ocean-going Tugboat “Mahón” (A-51) - Ships - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-en/11buques-auxiliares--02remolcador-mahon-a-51> (accedido 8 de febrero de 2022).

[41] S. Navy, «B.I.O. Hespérides - B.I.O. “Hespérides” - Ships - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-en/12buques-investigacion-oceanografia--01buque-investigacion-oceanografica-hesperides> (accedido 8 de febrero de 2022).

[42] S. Navy, «Training Ship “JUAN SEBASTIÁN DE ELCANO” - Training Ship “Juan Sebastián de Elcano” - Ships - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-en/14Buquesescuela--01buque-escuela-juan-sebastian-de-elcano-a-71> (accedido 8 de febrero de 2022).

[43] Documentación interna de la Armada. Planta de tratamiento de aguas residuales “DELTA” FQ15«OBRA4967PLANTPDF.pdf».

[44] Documentación interna de la Armada. Separador de sentinas utilizado en las fragatas F-100 «OBRA4967 SISTEMA TRATAMIENTO RESIDUOS OLEOSOS.pdf».

[45] Documentación interna de la Armada. Púlper, hidroextractor y tanque almacén de comidas utilizados en las fragatas F-100«OBRA 4967 D.pdf».

[46] Documentación interna de la Armada. «TRITURADORA-COMPACTADORA DE RESIDUOS SOLIDOS MOD SPA-300. MANUAL DE OPERACION MANTENIMIENT.pdf».

[47] Documentación interna de la Armada. «OBRA4967incpdf.pdf».

[48] «LLALCO_Product_leaflet_Evac_Food_waste_vacuum_system_OWMS_2018-1.pdf». Accedido: 3 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.llalco.com/wp-content/uploads/LLALCO_Product_leaflet_Evac_Food_waste_vacuum_system_OWMS_2018-1.pdf

[49] «Compactador de basura para buque by EVAC | NauticExpo». <https://www.nauticexpo.es/prod/evac/product-30988-512320.html> (accedido 1 de marzo de 2022).

[50] «LLALCO_Product_leaflet_Evac_briquetting_unit_2018-1.pdf». Accedido: 2 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.llalco.com/wp-content/uploads/LLALCO_Product_leaflet_Evac_briquetting_unit_2018-1.pdf

[51] «Evac-Cyclone-incinerator.pdf». Accedido: 3 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://hansbuch.dk/marine/wp-content/uploads/sites/6/2017/05/Evac-Cyclone-incinerator.pdf>

[52] «Localizacion optima de contenedores de residuos solidos urbanos en Alcala de Henares - Document - Gale OneFile: Informe Académico». <https://go.gale.com/ps/i.do?p=IFME&u=googlescholar&id=GALE%7CA488387952&v=2.1&it=r&sid=IFME&asid=68787cfe> (accedido 15 de marzo de 2022).

[53] «Densidad», *Agència de Residus de Catalunya*. http://residus.gencat.cat/es/ambits_dactuacio/recollida_selectiva/residus_municipals/materia_organica_form_-_fv/que_es_la_form/densitat/ (accedido 15 de marzo de 2022).