

TRABAJO DE FIN DE GRADO

“GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE”

GRADO EN “NÁUTICA Y TRANSPORTE MARÍTIMO”
OPERACIÓN NÁUTICA DEL BUQUE

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

JUNIO – 2019

AUTOR: AINHOA CONDE CASTRO
DIRECTOR: FRANCISCO SERVIA RAMOS



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE
NÁUTICA E MÁQUINAS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

“GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE”

GRADO EN “NÁUTICA Y TRANSPORTE MARÍTIMO”
OPERACIÓN NÁUTICA DEL BUQUE

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

JUNIO – 2019

AUTOR:

DIRECTOR

Fdo.: Ainhoa Conde Castro

Fdo.: Francisco Servia Ramos



RESUMEN

El agua de lastre es un recurso que permite mejorar la estabilidad del buque cuando este navega sin carga, representando un peso adicional que mejora las condiciones de la navegación.

Sin embargo, la posible transferencia de agentes patógenos y organismos acuáticos contenidos en el agua de lastre y sedimentos de los buques durante las operaciones de deslastre, representa un problema de especial relevancia en la actualidad.

Recientemente la OMI ha mostrado una gran preocupación por este tema, al poner de manifiesto que un único buque realizando sus operaciones de lastre y deslastre sin una gestión adecuada, bastaría para facilitar el traslado de entre 3.000 y 4.000 especies diferentes de microorganismos y agentes patógenos, hacia áreas en donde normalmente no habitan.

Aproximadamente el 90% del transporte mundial de mercancías tiene lugar por vía marítima, por lo que debemos tomar conciencia de esta importante problemática, cuyas soluciones todavía se encuentran, en muchos casos, en vías de mejora o desarrollo.

Una descarga incontrolada del agua de lastre podría llegar a producir sucesos de contaminación indeseados, como consecuencia de una inadecuada gestión por parte de la tripulación, puertos, instalaciones de recepción o empresas involucradas.

La incorporación de especies procedentes de otras regiones del planeta puede llegar a desplazar a la flora y fauna autóctona de un determinado ecosistema marino, dando lugar a la proliferación de comunidades invasivas que podrían alcanzar la dimensión de plaga.

Por lo tanto, resulta imprescindible respetar las Reglas establecidas por el *Convenio Internacional sobre la Gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques* (de reciente entrada en vigor (septiembre, 2017)) así como las diferentes Directrices que lo complementan.



Existen numerosos métodos aprobados y aptos para llevar a cabo la mencionada gestión, ya sean mecánicos, físicos, o químicos. Por lo general, la mejor opción consiste en una combinación de varios de ellos, como explicaremos a lo largo del trabajo.

Además, hoy en día, se están llevando a cabo numerosos estudios y programas, como el *GloBallast*, cuyo objetivo es reducir al mínimo, y en último término, erradicar, la transferencia de estos organismos perjudiciales.

También se encuentran en desarrollo alternativas de buques capaces de navegar sin incorporar tanques de lastre, los buques de lastre reducido o bien, los que transportan agua de lastre de manera permanente, sin descargarla al mar.

Asimismo, se insistirá en el papel colaborador que deben desempeñar los Estados Parte en el Convenio, para facilitar su implementación y garantizar que sus preceptos se cumplen en las aguas bajo su jurisdicción.

En la actualidad, nos encontramos en una fase de evaluación del Convenio, para localizar cuáles son los puntos más difíciles de implementar, corrección de errores y elaboración de nuevas propuestas. Al mismo tiempo, los avances tecnológicos, y la colaboración entre el sector público y privado por medio de iniciativas como *GloBallast*, permitirán desarrollar mecanismos más complejos que permitan solventar esta problemática a nivel global.

RESUMO

A auga de lastre é un recurso que permite mellorar a estabilidade do buque cando este navega sen carga, representando un peso adicional que mellora as condicións da navegación.

Sen embargo, a posible transferencia de axentes patóxenos e organismos acuáticos contidos na auga de lastre e sedimentos dos buques durante as operacións de deslastre, representa un problema de especial relevancia na actualidade.

Recentemente, a OMI mostrou unha grande preocupación por este tema, ao pór de manifesto que un único buque realizando as súas operacións de lastre e deslastre sen unha xestión adecuada, abondaría para facilitar o traslado de entre 3.000 e 4.000 especies diferentes de microorganismos e axentes patóxenos, cara a áreas onde normalmente non habitan.

Aproximadamente o 90% do transporte mundial de mercancías ten lugar por vía marítima, polo que debemos tomar conciencia desta importante problemática, cuxas solucións aínda se atopan, en moitos casos, en vías de mellora ou desenvolvemento.

Unha descarga incontrolada da auga de lastre podería chegar a producir sucesos de contaminación non desexados, como consecuencia dunha inadecuada xestión por parte da tripulación, portos, instalacións de recepción ou empresas involucradas.

A incorporación de especies procedentes doutras rexións do planeta pode chegar a desprazar á flora e fauna autóctona dun determinado ecosistema mariño, dando lugar á proliferación de comunidades invasoras que poderían acadar a dimensión de praga.

Polo tanto, resulta imprescindible respectar as Regras establecidas polo *Convenio Internacional sobre a Xestión da Auga de Lastre e Sedimentos dos Buques* (de recente entrada en vigor) así como as diferentes Directrices que o complementan.

Existen numerosos métodos aprobados e aptos para levar a cabo a mencionada xestión, sexan estes mecánicos, físicos, ou químicos. Por norma xeral, a mellor



opción consiste nunha combinación de varios deles, como explicaremos ao longo deste traballo.

Ademais, hoxe en día, estanse a levar a cabo numerosos estudos e programas, como o *GloBallast*, cuxo obxectivo é reducir ao mínimo, e, nunha última instancia, erradicar, a transferencia destes organismos prexudiciais.

Tamén se atopan en desenvolvemento alternativas de buques capaces de navegar sen incorporar tanques de lastre, os buques de lastre reducido ou tamén, aqueles que transportan auga de lastre de maneira permanente, sen descargala ao mar.

Así mesmo, insistirase no papel colaborador que deben desenvolver os Estados Parte no Convenio, para facilitar a súa implementación e garantir que os seus preceptos se cumpren nas augas baixo a súa xurisdición.

Na actualidade, atopámonos nunha fase de avaliación do Convenio, na procura dos puntos máis difíciles de implementar, corrección de erros e elaboración de novas propostas. Ao mesmo tempo, os avances tecnolóxicos, e a colaboración entre o sector público e privado por medio de iniciativas como *GloBallast*, permitirán desenvolver mecanismos máis complexos que permitan solventar esta problemática a nivel global.

**ABSTRACT**

Ballast water is a resource that allows to improve the stability of the ship while sailing without cargo, representing an additional weight that improves the conditions of navigation.

However, the possible transfer of pathogens and aquatic organisms contained in the ballast water and sediments of the vessels during the unballasting operations represents a problem of special relevance currently.

Recently, IMO has shown great concern on this issue, by demonstrating that a single vessel performing its ballasting and unballasting operations without proper management would be sufficient to facilitate the transfer of among 3.000 and 4.000 different species of microorganisms and pathogens, to areas where they normally do not live.

Approximately 90% of world freight transport takes place by sea, so we must be aware of this important problem, whose solutions are still, in many cases, in the process of improvement or development.

An uncontrolled discharge of ballast water can lead to unwanted pollution events, as a result of inadequate management by the crew, ports, reception facilities or companies involved.

The incorporation of species from other regions of the planet might displace the native flora and fauna of a particular marine ecosystem, giving rise to the proliferation of invasive communities that could reach the pest dimension.

Therefore, it is essential to respect the Rules established by the *International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments* (recently entered into force) as well as the different guidelines that complement it.

There are numerous methods approved and apt to carry out the mentioned management, whether they are mechanical, physical, or chemical. In general, the best option consists of a combination of several of them, as we are going to explain throughout the project.



In addition, nowadays, numerous studies and programs are being carried out, such as *GloBallast*, whose objective is to minimize, and ultimately eradicate, the transfer of these harmful organisms.

Also under development are alternative ships capable of sailing without incorporating ballast tanks, reduced ballast ships or those that transport ballast water permanently, without discharging it into the sea.

Likewise, emphasis will be placed on the collaborative role to be played by the States Parties to the Convention, to facilitate their implementation and ensure that their precepts are met in the waters under their jurisdiction.

Nowadays, we are in a phase of evaluation of the Convent, in order to locate which are the most difficult points to implement, correction of errors and preparation of new proposals. At the same time, technological advances, and collaboration between the public and private sectors through initiatives such as *GloBallast*, will allow the development of more complex mechanisms to solve this problem globally.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN	13
2.	RESPUESTA MUNDIAL.....	18
3.	ANÁLISIS DEL CONVENIO BWM	21
4.	CONTROL OPERATIVO Y DETECCIÓN DE INFRACCIONES	29
5.	REGLAS PARA LA GESTIÓN DEL LASTRE A BORDO	30
6.	MÉTODOS DE GESTIÓN Y TRATAMIENTO A BORDO	48
6.1.	Campos de investigación sobre el agua de lastre.....	48
6.1.1.	Campo de la Gestión	48
6.1.2.	Campo de las ciencias biológicas	48
6.1.3.	Campo de la técnica	49
6.2.	Técnicas de tratamiento a bordo	50
6.2.1.	Procedimientos mecánicos.....	51
6.2.1.1.	Filtración.....	51
6.2.1.2.	Micro filtración	52
6.2.1.3.	Filtración granular.....	54
6.2.1.4.	Sistema de separación	56
6.2.1.5.	Sistema de flujo continuo.....	58
6.2.1.6.	Sistema de dilución	62
6.2.1.7.	Sedimentación y Flotación	63
6.2.1.8.	Velocidad de bombeo	64
6.2.1.9.	Intercambio de agua de lastre.....	65
6.2.2.	Tratamientos Físicos	66
6.2.2.1.	Tratamiento por calor	66
6.2.2.2.	Tratamiento por frío	68
6.2.2.3.	Radiación Ultravioleta (UV)	69
6.2.2.4.	Radiación Gamma (γ).....	72
6.2.2.5.	Ultrasonidos	72
6.2.2.6.	Microondas.....	74
6.2.2.7.	Cambios rápidos de presión	74
6.2.2.8.	Técnicas de corrientes eléctricas y de plasma	75
6.2.2.9.	Campos Magnéticos	76
6.2.3.	Tratamientos Químicos	77
6.2.3.1.	Biocidas	77
6.2.3.2.	Tecnología Electroquímica.....	79
6.2.4.	Tratamientos Combinados. Sistemas comerciales reales empleados en la actualidad.....	83



6.2.4.1. Sistema ECOCHLOR Ballast Water Treatment.....	84
6.2.4.2. Sistema Hyundai - Hiballast	85
6.2.4.3. Sistema WÄRTSILÄ- AQUARIUSEC.....	86
6.2.4.4. Sistema TECHCROSS - ELECTRO CLEEN	86
6.2.4.5. Otros sistemas	87
7. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN.....	89
8. IMPACTO DE LAS TECNOLOGÍAS CANDIDATAS EN LA SALUD, BIENES Y RECURSOS	91
9. ALTERNATIVAS	92
9.1. Intercambio de lastre tratado en los puertos de carga.....	92
9.1.1. Diferentes posibilidades para esta solución	94
9.1.2. Tratamiento del agua de lastre en los puertos.....	96
9.2. Buques con lastre reducido	97
9.3. Buques que navegan sin lastre (NOBS)	98
10. PROGRAMA GLOBALLAST.....	101
11. ESTADO ACTUAL DEL CONVENIO BWM.....	106
12. CONCLUSIONES	108
13. BIBLIOGRAFÍA.....	111
13.1. Fuentes de Internet	111
13.2. Publicaciones (libros, artículos, reglamentos...).....	113
13.3. Recursos adicionales consultados.....	114
14. ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS, SIGLAS Y SÍMBOLOS	116
14.1. Abreviaturas	116
14.2. Acrónimos	117
14.3. Siglas	117
14.4. Símbolos.....	119
15. DEFINICIONES.....	120
16. ÍNDICE DE TABLAS Y CUADROS	122
17. ÍNDICE DE FIGURAS	123
18. ÍNDICE ANEXOS.....	126

OBJETO

En este apartado debo destacar dos finalidades básicas por las cuales he decidido ahondar en el estudio de la gestión del agua de lastre.

En primer lugar, desde un punto de vista estrictamente académico, cabe señalar que el objetivo primordial de este proyecto es analizar el impacto que supone para el medioambiente marino una deficiente gestión del agua de lastre y sedimentos procedentes de los buques.

Debemos tomar conciencia de la problemática que trae consigo una descarga no controlada, la incidencia sobre los ecosistemas marinos y la preocupante evolución que ha experimentado a lo largo de la historia.

Pretendemos dar a conocer los múltiples procedimientos que están en funcionamiento en la actualidad, así como los que se encuentran todavía en las más incipientes fases de desarrollo.

Además de los métodos de gestión del agua de lastre aprobados por la OMI, cabe hacer especial mención a aquellos proyectos alternativos que, por medio de los avances tecnológicos e industriales, pretenden convertir las operaciones tradicionales de lastre y deslastre en un recuerdo del pasado.

Por otro lado, desde una perspectiva más personal, he de reconocer que desde hace varios meses, tenía claro el tema sobre el que me gustaría investigar:

En mi primera semana en el Grado en Náutica y Transporte Marítimo, el profesor Ramón Freire encargó a mi grupo de trabajo confeccionar un proyecto breve sobre el *Lastre, Deslastre y Achique*, como parte de la asignatura de *Construcción Naval*. No obstante, fue el profesor José Manuel P. Canosa quien estuvo al frente de la evaluación el día de la presentación.

Por aquel entonces, mis conocimientos en este sector eran completamente limitados; tan solo era una joven estudiante de un bachillerato científico – tecnológico que se había enamorado de una carrera ambiciosa proyectada para hacerse a la mar.



Verdaderamente, me surgieron muchas dudas sobre cómo podría enfocar el que sería mi primer proyecto en la carrera; qué fuentes debía consultar; cómo debía estructurarlo y sobre todo, el temor a errar en conceptos fundamentales, como consecuencia de mi rotunda inexperiencia.

Por lo tanto, he creído que sería una buena iniciativa retomar ese proyecto inicial, cuatro años más tarde, una vez finalizados los aspectos teóricos vistos a lo largo de la carrera.

Así pues, el segundo objetivo fundamental por el que la *Gestión del agua de lastre* debía ser, sin lugar a dudas, el tema de mi proyecto, es conceder a este ciclo académico una estructura circular, con un mismo inicio y fin, tras haber ido incorporando todo un abanico de conocimientos que darán constancia de la evolución formativa experimentada.

Para finalizar, me gustaría dejar patente mi especial concienciación con el medioambiente; siendo consciente de que el transporte marítimo constituye una de las principales fuentes de contaminación en la actualidad, es imprescindible fomentar una navegación sostenible, desarrollando tecnologías y normativas que garanticen el respeto al medio marino.

Por medio de la cooperación internacional, una navegación eficiente en océanos limpios es posible; el primer paso es la concienciación, la promoción, el desarrollo y, especialmente, el compromiso entre todos:

el mar es nuestro medio de vida: protejámoslo

1. INTRODUCCIÓN

En términos generales, interpretando la definición ofrecida por el DRAE (Diccionario de la Real Academia Española), cuando hablamos de “*lastre*”, nos referimos a cualquier material pesado, capaz de mejorar la estabilidad.

El lastre se utiliza, por ejemplo, en algunos globos aerostáticos, conocidos como “*aeróstatos*”. Estos artefactos se llenan con gases más ligeros que el aire atmosférico, como el hidrógeno o el helio. En ellos, se utilizan sacos de arena para aumentar el peso, y equilibrar el centro de gravedad. Tras soltarlos, se vuelven más ligeros y pueden flotar o elevarse.

De igual modo, a bordo de un buque, el lastre proporciona un peso adicional, que ayuda a mantener su estabilidad, bien en caso de que el peso de la carga sea insuficiente, o, en otras circunstancias, cuando sea preciso adquirir un lastre extra al navegar a través de mares agitados. Esto es así porque, al concentrar el peso en la parte más baja del barco, el centro de gravedad baja (Figura 1.1) y la embarcación puede defenderse mejor de las embestidas del mar.

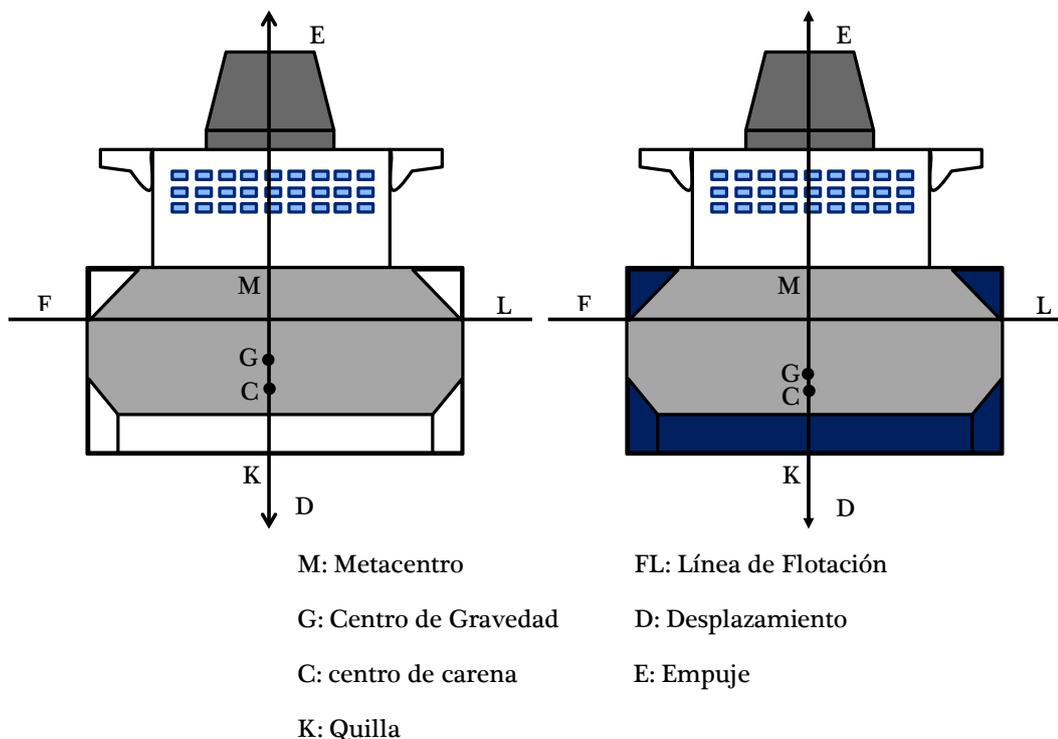


Figura 1.1 - Comparación entre la estabilidad del buque antes y después de llenar con agua los tanques de lastre. Original del autor



Otra finalidad de tomar lastre sería hundir el buque, de manera intencional, cuando deba transitar bajo un puente.

En un primer momento, cuando la navegación era, fundamentalmente, a vela o a remo, los navegantes utilizaban arena, conchas marinas, piezas metálicas, o incluso rocas, a modo de lastre, bajando el centro de gravedad, y aumentando el calado del buque.

Entendemos por “*calado*” la distancia comprendida entre la quilla y la línea de flotación.

Con el paso del tiempo, se fue abandonando el uso de la arena, en favor de las piedras, que se introducían en la cala de los veleros, puesto que la extracción de la arena del fondo resultaba bastante complicada.

Las piedras más usadas fueron la cuarcita y el basalto, caracterizadas por su alta densidad (tres veces la del agua); además, su forma redondeada permitía que encajasen perfectamente unas con otras. Su gran peso impedía que se moviesen y desplazasen de su sitio.

Sin embargo, a partir del S.XIX, y hasta la actualidad, gracias a la aparición del casco de acero, la mayoría de los barcos han sustituido esos materiales sólidos por agua, un recurso abundante, fácil de cargar y descargar.

Por ello, los buques empezaron a incorporar los llamados “*tanques de lastre*”, que introducen el agua de mar a bordo, mediante un sistema de bombeo (Figura 1.2).

La capacidad de los tanques de lastre en un buque mercante suele representar entre el 30% al 57% de la capacidad de carga.

Por lo tanto, entre algunas de las principales ventajas que aporta transportar lastre en los buques, cabe citar:

- aumento de la seguridad operacional (muy especialmente, cuando las condiciones meteorológicas son adversas)
- mejoras en la propulsión
- minimización de los esfuerzos a los que está sometido el casco



- notable incremento de la maniobrabilidad
- posibilidad de compensar la variación de calado como consecuencia del consumo de agua y combustible durante la navegación

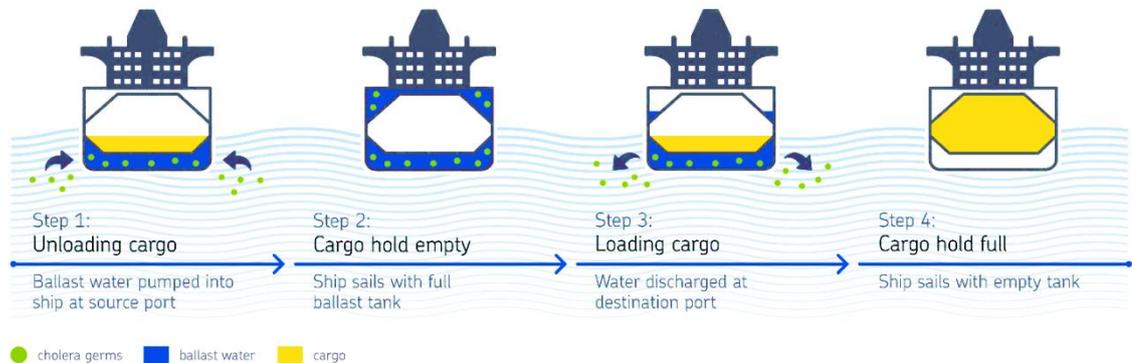


Figura 1.2 - Secuencia lastre - viaje - deslastre. Fuente: <https://i2.wp.com/www.vicalsa.com/wp-content/uploads/2017/09/al4.png?fit=1488%2C523&ssl=1>

No obstante, no todo son ventajas en la utilización del agua de lastre. Desde el punto de vista medioambiental, se derivan multitud de problemas a nivel económico, ecológico y sanitario, debido a las numerosas especies marinas que contiene, tales como bacterias, microbios, larvas, etc.

Estos microorganismos habituales en las aguas de una determinada zona en el mundo, podrían resultar perjudiciales cuando se descarga el lastre que los contiene en otro lugar del planeta, con un ecosistema marino diferente.

Si estos agentes sobreviven durante la navegación, tras el deslastre, cabe la posibilidad de que se desarrolle una nueva población en lugares donde generalmente no habitan. De hecho, en función del tamaño de dicha población, podrían proliferar hasta convertirse en especies invasoras, que desplacen a la flora y fauna autóctona, adquiriendo la dimensión de *plaga*.

La ciencia sitúa el primer caso con consecuencias medioambientales importantes, tras la introducción de especies foráneas en el medio marino, en el año 1903, cuando se produjo una aparición masiva, en el Mar del Norte (Figura 1.3), de las algas asiáticas conocidas como *Odontella* (*Biddulphia sinensis*).

Sin embargo, la comunidad científica no mostró mayor interés en minimizar las consecuencias de esta práctica hasta la década de 1970, cuando se empezó a analizar el problema pormenorizadamente.



Figura 1.3 - Introducción de *Biddulphia sinensis* en el Mar del Norte. Original del autor con referencia en <https://epicentrogeografico.com/2017/02/planeta-azul-los-oceanos-y-sus-caracteristicas/>

Los efectos más graves de las especies invasivas, tuvieron lugar a finales de 1980, concretamente, en las aguas de Australia y Canadá. Ambos países mostraron su preocupación sobre el asunto ante el Marine Environment Protection Committee (MEPC) de la International Maritime Organization (IMO, OMI) (de ahora en adelante, la *Organización*).

En particular, en el continente australiano, se produjo una invasión de organismos acuáticos típicos de zonas próximas a Japón, lo que conllevó importantes daños a las especies autóctonas.

En la actualidad, se dan dos factores que contribuyen a que las especies invasivas puedan proliferar con relativa facilidad: por un lado, cabe señalar la álgida expansión del comercio. Por el otro, hoy en día se está experimentando un constante e intenso incremento en el tráfico marítimo.

Por lo tanto, es probable que todavía no hayamos presenciado las consecuencias más graves de la inadecuada gestión del agua de lastre.



No obstante, se debe destacar que no siempre estas invasiones de organismos extraños se deben a la descarga de agua de lastre. Por ejemplo, en el Mediterráneo (1984), proliferó el alga *Caulerpa taxifolia*, (Figura 1.4) debido a una descarga incontrolada del agua de los acuarios del Museo Oceanográfico de Mónaco.

En su origen, el alga procedía de las aguas tropicales de China y Filipinas. Sin embargo, tras su descarga al Mediterráneo, la *Caulerpa* invadió los fondos marinos de la zona, y desplazó a la especie autóctona, la *Poseidonia Oceánica* (Figura 1.4)



Figura 1.4 - *Caulerpa*, detalle *Caulerpa*, *Poseidonia oceánica*. Fuentes:

http://nuestroacuario.com/caulerpa_taxifolia/ , <https://balkysub.com/posidonia-oceanica-pulmon-mediterraneo/> y https://i0.wp.com/nuestroacuario.com/wp-content/uploads/2015/08/Caulerpa_taxifolia_lyn.jpg

Posteriormente, a consecuencia de la navegación de recreo, los esquejes del alga adheridos a las anclas, arribaron desde la costa francesa al archipiélago Balear, afectando a la costa oriental de la isla de Mallorca.

También cabe hacer referencia a estudios recientes realizados por el Instituto Español de Oceanografía en Vigo, que advierten de la existencia de organismos acuáticos tropicales en la costa gallega. La explicación más lógica radica en que las especies han sido transportadas en el agua de lastre de buques procedentes del Caribe, con destino a los puertos de Galicia.

Otros ejemplos, a nivel internacional, fueron la propagación de varias cepas del *Vibrio cholerae*, que produjeron epidemias en regiones de América del Sur y el



Golfo de México; o la estrella de mar *Asterias amurensis*, que se extendió desde el Pacífico Norte hasta la zona Sur de Australia.

Las investigaciones del Instituto de Ciencias del Mar de Barcelona alertan de que las invasiones biológicas, así como el número de nuevas áreas afectadas, se incrementan a un ritmo veloz, lo que provocará consecuencias devastadoras, si no tomamos medidas urgentes.

La propagación de estos agentes invasores representa una relevante amenaza ecológica, debido al negativo impacto que tienen sobre la biodiversidad, normalmente, de carácter irreversible.

2. RESPUESTA MUNDIAL

El principal instrumento jurídico internacional sobre la prevención de la contaminación del medio marino es el Convenio MARPOL (Maritime Pollution), aprobado en 1954 por la Conferencia Diplomática de la OMI bajo el nombre OILPOL (Oil Pollution) 1954 (de entrada en vigor en 1958).

OILPOL buscaba minimizar el riesgo por contaminación marina por hidrocarburos (HC), como consecuencia del transporte masivo de petróleo crudo que se produjo en esa época, debido a que la industrialización e invención del automóvil hicieron aumentar la demanda de HC.

La varada del petrolero **Torrey Canyon** (en la que se derramaron hasta 120.000 toneladas (ton) de petróleo crudo), en 1967, mientras navegaba por el Canal de la Mancha, fue determinante para que la OMI preparase un plan de acción, que tuviese en cuenta las vertientes técnica y jurídica del suceso, que posteriormente se reflejaron en diversas enmiendas al Convenio OILPOL.

No obstante, a pesar de sus numerosas enmiendas, el Convenio OILPOL era insuficiente para cubrir los riesgos para el medio ambiente marino. Por eso, en 1969, la Asamblea de la OMI propone elaborar un nuevo convenio, que incorpore las Reglas del OILPOL 1954. Así nació el Convenio MARPOL 73, que incluía un Protocolo y 5 Anexos técnicos.

No obstante, nuevos accidentes acaecidos en el bienio 76-77, dieron origen al Protocolo de 1978. Dado que el Convenio aún no había entrado en vigor, el



Protocolo del 78 se incorporó al del 73 y dieron lugar al MARPOL 73/78, que entró en vigor en el año 1983.

Desde que la OMI tomó conciencia de los problemas de contaminación del medioambiente marino, el texto de MARPOL ha sufrido más de veinte modificaciones, para adaptarse a los avances tecnológicos y a las nuevas necesidades.

En la actualidad, las principales amenazas ambientales a las que debe hacer frente son: la contaminación marina procedente de fuentes terrestres; la sobreexplotación de los recursos vivos del mar; la destrucción de los ecosistemas marinos; y la introducción de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos en nuevos hábitats.

OMI ha determinado que, en la actualidad, cerca del 90% del volumen de carga se transporta por vía marítima. Por lo tanto, las operaciones de lastre y deslastre pueden conllevar graves peligros, puesto que un solo buque podría trasladar entre 3.000 y 4.000 microorganismos marinos si no trata sus aguas, que, de trasladarse a otros hábitats, podrían llegar a ser muy destructivos.

Para poder hacer frente a las labores de prevención de transferencia de especies invasivas, se requiere la concienciación y participación coordinada de Gobiernos, sectores económicos internacionales, organizaciones no gubernamentales...

Así lo establece la United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS), en su artículo (art.) 196.1, al referir "*Los Estados tomarán las medidas necesarias para prevenir, reducir y controlar la contaminación del medio marino (...), o la introducción intencional o accidental en el medio marino de especies extrañas o nuevas que puedan causar en él cambios considerables y perjudiciales*".

Como respuesta, la OMI adoptó en 1991, a través del MEPC.50(31), las *Directrices internacionales para impedir la introducción de organismos acuáticos y agentes patógenos indeseados que pueda haber en el agua de lastre y en los sedimentos descargados por los buques*.



En 1993, la Asamblea adopta la Res.A.774(18) (Resolución de la Asamblea), tomando como referencia las Directrices de 1991, solicitando al MSC (Maritime Safety Committee) y al MEPC que continuasen examinando las Directrices.

Fue en el año 1997 cuando la OMI acuerda la resolución A.868(20), *Directrices para el control y la gestión del agua de lastre de los buques*, como invitación a los Estados Miembros a abordar la problemática de las especies acuáticas invasivas.

En junio de 2001, el Consejo de la OMI tomó la decisión de organizar una conferencia diplomática para el año 2003, con el objetivo de crear un proyecto de *Convenio Internacional sobre la Gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques*. La Asamblea refrenda esta decisión mediante la resolución A.906 (22).

Sin embargo, mientras se realizaban los preparativos por parte del MEPC, el Consejo decidió postergar la Conferencia hasta inicios de 2004.

Así pues, para resumir, incluimos el siguiente esquema (Figura 2.1) para poder comprender, de modo visual, cuál ha sido el orden de actuación de la OMI para solventar la problemática que conlleva una inadecuada gestión del agua de lastre.

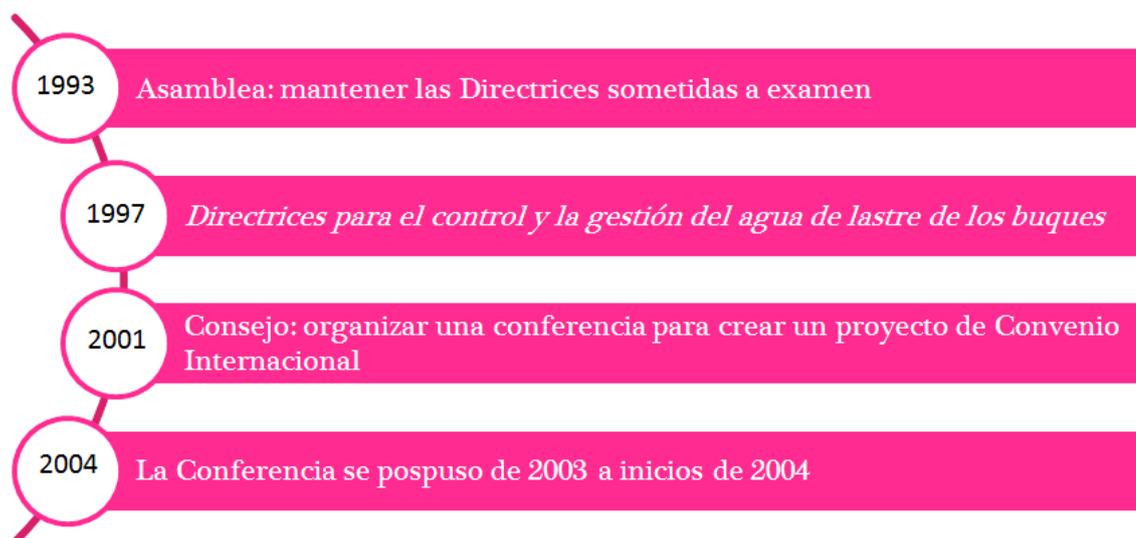


Figura 2.1 - Resumen etapas de actuación de la OMI. Original del autor

En la Conferencia, celebrada en la sede de la OMI, en Londres, participaron representantes de 74 Estados, que aprobaron, por consenso, la adopción del *Ballast Water Management Convention* (Convenio BWM, Convenio Internacional para el Control y la Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos de los Buques).

3. ANÁLISIS DEL CONVENIO BWM

Antes de comenzar con el desarrollo del contenido de esta normativa, cabe destacar que, conforme al art.2.2, cuando hablamos de *Convenio* también nos estamos refiriendo a su Anexo.

Dicho Convenio nacido en Londres, en el año dos mil cuatro, ha sido redactado en varios idiomas, recogidos en un único ejemplar (inglés, español, francés, chino, árabe y ruso). Según el art.22, todos los textos son auténticos y tienen la misma validez.

En la parte introductoria, las Partes señalan que la descarga no controlada del agua de lastre y sedimentos desde los buques facilita la transmisión de organismos acuáticos perjudiciales, que producen efectos adversos para el medio ambiente, la salud humana y los recursos naturales.

Tras reconocer la labor de aquellos estados que han tomado medidas individuales para prevenir, minimizar, y erradicar esta problemática, consideran que se debe adoptar una normativa a escala mundial, que se pueda interpretar con uniformidad por parte de todos los Estados que ratifiquen el Convenio.

Asimismo, pretenden continuar trabajando para mejorar la gestión del agua de lastre, evitar posibles efectos secundarios de las tareas de control, e impulsar el desarrollo tecnológico para implantar las nuevas Reglas con efectividad.

En el **art.1** del Convenio, las Partes definen el concepto de **agua de lastre**, entendida como la suma de agua y materias en suspensión, que se introduce a bordo de cualquier buque a efectos de mantener el asiento, escora, estabilidad, calados y esfuerzos dentro de los valores adecuados.

Otro importante concepto a tener en cuenta a lo largo de la presente memoria, es el de **organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos**, es decir, los organismos acuáticos que podrían conllevar riesgos para el medio ambiente marino, salud humana, bienes o recursos, tras su introducción en el mar, ríos, estuarios, etc., o bien, afectar negativamente a la diversidad biológica de estas zonas, o entorpecer cualesquiera otros usos legítimos para los que estén proyectadas estas áreas.



En el **art 2**, sobre las “*Obligaciones de carácter general*”, se obliga a las Partes a cumplir las disposiciones del Convenio para prevenir, minimizar, y en última instancia, erradicar la transferencia de organismos perjudiciales y patógenos por medio del control y gestión del agua de lastre y sedimentos de los buques.

Las Partes deben colaborar en la implantación y verificación del cumplimiento del Convenio, así como fomentar su continuo desarrollo y actualización.

Además, cualquier Parte podrá adoptar, si lo juzga conveniente, medidas más rigurosas, respetando el derecho internacional, siempre y cuando las medidas adoptadas no resulten perjudiciales para el medio ambiente, la salud ni los recursos naturales.

Las Partes deben disuadir a sus buques de tomar lastre que pueda contener agentes perjudiciales y fomentarán el correcto cumplimiento de las recomendaciones de la Organización.

Por último, se establece que las Partes deben cooperar, bajo el amparo de la OMI, para afrontar los riesgos para el medio ambiente marino en zonas ajenas a su jurisdicción, en lo relativo a la gestión del agua de lastre.

De conformidad con el **art.3** del Convenio, sabemos que el Convenio BWM se aplicará, a menos que se especifique lo contrario, a todos aquellos buques con derecho a enarbolar el pabellón de un estado Parte, o bien a aquellos que, pese a no poder enarbolar su pabellón, operan bajo su autoridad.

Sin embargo, no será de aplicación en los buques en donde no sea necesario transportar agua de lastre; los que trabajen con carácter exclusivo en las aguas de una Parte (a menos que esta considere que la descarga del lastre supone un problema medioambiental para sí misma o para los Estados adyacentes); los buques de guerra y auxiliares de la Armada, destinados con exclusividad a servicios gubernamentales no comerciales¹; ni tampoco se aplicará al agua de lastre almacenada con carácter permanente en tanques precintados, sin descargarse.

¹ Con todo, las Partes adoptarán las medidas razonables oportunas para que estos buques no operen en contra de las disposiciones del Convenio



El Convenio tampoco se aplicará a los buques de un Estado Parte que únicamente naveguen por las aguas bajo la jurisdicción de otra Parte.

En lo relativo a los buques pertenecientes a Estados que no sean Parte del Convenio, las Partes deberán aplicar las disposiciones del Convenio según sea preciso, para impedir que se conceda un trato más favorable a esos buques.

El **art.4** se centra en el *Control de la transferencia de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos por el agua de lastre y los sedimentos de los buques*, y obliga a las Partes a declarar que los buques que enarboles su Pabellón están sometidos a las disposiciones del Convenio y de su Anexo, y tomarán medidas efectivas que puedan garantizar que esos buques las acatan.

Por otro lado, deben desarrollar (en función de sus capacidades), políticas nacionales, programas o estrategias sobre la gestión del agua de lastre en las aguas bajo su jurisdicción, que contribuyan a lograr los objetivos del Convenio.

El Convenio dedica su **art.5** a las *Instalaciones de recepción de sedimentos*, donde especifica que las Partes deben asegurarse de que en las terminales designadas para llevar a cabo tareas de limpieza o reparación de tanques de lastre, se ofrezcan instalaciones apropiadas para la recepción y eliminación segura de sedimentos.

El **art.1** del Convenio define Sedimentos *como “aquellas materias que se depositen en el buque procedentes del agua de lastre”*.

Estas instalaciones de recepción deben operar de tal manera que no provoquen demoras innecesarias a los buques que las empleen. Del mismo modo, deberán ser adecuadas para garantizar la correcta eliminación de los sedimentos sin suponer riesgos para el medio ambiente.

De detectarse alguna instalación presuntamente inadecuada, se notificará a la OMI, que trasladará la información a las demás Partes interesadas.

Por otro lado, el Convenio busca, en su **art.6**, que los Países centren sus esfuerzos en promover la investigación científica y técnica, así como las labores de vigilancia que velen por una adecuada gestión del agua de lastre. Estas labores de vigilancia conllevan examinar detalladamente las diversas tecnologías



empleadas (observar, medir, muestrear, evaluar y analizar la eficacia e inconvenientes). Asimismo, se deberán determinar las consecuencias negativas que implique la transferencia de agentes patógenos por el agua de lastre.

El **art.7** del Convenio está referido al *Reconocimiento y Certificación*, puesto que los Estados deben velar para que los buques que enarbolen su pabellón hayan sido reconocidos y certificados de conformidad con este Convenio.

Como hemos señalado, las Partes tienen derecho a implementar medidas adicionales a las establecidas en el presente Convenio, pero no se podrá exigir ningún tipo de certificación suplementaria a los buques de otras Partes.

La corroboración de estas medidas supletorias solo podrá recaer sobre la Parte que la haya implantado, y no podrá causar demoras innecesarias al buque.

Otro apartado importante en el convenio es el dedicado a las *Infracciones (art.8)*, en donde se especifica que, toda violación de esta normativa será penalizada según las sanciones que imponga la legislación de la Administración del buque, sin importar el lugar en el que haya acontecido el incumplimiento.

El procedimiento comienza notificando a la Administración la presunta infracción. Será su misión investigar el asunto y solicitar a la Parte informante cualquier prueba de que pueda disponer. Si, conforme a su criterio, las pruebas son suficientes para iniciar el proceso sancionador, se incoará con prontitud.

Las sanciones a las infracciones cometidas dentro de la jurisdicción de una Parte se establecerán conforme a la legislación de dicha Parte. Estas sanciones deben tener un carácter lo suficientemente riguroso como para desalentar a la comisión de cualquier infracción.

Por otro lado, a fin de garantizar que se dispone de un *Certificado Válido*, comprobar el *Libro Registro del Agua de Lastre* y/o efectuar un muestreo del agua de lastre (siempre y cuando este reconocimiento no implique una demora innecesaria en las operaciones o salida del buque), cualquier buque sujeto a las disposiciones de este Convenio podrá ser sometido, conforme al **art.9** (sobre *Inspección de buques*), en cualquier puerto o terminal de una Parte, a inspecciones llevadas a cabo por funcionarios autorizados.



En caso de que el muestreo evidencie que el buque supone un riesgo para el medio ambiente, la salud, los bienes o recursos, la Parte que pudiera verse afectada debe prohibir que el mencionado buque deslastre hasta la completa eliminación del riesgo.

El Convenio también establece que, con objeto de garantizar un adecuado cumplimiento de sus Directrices, las Partes deben coadyuvar en las tareas de *Detección de infracciones y control de buques (art.10)*.

Para ello, en el instante en que un Estado Parte lo solicite, se podrán llevar a cabo las investigaciones oportunas, siempre que la Parte pueda acompañar su solicitud con las pruebas oportunas que demuestren el incumplimiento del Convenio.

En el momento en que un buque infrinja lo establecido, las Partes pueden adoptar las medidas adicionales que estimen oportunas para amonestar, detener o rechazar al buque.

Con todo, es posible conceder un permiso al infractor para abandonar el puerto y poder descargar el agua de lastre, o bien para acudir a un astillero o instalación de recepción más cercanos, si no supone un mayor peligro para la salud humana, el medio ambiente, los bienes o recursos.

Si, como fruto de una inspección, se detecta una vulneración del Convenio, será necesario notificar el hecho al buque en cuestión y trasladar el informe y las pruebas pertinentes a la Administración (**art.11**).

En caso de que se le conceda al buque una autorización para dirigirse al próximo puerto de escala, la Autoridad Portuaria del Estado de que se trate debe proporcionarle a ese puerto toda la información relativa a la infracción.

Es importante evitar que el buque incurra en demora innecesaria como consecuencia de las medidas mencionadas en los párrafos anteriores. De producirse, el **art.12** posibilita que el buque pueda resarcirse mediante una indemnización por los daños y perjuicios que haya podido sufrir.

El Convenio BWM recoge un apartado sobre *Asistencia técnica, cooperación y Cooperación regional*, que se trata en su **art.13**, donde se obliga a las Partes a comprometerse (con los restantes Estados) a facilitar el apoyo técnico que



precisen en lo referente a la gestión del agua de lastre y sedimentos. Pueden hacerlo de manera directa, o bien mediante la intervención de la OMI o de otros órganos internacionales. El apoyo puede consistir en formación del personal, desarrollo de programas de investigación, o asegurar la disponibilidad de tecnología suficiente, así como el equipo e instalaciones precisas.

Además, se establece que aquellas Partes ubicadas en la misma zona geográfica que comparten intereses medioambientales, y, más concretamente, las Partes localizadas en torno a un mar cerrado, deberían amplificar la cooperación armonizada, a través de lo que se conoce como “*acuerdos regionales*”.

Por ejemplo, en la región Antártica se han establecido unas directrices regionales complementarias al Convenio BWM, en donde se especifica que el *Plan de Gestión del Agua de Lastre* de cualquier buque que vaya a navegar por sus aguas, deberá considerar las particularidades que implica el cambio del agua de lastre en entornos fríos.

Si un buque debe descargar el agua de lastre dentro del área del *Tratado Antártico*, deberán realizar un cambio del agua de lastre antes de entrar en aguas antárticas (en torno a 60°S). Del mismo modo, a aquellos buques que tomen lastre en aguas antárticas y vayan a descargarla en la zona Ártica, Subártica o Subantártica, se les recomienda efectuar, al Norte de la zona del frente polar antártico, al menos, un cambio del agua de lastre.

Así pues, este punto del Convenio es muy similar a lo establecido en el **art. 7** del OPRC-90 (Oil Pollution Preparedness, Response, and Cooperation), sobre *Cooperación internacional en la lucha contra la contaminación*. La diferencia radica en el contenido: el OPRC está especialmente destinado a la *Cooperación, Preparación y Lucha contra la Contaminación por Hidrocarburos*.

Así pues, las Partes deben facilitar a la OMI la siguiente información: prescripciones y procedimientos sobre la gestión del agua de lastre, localización de las instalaciones de recepción de agua de lastre y sedimentos y cualquier petición de información a los buques que no puedan acatar las disposiciones del Convenio. A su vez, la OMI hará saber a las partes cualquier información al respecto que le haya sido revelada de conformidad con el **art.14**.



Por otro lado, el Convenio también ha previsto, que, ante cualquier tipo de controversia surgida respecto a su interpretación o aplicación, las Partes deben actuar de manera pacífica (**art.15**), por medio de la negociación o conciliación. Asimismo, ninguna de sus prescripciones podrá contravenir los derechos y obligaciones que recopila el derecho internacional consuetudinario recogido en UNCLOS (**art.16**).

Los últimos artículos del Convenio se refieren a la *Firma, ratificación, aceptación, aprobación y adhesión* (**art.17**). Así pues, se establecía que cualquier Estado podría firmar el Convenio en la sede de la OMI entre el 1 de junio de 2004, y el 31 de mayo de 2005. No obstante, pasada esa fecha, cualquier otro Estado que lo deseara se podría adherir al Convenio igualmente.

El procedimiento puede consistir en una firma, con o sin reserva, respecto a ratificación, aceptación o aprobación, o bien en una adhesión.

Si un Estado estuviese conformado por dos o más unidades territoriales bajo diferentes regímenes jurídicos, el Convenio podrá ser aplicable a solo una de esas unidades, a varias, o bien a todas ellas.

La entrada en vigor del Convenio tendría lugar, conforme al **art.18**, 12 meses después de la fecha en que lo hubieran firmado, como mínimo, 30 Estados tales que la suma de sus flotas mercantes representasen, por lo menos, el 35% del tonelaje bruto mundial.

Si algún Estado decidiese ratificar, aceptar, aprobar o adherirse al Convenio, una vez cumplidos los requisitos la entrada en vigor del mismo, pero antes de que se llegase a efectuar, tendría efecto en la fecha de entrada en vigor o bien tres meses tras la fecha de depósito (la que sea posterior).

Finalmente, mediante la Res.MEPC.287(71), adoptada el 7 julio de 2017, el Convenio ha entrado en vigor en Septiembre del año 2017 tras haber sido ratificado por más de 60 países (70% del arqueo de la flota mercante mundial).

No obstante, el presente Convenio podrá ser enmendado por medio de dos procedimientos, tal y como reconoce el **art.19**:



1. **Previo examen por la Organización:** el Secretario General presentará la propuesta de enmienda ante las partes con una antelación mínima de seis meses previos al examen. El Comité valorará la propuesta, y, si se obtiene una mayoría de dos tercios de las Partes presentes y votantes, se adoptará la enmienda. No obstante, en la votación ha de participar, como mínimo, un tercio de las partes. Por último, el Secretario facilita a las Partes las enmiendas adoptadas. Como norma general, las enmiendas entrarán en vigor seis meses después de la fecha en que hayan sido aprobadas.

2. **Enmienda mediante Conferencia:** el procedimiento es similar, pero, en este caso, cualquier Parte puede solicitar, si, como mínimo, concuerda un tercio de las partes, que la Organización convoque una conferencia para examinar enmiendas al Convenio. Si se obtiene una mayoría de dos tercios de las Partes presentes y votantes, el Secretario General informará a las mismas para la aceptación. La entrada en vigor será de igual modo que lo especificado en el punto anterior.

Además, las Partes podrán denunciar el Convenio, como refleja literalmente el **art.20**, “*en cualquier momento posterior a la expiración de un plazo de dos años después de su entrada en vigor para la mencionada Parte*”, notificando por escrito al depositario.

La función de Depositario del Convenio la ejercerá el *Secretario General (art.21)*. Es el encargado de distribuir a los Estados que se hayan adherido las copias certificadas oportunas. Además, también se encargará de remitir tales copias certificadas a todos los Estados que hayan firmado el Convenio o que se hayan adherido a él.

En el momento de la entrada en vigor del Convenio, debe remitir el texto a la Secretaría de la ONU (Organización de Naciones Unidas), siguiendo lo establecido en el **art.102.1** de la Carta de las Naciones Unidas: “*Todo tratado y todo acuerdo internacional concertados por cualesquiera Miembros de las Naciones Unidas después de entrar en vigor esta Carta, serán registrados en la Secretaría y publicados por esta a la mayor brevedad posible*”.



4. CONTROL OPERATIVO Y DETECCIÓN DE INFRACCIONES

Al igual que sucede en otros Convenios, como el SOLAS (Safety of Life at Sea) o el MARPOL 73/78 (Convention for the Prevention of Pollution from Ships) el Convenio determina la obligatoriedad de las Partes a la hora de detectar transgresiones y el establecimiento de las sanciones a los responsables por medio de dos vías (Figura 4.1):

- Por el País de bandera del buque, conforme a su legislación nacional, independientemente del lugar de los hechos.
- Por otra Parte en el Convenio si tal infracción acontece en aguas bajo su jurisdicción. En este caso, se podrá iniciar un procedimiento sancionador, conforme a su legislación, o bien notificar el hecho a la Administración de la bandera del buque, facilitando las pruebas disponibles. Posteriormente, la Administración deberá comunicar a la Parte denunciante las medidas adoptadas contra el buque.

Asimismo, se establece que los países que ratifiquen el Convenio deberán expedir un "*Certificado de Cumplimiento*", que los restantes Estados Parte deberán aceptar.

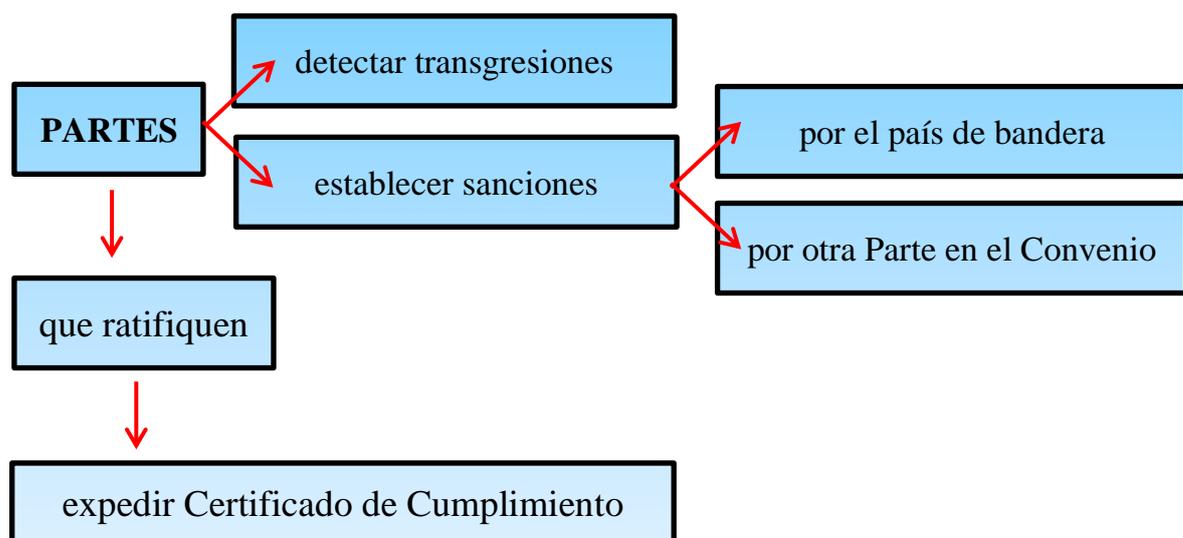


Figura 4.1 - Gráfico resumen de las obligaciones de las Partes. Original del autor



5. REGLAS PARA LA GESTIÓN DEL LASTRE A BORDO

En el Convenio (Anexo) se recogen los procedimientos operativos para la gestión del agua de lastre y sedimentos a bordo, a fin de minimizar la transferencia de organismos perjudiciales en el medio marino; y se delimitan las condiciones para efectuar la descarga del lastre al mar. Se estructura en las siguientes cinco secciones:

5.1. Sección A: Disposiciones Generales

En esta parte se recogen las definiciones, aplicación general de las Reglas, excepciones operativas y exenciones.

En la **Regla A-1** se redactan algunas definiciones, como la **capacidad de agua de lastre**, entendida como el volumen total de todo tanque o compartimiento a bordo de un buque que o contenga, o pueda contener agua de lastre.

La **Regla A-2** indica claramente que, a menos que se especifique lo contrario, solo se admitirá que la descarga de agua de lastre se realice conforme a los preceptos del Anexo.

Sin embargo, las medidas adoptadas por las Partes sobre la Gestión del agua de lastre reconocen algunas excepciones (**Regla A-3**), cuando se trata de: situaciones en las que corre peligro la vida humana en el mar; en situaciones de emergencia o riesgo inminente, como consecuencia de averías en el buque o su equipo², tomando las adecuadas precauciones para minimizar el riesgo que implica la descarga; para evitar situaciones de contaminación, o minimizar sus consecuencias.

También se incluyen como excepciones la toma y posterior descarga en alta mar si se trata, en su totalidad, de la misma agua de lastre y sedimentos; en el caso de que se hubiera mezclado con lastre o sedimentos sin gestionar provenientes de otras zonas, la parte tomada de otras zonas tendrá que someterse a la gestión del agua de lastre regulada por el Anexo.

² Con la excepción de que tal avería hubiera sido provocada de manera intencionada, bien por el propietario, compañía u oficial a cargo.



En las aguas de su jurisdicción, las Partes pueden otorgar otras exenciones (que deben ser comunicadas a la Organización, a efectos de tener validez) a la aplicación de las Reglas B-3 o C-1, si estas exenciones:

Se dan a buques que naveguen con exclusividad entre ciertos puertos o lugares específicos; con una duración temporal no superior a cinco años, realizando un examen intermedio; si los buques beneficiados no mezclan el agua de lastre ni sedimentos; y se concedan respetando las instrucciones dadas tras la evaluación de riesgos llevada a cabo por la OMI.

Las exenciones concedidas en base a la **Regla A-4** han de ser anotadas en el *Libro Registro del Agua de Lastre*.

Todos los buques han de respetar, dentro de lo posible, las disposiciones del Convenio; sin embargo, si ello fuese practicable, las embarcaciones de recreo pueden acogerse a la **Regla A-5**, sobre el "*Cumplimiento equivalente*", si se utilizan exclusivamente para ocio o competición, así como las de búsqueda y salvamento, con eslora inferior a 50 metros (m) y una capacidad máxima de agua de lastre de 8 m³, que tendrán que cumplir las disposiciones específicas establecidas a tal efecto por la Organización.

En el año 2005, ha entrado en vigor la Res.MEPC.123(53), sobre las **Directrices para el cumplimiento equivalente de la gestión del agua de lastre (D3)**, que matiza la Regla A-5.

En primer lugar, se reconocen como excepciones todos aquellos casos en que las operaciones sean necesarias para velar por la seguridad del buque en situaciones de emergencia, salvaguardar la vida humana en la mar; minimizar sucesos de contaminación; o toma y posterior descarga en alta mar de la misma agua de lastre y sedimentos.

Como regla general, se debe procurar tomar el agua de lastre lo más alejado de las aguas portuarias como sea posible, y, además, se considerará la opción de emplear el suministro de agua del atraque (por ejemplo (p.ej.), emplear agua potable o dulce en vez de las aguas portuarias, a modo de lastre).



Se debe minimizar la introducción de organismos acuáticos perjudiciales y sedimentos evitando tomar lastre en aguas poco profundas, en la oscuridad, en zonas donde la hélice pueda revolver sedimentos, en las proximidades de desagües de aguas residuales...

Asimismo, se tomarán precauciones durante la descarga del agua de lastre, procurando cambiar el agua antes de la descarga (regla B-4), o gestionándola como lo haya estipulado la Administración.

De igual modo, siempre que sea posible habrá que limpiar periódicamente los tanques de lastre, a fin de desechar los sedimentos de manera ecológica.

Con todo, independientemente de estas Directrices, cualquiera de estos buques podrá emplear cualquiera de los múltiples métodos de gestión que la OMI haya aprobado para tratar el agua de lastre.

5.2. Sección B: Prescripciones de Gestión y Control

Esta sección presenta prescripciones sobre el *Plan de Gestión del Agua de Lastre*, *Libro Registro de Gestión del Agua de Lastre*, normas generales sobre la gestión del agua de lastre y sedimentos y deberes de los oficiales y tripulación.

La **Regla B-1** establece la imposición de llevar a bordo de todo buque un **Plan de gestión del agua de lastre**, aprobado por la Administración, cuya aplicación será de obligado cumplimiento. Puede estar redactado en el idioma de trabajo del buque. En el caso de que dicho idioma no fuese el español, inglés o francés, será obligatorio incluir una traducción a cualquiera de estos. Este *Plan*, único y particular para cada barco, debe:

- Detallar los procedimientos relacionados con la gestión del agua de lastre, y evacuación de los sedimentos (tanto en mar, como en tierra), para garantizar la adecuada seguridad del buque y su tripulación. También debe especificar las medidas para coordinar dicha gestión del agua de lastre a bordo, y la descarga al mar, con las autoridades del Estado Rector en las aguas donde se descarga.
- Describir de manera minuciosa aquellas medidas que se deben adoptar para poder instaurar las prescripciones sobre la gestión del agua de lastre y restantes prácticas complementarias.



- Determinar quién será el oficial a bordo responsable de velar por el cumplimiento del *Plan*; así como describir las prescripciones de notificación.

La **Regla B-2** se centra en el *Libro Registro del Agua de Lastre*, que puede consistir en un sistema electrónico, o bien integrarse en otro libro o sistema de registro. Sus asientos deben permanecer a bordo durante un periodo mínimo de dos años, tras haber realizado el último asiento. Posteriormente, la compañía ha de conservarlos durante, al menos, tres años.

Se deben guardar en un lugar fácilmente accesible, de tal modo que se pueda inspeccionar en cualquier momento; en el caso de buques sin dotación que estén siendo remolcados, se podrá conservar a bordo del remolcador.

Si tuviera lugar una descarga accidental o algún caso excepcional no incluido en este Convenio, habrá que realizar una anotación en el *Libro*, describiendo el contexto en el que tuvo lugar tal descarga, y los motivos que la justificaron.

El Convenio establece la obligatoriedad de anotar en el *Libro*, detalladamente, todas las operaciones que se relacionan con la gestión del agua de lastre.

Los oficiales encargados de llevar a cabo las operaciones deben firmar los asientos, y cada página deberá ser refrendada por el Capitán.

Los Oficiales autorizados por cualquier estado Parte podrán realizar inspecciones al *Libro Registro del Agua de Lastre* en aquellos buques sometidos a este Convenio, mientras permanezca en alguno de sus puertos o terminales mar adentro. Tendrán la posibilidad de realizar copias a los asientos y requerir al Capitán que certifique la autenticidad de esas copias. Con todo, estas tareas de inspección no podrán ocasionar demora innecesaria al buque en cuestión, y deberán realizarse con la mayor diligencia posible.

A través de la **Regla B-3**, se establecen una serie de plazos para regular la **gestión del agua de lastre de los buques**, en función de sus características y particularidades (año de construcción, capacidad de agua de lastre).

Esta Regla no será de aplicación para los buques que realicen la descarga de lastre en adecuadas instalaciones de recepción, que cumplan los requerimientos de la OMI; asimismo, se aceptarán cualesquiera otros métodos de gestión



siempre y cuando, como mínimo, ofrezcan el mismo grado de protección al medio ambiente, y hayan sido aprobados por el Comité.

En el año 2006, el MEPC adoptó, por medio de la Res.153(55), las **Directrices sobre las instalaciones de recepción de agua de lastre (D5)**, cuya finalidad no es obligar a las Partes a proveer las instalaciones de recepción de agua de lastre, sino ofrecer orientaciones para facilitarlas.

Es muy importante señalar que estas Directrices se aplican a las Instalaciones de Recepción exclusivas de agua de lastre que recoge la **Regla B-3**, no a las de recepción de sedimentos (**art. 5 y Regla B-5**).

Estas instalaciones deben tener capacidad para recibir el agua de lastre, de manera que se eviten los riesgos que supone para el medio ambiente, la salud humana, bienes y recursos la descarga en el medio ambiente de agentes patógenos.

Deben estar proyectadas de tal manera que cualquier buque pueda atracar y emplearlas con seguridad, con adecuadas tuberías, colectores, reductores... Siempre que sea posible, se deberá ofrecer un fondeadero seguro.

Previo a la provisión de una instalación de recepción, habrá que considerar, entre otros, los siguientes factores: legislación regional, nacional y local; elección del emplazamiento, teniendo en cuenta los puertos próximos; tipo y tamaño de los buques destinatarios; almacenamiento y manipulación del lastre (análisis, muestreo...); beneficios medioambientales y económicos; salud de los seres humanos; seguridad; gestión del tráfico, etc.

Evidentemente, antes de eliminar el agua de lastre de una instalación de recepción, habrá que someterla a tratamientos que cumplan, como mínimo, la norma de eficacia de la **Regla D-2**, de tal manera que no ocasione riesgos para el medio ambiente, salud humana, bienes o recursos.

Por último, se destaca que toda persona que trabaje en estas instalaciones deberá estar sometida a una formación continuada y adecuada.

La **Regla B-4**, sobre el **Cambio del agua de lastre**, está dirigida explícitamente a todos aquellos buques que deban cumplir la **Regla D-1**, y establece que:



El cambio de agua de lastre ha de efectuarse, siempre que sea factible, como mínimo, a *200 millas marinas de la tierra más próxima, con una profundidad mínima de 200 metros*, conforme a las directrices de la OMI.

Entendemos por la “*tierra más próxima*”, *aquellas aguas que se extienden desde la línea de base a partir de la cual se comprende el mar territorial de la zona en cuestión, según el derecho internacional*, conforme a la **Regla A-1**.

Si ello no fuera practicable, habrá que llevar a cabo el cambio de lastre *tan lejos como sea posible de la tierra más próxima*, siendo esta distancia, como mínimo, de 50 millas marinas, y en aguas de 200 metros de profundidad.

Si tampoco hubiera posibilidad de respetar el párrafo anterior, el Estado Rector de puerto, habiendo consultado con los Estados adyacentes, podrá, como alternativa, delimitar áreas en donde se puedan llevar a cabo estas tareas.

Con todo, tampoco se podrá forzar a ningún buque la desviación de su derrota prevista, ni obligarlo a incurrir en demoras, para cumplir los párrafos anteriores.

No será preciso cumplir las disposiciones anteriores si el Capitán considera, bajo su buen criterio profesional, que el cambio de agua de lastre podría poner en compromiso a la seguridad del buque, pasaje o dotación, por afectar a la estabilidad, como consecuencia de las condiciones meteorológicas adversas, por someter al buque a esfuerzos excesivos, o cualesquiera otros motivos extraordinarios.

En todo caso, si el buque no puede efectuar el procedimiento de gestión del agua de lastre de acuerdo con estas Reglas, habrá que anotar las razones que lo justifiquen en el *Libro Registro del Agua de Lastre*.

Asimismo, en octubre del año 2006, se adoptó la Res.MEPC.151(55), que incluye las *Directrices sobre la designación de zonas para el cambio del agua de lastre*.

Este documento busca orientar a los Estados Rectores de puerto para que puedan **identificar, evaluar y designar** aquellas zonas en donde los buques podrían llevar a cabo el cambio del agua de lastre.



Antes de designar estas zonas alternativas para el cambio de lastre, el Estado Rector de puerto debería realizar consultas con los Estados adyacentes que se puedan ver implicados. Aunque tal vez, algunos de estos Estados no sean Parte en el Convenio, debería hacerse la consulta, del mismo modo.

Los Estados deben valorar toda la información de que dispongan, y considerar todas las opiniones y observaciones que surjan. Si, finalmente, varios Estados Miembro acuerdan designar áreas en donde se pueda llevar a cabo el cambio de lastre, podrán celebrar un acuerdo regional, según lo establecido en el **art.13.3**.

En función de las particularidades de las aguas que bañen al Estado Rector de puerto, se podrá designar una o incluso múltiples zonas para el cambio del agua de lastre. Para ello, habrá que considerar los siguientes factores:

- **Aspectos jurídicos:** se debe respetar el derecho nacional e internacional. Por otro lado, es posible que las aguas más adecuadas para el cambio de lastre se den más allá del alcance de jurisdicción del Estado Rector de puerto. No obstante, ninguna Parte puede designar tales zonas en aguas jurisdiccionales de otro Estado sin su previa consulta y consentimiento.
- **Recursos importantes y zonas protegidas:** siempre que sea posible, habrá que evitar designar como zona para el cambio del agua de lastre, aquellos lugares que puedan ocasionar efectos perjudiciales en las zonas acuáticas protegidas o en otros recursos acuáticos de importancia a nivel ecológico y económico.
- **Limitaciones de navegación:** las zonas designadas no deben ocasionar demoras a los buques; deben localizarse en las rutas ya existentes o próximas a ellas; deben garantizar la seguridad de la navegación (considerar el aumento notorio de la aglomeración del tráfico marítimo; sistemas de organización del tráfico marítimo...).

Antes de designar cualquier zona marítima identificada, se debe realizar una evaluación de los riesgos (cualitativa o cuantitativa), para analizar de manera objetiva, sistemática y rigurosa, los efectos que podría traer consigo.

La evaluación de riesgos debería considerar: eficacia (se deben determinar los riesgos con alta precisión, para lograr un adecuado nivel de protección);



transparencia en las pruebas que se realicen, áreas de incertidumbre y adecuada comunicación; uniformidad en la metodología empleada; exhaustividad (considerar criterios ambientales, culturales, económicos y sociales); gestión de los riesgos (bajo, medio, alto); precaución (considerar la incertidumbre o falta de fiabilidad en la información)³...

Por otro lado, las zonas a designar deben minimizar cualquier amenaza para la salud humana, el medio ambiente marino, bienes o recursos.

Se deben tener en cuenta los siguientes criterios: oceanográficos (corrientes, profundidad...)⁴; fisicoquímicos (salinidad, oxígeno disuelto, se prefiere que tengan pocos nutrientes...); biológicos; ambientales; presencia de recursos importantes, como pesquerías o centros de acuicultura...

El paso posterior será el establecimiento de zonas marítimas específicas en donde se pueda efectuar el mencionado cambio de agua de lastre. Para ello, se seleccionan las zonas más idóneas en cuanto a tamaño y ubicación, y se debe definir con precisión cuáles son sus límites espaciales, conforme al derecho internacional. Se podrá especificar que una zona en concreto se limite el periodo de tiempo durante el cual se permite efectuar el cambio de lastre.

Por último, la OMI será la encargada de dar a conocer estas zonas a las Partes, así como de someter a continua vigilancia y exámenes periódicos los recursos de cada Estado Rector de Puerto.

Por otro lado, la **Regla B-5**, establece la obligatoriedad para los buques de extraer y evacuar los sedimentos contenidos en aquellos espacios donde el buque transporta agua de lastre, respetando las directrices del *Plan de Gestión del Agua de Lastre*.

³ La ausencia o inexactitud en la información debería interpretarse como indicio del posible riesgo.

⁴ Interesan las aguas profundas; las corrientes que dispersen el agua de lastre descargada lejos de tierra; evitar las zonas con corriente mareal turbida, y con escasa dispersión mareal.



Los buques deberán ser proyectados y construidos “*sin comprometer la seguridad ni la eficacia operacional, procurando reducir al mínimo la toma y retención no deseable de sedimentos*”. Además, habrá que facilitar su remoción, así como permitir el acceso sin riesgos para posibilitar su muestreo, respetando las directrices elaboradas por la OMI.

En el año 2006 se adoptó la Res.MEPC.152(55), que presenta las **Directrices sobre las instalaciones de recepción de sedimentos (D1)**.

Estas Directrices, destinadas a las instalaciones de recepción sedimentos de los tanques de agua de lastre de los buques, buscan ofrecer orientaciones a su provisión, conforme al **art.5** y la **Regla B-5** del Convenio.

Los recursos de las instalaciones deben ser tales que cualquier buque que desee depositar los sedimentos de sus tanques de lastre pueda hacerlo cómodamente.

Previo a la provisión de una instalación de recepción, será necesario valorar, entre otros, los siguientes elementos: legislación regional, nacional y local; elección de la ubicación; muestreo y análisis de los sedimentos; almacenamiento; beneficios medioambientales y económicos; salud de los seres humanos; seguridad; gestión del tráfico; formación del personal; equipo necesario (grúas)...

En todo manejo y tratamiento de los sedimentos se hará necesario tomar precauciones para prevenir cualquier consecuencia perjudicial para la salud humana, el medio, bienes o recursos, propios o de otros Estados. El primer paso es concienciar al personal interviniente en las operaciones sobre el riesgo, y ofrecerles una formación específica, indumentaria y Equipo de Protección Individual (EPI's) adecuados.

La última Regla de la presente sección, **Regla B-6** trata sobre las *Funciones de los oficiales y tripulantes*, y establece que cada tripulante a bordo del buque debe estar familiarizado con las labores específicas que les corresponden respecto a la gestión del agua de lastre, así como con la parte del *Plan de Gestión del Agua de Lastre* que les concierne.



5.3. Sección C: Requerimientos especiales para ciertas zonas

El Derecho Internacional permite que, si una o varias Partes consideran que hace falta tomar medidas suplementarias a las indicadas en la sección B, podrán obligar a los buques a cumplir una determinada norma o prescripción. Antes de establecer tales normas, las Partes deben consultar a los Estados adyacentes o a aquellos otros que puedan verse involucrados.

Las Partes deben advertir a los navegantes de cuáles son las zonas bajo su jurisdicción en las que existen condiciones especiales y, por tanto, en donde no se debería tomar lastre. En las notificaciones deben figurar las coordenadas exactas de la zona afectada y, si fuese posible, ofrecer una zona alternativa para tomar agua de lastre.

Estos avisos se dan, por ejemplo, en aquellas regiones en donde las aguas están infestadas de agentes patógenos (p.ej., algas tóxicas); en las situadas en las proximidades de desagües de aguas residuales; y cuando la dispersión mareal sea deficiente o una corriente mareal presente demasiada turbiedad.

Las Partes deben alertar a los navegantes, la Organización y a los Estados Ribereños implicados de cuáles son estas zonas, señalando, además, el periodo de vigencia del aviso estimado, así como la finalización del mismo.

La **Regla C-1** especifica el procedimiento para tomar **Medidas adicionales** a las que figuran en la Sección B; en caso de que alguna Parte (de forma individual o conjunta con otras Partes) lo considere preciso, podrá introducirlas a efectos de prevención, reducción, o con miras a eliminar la transferencia de agentes patógenos a través del agua de lastre y sedimentos de los buques, respetando, en todo momento, el derecho internacional y si previamente, lo han consultado con los Estados adyacentes que se pudieren ver afectados.

En julio de 2007, por medio de la Res.MEPC.161(56), se adoptaron las **Directrices sobre medidas adicionales con respecto a la gestión del agua de lastre**.

Antes de proponer las medidas, la Parte tendrá que hacer una evaluación sobre la necesidad de las mismas, identificando cuál es posible daño de los agentes



patógenos en la zona en donde quiere implantarlas, las opciones que propone para solventarlo, y las ventajas e inconvenientes que traerán consigo.

En el Convenio se prevén dos procedimientos diferentes para incorporar medidas adicionales: en uno de ellos es necesario que la OMI apruebe la propuesta, mientras que por medio del otro solo se exige notificársela a la Organización.

Cuando se recurra a la vía de “*solo notificación*”, se debe notificar a la OMI, como mínimo, con una antelación de seis meses (excepto en casos excepcionales de epidemia o de emergencia), antes de la fecha prevista de implantación.

Esta notificación debe incluir las coordenadas de la zona de aplicación de la medida; las razones que la justifican, así como los posibles beneficios que podría suponer; una descripción de la prescripción; facilidades que se podrían aportar a los buques para cumplir la disposición...

La OMI debe aprobar estas medidas conforme al derecho internacional basado en los usos y costumbres, recogido en UNCLOS.

La Parte que proponga la medida deberá notificar a los navegantes cuáles son las áreas disponibles, así como ofrecer rutas o puertos alternativos, para aligerar la carga para el buque.

Estas medidas adicionales no podrán, en ningún caso, comprometer la seguridad ni protección del buque; tampoco podrán atentar contra otros Convenios de obligado cumplimiento para el buque.

Las Partes que establezcan medidas adicionales gozan del derecho a exonerar su cumplimiento durante un periodo de tiempo o en circunstancias especiales.

La **Regla C-2**, de especial importancia, trata acerca de los *Avisos sobre la toma de agua de lastre en ciertas zonas y medidas conexas del Estado de abanderamiento*.

En ella se detalla que las Partes tienen la obligación de dar a conocer a los navegantes cuáles son las zonas bajo su jurisdicción en las cuales, por existir condiciones especiales, los buques no pueden tomar agua de lastre.



Esta información, transmitida en forma de avisos, debe incluir las coordenadas de la zona afectada, y, si fuese dable, ofrecer áreas alternativas para la toma de agua de lastre.

Se consideran zonas con condiciones especiales aquellas en donde sea conocido que existen brotes o infestaciones de agentes patógenos u organismos perjudiciales; las ubicadas en las proximidades de los desagües de aguas residuales; o cuando la dispersión mareal sea deficiente, o si es bien sabido que una corriente mareal presenta excesiva turbidez.

Además de notificar a los navegantes, las Partes también deben informar a la Organización y a los Estados ribereños implicados sobre el tiempo de vigencia del aviso, proporcionar una descripción sobre medidas alternativas para el suministro y notificar en qué momento dejará de estar en vigor dicho aviso.

Por último, destacar la **Regla C-3**, sobre **Comunicación de información**, en la que se obliga a la OMI a dar a conocer, empleando los medios oportunos que fuesen precisos, la información especificada en los artículos anteriores.

5.4. Sección D: Normas para la gestión del agua de lastre

Se ha establecido una norma sobre el cambio del agua de lastre y otra norma sobre la eficacia de la gestión del agua de lastre, siendo posible utilizar la primera para cumplir esta última.

- **Regla D-1** *Norma para el cambio del agua de lastre*

La eficacia mínima exigida para aquellos buques que opten por la opción de realizar el cambio de lastre, será del 95%, de cambio volumétrico del agua de lastre.

Para los buques que empleen el método de flujo continuo, se considera la norma general de bombear tres veces el volumen de cada tanque de lastre. Sin embargo, se aceptará un bombeo inferior a esa cantidad si se puede corroborar que se ha alcanzado el 95% de cambio volumétrico del agua de lastre.



• **Regla D-2** *Norma de eficacia de la gestión del agua de lastre*

En este caso, los buques deben descargar menos de 10 organismos viables por m^3 , cuyo tamaño mínimo sea igual o superior a 50 micrómetros (micras, μm), y menos de 10 organismos viables por mililitro (mL), cuyo tamaño mínimo esté comprendido entre 10 y 50 micras.

En cuanto a la posible afectación para la salud de las personas, como medida de control, los microorganismos indicadores no superarán:

- 1 unidad formadora de colonias (ufc) / 100mL ó 1 ufc / g (peso húmedo) de zooplancton, en el caso del *Vibrio cholerae* toxicógeno
- 250 ufc / 100 mL de *Escherichia coli*
- 100 ufc /100 mL de *Enterococos* intestinales

En la **Regla D-3** se presentan las *Prescripciones relativas a la aprobación de los sistemas de gestión del agua de lastre*.

Todos aquellos sistemas de gestión del agua de lastre destinados a cumplir el Convenio deberán estar aprobados por la Administración y ser seguros para el buque, equipo y tripulación.

Además, cuando dichos sistemas empleen sustancias activas o compuestos que contengan sustancias activas, deben ser aprobados por la Organización, y habrá que detallar el modo de aplicación previsto para tales sustancias. En caso de que se revoque la aprobación de alguna sustancia, su uso quedará prohibido en un período máximo de un año desde la fecha de revocación.

La **Regla D-4** está enfocada hacia los **Prototipos de tecnologías de tratamiento del agua de lastre**, e indica lo siguiente:

Aquellos buques que hayan participado en programas de prueba y evaluación de innovadoras y prometedoras tecnologías de gestión del agua de lastre, con anterioridad a la fecha de entrada en vigor de la **Regla D-2**, no tendrán que aplicar tal norma hasta cinco años más tarde de la fecha en la que, en principio, tendrían que haberla empezado a aplicar.



Si los buques participan en este tipo de programas con posterioridad a la fecha de entrada en vigor de la norma, también se les concederán cinco años antes de aplicarla de manera obligatoria, siempre y cuando el nivel tecnológico permita obtener resultados superiores a los descritos en la **Regla D-2**.

Para permitir llevar a cabo los programas de prueba de nuevos proyectos de gestión del agua de lastre, durante toda la prueba y evaluación, las Partes deben garantizar que el mecanismo de tratamiento se emplee satisfactoriamente, conforme a lo proyectado.

En un primer momento, estaba previsto que el Comité celebrase una reunión, como máximo, tres años antes de la entrada en vigor de la **Regla D-2**. Consistiría en efectuar un examen para determinar si las tecnologías eran adecuadas y suficientes para cumplir la mencionada norma, y para evaluar cómo podrían repercutir a nivel socioeconómico, concretamente, en aquellos países que todavía se encontrasen en desarrollo.

Este Comité, además, será el encargado de realizar los exámenes periódicos oportunos, en relación con las prescripciones aplicables a los buques y cualquier otro aspecto relevante en la gestión del agua de lastre.

Tales exámenes de tecnología deberían considerar aquellos aspectos vinculados con la seguridad del buque y su tripulación; la aceptabilidad ambiental (dar solución a un mayor número de problemas medioambientales que los que producen); la compatibilidad con el diseño de los buques (referido, habitualmente como “*aspecto práctico*”); las repercusiones económicas y la eficacia biológica en la eliminación de los organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos contenidos en el agua de lastre.

Para realizar estos exámenes sobre las normas, de acuerdo con la **Regla D-5**, el Comité debe constituir uno o varios grupos de trabajo, y les asignará unas tareas específicas a cada uno de ellos. Los grupos también están facultados para plantear propuestas de enmienda del Anexo. Tras el examen de esta proposición por las Partes, de aprobarse la entrada en vigor de la enmienda, habrá que seguir los procedimientos del **art.19**.



5.5. Sección E: Reconocimiento y Certificación

Esta sección incluye Reglas sobre reconocimientos, expedición o refrendo de certificados internacionales de gestión de agua de lastre, modelos de certificados, su duración y validez, y un modelo de *Libro Registro del Agua de Lastre*.

En la **Regla E-1** se obliga a todos aquellos buques con un arqueo bruto igual o superior a 400, sujetos al Convenio, excluyendo las plataformas flotantes, FSU (Floating Storage Unit) y unidades FPSO (Floating Production Storage and Offloading Units), a superar satisfactoriamente: un reconocimiento inicial, antes de que el buque entre en servicio o de que se expida por primera vez el Certificado. Esto permite garantizar un adecuado *Plan de Gestión del Agua de Lastre* y comprobar el buen estado de la estructura, equipo, sistemas, accesorios, y materiales del buque.

También habrá un reconocimiento de renovación a intervalos que no excedan de cinco años, un reconocimiento intermedio; un reconocimiento anual y, en ocasiones, hasta un reconocimiento adicional (total o parcial), que, en función de las circunstancias, podría ser parcial o total, tras haber llevado a cabo en el buque cualquier tipo de modificación importante, reparación o sustitución.

Conforme a la **Regla A-1**, entendemos por transformación importante “*cualquier reforma del buque en la que se altere su capacidad de transporte de lastre como mínimo, en un 15%; o cuando se modifica el tipo de buque; o cuando se pretende prolongar la vida del buque en diez años o más*”.

Los reconocimientos han de ser efectuados por funcionarios de la Administración, o cualesquiera otras organizaciones que hayan sido reconocidas por ella.

Estos inspectores tendrán derecho a exigir que los buques cumplan las prescripciones del Convenio; así como llevar a cabo las inspecciones tras habérselo solicitado las autoridades de un Estado Rector de puerto Parte.

En caso de que la Administración, o las organizaciones o inspectores reconocidos por ella, resuelvan que un buque no es apto para hacerse a la mar sin suponer riesgos para la salud humana, el medio ambiente, o los recursos, o bien su *Plan*



de Gestión del Agua de Lastre no cumple el Convenio, deberán adoptar medidas de corrección de forma inmediata, y se retirará el Certificado.

En caso de que un buque padezca un accidente o desperfecto que condicione su capacidad de gestión del agua de lastre, el armador deberá notificar el hecho a la Administración que expida el Certificado, o en quien haya delegado.

Estos deberán incoar procedimiento de investigación para determinar si es necesario llevar a cabo otros reconocimientos adicionales.

En todo caso, el buque, su equipo, sistemas y procedimientos han de mantenerse en las condiciones adecuadas para que pueda ser plenamente apto para hacerse a la mar sin suponer riesgos, conforme al Convenio.

Está totalmente prohibido que un buque realice modificaciones que puedan afectar al *Plan de Gestión del Agua de Lastre* tras haberse realizado un reconocimiento, sin la autorización de la Administración, a menos que consistan en la sustitución de determinados equipos o accesorios por otros iguales.

Acto seguido, todos los buques que hayan superado el reconocimiento recibirán un Certificado, expedido por la Administración, con validez ante todas las Partes.

La **Regla E-2** habilita a la Administración para expedir o refrendar los Certificados, o bien delegar en otra persona u organización autorizada; pero, en cualquier caso, será ella quien asuma la responsabilidad de esos Certificados.

También cabe la posibilidad, de acuerdo con la **Regla E-3**, de que una Administración solicite a otra Parte el reconocimiento de un buque, para que expida o autorice la expedición de su Certificado, que contendrá una reseña especificando esa particularidad. La Administración solicitante tendrá derecho a recibir una copia del Certificado lo antes posible. Este Certificado gozará de plena validez ante las Partes.

No obstante, no se podrá expedir tales Certificados a los buques que enarboles el pabellón de un Estado que no sea Parte.

El Certificado debe estar redactado, de conformidad con la **Regla E-4**, en el idioma oficial del Estado Parte que lo expida, pero si tal idioma empleado no fuese



el inglés, francés ni español, deberá incluirse una traducción a cualquiera de estos tres idiomas.

Por último, recalcar que la validez del Certificado no ha de ser superior a cinco años (en base a la **Regla E-5**).

Respecto a los reconocimientos de renovación, si finalizan en los tres meses anteriores a la fecha de expiración del Certificado existente, la validez del nuevo será de un máximo de cinco años desde la expiración del anterior.

En el caso de los Certificados concedidos por menos de cinco años, la Administración podrá prorrogar su fecha de expiración hasta un máximo de cinco años, siempre que se lleven a cabo los reconocimientos requeridos, como norma general, para los Certificados expedidos por ese periodo de tiempo.

Si un buque acaba de superar un reconocimiento de renovación, pero resulta imposible depositar a bordo el nuevo Certificado antes de que expire el Certificado existente, la Administración puede refrendar este último, que será nuevamente válido, como máximo, cinco meses tras la fecha de expiración.

Si el Certificado expira estando el buque alejado de un puerto en donde se pudiera someter al reconocimiento pertinente, la Administración puede prorrogar la validez del Certificado hasta tres meses, permitiendo al buque finalizar su derrota prevista hasta el puerto de destino (si fuera razonable conceder la prórroga).

El buque no podrá salir de ese puerto sin el nuevo Certificado, cuya validez será, como máximo, de cinco años, contados desde la expiración del Certificado existente antes de haber concedido la prórroga.

Cualquier Certificado podrá perder su validez si se da alguna de las siguientes circunstancias:

- Si se modifican los requisitos para cumplir el Convenio (sobre estructura, equipo, sistemas, accesorios...).
- Si el buque modifica su pabellón por el de otro Estado. Si se puede demostrar con certeza que el buque cumple con las prescripciones del Convenio, se podrá



expedir un nuevo Certificado. Además, la Parte cuyo pabellón tenía derecho a enarbolar el buque anteriormente, debe facilitar a la Administración, con prontitud, copias de los Certificados que tenía a bordo el buque antes del cambio y, de los informes de sus reconocimientos.

- Si los reconocimientos no se concluyen en los plazos establecidos.
- Si no se refrenda el Certificado de conformidad con el Convenio.

NOTA:

A pesar de que la normativa básica de referencia con respecto a la Gestión del Agua de Lastre es el Convenio BWM, existen numerosas Directrices, Resoluciones, Circulares, Directivas y otros documentos elaborados y aprobados por la OMI que lo complementan. En el [Anexo I](#) incluimos una relación de Directrices adicionales cuya consulta merece especial interés pero, dado que este trabajo no tiene por objeto principal efectuar un análisis exhaustivo de la normativa vinculada, tan solo nos vamos a limitar a mencionarla. Con todo, en los apartados correspondientes, iremos introduciendo parte del contenido de estos Reglamentos, tratando de lograr un enfoque sencillo, al tiempo que global.

Por otro lado, a nivel nacional, cabe hacer referencia al Boletín Oficial del Estado (BOE)-A-2016-10960, <https://www.boe.es/boe/dias/2016/11/22/pdfs/BOE-A-2016-10960.pdf>, por medio del cual se ratifica el Convenio BWM 2004 en España.

Además, la Asociación de Navieros Españoles (ANAVE) ha creado un grupo de trabajo centrado en el análisis de las posibles medidas a tomar para dar cumplimiento a la regulación aprobada por la OMI sobre la gestión y manejo del agua de lastre. Actualmente, están investigando sobre los nuevos sistemas de gestión a bordo y analizando su posible instalación en función de la longevidad de la flota española.



6. MÉTODOS DE GESTIÓN Y TRATAMIENTO A BORDO

6.1. Campos de investigación sobre el agua de lastre

En la actualidad existen numerosos campos de investigación, a nivel mundial, destinados a estudiar el impacto que supone para el ecosistema marino la introducción de organismos acuáticos perjudiciales, como consecuencia de las descargas de agua de lastre de los buques.

Entre las más destacadas líneas de investigación podemos citar los siguientes campos: Gestión, Ciencias Biológicas y Técnico.

6.1.1. Campo de la Gestión

Conforme al **art.1** del Convenio, se define la “**gestión del agua de lastre**” como “*el conjunto de procedimientos mecánicos, físicos, químicos o biológicos, utilizados individualmente o en combinación, destinados a extraer o neutralizar los organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos existentes en el agua de lastre y los sedimentos, o a evitar la toma o la descarga de los mismos*”.

El ámbito de la Gestión está especialmente concentrado en conocer los problemas medioambientales que supone el descargar el agua de lastre en determinadas zonas marítimas. También se ocupan de la elaboración de una escala de valoración de riesgos en la mencionada zona.

6.1.2. Campo de las ciencias biológicas

El objetivo prioritario de las ciencias biológicas es identificar cuáles son las especies autóctonas de ciertos ecosistemas marinos, para delimitar las llamadas “*Zonas Biogeográficas*” (Figura 6.1.2.1). En base a ellas, es posible elaborar listas de especies peligrosas para otras zonas, según su capacidad de introducción y adaptación al medio.

Otra de las aspiraciones de la investigación biológica es proyectar una tecnología que permita identificar rápida y eficazmente estas especies, para llevar a cabo los procedimientos de control y muestreo del agua de lastre.



Figura 6.1.2.1 - Zonas Biogeográficas. Fuente

<https://www.agenciasinc.es/Multimedia/Fotografias/Una-nueva-distribucion-del-mundo-natural>

6.1.3. Campo de la técnica

Este campo está especialmente concentrado en obtener la tecnología adecuada para el tratamiento del agua de lastre, teniendo como objetivo final eliminar los organismos perjudiciales o reducir al mínimo su presencia.

Existen numerosos proyectos técnicos, que abarcan desde el análisis de seguridad de los buques, hasta modificaciones en el diseño de los tanques y los efectos que podrían tener en la operatividad en función del método aplicado.

En la actualidad, existen más de treinta proyectos en el ámbito del tratamiento; hasta la fecha, el método de intercambio de agua de lastre es el que ha garantizado una mayor fiabilidad.

Podemos encuadrarlos en las siguientes categorías:

- Investigación acerca de los nuevos tratamientos del agua de lastre y sedimentos a bordo de los buques.
- Investigación sobre los nuevos tratamientos del agua de lastre y sedimentos en instalaciones de recepción en tierra.
- Valoración y examen comparativo de los tratamientos ya existentes.
- Estudios sobre la seguridad y eficiencia de los buques.
- Análisis coste - efectividad de los tratamientos instaurados en buques de prueba.



6.2. Técnicas de tratamiento a bordo

Los estudios que se han venido realizando hasta la actualidad, han concluido que no es suficiente adoptar una única y simple solución al problema del tratamiento a bordo; la opción más idónea pasa por una **conjunción de diferentes técnicas**; lo que, al mismo tiempo, acaba resultando más efectivo y fácil de aplicar a nivel operativo y económico.

La opinión general considera que el tratamiento del agua de lastre y sedimentos a bordo del buque siempre es una solución preferible a tener que acudir a instalaciones de recepción en tierra.

Los tratamientos para minimizar la introducción de especies acuáticas no indígenas, pueden tener lugar en cualquiera de las siguientes fases del viaje:

a. mientras tienen lugar las operaciones de lastrado (en el puerto de descarga)

b. en navegación, durante la travesía entre puertos

c. mientras tienen lugar las operaciones de deslastrado (en el puerto de carga)

En el primer y último caso, es necesario gestionar importantes volúmenes de agua en un breve periodo de tiempo, por lo que el caudal de carga y descarga del agua es muy abundante. Durante el viaje, sin embargo, existe más tiempo para realizar el proceso de tratamiento, y, consecuentemente, el caudal de agua puede ser inferior. Por otro lado, es posible hacer recircular el agua hasta que se haya logrado un adecuado nivel de protección ante organismos patógenos.

Los buques tienen capacidad para descargar agua de lastre a una velocidad de flujo o caudal muy elevada, lo que implica inconvenientes para el proceso de tratamiento respecto a la capacidad del sistema, el espacio necesario y el consumo de energía.

A pesar de ello, la opinión más extendida entre los expertos es que el tratamiento durante el lastre y deslastre acaba resultando mucho más efectivo, ya que desactiva los organismos contenidos en la mezcla agua - sedimento, frente a la opción del tratamiento a bordo (dado que, en este último caso, los sedimentos acaban depositándose y acumulándose en el fondo de los tanques).



La opción más empleada consiste en dividir el procedimiento de tratamiento a bordo en dos etapas: la primera fase suele ser de tipo mecánico y la segunda, puede estar basado en una desinfección, un tratamiento físico o biológico.

En las siguientes páginas incluiremos un resumen de las principales técnicas de tratamiento empleadas en la actualidad, o bien que se encuentran en fase de desarrollo.

Además, en el [Anexo II](#), se puede visualizar una tabla sobre *Opciones de gestión a bordo en distintos periodos del viaje*.

6.2.1. Procedimientos mecánicos

6.2.1.1. Filtración

En términos generales, podemos definir un **filtro** (Figura 6.2.1.1.1) como un dispositivo empleado para “*separar las partículas sólidas de un medio fluido por intercepción y retención de las partículas sobre una superficie o en el seno de una masa porosa a través de las cuales se hace circular el fluido*” (DRAE).

La filtración es un procedimiento cuya efectividad oscila entre el **95** y el **98%** para partículas de gran tamaño; es decir, aquellas que pueden pasar por una malla. Su principal ventaja es que se puede aplicar al mismo tiempo que tienen lugar las operaciones de lastrado.

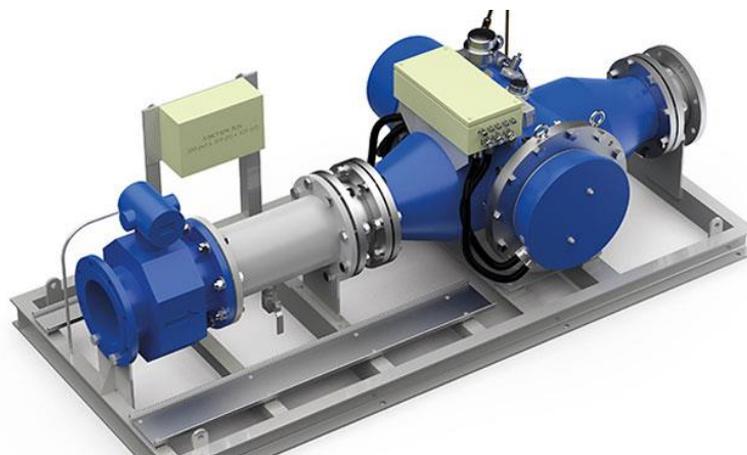


Figura 6.2.1.1.1 - Filtro de Agua de Lastre. Fuente <https://nauticainfo.com/fotos/1/uploads/2014/11/Aguasdelastre.jpg>



Los principales **inconvenientes** están relacionados con los grandes volúmenes de agua que hay que filtrar. Por otro lado, hoy en día, todavía no se han probado con elevadas cantidades de agua de lastre y sedimentos los procedimientos de microfiltrado, empleados para retener las partículas de menores dimensiones. Además, otra importante desventaja es que los residuos generados tras la limpieza de los filtros se descargan en las aguas portuarias durante el proceso de deslastre, sin aplicar ningún tipo de tratamiento.

En el año 1996, Estados Unidos y Canadá (el Northeast Midwest Institute y la Lake Carriers' Association) participaron en un proyecto experimental conjunto, conocido como *Proyecto de demostración de tecnología de lastre de los Grandes Lagos*. Pretendían probar la viabilidad de filtrar el agua del mar y lagos antes de introducirla en los tanques de lastre de un barco.

Por aquel entonces, ya muchos barcos filtraban el agua de lastre a través de gruesas pantallas para eliminar peces y sedimentos. Pero el filtro que ellos proponían, iba mucho más allá: podría eliminar partículas y plancton de hasta 25 micrómetros. Se trataba de un filtro "*autolimpiable*", que se aplicó con exitosos resultados al bulk-carrier "**ALGONORTH**", que transportaba grano y hierro entre los Grandes Lagos y la vía marítima de St. Lawrence.

6.2.1.2. Micro filtración

Los microfiltros operan, por norma general, **a baja carga** (es decir, con muy poco desnivel). El principio de funcionamiento se basa en una pantalla giratoria (de material plástico o malla de acero), a través de la cual circula el agua.

Las partículas más sólidas quedan adheridas a la cara interna del microfiltro. Este, al tiempo, dispone en su interior un sistema de lavado continuo, para poder mantener las mallas limpias.

Este sistema logró buenos resultados separando algas de aguas superficiales, y como tratamiento terciario en la depuración de aguas residuales.

En el agua de lastre, habitualmente, se encuentran residuos sólidos gruesos (en torno a los 80 μm de diámetro) y finos (de unos 10 μm).

El sistema de filtración simple supone una retención poco efectiva de estos sólidos. Por lo tanto, hay que recurrir a la micro filtración (Figura 6.2.1.2.1).

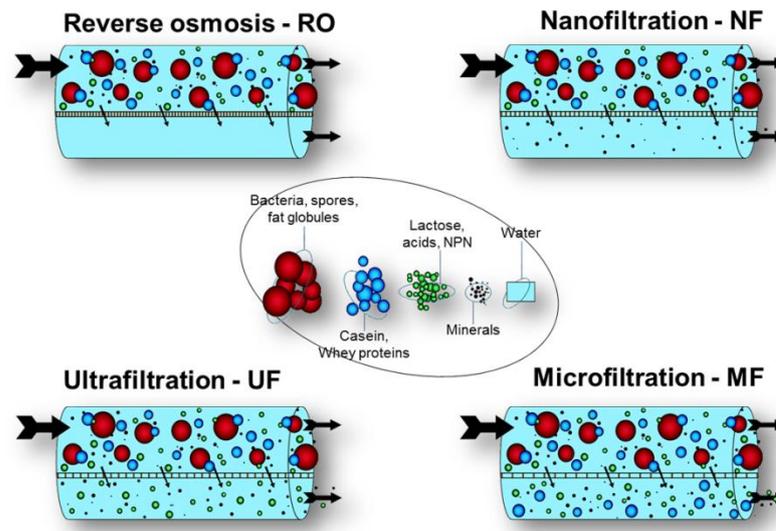


Figura 6.2.1.2.1 - Diferencias entre la micro, nano y ultra filtración. Fuente

<https://www.tetrapak.com/mx/processing/membrane-filtration/filtration-processes>

Es un procedimiento muy habitual en las plataformas marinas petrolíferas, siendo el rendimiento de filtración, aproximadamente, de unos **5.000 m³/h**. Cuando se empleen filtros con mallas de 500 μm y 50 μm , será preciso disponer de una superficie de filtrado entre 3 y 4 m².

Podemos proponer un equipo de microfiltrado para intercalar en la línea de lastre de los buques, basado en dos grupos de filtros: un filtro para gruesos (300 μm de malla) y un filtro para finos (25 μm de malla). Estos filtros se fabrican con materiales sintéticos, y pueden contar con un sistema de auto limpieza.

El primer grupo de filtros (gruesos), es el encargado de retener la mayor parte del zooplancton de dimensiones considerables; mientras que los filtros de finos recogen el más pequeño zooplancton y grandes cantidades de fitoplancton de medio y gran tamaño.

Se puede contar con filtros cuyo rendimiento alcance los **1.000 m³/h**. Si las bombas de lastre están por debajo de la mencionada capacidad, no será necesario reducir el ritmo de lastrado o deslastrado; sin embargo, si las bombas que tenemos son de mayor capacidad, se hará preciso incrementar la resistencia de los filtros.

6.2.1.3. Filtración granular

La filtración granular consiste en hacer pasar el agua de lastre a través de un sistema de filtración granular antes de proceder a la micro filtración. Esto permite eliminar las partículas de mayores dimensiones.

Es un sistema constituido por arena o antracita, que se podría aplicar a las instalaciones de recepción en tierra (Figura 6.2.1.3.1). De hecho, es un sistema especialmente empleado en el tratamiento de aguas industriales.

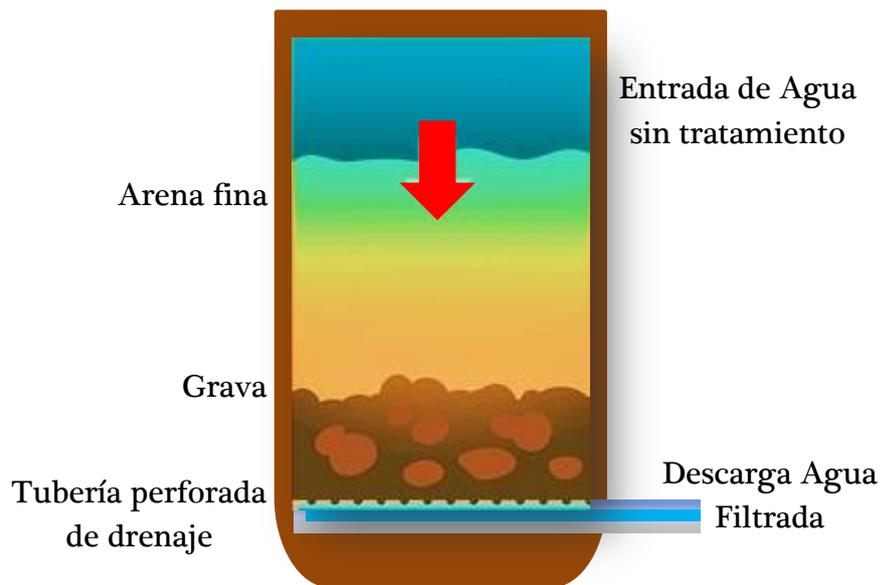


Figura 6.2.1.3.1 - Esquema sistema de Filtración Granular. Original del autor

De acuerdo con los estudios llevados a cabo por Miguel Rigola Lapeña, existen dos posibilidades para llevar a cabo la filtración granular, siendo sus mecanismos de actuación bastante diferentes.

Por un lado, se puede efectuar la retención de las partículas sobre la capa más externa del material granular empleado, sobre la que incide el agua.

La otra posible retención tiene lugar más profundamente, “*en el seno de la masa porosa*”. En este caso, se ven implicados varios tipos de fuerzas que dan lugar a la retención de las partículas (fuerzas de interceptación, fuerzas moleculares, químicas, superficiales...).



Para conducir el líquido a través del material filtrante, se puede recurrir a la fuerza de la gravedad (con “*filtros de gravedad*”, normalmente abiertos), o hacerlo por medio de una bomba (“*filtros de presión*”, siempre cerrados).

La velocidad de paso del agua es inversamente proporcional a la resistencia que ofrecen conjuntamente, el medio filtrante y los sólidos retenidos y directamente proporcional a la fuerza impulsora.

A medida que se van reteniendo sólidos, aumenta la pérdida de carga a través del filtro, lo que provoca una disminución en la velocidad de filtración. Es posible emplear dispositivos para variar la carga disponible, lo que permitiría mantener una velocidad de filtración constante.

Un filtro ideal debería tener en consideración los siguientes factores: el modo de filtración que se vaya a emplear, la velocidad de filtración y la presión disponible.

En la filtración granular, dependiendo del modo de operación de cada filtro, cambiará la manera en que varía la pérdida de carga en función del tiempo. Así pues, en la *filtración en profundidad*, se da una variación casi lineal de la pérdida de carga frente al tiempo o el volumen de agua filtrada; mientras que una curva de tipo exponencial sería indicativa de una *filtración superficial*.

El tamaño óptimo del medio filtrante se consigue buscando el equilibrio entre unos ciclos de duración lo mayor posible, y una buena calidad del agua.

Hay filtros con ciclos de menos de 10 horas de duración de su actividad, y de más de 24. La duración se puede optimizar colocando filtros en paralelo y adaptándose a las dimensiones del tanque de almacenamiento del agua de lavado.

Para las grandes instalaciones con abundantes caudales, se suelen utilizar filtros rectangulares con cuerpo de hormigón, que facilitan la conexión de varias unidades en paralelo. Para filtrar caudales menores, se usan filtros metálicos cilíndricos, horizontales o verticales.

Cuando la instalación contiene varios filtros en paralelo, se puede llevar a cabo el lavado de uno de ellos forzando el caudal en el resto de filtros. Pero, si solo se



dispone de una unidad, se debe contar con un tanque de almacenamiento de agua filtrada para poder garantizar el consumo y el agua de lavado. Dado que los volúmenes de agua de lavado son importantes, se hacen recircular hacia la alimentación de los tanques de decantación, si los hubiera.

El procedimiento de limpieza de los filtros cuando la pérdida de carga es excesiva, consiste en enfrentar una corriente de agua con aire en contracorriente. De este modo, los sólidos retenidos son desplazados y arrastrados con el agua hacia fuera del filtro, quedando en las condiciones adecuadas para reiniciar el ciclo.

6.2.1.4. Sistema de separación

El sistema de separación, o “método (hidro)ciclónico”, es un procedimiento simple y, relativamente, poco costoso, que permite eliminar los organismos y grandes partículas presentes en el agua de lastre de los buques.

Este método también se conoce como la *técnica del separador centrífugo*. Su fundamento consiste en provocar un **movimiento rotativo** al fluido que se encuentra en su interior.

Se basa en introducir el líquido, junto con las partículas en suspensión, de manera tangencial, dentro de la **unidad de separación**. Una vez dentro del separador, se somete al conjunto a un flujo circular, que provoca que los sedimentos se separen del agua de lastre y salgan despedidos hacia el exterior de la corriente. Posteriormente, se recogen en un **colector** (Figura 6.2.1.4.1).

El dispositivo ha de instalarse en posición vertical, con la toma de entrada hacia arriba. El agua pura sale a través del centro, mientras que las partículas caen en el fondo, en donde se ubica una tubería a través de la cual se evacúan los sedimentos.

El separador se diseña con forma acampanada, de tal manera que, al decrecer el diámetro, aumente la velocidad del flujo. Esto permite que las partículas más pesadas precipiten, y se logre una separación más efectiva.

Además, al aumentar la velocidad del flujo del agua, también se aumenta la velocidad de descarga por caída de presión.

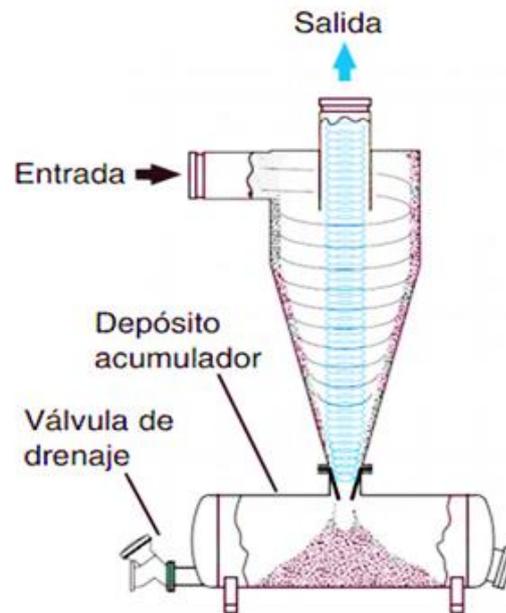


Figura 6.2.1.4.1 - Esquema hidrociclón. Fuente:

https://3.bp.blogspot.com/-quHCuiHMzF8/W-0E_HB23AI/AAAAAAAAADiw/-CdsAceaUVQKF_xFL9UEB6hHg3Ji0QHgCLcBGAs/s1600/hidro.png

No es recomendable llenar el separador por gravedad, puesto que el flujo sería insuficiente para provocar la separación.

Este sistema de tratamiento es efectivo para eliminar entre el **5 y el 10%** de las partículas pesadas que contiene el agua de lastre.

El caudal del agua hacia los tanques de lastre está limitado por la capacidad de la bomba, pero se puede optimizar el rendimiento empleando una unidad de mayor tamaño, o bien conectando pequeñas unidades en paralelo.

Este sistema puede llegar a conseguir **rendimientos medios** (aprox. 2.900 m³/h para una unidad de 3.000 kilogramos (kg)). Existe la posibilidad de aprovechar para estas tareas las bombas de lastre del buque, puesto que la resistencia del separador no es significativa.

A continuación, a modo de resumen, incluiremos una relación de las principales ventajas e inconvenientes que supone la instalación del sistema de separación o hidrociclónico a bordo.



Ventajas:

- a. Permite eliminar las partículas arrastradas por el agua y sólidos suspendidos.
- b. Al reducir la densidad de los organismos vivos, se les ocasiona daños mientras atraviesan el separador, por lo que se puede aumentar el tiempo de retención.
- c. En condiciones óptimas, se podría lograr disminuir la turbidez del agua.
- d. Se trata de una tecnología probada, cómoda y muy sencilla en sus reajustes.
- e. Apenas implica un impacto en la capacidad de las bombas del buque.

Limitaciones:

- a. No es efectivo para aquellas partículas con densidad inferior a la del agua.
- b. Rendimiento muy escaso en la eliminación de materiales disueltos.
- c. Eficacia nula en la reducción de organismos microscópicos, como virus bacterias, o fitoplancton.
- d. Poca efectividad en la reducción de la densidad del zooplancton.

6.2.1.5. Sistema de flujo continuo

El sistema de flujo continuo es un *“proceso en el que se bombea el agua de lastre de reemplazo en un tanque previsto para el transporte de agua de lastre, permitiendo que el agua fluya por rebose del tanque u otros medios”*, conforme a la resolución MEPC.124 (53).

Es decir, consiste en establecer una corriente de agua, que pasa a través de los tanques de lastre llenos, aspirando y descargando del mar de forma continua.

Este método posibilita un intercambio permanente del lastre, pero, como inconveniente, cabe destacar que requiere un diseño especial del circuito de lastre (Figura 6.2.1.5.1). Como consecuencia, su implementación y aplicación en los buques ya existentes puede resultar especialmente difícil.

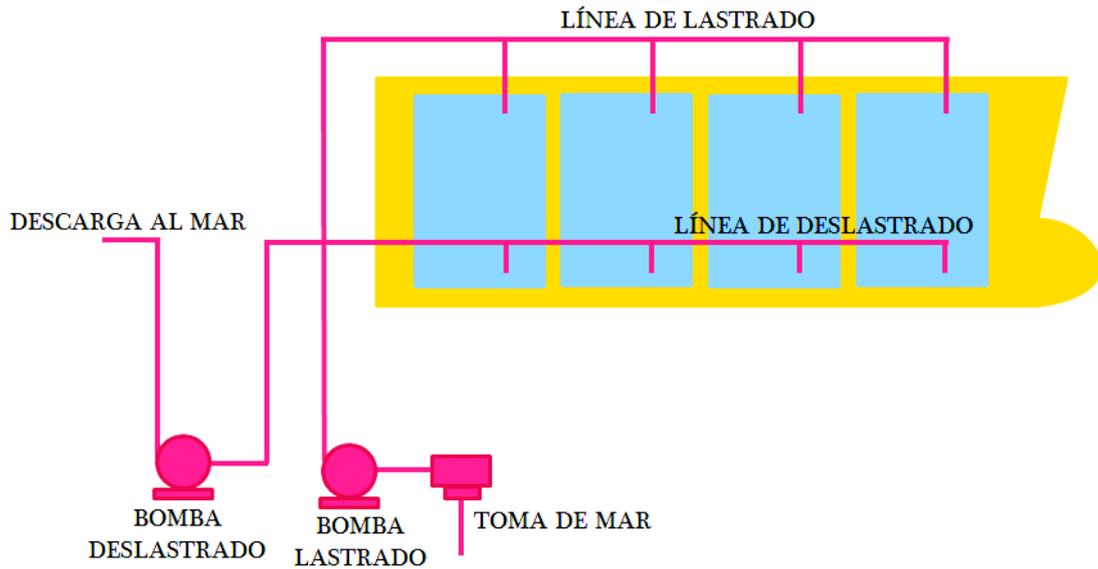


Figura 6.2.1.5.1 - Esquema circuito de flujo continuo. Original del autor

¿Son óptimas las condiciones de seguridad?

Este método ha sido cuestionado desde el punto de vista de la seguridad a bordo. La resolución MEPC.124(53) ofrece algunas recomendaciones, tales como considerar:

- número, disposición y capacidad de los respiraderos y dispositivos de rebose de los tanques
- prevención de un exceso o deficiencia de presión en los tanques de lastre
- propuesta de recomendaciones sobre el *Plan de Gestión del Agua de Lastre*
- formación y familiarización de los oficiales y tripulación encargados del cambio del agua de lastre en el mar, respecto a: los medios de bombeo, tuberías, ubicación de los conductos de aireación y tubos de sonda, conductos de aspiración de los tanques, tuberías de comunicación con las bombas de lastre y aberturas de descarga del agua desde la parte alta del tanque, etc.

Por lo tanto, una vez estudiadas las principales características de este sistema, podemos concluir (Tabla 6.2.1.5.1):



VENTAJAS	INCONVENIENTES
intercambio permanente del lastre	diseño especial del circuito de lastre
	difícil aplicación en buques existentes
	formación específica para la dotación
	limitaciones en la seguridad a bordo

Tabla 6.2.1.5.1 - Ventajas e inconvenientes del sistema de flujo continuo. Elaboración propia

El cambio del agua de lastre implica una serie de obstáculos para la seguridad del buque y dotación. Por ello, las *Directrices para el cambio de agua de lastre* (D6), (**Res.MEPC.124(53)**), pretenden servir de orientación para los armadores y propietarios para diseñar procedimientos específicos sobre cómo efectuar el cambio de agua de lastre en cada buque, recopilando, a ser posible, ayuda e información de las SSCC (Sociedades de Clasificación) e inspectores marítimos.

Asimismo, será preciso realizar un examen periódico para evaluar la seguridad, aptitud de los sistemas de cambio y preparación de la tripulación. Las obligaciones del personal responsable de la gestión a bordo deben aparecer reflejadas en el *Plan de Gestión del Agua de Lastre*. Dicha evaluación deberá tener en cuenta (Tabla 6.2.1.5.2):

FACTORES A TENER EN CUENTA EN LA EVALUACIÓN		
condiciones de seguridad sobre estabilidad y resistencia (según la condición de carga)	método previsto de cambio del agua de lastre	características del sistema de bombeo
capacidad de los respiraderos de los tanques y mecanismos de rebose	prevención del exceso o defecto de presión dentro de los tanques de lastre	esfuerzos longitudinales y/o de torsión; calados y asiento; inmersión de la hélice...
efecto de superficies libres en tanques parcialmente llenos	vibraciones del casco debidas al oleaje	limitaciones meteorológicas y debidas al estado del mar (ciclones, huracanes...)

Tabla 6.2.1.5.2 - Relación de factores a tener en cuenta en la evaluación de seguridad.

Elaboración propia



Una vez examinada toda esta información, teniendo en cuenta el método de gestión que se vaya a emplear, se elaborarán procedimientos adecuados que se incluirán en el *Plan de Gestión del Agua de Lastre*.

No obstante, en situaciones de carácter excepcional (como engelamiento, temporales), emergencia o causa de fuerza mayor que supongan una amenaza a la vida humana o la seguridad del buque, conforme a la Regla B-4.4 del Convenio, el Capitán podrá justificar que el buque no ejecute tales procedimientos.

Ante todo, prima evitar los riesgos para la salud y seguridad en el trabajo, en las secuencias del cambio del agua de lastre. Por ejemplo, habrá que prevenir al personal de posibles caídas o lesiones, como consecuencia de los reboses, que dan lugar a una superficie de cubierta mojada y resbaladiza (apdo. 5.4.19 de las *Directrices (D6)*).

Muchas veces es complicado atender y cumplir todas estas pautas; por ello, en caso de incumplimiento parcial, habrá que incorporar una nota en el *Plan de Gestión del Agua de Lastre* que alerte al Capitán de la posible necesidad de mayor planificación y precauciones.

Por lo tanto, es muy importante insistir en la adecuada formación de la dotación, que deberá estar perfectamente familiarizada con las medidas de seguridad respecto a los medios de bombeo, ubicación de tuberías y tubos de sonda y aireación; los intervalos de tiempo precisos para efectuar las operaciones. Además, todas las operaciones serán sometidas a una vigilancia continuada.

Por otro lado, las SSCC recomiendan alejar lo máximo posible las conexiones de las tuberías de entrada y salida. Además, siempre que resulte factible se debe incluir una *Nota de la clase*, donde se garantice que se ha comprobado que los reboses a bordo soportan las posibles sobrepresiones ejercidas por el método de flujo continuo. Si fuera preciso, se incluirá la información pertinente sobre estabilidad, esfuerzos longitudinales, vibraciones....

6.2.1.6. Sistema de dilución

El método de dilución ha sido experimentado por la compañía PETROBRAS, una empresa pública Brasileña que opera de forma integrada, especializada en la industria del petróleo, el gas natural y la energía.

Está fundamentado en el sistema de flujo continuo, constituyendo un desarrollo más avanzado de la misma técnica.

El procedimiento consiste en llenar (por la parte superior) el tanque previsto para llevar agua de lastre con nueva agua de lastre de reemplazo, mientras se descarga simultáneamente por la parte inferior, empleando la misma velocidad de flujo y manteniendo constante el nivel de agua en el tanque durante todo el proceso de cambio de agua de lastre (Figura 6.2.1.6.1).

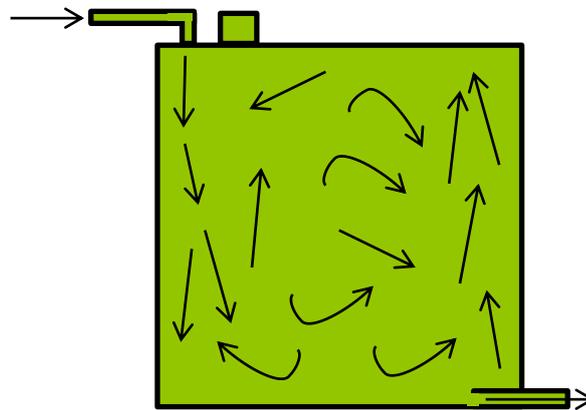


Figura 6.2.1.6.1 - Esquema dilución en un tanque. Original del autor

El lastrado tiene lugar a través de la parte superior de los tanques, al conectar una bomba de lastre a un colector ubicado en cubierta. El colector distribuye el lastre a los tanques. Al mismo tiempo, una segunda bomba aspira del colector posicionado en el fondo de los tanques y descarga al mar a través de una tubería situada en el costado.

Ambas técnicas (dilución y flujo continuo) en su conjunto, se consideran métodos de "*bombeo continuo*".

A diferencia del **flujo continuo**, aplicado con carácter exclusivo a los tanques **llenos** de lastre, en la dilución, el flujo puede ser aplicado a través de un tanque de lastre parcialmente lleno, requiriendo la instalación previa de unos tramos de tubería adicional a bordo.



En el [Anexo III](#), incluimos un esquema en el que se puede observar la relación entre el método secuencial, el flujo continuo, y la dilución.

6.2.1.7. Sedimentación y Flotación

Este método es más adecuado para implementarlo en instalaciones de recepción en tierra.

La sedimentación o decantación es un procedimiento mecánico que, gracias a las fuerzas gravitatorias, separa las partículas suspendidas cuyo **peso específico** es **mayor que el del agua**, que ni se pueden retener en las unidades de pretratamiento, por su finura o densidad, ni se pueden separar por flotación.

El objetivo es obtener un efluente clarificado, así como también un fango cuya concentración de sólidos permita su fácil tratamiento y manejo.

Existe la posibilidad de utilizar determinados coagulantes químicos para favorecer el proceso de sedimentación.

Posteriormente, se introducen pequeñas burbujas de aire en el interior de un denominado "*tanque de flotación*", que arrastran a los organismos ya coagulados hacia la superficie (Figura 6.2.1.7.1).

Hay varios tipos de sedimentación, en función de la concentración de las partículas y la interacción entre ellas. Distinguimos, pues, la sedimentación discreta, difusa y por zonas. En la práctica, es habitual llevar a cabo los tres mecanismos de forma simultánea.

En la **sedimentación discreta** o granular, cada partícula sedimenta como unidad individual, con una velocidad de caída constante. No interactúa con el resto de partículas, ni sufre alteración de su naturaleza durante el proceso.

Por el contrario, en la **sedimentación difusa** o floculenta, las partículas se agregan, y al unirse aumentan de masa y sedimentan a mayor velocidad. En este caso, sí se altera su naturaleza. Es el proceso más frecuente en los decantadores primarios de la EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales).

Por último, la **decantación por zonas** se produce cuando las fuerzas entre moléculas son suficientes como para entorpecer la sedimentación. Las partículas permanecen en posiciones relativamente fijas, llegando a formar una especie de manta que precipita como una unidad. Esta decantación se puede ver en ciertos procesos biológicos y en la sedimentación química.

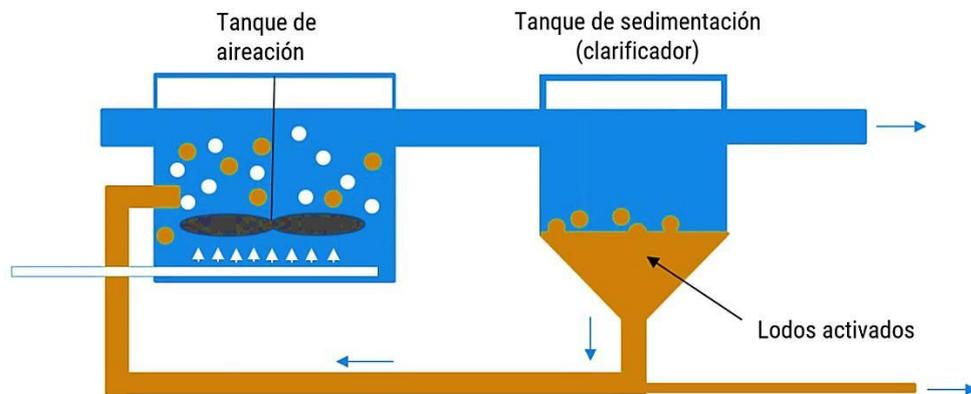


Figura 6.2.1.7.1 - Esquema proceso de sedimentación y flotación. Fuente:

<https://cropaia.com/es/blog/tratamiento-de-aguas-residuales/>

Para decidir las dimensiones más adecuadas para los equipos durante el diseño, hay que tener en cuenta el tamaño y peso específico de las partículas, las fuerzas eléctricas entre ellas, su velocidad, el tiempo de retención...

También cobran especial relevancia las variables climáticas (como el viento y la temperatura), ya que, a mayor temperatura, menor será la densidad del líquido y, por tanto, habrá una sedimentación más rápida.

Debido a la necesidad de dedicar determinados tanques a la sedimentación, resulta poco recomendable aplicar este método a bordo de los buques.

6.2.1.8. Velocidad de bombeo

Se trata de otro procedimiento mecánico, cuyo fundamento pasa por incrementar la velocidad de bombeo, para reducir la supervivencia de los organismos de mayor tamaño, tras el impacto mecánico al que se ven sometidos.

Es un sistema todavía en desarrollo, puesto que la instalación de unidades adicionales de bombeo de alta velocidad implica un coste demasiado elevado, con lo que, a priori, no parece una solución demasiado rentable.

6.2.1.9. Intercambio de agua de lastre

También conocido como “*método secuencial*”, es el procedimiento más empleado en la actualidad, por su comodidad y eficacia. Consiste en producir un cambio total del agua de lastre de los tanques mientras el buque navega en aguas profundas. Conforme al MEPC 124(53), los tanques se vacían y se vuelven a llenar con agua de lastre de reemplazo, hasta alcanzar, al menos, un **95%** de cambio volumétrico.

Esto provoca que los organismos y agentes patógenos tomados al lastrear el buque en aguas someras (considerando “*aguas someras*” aquellas con menos de 50 m de profundidad), tengan muy pocas posibilidades de sobrevivir (Figura 6.2.1.9.1).

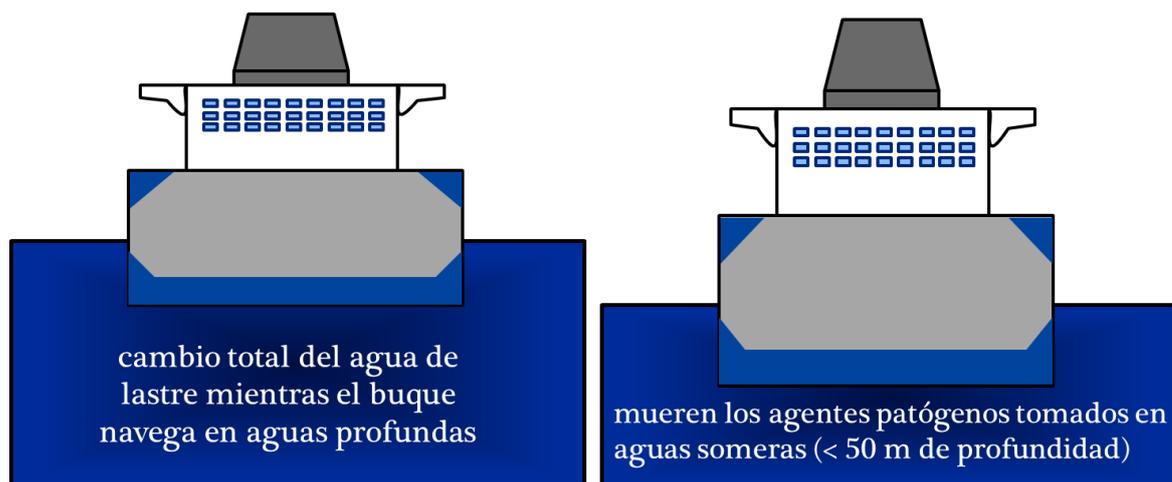


Figura 6.2.1.9.1 - Efectos del método secuencial en los organismos perjudiciales y agentes patógenos por navegar el buque en aguas profundas o someras. Original del autor

Igualmente, los organismos que hayan aspirado las bombas de lastre en alta mar también podrán ser descargados en los puertos de destino, ya que es muy poco probable que sobrevivan.



Las pautas a seguir para efectuar una adecuada renovación del agua de lastre son las siguientes: en primer lugar, se deben seguir lastrando los tanques llenos, hasta producir su rebose a cubierta y, desde allí, al mar.

Se considera que se ha renovado por completo el agua de cada tanque, tras haber bombeado, como mínimo, **tres veces** el volumen de agua de cada tanque.

Con todo, a pesar de ser considerado como el método más efectivo hasta la fecha, el sistema todavía presenta algunas dificultades en cuanto a su aplicación para determinados buques.

Por otro lado, a día de hoy, todavía no se han llevado a cabo suficientes evaluaciones o estudios referentes al binomio coste - beneficio que implica este procedimiento.

6.2.2. Tratamientos Físicos

Se trata de diversos procedimientos de desinfección del agua, mediante el uso de dispositivos que actúan sobre sus componentes. Dado que no se añade ninguna sustancia al fluido, la composición química del mismo no se verá, en ningún caso, alterada. Aunque esta tecnología permite obtener buenos resultados, por norma general, se acompaña de otros tratamientos adicionales para lograr una mayor efectividad.

6.2.2.1. Tratamiento por calor

Es frecuente utilizar las altas temperaturas para esterilizar el agua, calentando el agua de lastre, aprovechando el calor residual de los gases de exhaustación y del sistema de refrigeración de la propulsión de los buques. El único requerimiento de este tratamiento es la instalación de unas tuberías adicionales que permitan hacer circular el agua de lastre a través de unos intercambiadores de calor.

La mayor parte de organismos perecen tras calentar el agua de lastre a temperaturas en torno a los 35°C a 45°C, durante un cierto periodo de tiempo. Con temperaturas inferiores a los 60°C, también es posible desactivar, o incluso, erradicar muchos de los organismos de carácter tóxico.

Por ejemplo, para eliminar a los **mejillones cebra** (Figura 6.2.2.1.1) que se suelen fijar en las tuberías, sería suficiente aplicar una exposición de entre 2 y 6 horas, a una temperatura comprendida entre los 36°C y 38°C.

Si se trata de eliminar ciertas algas más resistentes, tendremos que aumentar la temperatura, hasta alcanzar unos 50°C, o incluso más; como norma general, una exposición a 40°C durante unos 8 minutos (min), sería definitiva para la inmensa mayoría de organismos marinos.



Figura 6.2.2.1.1 - Mejillón cebra. Fuente:

<https://www.elmundo.es/elmundo/2010/08/12/ciencia/1281630699.html>

La duración de la **exposición** viene directamente vinculada a la **temperatura** alcanzada en el agua de lastre. Así, por ejemplo, a los 50°C se suele provocar la muerte instantánea, a 45°C, se necesitarían 30 segundos, con 43°C, un minuto y a 40°C, tardarían 90 segundos (s) en morir.

Estos tratamientos térmicos presentan algunos **inconvenientes** (Figura 6.2.2.1.2) que pueden limitar su aplicación en ciertas rutas marítimas comerciales, tales como:

- **Duración del viaje:** las travesías cortas imposibilitan el adecuado calentamiento del agua a la temperatura precisa durante el tiempo necesario.
- **Limitación de la energía disponible:** los gases de exhaustación pueden no aportar la energía suficiente para tratar volúmenes importantes de agua de lastre.

- **Temperatura ambiente del agua:** habrá que tener en consideración la posible pérdida de calor debida a la temperatura ambiente del agua. Los tanques de lastre situados a lo largo del casco, afectados por la baja temperatura ambiente, pueden requerir una mayor cantidad de calor que los que están junto a los tanques de carga. Sin embargo, en aguas tropicales (30°C), por ejemplo, se requeriría menos energía (calor) para realizar el tratamiento térmico.
- **Efectividad variable** en función del tipo de organismos que se vayan a tratar.

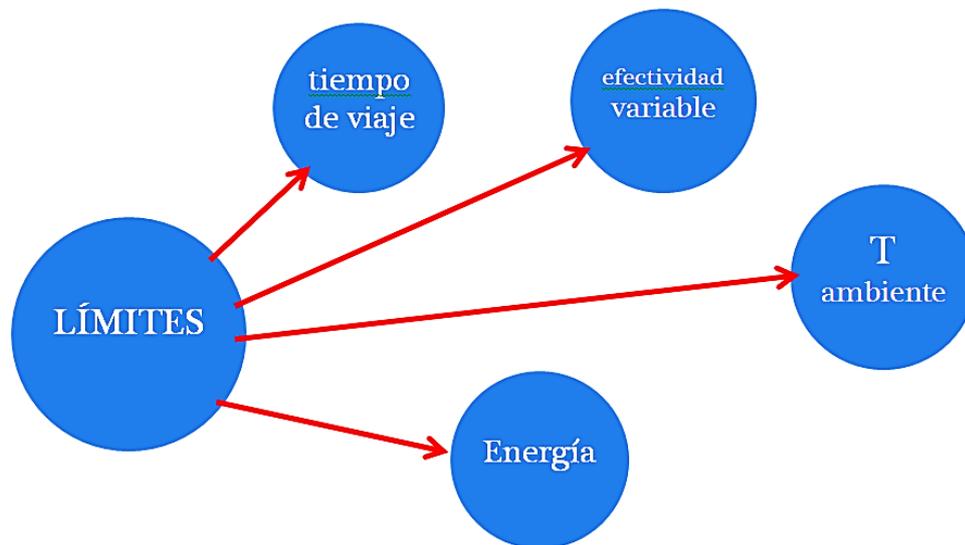


Figura 6.2.2.1.2 - Esquema resumen de inconvenientes de los tratamientos térmicos. Original del autor

6.2.2.2. Tratamiento por frío

Es una técnica poco empleada en la actualidad; considera el uso del frío, en combinación con los biocidas, para conseguir eliminar las placas de bacterias y, por tanto, retrasar la contaminación bacteriana de las membranas de ósmosis inversa, en el tratamiento de las aguas industriales.

La idea pasa por utilizar *ethylene glycol* a -12° C, capaz de desestabilizar las placas y destruirlas.

No obstante, para reducir la temperatura del agua de lastre hasta alcanzar el punto de congelación, se necesitaría instalar a bordo unidades adicionales de frío, así como generadores de energía, lo que supondría un gasto importante. Por otro lado, también habría que considerar los efectos de estas bajas temperaturas sobre la estructura del buque, ya que se podría ver debilitada.

6.2.2.3. Radiación Ultravioleta (UV)

Es una de las técnicas con mayor desarrollo y consolidación, en la actualidad. Los rayos ultravioleta (UV) son empleados con mucha frecuencia para esterilizar el agua potable, las aguas residuales o, incluso, para los fines de depuración en acuicultura y pesquerías.

Conforme a la Organización Mundial de la Salud (OMS), podemos definir la radiación ultravioleta (UV), como “*aquellas radiaciones electromagnéticas cuya longitud de onda está comprendida entre 100 y 400 nanómetros (nm)*”. Dentro del espectro electromagnético, se sitúa entre los rayos X y la luz visible. Un intervalo concreto dentro de ese margen (entre los 200 y los 300 nm) se conoce como *germicida*. Esto significa que puede inactivar bacterias, virus, protozoos y otros microorganismos (Figura 6.2.2.3.1).



Figura 6.2.2.3.1 - Espectro electromagnético. Fuente: <https://www.ctxprofessional.com/piscina-comunitaria/tratamiento-del-agua/ultravioleta/>

En el [Anexo IV](#), se puede consultar un esquema relativo al *Espectro Electromagnético*.

Atendiendo al tamaño de los organismos que contiene el agua de lastre, cabe destacar que los agentes grandes y medianos se eliminan mediante el filtrado y desoxidación, mientras que la radiación UV se reserva para los microorganismos.

Muchos de estos agentes microscópicos presentes en el agua de lastre pueden sobrevivir en limitada luminosidad o en la oscuridad derivadas de la profundidad. La luz UV provoca una rápida y efectiva inactivación de los microorganismos mediante un proceso físico. Al exponer a los virus, bacterias y protozoos a las



longitudes de onda germicidas de la luz UV, pierden su capacidad para reproducirse e infectar.

Por lo general, se ha demostrado que las **ondas de baja frecuencia** son más efectivas; sin embargo, como inconveniente, destaca su escasa propagación en el agua de mar, que se reduce incluso más cuando el fluido contiene una gran concentración de partículas inorgánicas en suspensión.

Entre algunos de los agentes patógenos que la luz UV es capaz de desactivar, se encuentran los causantes del cólera, polio, la fiebre tifoidea... Además, en combinación con peróxido de hidrógeno (proceso de *oxidación UV*), se pueden destruir contaminantes químicos como pesticidas, disolventes industriales...

La radiación UV provoca reacciones fotoquímicas en los componentes biológicos como el ácido nucleico y las proteínas. El ADN (ácido desoxirribonucleico) y ARN (ácido ribonucleico) celular absorben la alta energía de onda corta de la luz UV, formando nuevos enlaces dobles entre nucleótidos adyacentes. Esto se conoce como *dimerización* y es el daño fotoquímico más frecuente, que impide la reproducción y la capacidad de infectar.

El método consiste en emplear unas lámparas ultravioletas especiales capaces de destruir los microorganismos (bacterias, virus o parásitos), que contribuyen a degradar los agentes patógenos (Figura 6.2.2.3.2).

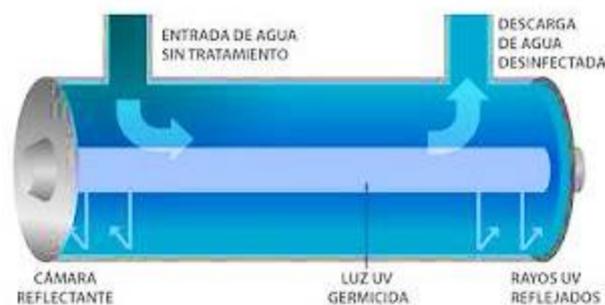


Figura 6.2.2.3.2 - Esquema lámpara UV. Fuente <http://agua-purificacion.blogspot.com/2010/01/tratamiento-de-agua-por-rayos.html>



La luz UV, frente a la desinfección con cloro, es capaz de inactivar con facilidad a los protozoos, al tiempo que reduce la contaminación que conlleva el uso de cloro y sus subproductos derivados.

Existe la posibilidad de que determinados microorganismos reparen los daños fotoquímicos ocasionados por la luz UV, cuando la dosis sea demasiado baja, por medio de la *fotorreactivación* o *reparación oscura*. Como norma general, se estima que con dosis superiores a 12 mJ/cm^2 , la probabilidad de fotorreactivación es prácticamente nula.

En algunos casos, de hecho, como el *Cryptosporidium*, bastaría con una exposición a una lámpara UV de presión baja o media, irradiando una dosis de 3 mJ/cm^2 para imposibilitar la reparación. Es decir, se deben proyectar sistemas UV con dosis de radiación tal que se imposibilite la reparación del daño celular.

Entre las muchas **ventajas** de este sistema, cabe destacar, desde el punto de vista de la seguridad, que no implica el uso de productos químicos. Por tanto, no altera las propiedades del agua, ni se contamina el medio ambiente.

Tampoco se generan subproductos carcinógenos; este método de tratamiento no requiere de transporte, almacenamiento ni manipulación de sustancias químicas tóxicas o corrosivas. Además, su aplicación es muy sencilla.

Desde el punto de vista de los costes, este sistema requiere poco mantenimiento, y sus costes operativos son muy bajos (únicamente dependen del consumo eléctrico y la sustitución anual de las lámparas). Adicionalmente, se reducen los costes por respuestas a fugas, planificación de emergencias...

Numerosos estudios han concluido que la posibilidad de emplear este tratamiento por UV a bordo no supondría grandes complicaciones en los buques de nueva construcción; sin duda, sería un fantástico complemento para los sistemas de filtrado (Figura 6.2.2.3.3, esquema BallastMaster ultraV, que combina filtración y radiación UV). No obstante, instalar estos sistemas en los buques ya existentes podría conllevar algunas problemáticas.



Figura 6.2.2.3.3 - Sistema BallastMaster ultraV. Fuente:
<https://www.gea.com/es/products/ballastmaster-ultraV.jsp>

6.2.2.4. Radiación Gamma (γ)

Del mismo modo que sucede con la radiación UV, los rayos gamma de alta penetración, podrían ser aplicados como técnica alternativa de tratamiento del agua de lastre (ver [Anexo 4](#), *Espectro Electromagnético*).

Este procedimiento todavía está en vías de desarrollo, siendo su introducción bastante reciente. Su objetivo tuvo origen en la pasteurización de aguas residuales.

6.2.2.5. Ultrasonidos

Desde el año 1950, se ha estado investigando acerca de la utilidad de los ultrasonidos para controlar las incrustaciones del casco de los buques; el estudio sobre su posible aplicación al tratamiento del agua de lastre se ha llevado a cabo desde 1963. No obstante, a día de hoy, todavía no se han realizado cálculos para determinar el coste real que podría suponer incorporar un sistema de ultrasonidos a bordo (Figura 6.2.2.5.1).

Estos mecanismos emplean transductores para aplicar al agua la energía del sonido, con diferente frecuencia y amplitud en función de los organismos que se



vayan a tratar. Debemos tener precaución, puesto que estos equipos producen mucho ruido, pudiendo afectar seriamente a la salud de la tripulación.

Los efectos de los ultrasonidos no son inmediatos, sino que su actuación consiste en ir provocando reacciones fatales para los organismos marinos.

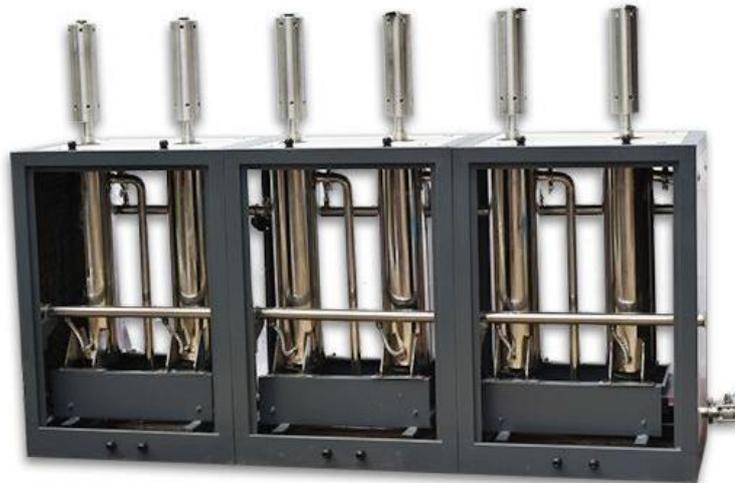


Figura 6.2.2.5.1 - Equipo de ultrasonidos para el tratamiento del agua. Fuente:

<http://spanish.ultrasonic-weldingequipment.com/sale-10592109-15khz-3000w-ultrasonic-liquid-processor-for-water-descaling-sterilization.html>

La reacción comienza con la generación de calor, que produce ondas deflectoras de presión y cavitación, que, a su vez, provocan la desgasificación del agua, liberando oxígeno. Las tensiones mecánicas resultantes son nocivas para las células.

También se podría llevar a cabo un tratamiento con agua fría, pero requeriría una potencia mucho mayor, para que el proceso de cavitación fuese efectivo.

El efecto de los ultrasonidos puede verse incrementado si se dan altas frecuencias, altas temperaturas y bajas concentraciones de materia en disolución. Por otro lado, la efectividad de este procedimiento de tratamiento del agua de lastre estará condicionada por el tiempo de exposición, y el diámetro y longitud de las tuberías.

Para poder utilizar este sistema, es necesario instalar transceptores en la línea de lastre, ya que hay muy pocas posibilidades de penetración en los sedimentos situados en el fondo de los tanques.



Se recomienda instalar un sistema paralelo de tuberías, a fin de poder proporcionar un tiempo de exposición suficiente como para lograr una mortandad significativa de los organismos marinos y agentes patógenos, así como para evitar cualquier disminución en el ritmo de bombeo.

6.2.2.6. Microondas

Se trata de un procedimiento desarrollado, en un principio, para el tratamiento de aguas residuales. Es una técnica pensada para aplicarla en combinación con los ultrasonidos, respecto al tratamiento del agua de lastre.

No obstante, su elevado coste (un generador de 50 kilovatios (kW) implicaría 2 millones de dólares americanos (\$ USA), siendo este, además, insuficiente para un tanque de lastre grande) hace inviable su implementación a bordo.

6.2.2.7. Cambios rápidos de presión

Se trata de un procedimiento similar a los ultrasonidos, que produce cambios rápidos de presión por medio de un "cañón de aire" (Figura 6.2.2.7.1). Es una técnica ampliamente utilizada en las investigaciones sísmicas.



Figura 6.2.2.7.1 - Cañón de aire comprimido. Fuente: <https://www.vistaalmar.es/ciencia-tecnologia/ingenieria-innovacion/2132-canonas-aire-comprimido-prediccion-terremotos.html>

Con cualquiera de estas dos técnicas caría la posibilidad de que producir daños en numerosas especies patógenas. Con todo, conllevan el inconveniente de que el **ruido** producido por los transceptores podría afectar seriamente a la salud de



los tripulantes, así como ocasionar daños en el revestimiento de los tanques o sus estructuras, comprometiendo la seguridad.

Por lo tanto, a priori, a falta de mayor investigación, podemos concluir que no es un método viable a bordo de los buques.

6.2.2.8. Técnicas de corrientes eléctricas y de plasma

La aplicación de campos o impulsos eléctricos eléctricos podría ser una solución efectiva para erradicar ciertos macroorganismos presentes en el agua de lastre, que se verían seriamente afectados.

Por ejemplo, una descarga eléctrica de 100 voltios (V) durante 5 segundos provocaría la desactivación de los dinoflagelados.

Para poder utilizarla, se instala una unidad electrónica en las proximidades de la toma de mar del buque, y se activa durante las operaciones de lastrado.

En la figura Figura 6.2.2.8.1, podemos ver el **sistema De Nora - Balpure**, una combinación entre los procedimientos mecánicos, físicos y químicos, al mezclar la filtración (para eliminar las impurezas macroscópicas) y la desinfección electrolítica (electrocloración).



Figura 6.2.2.8.1 - Sistema De Nora - Balpure. Fuente: <https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2016/07/balpure-De-Nora.jpg>

La solución desinfectante (hipoclorito) se genera por medio de agua de mar y electricidad, dentro de lo que se conoce como “*celda electrolítica*”, que



explicaremos pormenorizadamente en los tratamientos químicos (ver [Tecnología Electroquímica apartado 6.2.3.2.](#)).

Los sistemas De Nora - Balpure, cuyo rendimiento oscila desde los 500 m³/h, hasta superara los 3.000 m³/h, permiten generar el hipoclorito necesario conforme a las circunstancias, y pueden ubicarse alejados de las tuberías de lastre.

En la actualidad, este sistema es empleado en las zonas de captación de agua de refrigeración de las centrales eléctricas.

A bordo de los buques, la experiencia ha puesto de manifiesto que este sistema permite erradicar a los organismos presentes a bordo en el agua de lastre, empleando menos energía que otros métodos de tratamiento.

Por otro lado, los sistemas de impulso de plasma proporcionan un impulso de gran energía a un mecanismo de arco en el agua, que, a su vez, genera un arco de plasma.

6.2.2.9. Campos Magnéticos

Es un campo que se encuentra, fundamentalmente, en investigación. Todavía no se ha realizado ningún experimento en el agua de mar. Consiste en que unos dispositivos ferromagnéticos o electromagnéticos generan un campo magnético por el que se hace pasar el agua a ser tratada.

Por ejemplo, el sistema **Hitachi - ClearBallast**, está pensado para suministrar polvo magnético al agua durante el lastrado; se agita el agua; y se separan magnéticamente los agentes acuáticos del agua.

Todavía se está estudiando acerca del posible impacto biológico y químico que podría suponer, sobre los organismos marinos, un intenso campo magnético.

Los análisis tan solo han dejado patente sutiles modificaciones en los componentes orgánicos e inorgánicos de ciertos bivalvos de agua dulce.



6.2.3. Tratamientos Químicos

Hoy en día hay disponibles en el mercado una inmensa variedad de productos químicos desinfectantes, que se han empleado durante muchos años en el ámbito del tratamiento de las aguas potables o residuales. Esto se conoce como “*tecnología electroquímica*”.

Por otro lado, también están muy extendidos numerosos biocidas inorgánicos para el tratamiento del agua.

Debemos tener en cuenta el gasto económico que suponen estos mecanismos; además, también hay que valorar las posibilidades de almacenamiento a bordo. Hay que tener en cuenta que, para poder tratar con efectividad grandes cantidades de agua de lastre, serían necesarias varias toneladas de producto (pensemos, por ejemplo, en los tanques de un gran bulk-carrier en lastre).

6.2.3.1. Biocidas

Existen dos tipos fundamentales de biocidas: los oxidantes y los no oxidantes. Los primeros actúan de forma rápida, destruyendo la membrana de las células y provocando su muerte. Entre ellos, están el tratamiento con ozono, con peróxido de hidrógeno (Figura 6.2.3.1.1) o con iones metálicos, la cloración, el uso de cloraminas, así como la familia de los halógenos, el bromo o el yodo.

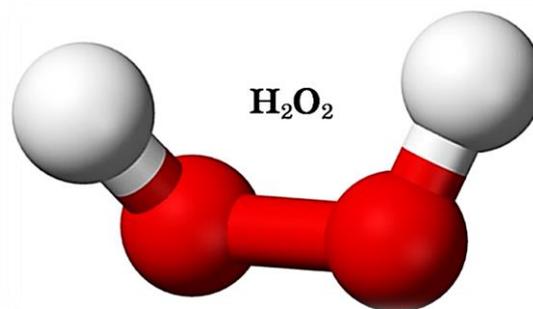


Figura 6.2.3.1.1 - Molécula Peróxido de Hidrógeno. Original del autor, tomando como fuente: <https://www.lifeder.com/wp-content/uploads/2016/02/per%C3%B3xido-de-hidr%C3%B3geno-bolas-3d.png>

Los biocidas no oxidantes, en cambio, son de acción más lenta, por lo que no son una buena opción en las travesías cortas. Se trata de extractos y químicos



naturales que se aplican al inicio del viaje, y operan interfiriendo en el funcionamiento vital de los organismos (metabolismo, reproducción...). Transcurridos varios días, se degradan en un producto químico no tóxico, que altere mínimamente el medio ambiente.

Entre las principales **ventajas** de los biocidas, podemos destacar: su facilidad de aplicación, un escaso mantenimiento, apenas ocupan espacio de almacenaje (ya que el suministro solo es puntual y de forma concentrada).

Respecto a los **inconvenientes**: pueden liberar gases indeseados y producir efectos tóxicos y corrosivos sobre los humanos, el agua de descarga, la vida marina, o las partes metálicas de los buques, revestimiento de tuberías y equipos. Con el paso del tiempo, también podrían producir una degradación de los materiales (se puede retrasar mediante protección catódica).

Por otro lado, existe cierta reticencia a añadir productos químicos a las aguas que vayan a ser descargadas nuevamente al mar. También se cuestiona la efectividad de los biocidas ante determinadas especies (Tabla 6.2.3.1.1).

En cualquier caso, estos productos deben cumplir con la normativa establecida por la OMI respecto a las regulaciones de descarga.

Evidentemente, antes de emplear cualquier biocida, es necesario que la dotación reciba una formación adecuada y específica sobre la manipulación de este tipo de productos.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
facilidad de aplicación	generación de gases indeseados
escaso mantenimiento	posibles efectos tóxicos o corrosivos
poco espacio de almacenaje	posible degradación de los materiales
tan solo se requiere suministro puntual	efectividad limitada a ciertas especies
residuos no tóxicos	formación específica para la dotación

Tabla 6.2.3.1.1 - Relación de ventajas e inconvenientes en el uso de biocidas. Elaboración propia



6.2.3.2. Tecnología Electroquímica

Desde la década de los 70, se han utilizado sistemas de electroclorinación para generar hipoclorito a partir del agua de mar. Esta tecnología es efectiva y económica para un rango limitado de organismos.

En primer lugar, explicaremos en qué consiste la electrólisis (Figura 6.2.3.2.1). Se trata de un procedimiento que permite separar los elementos de un determinado compuesto empleando la electricidad. Ciertas sales y óxidos metálicos son excelentes conductores de la electricidad, y se conocen como **electrolitos**.

Los electrolitos se descomponen cuando la corriente eléctrica los atraviesa, en el proceso de oxidación - reducción denominado **electrolisis**. La electrolisis conlleva un aumento de energía libre en el sistema, por lo que, para llevarla a cabo, se necesita una **fuente externa de energía**.

Por lo tanto, y resumiendo: para producir la reacción se necesita una celda electrolítica (electrolizador) compuesta por ánodo y cátodo; una fuente de energía que proporcione la corriente eléctrica que circula a través del agua salada entre las placas; y un elemento conductor de las reacciones electrolíticas comprendidas entre el ánodo y el cátodo.

Los ánodos suelen ser láminas de titanio revestidas con óxido de metales nobles, lo que disminuye el potencial de descarga y realza la acción del oxidante. El cátodo acostumbra a ser de titanio o aleaciones de níquel, para prolongar la vida útil del electrodo.

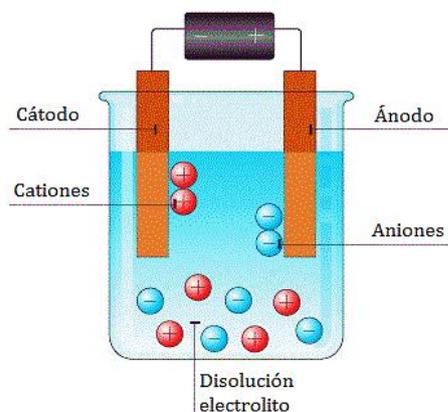


Figura 6.2.3.2.1 - Electrólisis. Fuente:

<https://lidiakonlaquimica.files.wordpress.com/2015/08/electrolisis.gif>

En el ámbito de la gestión del agua de lastre por tratamiento electroquímico (Figura 6.2.3.2.2), la reacción electroquímica consiste en la disolución del Cloruro de Sodio (NaCl) en el Agua (H_2O), para dar como productos de la reacción Hidróxido de Sodio (NaOH) en el cátodo y Cloro (Cl) en el ánodo.

El NaOH se recombina, y esto permite formar NaOCl (Hipoclorito de Sodio, es decir, lo que comúnmente llamamos “*lejía*”). Mientras tanto, en el agua, el NaOCl se disocia, para dar lugar al ion Hipoclorito (OCl^-) y el Ácido Hipocloroso (HOCl), que ejercerá el papel desinfectante que estábamos buscando.



Figura 6.2.3.2.2 - Sistema de electroclorinación para tratamiento del agua de lastre a bordo.

Fuente: http://www.aguayverde.com.ar/wp-content/uploads/2017/11/02_cloracion.png

El fin de la clorinación es oxidar y desinfectar las especies acuáticas invasivas.

Para una desinfección efectiva, próxima al 100%, generalmente, es suficiente con una concentración inferior a 15 partes por millón (ppm) del Residuo Oxidante Total (TRO) durante un tiempo de contacto menor a un minuto.

Además, el hipoclorito se puede generar en función de la demanda, por lo que no es necesario almacenarlo a bordo (ver [Sistema De Nora - Balpure](#) apartado 6.2.2.8.).

Para tratar grandes caudales de agua de lastre se puede incorporar varios electrodos en un único electroclorinador, o bien emplear varios electroclorinadores.



En función de las necesidades específicas de cada buque, se utilizarán electrodos de diferente tamaño, geometría y revestimiento; deben cumplir unos principios de efectividad. Por ejemplo, los mayores rendimientos están pensados para una temperatura de 15 °C del agua de mar de alimentación. Sin embargo, no todos permiten un tratamiento efectivo en condiciones extremas del agua (como en las zonas frías) o con escasa salinidad.

Por lo general, las mejores concentraciones de cloro, se encuentran en los puertos oceánicos, de salinidad marina, siendo, por tanto, muy poco probable su adecuada operación en aguas con baja salinidad, como ríos, rías y estuarios de agua dulce.

También se han barajado otros métodos (Tabla 6.2.3.2.1), como el uso de coagulantes, ajustes en el pH, modificaciones del nivel de salinidad o el uso de pinturas antiincrustantes en los tanques de lastre (que deben ser seleccionadas muy cuidadosamente, a fin de no repercutir en otros modos de contaminación).

POSIBILIDADES DE TRATAMIENTOS QUÍMICOS		
Cloración y cloraminas	Hipocloritos de sodio o calcio	Biocidas
Iones metálicos	Ozono	Peróxido de hidrógeno
Desoxigenación	pH	Otros métodos ensayados

Tabla 6.2.3.2.1 - Otras opciones de tratamientos químicos en estudio. Elaboración propia

6.2.3.3. Desoxigenación

El oxígeno es una molécula esencial para la vida de las especies acuáticas nocivas, excepto para las esporas y bacterias anaerobios. El agua contiene el oxígeno disuelto necesario para los seres aerobios. Al eliminarlo, algunos de estos organismos pueden sobrevivir, en estado latente, durante efímeros periodos de **anoxia**.



Son muy limitados los mecanismos que permiten eliminar el oxígeno del agua (Figura 6.2.3.3.1). En los buques que requieren de la instalación de sistemas de gas inerte, por ejemplo, se podría emplear para estos fines el **nitrógeno**, un gas asfixiante, que se disuelve muy fácilmente en el agua, desplazando al oxígeno.



Figura 6.2.3.3.1 - Sistema de desoxigenación para el tratamiento del agua de lastre. Fuente:

https://www.pscengineering.com/Immagini/tasks_seawater_treatment_01.jpg

Otra posibilidad sería el empleo de diversos **aditivos químicos**, que reemplacen al oxígeno disuelto.

Este método ofrece **ventajas**, puesto que el uso de gas inerte apenas requiere mantenimiento de partes móviles; se pueden tratar abundantes caudales de agua, sin importar sus condiciones (turbidez, temperatura, salinidad); al eliminar el oxígeno, se retrasa el proceso de corrosión de los tanques de lastre; no genera productos tóxicos que haya que descargar al mar. Sin embargo, su mayor **inconveniente** es la complejidad del equipo de generación de gas inerte.

Uno de los principales equipos de desoxigenación es el sistema **NEI TREATMENT - VOS** (Venturi Oxygen Stripping), distribuido en EEUU. El modo de operar consiste en la inyección de gas inerte dentro de los tanques durante la operación de lastre, por medio de un **Tubo Venturi**. El gas inerte reemplaza al oxígeno y provoca la **hipoxia**.

Como la concentración de O_2 es muy reducida, habrá que introducir aire atmosférico, a través del tubo Venturi para aumentarla durante el deslastre.



El tubo Venturi aplica el *Efecto Venturi*, es decir, considera que un fluido en movimiento en el interior de un conducto cerrado disminuirá su presión y aumentará su velocidad, tras haberse hecho circular por una zona de sección inferior.

La principal **ventaja** de este procedimiento es que no se necesitan filtros ni otros elementos especiales, puesto que tan solo se requiere de la inyección de gas inerte. Como consecuencia, no tendremos que preocuparnos por las subidas o caídas de presión, requerimientos especiales de mantenimiento, etc.

La desoxigenación es una buena alternativa para aquellos buques de importantes dimensiones, especialmente, los de transporte de LNG. Su rango operativo es muy amplio, oscilando desde los 500 m³/h, hasta superar los 3.000 m³/h.

En el [Anexo V](#), incluimos un gráfico comparativo (elaboración propia) sobre la efectividad de los diferentes métodos de tratamiento (filtración, métodos químicos, radiación ultravioleta, desoxigenación) en función del tamaño de los organismos de que se trate de eliminar (pequeños, medianos, grandes).

Así mismo, también incluimos una tabla en donde se pueden observar las principales ventajas e inconvenientes de los métodos que hemos ido detallando pormenorizadamente a lo largo del presente Capítulo ([Anexo VI](#)).

6.2.4. Tratamientos Combinados. Sistemas comerciales reales empleados en la actualidad

A continuación, incluimos una serie de ejemplos de sistemas reales ampliamente utilizados en la actualidad a bordo de los buques, aprobados por la OMI para llevar a cabo la gestión del agua de lastre. Todos ellos se basan en la combinación de dos o más de los métodos que hemos descrito de manera individual.

Es importante destacar que nos hemos centrado en determinadas marcas comerciales, pero existen muchas otras empresas (que no podemos incluir en este trabajo) que operan con el mismo tipo de tecnologías, con sus especiales particularidades.



6.2.4.1. Sistema ECOCHLOR Ballast Water Treatment

Dentro de los tratamientos químicos, en particular, explicaremos el tratamiento con dióxido de cloro (ClO_2) que propone ECOCHLOR (Figura 6.2.4.1.1). El ClO_2 es un gas de color verde-amarillento, de gran poder oxidante. En aplicaciones en tierra, se suele emplear como agente blanqueante; a bordo, es un compuesto idóneo para oxidar y desinfectar los organismos patógenos presentes en el agua de lastre.

El tratamiento se divide en dos fases: en primera instancia, se bombea el agua de mar de manera convencional, y se hace pasar a través de dos sistemas de filtros autolimpiables. Esta etapa reduce los sedimentos e impide la entrada de organismos macroscópicos.

Posteriormente, se selecciona una pequeña cantidad del agua filtrada; al mismo tiempo, se genera la cantidad necesaria de ClO_2 , y se inyecta a esa cantidad que hemos separado. La solución resultante se añade al flujo total de agua de lastre. Al poco tiempo de que los organismos hayan absorbido la solución, sus funciones vitales se verán mermadas, hasta provocar su muerte.

Esta propuesta es especialmente efectiva; no requiere ningún tratamiento adicional para la posterior descarga al mar. Además, tampoco se considera corrosivo ni afecta negativamente al revestimiento de los tanques, tuberías o sistemas de bombeo.



Figura 6.2.4.1.1 - Ecochlor Ballast Water Treatment System. Fuente: <https://ecochlor.com/system/>



Este equipo supera los requisitos estándares establecidos por la OMI; es plenamente efectivo ante todo tipo de especies invasoras (zooplancton, fitoplancton, algas, virus, etc.), en cualquier condición (turbidez, salinidad, temperatura...); su instalación es muy sencilla, independientemente del tamaño del buque; además, su elevado rendimiento hace de su coste (relativamente reducido) su principal atractivo.

6.2.4.2. Sistema Hyundai - Hiballast

Hyundai propone un cuidadoso sistema para tratar el agua de lastre en 3 fases (2 durante las operaciones de lastre, y 1 en el deslastre). En consecuencia, el agua será depurada y esterilizada de modo prácticamente completo (Figura 6.2.4.2.1).

Durante el lastrado, se hace pasar el agua a través de un primer filtro que evita la entrada de organismos macroscópicos de mayor tamaño que 50 μm . Después de la filtración, se somete el agua a una fase de electrolisis, para eliminar los agentes patógenos inferiores a las 50 μm . Luego, se introduce el agua en los tanques.

Antes del deslastre, a fin de minimizar la contaminación, se inyecta una solución de *sodio thiosulfatoque*, capaz de convertir cualquier posible remanente oxidante en una solución estable (p.ej., cloruro y bromuro, etc.).

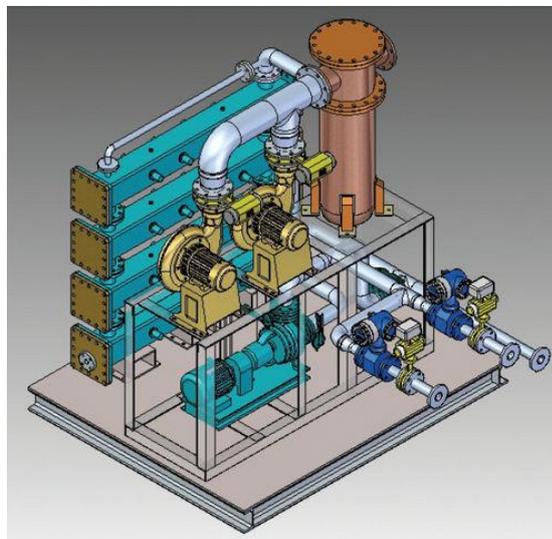


Figura 6.2.4.2.1 - Sistema de tratamiento de aguas de lastre Hyundai Hiballast. Fuente:

http://img.nauticexpo.es/images_ne/photo-mg/32124-3714799.jpg



6.2.4.3. Sistema WÄRTSILÄ- AQUARIUSEC

WÄRTSILÄ ofrece, a través de su sistema Aquariusec (Figura 6.2.4.3.1), una alternativa de tratamiento de agua de lastre similar al ya explicado [Sistema De Nora - Balpure](#) (apartado 6.2.2.8). En una primera fase, se filtra el agua de lastre a través de un filtro autolimpiable de 40 µm para eliminar macroorganismos.

En la segunda etapa se genera el desinfectante mediante electrolisis, y se mezcla con el agua de lastre hasta alcanzar la concentración idónea para lograr la esterilización del agua.

Una **ventaja** llamativa de este sistema es que no tiene limitaciones respecto a la temperatura del agua de mar, y, además, reúne la condición de *explosion proof*.



Figura 6.2.4.3.1 - Esquema Sistema WÄRTSILÄ-AQUARIUSEC. Fuente:

<https://www.marineinsight.com/wp-content/uploads/2018/03/Ballast-Water-Management-System.jpg>

6.2.4.4. Sistema TECHCROSS - ELECTRO CLEEN

En este caso, el tratamiento se efectúa en dos fases: en la primera, durante el lastrado, se somete parte del agua de mar a un proceso de electrolisis, para generar el agente desinfectante que se inyectará posteriormente en el flujo total de agua entrante.



La segunda etapa tiene lugar durante el deslastre, y en ella se introduce un neutralizador del agente desinfectante que se había inyectado en un primer momento. De esta manera, se evita la contaminación del medio marino durante la descarga del lastre, que será monitorizada durante todo el proceso.

Este método es recomendable para los buques de pequeñas dimensiones, porque su rendimiento apenas comprende entre los 300 m³/h hasta los 600 m³/h.

Por medio de este vídeo podemos apreciar cómo se instala el sistema a bordo de un buque: <https://www.youtube.com/watch?v=MKnMSGmso9A>.

6.2.4.5. Otros sistemas

- **Sistema Oceanguard** (HEADWAY TECHNOLOGY): la gestión del agua de lastre se lleva a cabo en dos fases: un filtrado inicial (filtro de 50 µm autolimpiable), seguido por una fase de electro catálisis, de gran capacidad de desinfección o esterilización.

Como resultado de la reacción química, se produce NaCl, es decir, sal inorgánica que no supone ningún perjuicio para el medio marino.

- **Sistema PANASIA CO- GLOENPATROL**: es un sistema similar a los anteriores, que consiste en llevar a cabo la gestión del agua de lastre en dos fases. La primera es un filtrado para eliminar los macroorganismos o sedimentos mayores de 50 µm. La segunda fase consiste en un tratamiento con luz UV.

Dado que no se generan residuos tóxicos, no existe riesgo de dañar al medio ambiente marino, y no se requiere de ningún tratamiento especial en el deslastre.

Otro sistema que comparte exactamente los mismos fundamentos es el **HYDE MARINE INC - HYDE GUADIAN**. Además, el sistema **OPTIMAR** (de Optimarine AS, Noruega), somete al agua de lastre a una segunda dosis de radiación UV durante la descarga. No obstante, este equipo aún no ha recibido la aprobación de la OMI.

• **Sistema ALFA LAVAL - PUREBALLAST:** de nuevo, nos encontramos ante un tratamiento en dos fases. En primer lugar, se filtra el agua entrante (dulce o salada); acto seguido, se hace pasar el agua de lastre a través de luz en dióxido de titanio (TiO_2) que genera átomos o moléculas con un electrón libre.

El dióxido de titanio genera oxígeno activo y moléculas libres de radical hidroxilo (OH), de gran capacidad oxidante. Por eso, es necesario volver a tratar el agua de lastre antes de su descarga al mar.

El elemento innovador con respecto a otras marcas comerciales es que se lleva a cabo un control exhaustivo de la longitud de onda de la luz, para poder ahorrar energía al tiempo que se obtiene el máximo rendimiento posible de desinfección.

Por medio del siguiente enlace, podemos ver la estructura de este sistema: <https://www.youtube.com/watch?v=b1-63lr2bLw>, así como en la Figura 6.2.4.5.1.

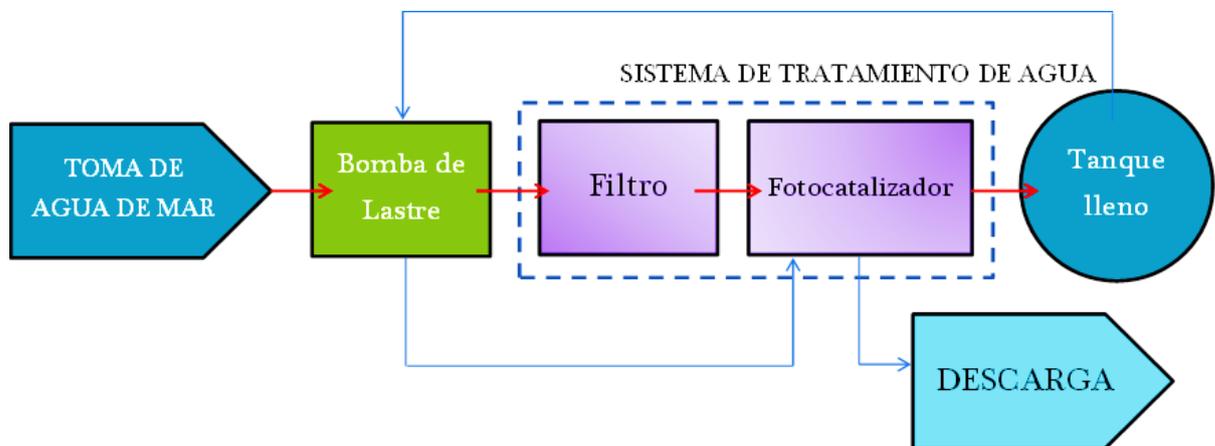


Figura 6.2.4.5.1 - Sistema Alfa Laval - Pureballast. Original del autor

7. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

El Convenio para el Control del Agua de Lastre y Sedimentos requiere que los mecanismos de gestión y tratamiento del agua de lastre sean sistemas homologados.

Los sistemas de gestión del agua de lastre de un estado miembro del Convenio han de ser aprobados por la Administración de dicho Estado, conforme a las directrices recogidas en la Regla D-2 del Convenio.

Cuando se vayan a emplear componentes químicos considerados como “*sustancias activas*” para la gestión, habrá de conseguirse una aprobación específica de la OMI para aquellos mecanismos de gestión del agua de lastre que implican el uso de sustancias activas.

Este sistema de aprobación se divide en dos fases: una Aprobación Básica y una Aprobación Final.

En primer lugar, hay que describir la sustancia activa que se pretenda emplear, indicando la siguiente información: nombre químico y nombre comercial (si procede), número de registro CAS (Chemical Abstracts Service), número de las Naciones Unidas y su clasificación según el SGA⁵, masa molecular, fórmula empírica y estructural, pureza del material, identidad de los estabilizadores o aditivos necesarios.

También habrá que indicar los posibles efectos en plantas acuáticas, invertebrados y peces, sobre toxicidad acuática aguda (concentración letal a corto plazo LC50 en agua dulce o salada), toxicidad acuática crónica (a largo plazo), posibles trastornos endocrinos, toxicidad de los sedimentos, efectos en la cadena alimentaria, etc.

En el caso de los mamíferos, adicionalmente, habrá que añadir los posibles efectos adversos en la piel y en los ojos, toxicidad por dosis repetidas, estudio sobre los efectos carcinógenos, toxicidad para el desarrollo y la reproducción, mutagenicidad, etc.

⁵ SGA: sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos



Además, se hará una evaluación de riesgos para el medio ambiente y salud humana, que incluya la identificación de los peligros, la relación dosis - efecto, examen sobre la intensidad y duración o frecuencia de la exposición, caracterización de los riesgos.

Respecto al buque, habría que analizar los posibles efectos relacionados con la corrosión, incendio y explosión, almacenamiento de las sustancias, ruidos...

Las **Directrices para la aprobación de los sistemas de gestión del agua de lastre (G8)** definen las pautas que deben seguir para su aprobación los planos, pruebas en tierra y a bordo, así como las pruebas ambientales.

En el [Anexo VII](#) (elaboración propia) pretendemos resumir el procedimiento de pruebas en tierra. Normalmente, se tratan y analizan unos 200 m³ de agua de prueba durante cinco días. La prueba se realiza con dos tipos de agua, entre salada, dulce y salobre, y cada tipo se somete a cinco análisis consecutivos, para garantizar que responde a la Regla D-2.

A bordo, estas pruebas tienen una duración mínima de seis meses, y consisten en la habitual gestión del agua de lastre del buque.

Sin embargo, para conseguir la aprobación de sistemas de gestión del agua de lastre que hacen uso de sustancias activas, es necesaria una aprobación especial, por parte de la OMI. La Administración del estado Parte en el Convenio será la encargada de solicitar dicha aprobación. En el [Anexo VIII](#) (elaboración propia) podemos resumir el procedimiento de aprobación.

Para poder aprobar estos sistemas, el **GESAMP** (Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection) realiza una inspección que evalúa los posibles efectos a los que darían lugar las sustancias activas en el medio marino, casco del buque y dotación.

Si los resultados son satisfactorios, el grupo de expertos notifica al MEPC la Aprobación Final, y este deliberará sobre el tema. Por lo general, el MEPC aprueba el sistema, aunque puede determinar ciertas limitaciones. Por último, la Administración del país manifiesta la aprobación del sistema (G8).



8. IMPACTO DE LAS TECNOLOGÍAS CANDIDATAS EN LA SALUD, BIENES Y RECURSOS

Todas las técnicas que pretendan ser utilizadas en la gestión del agua de lastre deben garantizar el cumplimiento de unas condiciones óptimas de seguridad para poder ser implementadas a bordo. A la hora de estudiar el impacto real de estas tecnologías en el ámbito marino, no debemos excluir ninguna posibilidad de continuar el estudio, desarrollarlo y, tal vez, en un futuro, implementarlo a bordo una vez solventados los errores o deficiencias que se hubiesen determinado.

Desde luego, las mejores opciones son aquellas basadas en la combinación de múltiples tecnologías, que podrían obtener excelentes resultados en la lucha contra la inadecuada gestión del agua de lastre. Concretamente, el tratamiento por calor, el uso de biocidas, y la filtración son mecanismos altamente desarrollados y extendidos, con elevado potencial para la gestión a bordo del agua de lastre.

No obstante, por otro lado, al emplear determinados tratamientos, también es muy necesario proteger al personal implicado en las operaciones. Por ejemplo, en el tratamiento de impulso de plasma, hay que rodear el sistema de tratamiento, con una pantalla protectora adecuada, porque el plasma genera una onda de choque expansiva de alta presión, que resultaría dañina sin protección.

Otro caso sería el de los sistemas de impulso eléctrico, donde los componentes de alto voltaje deben ser encapsulados para aislar de campos eléctricos elevados todo aquel volumen de agua de lastre que no esté siendo tratada.

Se están estudiando los efectos adversos que pudiera conllevar el sistema de flujo continuo con respecto a las vibraciones producidas. Por otra parte, el método de ultrasonidos o el de los cambios rápidos de presión, pueden afectar seriamente a la salud de los tripulantes debido al elevado ruido de los transceptores.

Respecto al uso de biocidas, hay que tener precaución ante los posibles efectos tóxicos o corrosivos de ciertos productos, la generación de gases indeseados o la posible degradación de los materiales.



Por último, reseñar que en el caso de cualquier producto químico (especialmente, cuando intervienen sustancias activas), se debe prestar especial atención a los posibles efectos sobre toxicidad, efectos negativos en la piel o los ojos, efectos carcinógenos, mutageneidad...

Es muy importante llevar a cabo una exhaustiva evaluación de riesgos para la salud humana, que identifique los peligros, la relación dosis - efecto, examen sobre la intensidad y duración o frecuencia de la exposición, y caracterización de los riesgos.

9. ALTERNATIVAS

9.1. Intercambio de lastre tratado en los puertos de carga

Para algunos autores, la alternativa idónea, práctica y cómoda, pasaría por disponer de algún material inerte que pudiera ejercer el papel del lastre, cargándose en el buque en los puertos de descarga, y viceversa (descargándose en los puertos de carga). Esto permitiría navegar en condiciones de seguridad en los viajes de retorno, tal y como se hacía antiguamente, con el lastre sólido.

No obstante, el principal obstáculo que habría que vencer es el gran tamaño de los buques actuales, por lo que, a priori, el lastre sólido no sería una solución factible.

A pesar de ello, podríamos plantear la posibilidad de cargar tales cantidades de agua de lastre salada, en los puertos de descarga. Evidentemente, si se pudiera emplear agua previamente tratada para la desinfección de organismos y agentes patógenos, independientemente de su tipo, tamaño, y estado (adulto o larvario), sería el material óptimo para ejercer como lastre.

Para emplear este sistema con relativa rapidez y eficacia, sería necesario disponer de un considerable espacio de almacenaje del agua de mar, tratada y desinfectada. En principio, desde la óptica de las tecnologías, no debería presentar ninguna dificultad.



Por otro lado, otra posible problemática sería el coste que suponga el almacenamiento y tratamiento del agua. No obstante, algunos estudios plantean la posibilidad de almacenar el agua en depósitos o embalses que puedan proporcionar suministro a varios puertos cercanos. Por lo tanto, el coste relativo sería bastante reducido.

La lógica nos lleva a pensar que, tal vez, ese pequeño sobrecoste podría repercutir sobre el precio de transporte de la carga (flete), pero, sin duda, implicarán un ahorro muy superior si tenemos en cuenta que el buque podrá eludir el cambio de lastre en alta mar (operación arriesgada que entraña costes considerables), así como el tratamiento del lastre a bordo, mediante cualquiera de los otros métodos descritos.

Además, es importante recordar que muchos de estos mecanismos se encuentran todavía en vías de desarrollo, y, teniendo en cuenta su limitada capacidad de tratamiento del agua por hora, en principio, no hay indicios que garanticen que puedan ser una solución adecuada para los buques de importantes dimensiones, como los petroleros y bulkcarriers.

Por otro lado, no parece factible el hecho de diseñar e instalar a corto plazo estos sistemas en los buques ya existentes, sino que solo serían de aplicación en los buques de nueva construcción.

Sin embargo, si se pudiese contar con instalaciones en tierra que proporcionen el agua de lastre, solo habría que efectuar modificaciones mínimas en las instalaciones de determinados buques, lo que supondría una importante ventaja. La única necesidad adicional sería adaptar el sistema de lastre, para poder conectarlo desde cubierta o costado a la tubería de alimentación procedente del depósito o embalse de tierra.

Por el contrario, en las terminales en donde se vaya a cargar, será necesario que el buque envíe el lastre a tierra. Por lo tanto, tales puertos deberán contar con tanques de muestreo y control del lastre que se vaya a recibir, así como con tanques para tratarlo y almacenarlo.

La mejor solución pasaría por conseguir que en el mismo puerto se cargase y descargase el mismo tonelaje de mercancías, lo que resulta prácticamente



imposible, pues cada flete será de tipo y características diferentes. Esto posibilitaría que cada puerto fuera compensando la cantidad de agua tratada que se suministra a los buques, al menos, durante un período de tiempo razonable. Por lo tanto, solo sería necesario almacenar un ligero margen adicional, para satisfacer necesidades puntuales.

El proceso de adaptación no será sencillo, a menos que se pueda disponer de un *hinterland*, compuesto por varios puertos cercanos, en donde se pueda compensar el balance de lastre cargado y descargado. Una vez se dé comienzo a este proyecto, pensando a largo plazo, se lograría acoplar a estas necesidades la estructura y distribución del transporte marítimo.

A fin y al cabo, aunque es un proyecto ambicioso, tampoco es la primera vez que se consigue desarrollar un cambio tan importante. Hace años, por ejemplo, las circunstancias provocaron que hubiera que acoplar el transporte marítimo a la cadena del transporte intermodal, por lo que se impulsó el funcionamiento de grandes superpuertos (*hub ports*), para poder acoger, entre otros, a los enormes buques portacontenedores.

9.1.1. Diferentes posibilidades para esta solución

Si esta solución pudiera llegar a implementarse, ofrecería, además, un importante número de opciones para utilizar el agua de lastre tratada y desinfectada, aunque se hiciese necesario añadir determinados biocidas o bien aumentar la concentración de los ya empleados, con la finalidad de garantizar la máxima desinfección posible de organismos.

En base a la legislación internacional establecida por la OMI, y los criterios del GESAMP, podemos mencionar:

- Empleo como lastre de efluentes de agua procedentes del sistema de refrigeración de las centrales térmicas.
- Empleo como lastre del agua tratada procedente de las plantas de regasificación en terminales de recepción y almacenamiento de LNG (Liquefied Natural Gas).



Cualquiera de las dos alternativas constituiría una manera óptima de reciclaje y reutilización de los recursos ya empleados. Así se evitaría su desperdicio al mar tras su primer uso, lo que conllevaría consecuencias medioambientales perjudiciales, si no se gestionan de la manera adecuada, hasta minimizar el contenido de biocidas residuales.

En cambio, con estas aplicaciones, se podría mantener a los efluentes durante un largo periodo, trabajando en un circuito cerrado, posibilitando más tiempo para que las sustancias activas vayan desapareciendo o desactivándose paulatinamente, ya sea por evaporación, formación de compuestos sólidos inertes...

Con cualquiera de las dos opciones, habría que llevar a cabo experiencias previas y observaciones de largo alcance, que permitan confirmar, si los hubiera, resultados positivos y beneficiosos con el medioambiente.

- Sin duda alguna, existe una aplicación cuyos beneficios no admiten objeción: en la actualidad es un tema muy alarmante la creciente escasez de agua dulce y potable en ciertas zonas del planeta (Figura 9.1.1.1). De hecho, incluso en nuestro propio país, en la región del levante español, se está dando esta situación en determinadas épocas del año. Si nos desplazamos al Norte del continente africano, los casos son innumerables.



Figura 9.1.1.1 - Mapa escasez de agua a nivel mundial. Fuente:

https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/images/scarcity/2013_scarcity_graph_2.png

Por lo tanto, aunque, en un principio, proponíamos el uso de agua salada para el tratamiento y desinfección del lastre en tanques e instalaciones de tierra, suponiendo unos costes no menospreciables, con la misma filosofía, se podrían aprovechar estos recursos para tratar y desinfectar agua dulce.

Así, en los *hinterland* o áreas portuarias en donde este recurso sea abundante, podrían tomar lastre los buques que vayan a cargar en zonas en donde este bien escasee, y descargarla allí, para su almacenamiento y uso local, o incluso, para su reexportación a otras regiones.

9.1.2. Tratamiento del agua de lastre en los puertos

Los expertos proponen el empleo de un sistema combinado filtrado / desinfección, como muestra el siguiente esquema (Figura 9.1.2.1):

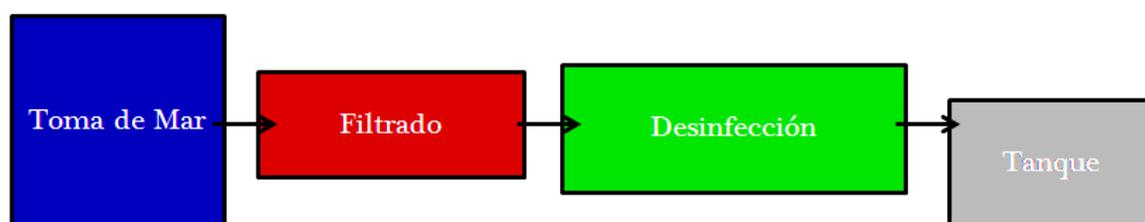


Figura 9.1.2.1 - Sistema combinado tratamiento del agua de lastre. Original del autor, tomando como referencia <https://www.ingenierosnavales.com/wp-content/uploads/2018/03/AGUA-LASTRE.pdf>

Para llevar a cabo la desinfección, se podría recurrir, por ejemplo, a los biocidas, de los cuales ya hemos descrito sus ventajas e inconvenientes.

Además, este sistema permitiría reducir el impacto ambiental del tratamiento de esta agua, puesto que, aunque hubiese que aumentar la concentración de biocida, para poder cumplir las exigencias OMI, al trabajar un circuito cerrado (puerto 1 – buque A – puerto 2 – buque A o B).

La última fase del proceso será, pasados unos días, evacuar el agua a la costa, tras haber transcurrido el periodo de tiempo considerado preciso para para la alcanzar la correcta desactivación, tras haber añadido neutralizantes a los biocidas (como los sulfitos), y tras haber superado los controles oportunos.

9.2. Buques con lastre reducido

Cuando un buque navega sin carga, necesita ser lastrado para garantizar la estabilidad transversal, mejorar la maniobrabilidad, garantizar la inmersión de la hélice, etc. Los sistemas tradicionales de gestión del agua de lastre son parcialmente efectivos, y en algunos casos, implican abundante espacio, peso o inversión (como es el caso del tratamiento por separación).

Los buques con lastre reducido (Figura 9.2.1) buscan cambiar el sentido tradicional del concepto “*lastre*”. Están proyectados para que, en vez de transportar el agua contaminada a través de los océanos, puedan generar un flujo continuo de agua de mar local, que circula por medio de una red de tuberías de grandes dimensiones, que se extienden longitudinalmente de proa a popa, por el doble fondo.

Estas tuberías (conocidas como “*canales*”), se comunican con el mar por medio de un colector a proa y otro a popa. Para lastrar, se inundan estos conductos gracias a la diferencia de presión positiva entre la proa y la popa, por lo que se crea un flujo continuado que impide que el agua se estanque.

El concepto de estos buques está inspirado en los submarinos: abriendo parte del casco a la mar, se consigue crear un flujo muy pausado que circula por el interior de los canales longitudinales. Como el agua circula de forma continuada en el buque, hacia su exterior, siempre se estará empleando agua de mar local, y se evitaría el traslado de especies foráneas indeseadas de unas regiones del mundo a otras.

Durante el lastrado, los conductos se abren al mar gracias a una succión por la apertura de proa y una descarga por la de popa. Al inundarse, se reduce la flotabilidad del casco y el buque se hunde hasta alcanzar las condiciones deseadas de calado.

Por el contrario, durante las operaciones de carga en el puerto, se aíslan los conductos por medio de válvulas y se achican con bombas adecuadas.

La idea del diseño de buques sin lastre, fue ampliamente discutida en la Universidad de Michigan (profesor Parsons) y en el Instituto de Investigación



Marítimo Nacional Japonés. Tras años de investigación y desarrollo (estudios sobre viabilidad, pruebas hidrodinámicas, seguridad...), se patentó el proyecto en el año 2004.



Figura 9.2.1 - Kairos, el primer buque con lastre reducido y el mayor buque de suministro de GNL.

Fuente <https://sectormaritimo.es/wp-content/uploads/2018/10/Copia-de-kairos.jpg>

9.3. Buques que navegan sin lastre (NOBS)

Cualquier VLCC (Very Large Crude Carrier) convencional emplea el agua de lastre de dos maneras distintas, en función de la operación que vaya a realizar. Es decir, si el buque navega sin carga, precisa lastre para poder mantener la hélice completamente sumergida, así como para garantizar el correcto calado a proa para evitar pantocazos. Por el contrario, si el buque está cargando, el lastre servirá como ayuda para minimizar los momentos de flexión y compensar la escora y el asiento.

En el caso de los buques tanque de lastre tradicional, las operaciones pueden provocar dos importantes efectos no deseados:

- El lastre puede albergar organismos patógenos, capaces de ocasionar contaminación y otros daños al liberarlos en ecosistemas foráneos.
- Conlleva un consumo adicional de combustible para transportar el lastre.

Sin embargo, con una correcta disposición de los tanques y adaptando las formas del casco, se podría eliminar la necesidad de lastre en las operaciones.



Para diseñar un VLCC libre de lastre hay que realizar algunas modificaciones drásticas en las formas del casco. El VLCC tradicional en rosca (300.000 toneladas de peso muerto), flotará con un calado medio de 3-4 m (lo que implica tener la popa y hélice casi fuera del agua). Para evitar este problema y aumentar el calado en rosca, se propone el diseño de un casco con líneas más finas.

El objetivo primordial en el diseño del buque será minimizar la resistencia (viscosa y de formación de olas (que aumenta con la velocidad)) y optimizar las condiciones de la hélice.

Como los VLCC navegan a velocidades moderadas, los efectos viscosos condicionan la resistencia, y son proporcionales a la superficie mojada del buque (que, a su vez, depende de la geometría del casco).

El fin es reducir lo máximo posible el sumatorio de la superficie mojada del buque tanto en la condición de plena carga y como en la de descarga. Suponiendo que el buque permanecerá prácticamente el mismo tiempo con y sin carga, se podría optimizar la resistencia total del viaje completo.

Se han modificado diferentes parámetros para poder lograr la menor superficie mojada posible, alterando, entre otros, el calado, eslora, manga, puntal de los costados verticales...

La Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) se emplea de manera conjunta con los modelos a escala de pruebas y a escala real. Muchas veces, la precisión de las simulaciones numéricas supera a las estimaciones de los tanques de ensayo. Además, resultan más flexibles, económicas, y rápidas que los experimentos.

Las herramientas CFD permitieron hacer una comparativa entre la resistencia viscosa de un buque tradicional con la del nuevo proyecto. El objetivo era optimizar las presiones ejercidas en las áreas de proa y popa, evitando la baja presión en popa y una alta presión en proa, ya que supondrían deformaciones.

Tras varios rediseños y análisis, se consiguió la forma definitiva del casco.

A diferencia del buque tradicional, que requiere menos potencia propulsora en la condición de plena carga, los expertos decidieron emplear hélices gemelas pensadas para reducir la potencia del buque en la condición *sin carga*.



En estos buques se debe poder llevar a cabo las operaciones de carga y descarga sin tener que utilizar agua de lastre, aprovechando las instalaciones de a bordo y respetando en todo momento la legislación vigente.

De este modo, cualquier VLCC convencional arribaría con los tanques de lastre llenos al puerto de carga, que se irían vaciando a medida que el barco recibiese la carga, procurando, mientras tanto, minimizar los momentos de flexión y trimado.

Como estos buques no transportan lastre, su disposición interna deberá estar proyectada para compensar estos esfuerzos, lo que se puede conseguir dividiendo el espacio de carga en más secciones longitudinales que en los buques convencionales.

Para evitar que se generen momentos de flexión longitudinal a lo largo de la eslora del buque, deben llenarse/vaciarse los espacios de carga en toda su longitud. Así pues, el barco tiene un sistema de tuberías de carga, que permite el llenado/vaciado simultáneo de una sección longitudinal completa de carga.

Por último, destacar la importancia de prevenir los grandes ángulos de escora durante las operaciones de carga. Para conseguirlo, los expertos proponen incrementar el equilibrio alrededor de la línea central longitudinal, por medio de la instalación de mamparos longitudinales.

El equilibrio se tendrá lugar cuando los tanques de ambas bandas (laterales o intermedios), se llenen con la misma segregación, o bien si se llena uno de los tanques laterales a una banda simultáneamente con un tanque intermedio de la banda opuesta.

Algunos buques sin lastre actuales son el catamarán *EU Cargo Xpress*, y el *Ningbo* de China, que se ocupa del suministro de combustible en la mar en la zona de Singapur y área sudeste del continente asiático.

10. PROGRAMA GLOBALLAST

Una de las mayores amenazas para el medio ambiente marino es la introducción de especies invasoras, cuyo impacto negativo puede tener, además, consecuencias para la economía y la salud.

El agua de lastre empleada por los buques para su navegación segura y estable es una de las principales causas de introducción de especies exógenas.

Para enmendar esta problemática, la OMI desarrolló el *Programa Global de Manejo de Aguas de Lastre*, referido habitualmente como *GloBallast* (Figura 10.1). Desde el año 2.000 se ha estado implementando el proyecto conjunto OMI, FMAM (Fondo para el Medio Ambiente Mundial) y PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) *Construyendo Asociaciones para Asistir a los Países en Vías de Desarrollo a Reducir la Transferencia de Organismos Acuáticos Dañinos en Aguas de Lastre de los Buques* (o *GloBallast Partnership*), para intentar implantar medidas de prevención del problema a nivel global.



Figura 10.1 - Logotipo GloBallast Partnerships. Fuente <https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2016/07/GLOBALLAST-e1468568212827-1280x640.jpg>

La finalidad de este proyecto es impulsar a los países en desarrollo o áreas más vulnerables a gestionar reformas legales y políticas, para poder satisfacer los propósitos de la *Convención Internacional para el Control y Manejo del Aguas de Lastre de los Buques y Sedimentos*, adoptada por la OMI (febrero, 2004). GloBallast es una herramienta clave para proteger a estos estados con riesgo creciente de bio-invasión acuática, por medio del fortalecimiento institucional.



GloBallast Partnerships (GBP) persigue lograr cuatro objetivos esenciales:

- Incrementar y optimizar el aprendizaje sobre la gestión del agua de lastre.
- Implementar estrategias BWM, y desarrollar las reformas legales, políticas e institucionales que sean precisas a nivel nacional.
- Generalizar el conocimiento sobre el impacto del agua de lastre en la ecología marina, para ampliar la conciencia a nivel mundial.
- Incentivar la participación de asociaciones público-privadas que fomenten el desarrollo de soluciones para la gestión del agua de lastre.

En la actualidad, el GBP se está implementando en 5 subregiones de alta prioridad (Caribe, Mediterráneo, Mar Rojo y Golfo de Adén, Pacífico Sudeste y Costa Oeste de África) y una nueva región especial (Pacífico Sur), gracias a la colaboración de más de 70 países socios (Figura 10.2).

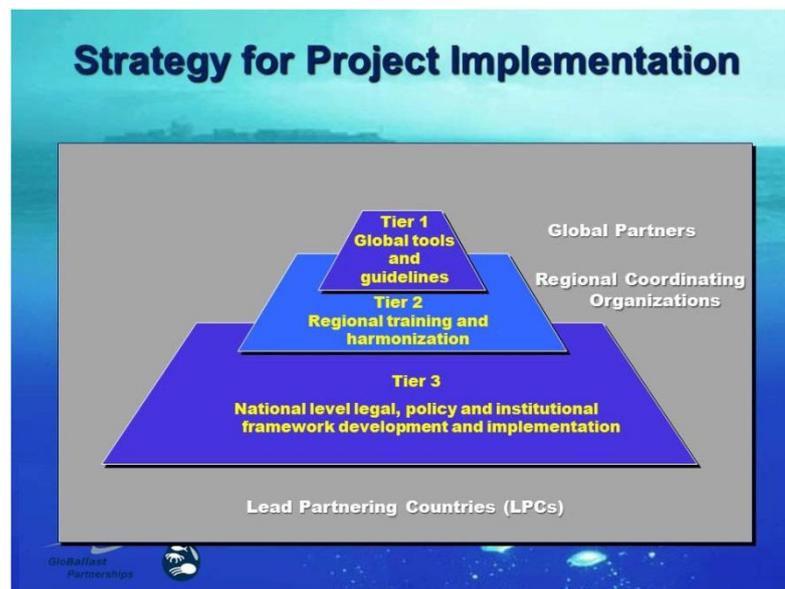


Figura 10.2 – Estrategia para la implementación del proyecto. Fuente:

<http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/objectives-and-outputs/index.html>

GloBallast ha permitido que los países desarrollen estrategias regionales que, en su conjunto, faciliten la implementación de las directrices de la OMI (Figura 10.3). Hasta ahora, más de 70 países lograron un beneficio directo de este proyecto, galardonado por su labor con diferentes distinciones internacionales.



Por ejemplo, entre 2008 y 2011, se ha creado la *Estrategia Mediterránea sobre el Manejo del Agua de Lastre de los Buques* e incluye ocho prioridades relacionadas con la gestión del agua de lastre en la región; un plan de acción y un calendario de ejecución; un sistema regional de cumplimiento, seguimiento y ejecución; y un sistema de información regional sobre especies invasoras, puertos en riesgo...

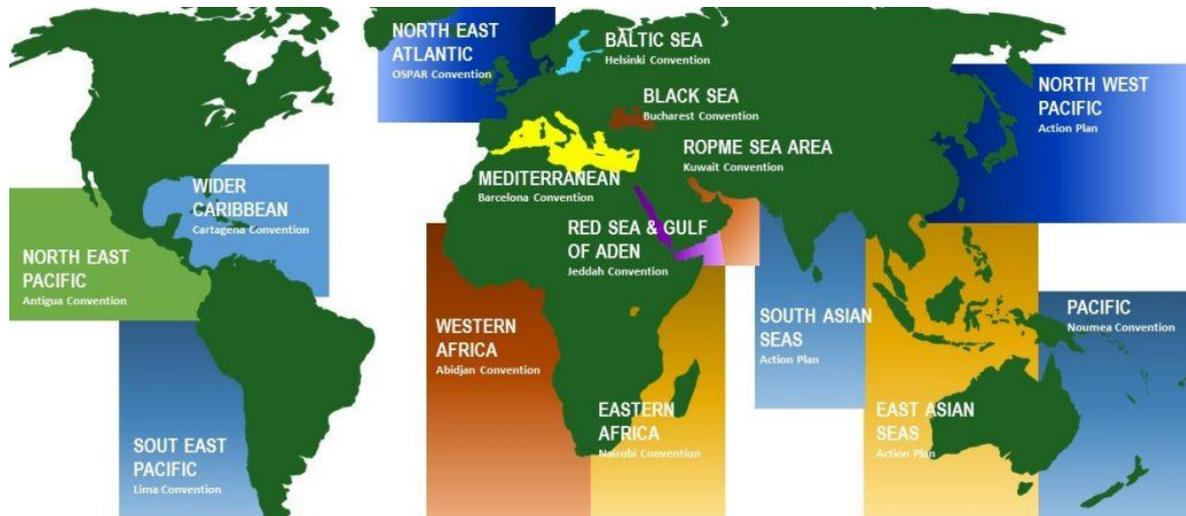


Figura 10.3 - Regional ballast water strategies. Fuente:

<http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/regional-seas-conventions/index.html>

En los últimos años, se han ofrecido cursillos de formación sobre el muestreo y análisis del lastre a bordo. Por otro lado, han ofertado gratuitamente la posibilidad de realizar un curso en línea sobre las cuestiones operacionales vinculadas a la gestión del agua de lastre.

GloBallast también opera con el sector privado, por medio de la *Alianza Mundial del Sector (GIA)* y el *Fondo GIA*, vinculado con las compañías marítimas más destacadas.

Los expertos consideran que solo se podrán resolver los problemas medioambientales a nivel global si interviene el sector privado, capaz de aportar experiencia, así como amplios recursos técnicos, administrativos y financieros.

Así pues, GloBallast Partnerships ha desarrollado una unión pionera entre los sectores público y privado conocida como "*Alianza mundial de la industria para la bioseguridad marina (GIA)*", cuyo objetivo es minimizar la transferencia de



especies invasoras y patógenos dañinos a través del agua de lastre, gestionando esta problemática de manera sostenible y rentable, en cooperativa con el FMAM.

Los recursos económicos necesarios para poder implementar los proyectos propuestos, se obtendrán a partir de la contribución anual de los socios de la industria GIA, en el conocido como “Fondo GIA”.

GloBallast ha sido la primera iniciativa de alianza entre el sector público y privado en el ámbito de la gestión del agua de lastre y su finalidad primaria es colaborar en la búsqueda de soluciones que permitan solucionar los problemas relacionados con el agua de lastre (Figura 10.4).

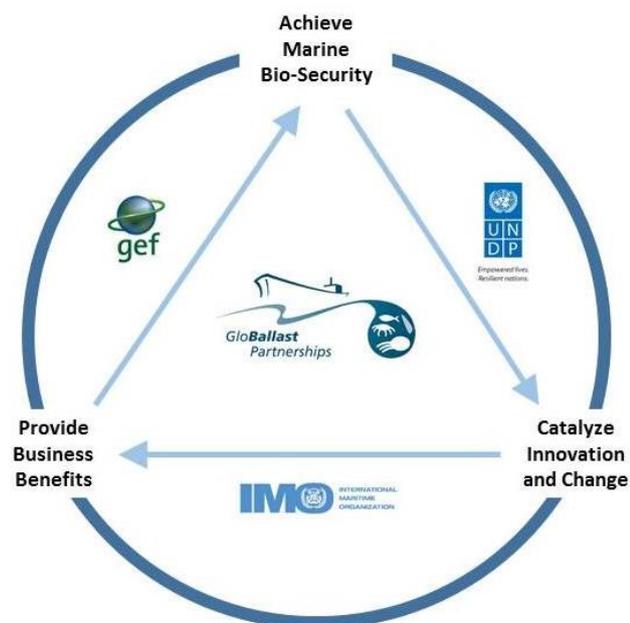


Figura 10.4 - Objetivos GBP y GIA. Fuente: <http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/the-gia/index.html>

Los positivos resultados obtenidos hasta la fecha permiten enviar un mensaje claramente optimista a la comunidad global, puesto que, a pesar de que los desafíos ambientales semejan ser significativos, no son insuperables, si ponemos empeño en el aprendizaje, evaluación y uso eficaz e inteligente de los recursos.

Si logramos tratar este asunto desde una perspectiva integrada y colaborativa, conseguiremos dar respuesta a estos desafíos, de tal manera que la industria marítima pueda continuar sus labores y desarrollo en sintonía con el medio ambiente marino.

La iniciativa salió a la luz de manera oficial el 2 de marzo de 2009, por medio de una ceremonia celebrada en la sede de la OMI.

Por tanto, a modo de resumen, GloBallast pretende dinamizar la implantación del nuevo *Convenio*, estableciendo una Alianza a nivel mundial para promover nuevas alternativas que garanticen la bioseguridad marina; así como llevando a cabo tareas de sensibilización con materiales audiovisuales, foros de investigación, cursos online, talleres...

Recibió varios galardones, como el de la *8th International Waters Conference*, el Programa GloBallast y fue nominado a los prestigiosos Lloyd's List Global Awards en el año 2016 (*mejor estrategia de inversiones encaminadas a afrontar los problemas ambientales que amenazan a las aguas internacionales*).

Por poner un ejemplo de los numerosos proyectos desarrollados, podemos citar el *GloBallast Partnerships Project 2007-2017*, que tuvo lugar entre octubre de 2007 y junio de 2017. Su finalidad era ayudar a los países en vías de desarrollo a reducir el riesgo de bioinvasiones a través del agua de lastre; así como ayudar a esos países a implementar del Convenio y a cumplir sus requisitos en todos los niveles. En la Figura 10.5 podemos observar los resultados del proyecto.

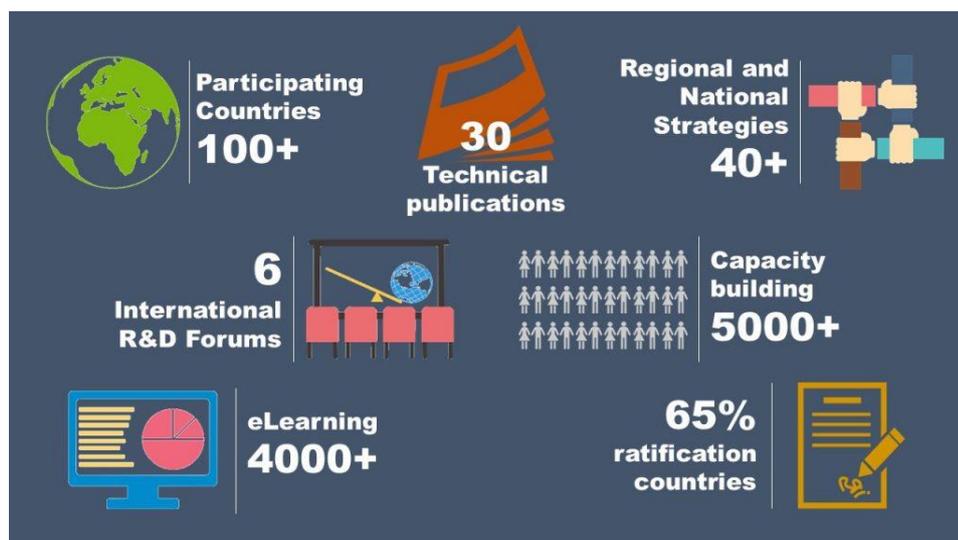


Figura 10.5 - Resultados del GloBallast Partnerships Project 2007-2017. Fuente:

<http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/wp-content/uploads/2014/11/GloBallast-achievements-5-1024x576.jpg>



11. ESTADO ACTUAL DEL CONVENIO BWM

Resulta evidente que debido a la tardía entrada en vigor del Convenio (septiembre de 2017), podrán plantearse dificultades que no se habían cuestionado en el año 2004, cuando se adoptó el BWM.

Por tanto, se ha propuesto conceder un corto tiempo para mejorar sus prescripciones en base a la experiencia que se vaya adquiriendo. Esto se conoce como *fase de adquisición de experiencia o ballast water experience - building phase* (EBP), y trae consigo la recopilación y análisis de datos que permitan al Comité conocer qué propuestas del Convenio funcionan satisfactoriamente y cuáles deben quedar sujetas a examen.

La EBP ha comenzado tan pronto como el Convenio ha entrado en vigor, y se organiza en tres fases: recopilación de datos, análisis de los mismos y examen del Convenio. El fin de la EBP se producirá cuando entren en vigor las enmiendas pertinentes.

Para hacer frente a la preocupación de armadores y propietarios sobre las penalizaciones que podrían sufrir por incumplir la norma de eficacia de la gestión del agua de lastre, el Comité decidió implementar algunas medidas de no penalización, aplicables durante la fase EBP.

Con todo, la no penalización temporal de la EBP no pretende, en ningún caso, alterar las obligaciones establecidas por las directrices del Convenio. Toda medida ha de garantizar la protección del medio marino, salud humana, bienes y recursos del Estado Rector de puerto donde se realice una descarga de agua de lastre no reglamentaria.

El Comité anima a los Estados Miembros a formar parte de la EBP, y a recopilar (de manera voluntaria) datos facilitados por el Estado Rector de Puerto, información sobre métodos de muestreo y análisis, informes de los propietarios de buques, fabricantes de sistemas BWM y SSCC... Además, el Plan de Recopilación y Análisis de Datos para la Fase de Adquisición de Experiencia (DGAP) ofrecerá modelos para la elaboración de informes a nivel mundial.



Por último, es importante señalar que no es necesario que los buques ni sus propietarios se identifiquen en los datos presentados en la EBP.

Una vez finalizada la recopilación de datos, se redactará un informe sobre el análisis realizado, basado en los resultados obtenidos en la primera etapa. Acto seguido, un grupo de expertos analiza el informe y planteará las observaciones que juzgue convenientes.

Así pues, todo parece indicar que la experiencia adquirida llevará a formular enmiendas al Convenio actual.

La EBP permitirá que las enmiendas futuras tengan un enfoque objetivo y sistemático, ya que se ha basado en la recopilación y análisis de datos. No obstante, no debemos olvidar que el **art.19** del Convenio permite que, en cualquier momento, cualquiera de las Partes pueda proponer enmiendas de manera independiente.



12. CONCLUSIONES

Hoy en día, un adecuado control y gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques resulta fundamental para evitar, reducir al mínimo y, en última instancia, erradicar los riesgos que supone para el medio ambiente, salud humana, bienes y recursos, la transferencia de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos contenidos en ella.

Mares y océanos representan el 70% de nuestro planeta; la riqueza de sus diferentes ecosistemas en cuanto a la biodiversidad es innumerable; no obstante, las especiales condiciones geográficas, climatológicas, biológicas y especialmente, la incidencia del elevado tráfico marítimo suponen una amenaza importante para el medio marino.

Con este fin, el Convenio exige a los buques que realicen convenientemente el cambio de lastre o bien que cuenten con un sistema aprobado de gestión. Sin embargo, la eficacia del cambio de lastre varía en función de las características del buque y según se emplee el método secuencial, flujo continuo o dilución.

Por lo tanto, y a pesar de ser una solución aprobada, el cambio de lastre por sí solo, no es suficiente para evitar los daños ambientales, por lo que se debe recurrir a otros métodos de tratamiento (físicos, químicos y mecánicos) con un mayor rendimiento, tanto al evitar la entrada de los organismos, como su descarga en nuevos ecosistemas.

La industria marítima se ha volcado en la investigación e implementación de estos nuevos equipos, con miras a satisfacer las normas de eficacia convenidas por la IMO.

En este aspecto, la cooperación internacional (tanto en el ámbito marítimo como en el científico y tecnológico investigador), así como los proyectos conjuntos entre el sector público y privado (como GloBallast) han permitido dinamizar la búsqueda de medidas efectivas.

No obstante, algunos sistemas de tratamiento pueden ver frenado su desarrollo por afectar negativamente a la seguridad del buque o dotación (ultrasonidos), por conllevar otros tipos de contaminación ambiental (biocidas), por su especial



complejidad o por tener su instalación a bordo costes demasiado elevados (microondas).

Se contabilizan más de 30 proyectos para gestionar el agua de lastre, a los que tenemos que añadir las nuevas alternativas que hemos planteado, como el diseño de buques libres de lastre (NOBS) o con lastre reducido. La experiencia determinará si, a largo plazo, estas opciones son o no viables.

La problemática se incrementa particularmente los buques tanque petroleros que todavía hoy en día naveguen sin lastre segregado. Estos barcos conllevan la dificultad añadida de tratar un agua de lastre contaminada con HC, por lo que, tal vez, en estos casos, la única opción aceptable sería el tratamiento en las instalaciones de tierra.

Si bien es cierto, todavía queda mucho trabajo por delante, puesto que, en la actualidad, los Estados Parte tan solo se ciñen a cumplir los requisitos mínimos exigidos por la OMI. No obstante, la investigación continuada y los avances tecnológicos contribuyen a dar solución a esta problemática ecológica, por medio de sistemas de tratamiento efectivos y relativamente económicos.

Un punto especialmente importante es el de la prevención, que ha recibido gran pulo gracias a la entrada en vigor del Convenio BWM. Esta pionera normativa de carácter internacional pone de manifiesto la relevante amenaza que supone la transferencia de agentes patógenos y organismos perjudiciales por medio de la inadecuada gestión del agua de lastre.

Un punto criticable fue la tardía entrada en vigor del Convenio y la falta de normativas nacionales, que refrenden el rigor de este documento y dejen constancia de la necesidad de homogeneización global de este asunto.

Por otro lado, me gustaría insistir en la imprescindible propuesta de implementación de un nuevo Anexo al Convenio MARPOL, en el que se incluya la especial problemática vinculada con la gestión del agua de lastre.

Así, concienciación, investigación, cooperación e inversión podrían resumirse como la clave para minimizar y, en último término, erradicar, la transferencia de



agentes patógenos indeseables por medio del agua de lastre, un recurso imprescindible para garantizar la estabilidad y seguridad de la navegación.



13. BIBLIOGRAFÍA

13.1. Fuentes de Internet

http://anave.es/images/documentos_socios/lastre/d6_cambio_agua_lastre.pdf

http://anave.es/images/documentos_socios/lastre/presentacion_jornada_25_enero_17.pdf

<http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/objectives-and-outputs/index.html>

http://cidta.usal.es/cursos/agua/modulos/Conceptos/uni_04/u5c3s1.htm

<http://cpps-int.org/index.php/nodo-de-conocimiento/2014-10-22-17-30-19/globallast>

<http://globallast.imo.org>

<http://wdfw.wa.gov/ais/ballast/>

<http://www.3wavesenergy.com/en/products/others/ballast-water-treatment-system/584-ballast-water-treatment-system-electro-chlorination>

<http://www.aguayverde.com.ar/electrocloracion-desinfeccion-del-agua-de-la-piscina/>

<http://www.emsa.europa.eu/implementation-tasks/environment/ballast-water.html>

<http://www.hyundai-engine.com/machine/machine02.asp?vType=04>

[http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=15726&filename=123\(53\).pdf](http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=15726&filename=123(53).pdf)

<https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170130/asocfile/20170130112038/d5.pdf>

[http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=16309&filename=151\(55\).pdf](http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=16309&filename=151(55).pdf)
https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20190212/asocfile/20190212121844/mepc_152_55_.pdf

[http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=16310&filename=152\(55\).pdf](http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=16310&filename=152(55).pdf)

[http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=16311&filename=153\(55\).pdf](http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=16311&filename=153(55).pdf)

[http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=19688&filename=161\(56\).pdf](http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=19688&filename=161(56).pdf)

[http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=19690&filename=163\(56\).pdf](http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=19690&filename=163(56).pdf)

<http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-%28MEPC%29/Documents/MEPC.290%2871%29.pdf>

[http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-\(MEPC\)/Documents/MEPC.124\(53\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-(MEPC)/Documents/MEPC.124(53).pdf)

<http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/Documents/BWM2Circ13Rev1es.pdf>

<http://www.jandgassociates.co.uk/Downloads/Techcross.pdf>

<http://www.nauticexpo.es/prod/hyundai-marine-engines/product-32124-373854.html>



<http://www.petrobras.com.br/en/about-us/profile/>

<https://ecochlor.com/system/>

<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/14581/Aquinaga%20Cea%2C%20%C3%8D%C3%B1igo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/14581/Aquinaga%20Cea%2C%20%C3%8D%C3%B1igo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/14581/Aquinaga%20Cea%2C%20%C3%8D%C3%B1igo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<https://safety4sea.com/de-nora-retrofits-two-ballast-water-systems-for-osg/>

<https://sailandtrip.com/que-es-el-plancton/>

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10818/PFC.%20Estudio%20del%20concepto%20de%20lastre%20libre%20y%20aplicaci%C3%B3n%20en%20un.pdf>

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2016-10960>

<https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170130/asocfile/20170130113540/d14.pdf>

https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170308/asocfile/20170308103954/163_56.pdf

https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170308/asocfile/20170308104100/161_56.pdf

https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20190212/asocfile/20190212161202/mepc_124_53_.pdf

https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20190212/asocfile/20190212161300/mepc_123_53_.pdf

https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20190213/asocfile/20190213090736/mepc_290_71_.pdf

<https://www.ecured.cu/Dinoflagelados>

https://www.ecured.cu/Radiaci%C3%B3n_ultravioleta

<https://www.edumedia-sciences.com/es/media/554-disolucion-del-nacl-en-el-agua>

<https://www.euston96.com/electrolisis/>

<https://www.experimentoscientificos.es/efecto-venturi/>

https://www.heraeus.com/es/hng/industries_and_applications/uv_technology/uv_water_treatment.aspx

<https://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/quimica/desinfectantes-hipoclorito-de-sodio.htm>

<https://www.llalco.com/es/division-naval/tratamiento-de-aguas-de-lastre>

<https://www.pscengineering.com/task-seawater-treatment-es.php>

<https://www.tc.gc.ca/eng/marinesafety/oep-environment-ballastwater-menu-449.htm>



<https://www.tcpit.es/gestion-aguas-lastre-transporte-maritimo/>

<https://www.trojanuv.com/es/uv-basics?acceptCookies=1>

https://www.who.int/topics/ultraviolet_radiation/es/

13.2. Publicaciones (libros, artículos, reglamentos...)

Civil Liability for Accidents at Sea, Sarah Fiona Gahlen. Springer Nature, 2015

Convenio Internacional para el control y la gestión del lastre y los sedimentos de los buques, 2004.

DNA-based identification of invasive alien species in relation to Canadian federal policy and law, and the basis of rapidresponse management, Vernon G. Thomas, Robert H. Hanner, Alex V. Borisenko, Genome, 2016

Estado Actual de las Líneas de Investigación en torno a las Aguas de Lastre. Servicio de Medio Ambiente de la Autoridad Portuaria y Capitanía Marítima de Barcelona.

Handbook on Marine Environment Protection, Springer Nature, 2018

International Courts and the Development of International Law, 2013

Lastrado con agua dulce para su intercambio en los puertos. González P., Salamanca A., Álvarez A, y Álvarez B. Septiembre 2005, 2006 .

Management and environmental risk study of the physicochemical parameters of ballast water, Nosrati-Ghods, Nosaibeh, Ghadiri, y Wolf-Gerrit Früh. Marine Pollution Bulletin, 2016.

Maritime Transportation and Exploitation of Ocean and Coastal Resources. 11th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean Lisbon Portugal, Septiembre 2005, 2006.

Removal of Barriers to the Efective Implementation of Ballast Water Control and Management Measures In Oevolping Countries, Gollasch S., 1997



Review of ballast water management practices and challenges in harsh and arctic environments. Jing L., Chen B., Zhang B., Peng H.. Environmental Reviews, 2012.

The Need for the Formation of an Independent, International Marine Coatings Board, Michael A Champ, Marine Pollution Bulletin, 1999.

Tratamientos basados en luz ultravioleta para aguas de lastre como opción viable hacia el control de especies invasoras en la bahía de Algeciras. Moreno Andrés J. y otros. Septiembre 2017, Algeciras, pp. 159-172.

13.3. Recursos adicionales consultados

[http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=15756&filename=140\(54\).pdf](http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=15756&filename=140(54).pdf)

[http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=16307&filename=149\(55\).pdf](http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=16307&filename=149(55).pdf)

[http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=19690&filename=163\(56\).pdf](http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=19690&filename=163(56).pdf)

[http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=22479&filename=169\(57\).pdf](http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=22479&filename=169(57).pdf)

[http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=23757&filename=173\(58\).pdf](http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=23757&filename=173(58).pdf)

[http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=23765&filename=174\(58\).pdf](http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=23765&filename=174(58).pdf)

[http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=28813&filename=188\(60\).pdf](http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=28813&filename=188(60).pdf)

[http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=30765&filename=206\(62\).pdf](http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=30765&filename=206(62).pdf)

[http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Documents/MEPC%20-%20Marine%20Environment%20Protection/228\(65\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Documents/MEPC%20-%20Marine%20Environment%20Protection/228(65).pdf)

<http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-%28MEPC%29/Documents/MEPC.287%2871%29.pdf>

<http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-%28MEPC%29/Documents/MEPC.290%2871%29.pdf>

<http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-%28MEPC%29/Documents/MEPC.279%2870%29.pdf>

<http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-%28MEPC%29/Documents/MEPC.289%2871%29.pdf>

[http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-\(MEPC\)/Documents/MEPC.127\(53\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-(MEPC)/Documents/MEPC.127(53).pdf)



- [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/Documents/MEPC.252\(67\).pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/Documents/MEPC.252(67).pdf)
- [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/Documents/MEPC.253\(67\).pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/Documents/MEPC.253(67).pdf)
- [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/Documents/MEPC.252\(67\).pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/Documents/MEPC.252(67).pdf)
- <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/Documents/Compilation%20of%20relevant%20Guidelines%20and%20guidance%20documents%20-%20May%202018.pdf>
- <https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170130/asocfile/20170130111936/d4.pdf>
- https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170306/asocfile/20170306181522/mepc_25267.pdf
- https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170306/asocfile/20170306181355/mepc_25367.pdf
- https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170306/asocfile/20170306181522/mepc_25267.pdf
- https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170307/asocfile/20170307172303/188_60.pdf
- https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170307/asocfile/20170307154001/206_62.pdf
- https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170307/asocfile/20170307112430/228_65.pdf
- https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170307/asocfile/20170307172303/188_60.pdf
- https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170307/asocfile/20170307154001/206_62.pdf
- https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170307/asocfile/20170307112430/228_65.pdf
- https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170308/asocfile/20170308103954/163_56.pdf
- https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170308/asocfile/20170308102806/169_57.pdf
- https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170530/asocfile/20170530114035/mepc279_70_.pdf
- https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20190212/asocfile/20190212122017/mepc_149_55_.pdf
- https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20190212/asocfile/20190212144105/mepc_140_54_.pdf
- https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20190212/asocfile/20190212111825/mepc_174_58_.pdf
- https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20190212/asocfile/20190212111856/mepc_173_58_.pdf
- https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20190213/asocfile/20190213090345/mepc_287_71_.pdf
- https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20190213/asocfile/20190213090345/mepc_287_71_.pdf
- https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20190213/asocfile/20190213090736/mepc_290_71_.pdf
- https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20190213/asocfile/20190213090647/mepc_289_71_.pdf
- https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20190213/asocfile/20190213090501/mepc_288_71_.pdf



14. ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS, SIGLAS Y SÍMBOLOS

14.1. Abreviaturas

apdo.: apartado

aprox.: aproximadamente

art.: artículo

Cl: cloro

ClO₂: Dióxido de Cloro

D(nº): Directrices (número correspondiente)

etc.: etcétera

H₂O: agua

HOCl: ácido hipocloroso

mín.: mínimo

NaCl: cloruro de sodio

NaOCl: hipoclorito de sodio, “*lejía*”

NaOH: hidróxido de sodio

O₂: oxígeno

OCl⁻: ion hipoclorito

OH: radical hidróxilo

p.ej.: por ejemplo

Res.A.: Resolución de la Asamblea

S.XIX: Siglo 19

St.: Saint

TiO₂: dióxido de titanio



14.2. Acrónimos

GloBallast: Global Ballast Water Management Programme

14.3. Siglas

ADN: ácido desoxirribonucleico

ANAVE: Asociación de Navieros Españoles

ARN: ácido ribonucleico

BOE: Boletín Oficial del Estado

BWM Convention: Ballast Water Management Convention

CAS: Chemical Abstracts Service

CFD: Dinámica de Fluidos Computacional

CPMM: Comité de Protección del Medio Marino

DGAP: plan for the ballast water experience-building phase

DRAE: Diccionario de la Real Academia Española

EBP: Ballast Water Experience-Building Phase

EDAR: Estación Depuradora de Aguas Residuales

EEUU: Estados Unidos

EPI: Equipo de Protección Individual

FMAM: Fondo para el Medio Ambiente Mundial

FPSO: Floating Production Storage and Offloading

FSU: Floating Storage Unit

GBP: GloBallast Partnerships



GESAMP: Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection

GIA: Global Industry Alliance for Marine Biosecurity

HC: hidrocarburos

IMO: International Maritime Organization

ISM Code: International Safety Management Code

LC50: concentración letal a corto plazo

LNG: Liquefied Natural Gas

MARPOL: Prevention of Pollution from Ships, Maritime Pollution (Convention)

MEPC: Marine Environment Protection Committee

MSC: Maritime Safety Committee

NOBS: Non-Ballast Water Ships

OILPOL: Oil Pollution

OMI: Organización Marítima Internacional

OMS: Organización Mundial de la Salud

ONU: Organización de Naciones Unidas

OPRC: Oil Pollution Preparedness, Response, and Cooperation

PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

SGA: sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos

SI: Sistema Internacional de Unidades

SOLAS: Safety of Life at Sea

SSCC: Sociedades de Clasificación

TRO: Residuo Oxidante Total



UNCLOS: United Nations Convention on the Law of the Sea

USA: United States of America

UV: ultravioleta

VLCC: Very Large Crude Carrier

VOS: Venturi Oxygen Stripping

14.4. Símbolos

\$: dólares

%: por ciento

γ : gamma

g: gramo

h: hora

kg: kilogramo

kW: kilovatios

m: metro

m²: metro cuadrado

m³/h: metro cúbico por hora

m³: metro cúbico

min: minuto

mJ/cm²: miliJulios por centímetro cuadrado

mL: mililitro

nm: nanómetro

°: grados



°C: grados centígrados

pH: potencial hidrógeno; potencial de hidrogeniones

ppm: partes por millón

s: segundo

S: Sur

ton: toneladas

ufc/g: unidad formadora de colonias por gramo

ufc: unidad formadora de colonias

V: voltio

μ: micro/a (factor de 10^{-6})

μm: micrómetro, micra

15. DEFINICIONES

- **Acuerdos regionales:** nombre dado en el cap. VIII de la carta de las Naciones Unidas, a los pactos, alianzas, tratados o convenios que diversos países de un continente o del mundo, que mantienen ciertas afinidades, conciertan en materias idénticas o similares a fin de conseguir un objetivo en común.
- **Agua de lastre:** agua y materias en suspensión contenidas en ella, cargada a bordo del buque para controlar su asiento, escora, calado, estabilidad y esfuerzos.
- **Aguas someras:** aguas superficiales (menos de 50 m de profundidad).
- **Calado:** distancia vertical comprendida entre la cara inferior de la quilla y la superficie de flotación; es decir, es la profundidad del barco sumergida. Se evalúa en metros (SI) o en pies y pulgadas ingleses.
- **Carcinógeno:** sustancia o agente que produce cáncer.



- **Celda electrolítica:** dispositivo empleado para descomponer sustancias ionizadas mediante corriente eléctrica. Consta de tres componentes: un electrolito y dos electrodos (cátodo y ánodo).
- **Certificado:** Certificado Internacional de Gestión del Agua de Lastre.
- **Dimerización:** reacción química en la que dos moléculas de subunidades idénticas (monómeros) forman una estructura química única, llamada dímero.
- **Dinoflagelados:** organismos microscópicos (Reino Protocista). Poseen unos flagelos, que les permiten desplazarse y alimentarse. Forman parte del Fitoplancton marino (50 - 500 μm). Son muy abundantes en las Aguas Tropicales.
- **Efecto Venturi** efecto mediante el cual un fluido disminuye su presión al aumentar la velocidad de paso a través de una zona de menor sección.
- **Electrolisis:** descomposición en iones de una sustancia en disolución mediante la corriente eléctrica.
- **Ethylene glycol**, etilenglicol: compuesto químico orgánico. Es un líquido transparente, incoloro, espeso y de sabor dulce. Es poco volátil y se emplea, entre otros usos, como anticongelante o disolvente.
- **Filtro:** dispositivo poroso, o masa de arena o piedras menudas, a través del cual circula un fluido para clarificarlo de los materiales que contiene en suspensión.
- **Fotorreactivación:** proceso de reparación directa del ADN catalizado por una reacción enzimática, donde se monomerizan dos dímeros, que se podrán restaurar al ser expuestos a la luz visible.
- **Germicida:** que destruye las bacterias y los gérmenes nocivos o perjudiciales.
- **GESAMP:** grupo mixto de expertos de la OMI / FAO / UNESCO / OMM / OMS / OIEA / UN / PNUMA, en los aspectos científicos de la contaminación de las aguas del mar.



- **Gestión del agua de lastre:** procedimientos mecánicos, físicos, químicos o biológicos, usados de forma individual o conjunta, para extraer o neutralizar los organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos contenidos en el agua de lastre y sedimentos a bordo de los buques, o a evitar su toma o descarga.
- **Hipoxia; anoxia:** déficit de oxígeno en un organismo; falta casi total de oxígeno en la sangre o en tejidos corporales.
- **pH:** coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.
- **Plaga:** aparición masiva y repentina de seres vivos de la misma especie que causan graves daños a poblaciones animales o vegetales.
- **Sedimentos:** toda materia que se deposite en los tanques de lastre del buque.
- **Sustancia activa:** sustancia u organismo, capaz de ejercer una acción general o específica contra los organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos.
- **Tanque de lastre:** depósito instalado a bordo de un buque destinado a introducir agua de mar cuando no transporta carga, para mejorar su estabilidad o trimado.

16. ÍNDICE DE TABLAS Y CUADROS

Tabla 6.2.1.5.1 - Ventajas e inconvenientes del sistema de flujo continuo.
Elaboración propia

Tabla 6.2.1.5.2 - Relación de factores a tener en cuenta en la evaluación de seguridad. Elaboración propia

Tabla 6.2.3.1.1 - Relación de ventajas e inconvenientes en el uso de biocidas.
Elaboración propia

Tabla 6.2.3.2.1 - Otras opciones de tratamientos químicos en estudio. Elaboración propia

17. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Comparación entre la estabilidad del buque antes y después de llenar con agua los tanques de lastre. Original del autor

Figura 1.2 - Secuencia lastre - viaje - deslastre.

Fuente: <https://i2.wp.com/www.vicalsa.com/wp-content/uploads/2017/09/al4.png?fit=1488%2C523&ssl=1>

Figura 1.3 - Introducción de *Biddulphia sinensis* en el Mar del Norte. Original del autor con referencia en <https://epicentrogeografico.com/2017/02/planeta-azul-los-oceanos-y-sus-caracteristicas/>

Figura 1.4 - *Caulerpa*, detalle *Caulerpa*, *Poseidonia oceánica*.

Fuentes: http://nuestroacuario.com/caulerpa_taxifolia/ , <https://balkysub.com/posidonia-oceanica-pulmon-mediterraneo/> y https://i0.wp.com/nuestroacuario.com/wp-content/uploads/2015/08/Caulerpa_taxifolia_lyn.jpg

Figura 2.1 - Resumen etapas de actuación de la OMI. Original del autor

Figura 4.1 - Gráfico resumen de las obligaciones de las Partes. Original del autor

Figura 6.1.2.1 - Zonas Biogeográficas.

Fuente <https://www.agenciasinc.es/Multimedia/Fotografias/Una-nueva-distribucion-del-mundo-natural>

Figura 6.2.1.1.1 - Filtro de Agua de Lastre.

Fuente <https://nauticainfo.com/fotos/1/uploads/2014/11/Aguasdelastre.jpg>

Figura 6.2.1.2.1 - Diferencias entre la micro, nano y ultra filtración.

Fuente <https://www.tetrapak.com/mx/processing/membrane-filtration/filtration-processes>

Figura 6.2.1.3.1 - Esquema sistema de Filtración Granular. Original del autor

Figura 6.2.1.4.1 - Esquema hidrociclón.

Fuente: https://3.bp.blogspot.com/-quHCuiHMzF8/W-0E_HB23AI/AAAAAAAAADiw/-CdsAceaUVQKF_xFL9UEB6hHq3Ji0QHgCLcBGAs/s1600/hidro.png

Figura 6.2.1.5.1 - Esquema circuito de flujo continuo. Original del autor

Figura 6.2.1.6.1 - Esquema dilución en un tanque. Original del autor

Figura 6.2.1.7.1 - Esquema proceso de sedimentación y flotación.

Fuente: <https://cropaia.com/es/blog/tratamiento-de-aguas-residuales/>



Figura 6.2.1.9.1 - Efectos del método secuencial en los organismos perjudiciales y agentes patógenos por navegar el buque en aguas profundas o someras. Original del autor

Figura 6.2.2.1.1 - Mejillón cebra.

Fuente: <https://www.elmundo.es/elmundo/2010/08/12/ciencia/1281630699.html>

Figura 6.2.2.1.2 - Esquema resumen de inconvenientes de los tratamientos térmicos. Original del autor

Figura 6.2.2.3.1 - Espectro electromagnético.

Fuente: <https://www.ctxprofessional.com/piscina-comunitaria/tratamiento-del-agua/ultravioleta/>

Figura 6.2.2.3.2 - Esquema lámpara UV.

Fuente <http://agua-purificacion.blogspot.com/2010/01/tratamiento-de-agua-por-rayos.html>

Figura 6.2.2.3.3 - Sistema BallastMaster ultraV.

Fuente: <https://www.gea.com/es/products/ballastmaster-ultraV.jsp>

Figura 6.2.2.5.1 - Equipo de ultrasonidos para el tratamiento del agua.

Fuente: <http://spanish.ultrasonic-weldingequipment.com/sale-10592109-15khz-3000w-ultrasonic-liquid-processor-for-water-descaling-sterilization.html>

Figura 6.2.2.7.1 - Cañón de aire comprimido.

Fuente: <https://www.vistaalmar.es/ciencia-tecnologia/ingenieria-innovacion/2132-canonas-aire-comprimido-prediccion-terremotos.html>

Figura 6.2.2.8.1 - Sistema De Nora - Balpure.

Fuente: <https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2016/07/balpure-De-Nora.jpg>

Figura 6.2.3.1.1 - Molécula Peróxido de Hidrógeno. Original del autor, tomando como fuente: <https://www.lifeder.com/wp-content/uploads/2016/02/per%C3%B3xido-de-hidr%C3%B3geno-bolas-3d.png>

Figura 6.2.3.2.1 - Electrolisis.

Fuente: <https://lidiakonlaquimica.files.wordpress.com/2015/08/electrolisis.gif>

Figura 6.2.3.2.2 - Sistema de electroclorinación para tratamiento del agua de lastre a bordo.

Fuente: http://www.aguayverde.com.ar/wp-content/uploads/2017/11/02_cloracion.png



Figura 6.2.3.3.1 - Sistema de desoxigenación para el tratamiento del agua de lastre.

Fuente: https://www.pscengineering.com/Immagini/tasks_seawater_treatment_01.jpg

Figura 6.2.4.1.1 - Ecochlor Ballast Water Treatment System. Fuente: <https://ecochlor.com/system/>

Figura 6.2.4.2.1 - Sistema de tratamiento de aguas de lastre Hyundai Hiballast.

Fuente: http://img.nauticexpo.es/images_ne/photo-mg/32124-3714799.jpg

Figura 6.2.4.3.1 - Esquema Sistema WÄRTSILÄ-AQUARIUSEC.

Fuente: <https://www.marineinsight.com/wp-content/uploads/2018/03/Ballast-Water-Management-System.jpg>

Figura 6.2.4.5.1 - Sistema Alfa Laval - Pureballast. Original del autor

Figura 9.1.1.1 - Mapa escasez de agua a nivel mundial.

Fuente: https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/images/scarcity/2013_scarcity_graph_2.png

Figura 9.1.2.1 - Sistema combinado tratamiento del agua de lastre. Original del autor, tomando como referencia <https://www.ingenierosnavales.com/wp-content/uploads/2018/03/AGUA-LASTRE.pdf>

Figura 9.2.1 - Kairos, el primer buque buque con lastre reducido y el mayor buque de suministro de GNL.

Fuente <https://sectormaritimo.es/wp-content/uploads/2018/10/Copia-de-kairos.jpg>

Figura 10.1 - Logotipo GloBallast Partnerships.

Fuente <https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2016/07/GLOBALLAST-e1468568212827-1280x640.jpg>

Figura 10.2 – Estrategia para la implementación del proyecto.

Fuente: <http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/objectives-and-outputs/index.html>

Figura 10.3 - Regional ballast water strategies.

Fuente: <http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/regional-seas-conventions/index.html>

Figura 10.4 - Objetivos GBP y GIA.

Fuente: <http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/the-gia/index.html>

Figura 10.5 - Resultados del GloBallast Partnerships Project 2007-2017.

Fuente: <http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/wp-content/uploads/2014/11/GloBallast-achievements-5-1024x576.jpg>



18. ÍNDICE ANEXOS

- ANEXO I. Directrices adicionales.....	127
- ANEXO II. Opciones de gestión a bordo en distintos periodos del viaje.....	131
- ANEXO III. Relación entre el método secuencial, flujo continuo, y dilución...	134
- ANEXO IV. Espectro Electromagnético.....	136
- ANEXO V. Comparación de la efectividad de los métodos de tratamiento...	138
- ANEXO VI. Ventajas e inconvenientes de los sistemas de gestión.....	140
- ANEXO VII. Aprobación de sistemas de gestión del agua de lastre.....	143
- ANEXO VIII. Aprobación de sistemas que hacen uso de sustancias activas....	145



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE
NÁUTICA E MÁQUINAS

“GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE”

ANEXO I



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

FECHA: **JUNIO 2019**

AUTOR: La alumna

Fdo.: Ainhoa Conde Castro



ANEXO I. DIRECTRICES ADICIONALES

G1. Res.MEPC.152(55). Directrices para las instalaciones de recepción de sedimentos

https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20190212/asocfile/20190212121844/mepc_152_55.pdf

[http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-\(MEPC\)/Documents/MEPC.152\(55\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-(MEPC)/Documents/MEPC.152(55).pdf)

G2. Res.MEPC.173(58). Directrices para toma de muestras del agua de lastre

https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20190212/asocfile/20190212111856/mepc_173_58.pdf

[http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=23757&filename=173\(58\).pdf](http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=23757&filename=173(58).pdf)

G3. Res.MEPC.123(53). Directrices para cumplimentación equivalente a la gestión del agua de lastre

https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20190212/asocfile/20190212161300/mepc_123_53.pdf

<http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-%28MEPC%29/Documents/MEPC.123%2853%29.pdf>

G4. Res.MEPC.127(53). Directrices para planes de gestión del agua de lastre y para el desarrollo de planes de gestión del agua de lastre

<https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170130/asocfile/20170130111936/d4.pdf>

[http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-\(MEPC\)/Documents/MEPC.127\(53\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-(MEPC)/Documents/MEPC.127(53).pdf)

G5. Res.MEPC.153(55). Directrices para las instalaciones de recepción de agua de lastre

https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20190212/asocfile/20190212121801/mepc_153_55.pdf

[http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-\(MEPC\)/Documents/MEPC.153\(55\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-(MEPC)/Documents/MEPC.153(55).pdf)



G6. Res.MEPC.124(53). Directrices para el cambio de agua de lastre

https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20190213/asocfile/20190213090501/mepc_288_71.pdf

<http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-%28MEPC%29/Documents/MEPC.288%2871%29.pdf>

G7. Res.MEPC.162(56). Directrices para evaluación del riesgo con respecto a la Regla A-4 del Convenio

https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20190213/asocfile/20190213090647/mepc_289_71.pdf

<http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-%28MEPC%29/Documents/MEPC.289%2871%29.pdf>

G8. Res.MEPC.174(58). Directrices para la aprobación de sistemas de gestión del agua de lastre

https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170530/asocfile/20170530114035/mepc279_70_.pdf

<http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-%28MEPC%29/Documents/MEPC.279%2870%29.pdf>

G9. Res.MEPC.169(57). Procedimiento para aprobación de sistemas de gestión del agua de lastre que hagan uso de Sustancias Activas

https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170308/asocfile/20170308102806/169_57.pdf

[http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=22479&filename=169\(57\).pdf](http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=22479&filename=169(57).pdf)

G10. Res.MEPC.140(54). Directrices para aprobación e inspección de programas prototipo de tecnología de tratamiento del agua de lastre

https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20190212/asocfile/20190212144105/mepc_140_54.pdf

[http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=15756&filename=140\(54\).pdf](http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=15756&filename=140(54).pdf)



G11. Res.MEPC.149(55). Directrices para el diseño y normas de construcción del sistema de cambio de agua de lastre

https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20190212/asocfile/20190212122017/mepc_149_55.pdf

[http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=16307&filename=149\(55\).pdf](http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=16307&filename=149(55).pdf)

G12. Res.MEPC.150(55). Directrices sobre el diseño y la construcción a fin de facilitar el control de los sedimentos de los buques

https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170307/asocfile/20170307150457/209_63.pdf

[http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Documents/MEPC%20-%20Marine%20Environment%20Protection/209\(63\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Documents/MEPC%20-%20Marine%20Environment%20Protection/209(63).pdf)

G13. Res.MEPC.161(56). Directrices para medidas adicionales con relación a la gestión del agua de lastre incluyendo situaciones de emergencia

https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170308/asocfile/20170308104100/161_56.pdf

[http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-\(MEPC\)/Documents/MEPC.161\(56\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-(MEPC)/Documents/MEPC.161(56).pdf)

G14. Res.MEPC.151(55). Directrices para la designación de zonas para el cambio de agua de lastre

<https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170130/asocfile/20170130113540/d14.pdf>

[http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-\(MEPC\)/Documents/MEPC.151\(55\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-(MEPC)/Documents/MEPC.151(55).pdf)

Res.MEPC.163(56). Directrices el cambio de agua de lastre en la zona del tratado del Antártico

https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170308/asocfile/20170308103954/163_56.pdf

[http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-\(MEPC\)/Documents/MEPC.163\(56\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-(MEPC)/Documents/MEPC.163(56).pdf)



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE
NÁUTICA E MÁQUINAS

“GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE”

ANEXO II



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

FECHA: **JUNIO 2019**

AUTOR: La alumna

Fdo.: Ainhoa Conde Castro

**- ANEXO II. Opciones de gestión a bordo en distintos periodos del viaje**

Elaboración propia con referencia en *Carlton y otros, 1995*

Conforme a la experiencia internacional, se ha llegado a la conclusión de que las mejores opciones de gestión y tratamiento del agua de lastre a bordo, se podrían resumir con los siguientes cuadros:

1. ANTES DE LA SALIDA
SUMINISTRO DE AGUA DE LASTRE EN PUERTO
Agua salada o dulce tratada (por Instalación de Recepción Especializada)
Agua dulce de la red municipal (por el Puerto)
PRECAUCIONES EN EL LASTRADO
En función del lugar:
No lastrear en zonas señaladas universalmente como peligrosas (Global Hot Spots)
No lastrear en aguas con una alta concentración de sedimentos
No lastrear en aguas donde existan descargas de desechos o donde se conozcan casos de enfermedades
En función del lugar y de la hora o la época del año
No lastrear en determinadas zonas durante determinadas épocas
No lastrear durante la noche
PROTECCIÓN MECÁNICA DE LA ENTRADA DE ORGANISMOS
Filtración
EXTERMINACIÓN DE ORGANISMOS DURANTE EL LASTRADO
Agitación mecánica
Velocidad del agua (cambios rápidos de presión)
Mecanismos de agitación del agua
Alteración de la salinidad
Añadiendo agua dulce al agua salada
Añadiendo agua salada al agua dulce
Óptico: tratamiento por radiación ultravioleta
Acústico: tratamiento por ultrasonidos



2. A LA SALIDA Y / O DURANTE LA NAVEGACIÓN
DESINFECCIÓN ACTIVA
Revestimiento de los mamparos de los tanques de lastre
Biocidas químicos
Ozonación
Tratamiento térmico
Tratamiento eléctrico
Desoxigenación
Tratamientos sucesivos de: filtración, ultravioleta y ultrasonidos
Alteración de la salinidad: cambio parcial de lastre
DESINFECCIÓN PASIVA
Aumentar la duración del viaje
Cambio total del lastre en el viaje
Remoción de sedimentos y descarga de estos en el mar
SOLO DESLASTRE
Deslastre en el viaje sin volver a lastrear
3. SALIENDO DE LAS ZONAS
Cambio de lastre o deslastre
4. A LA LLEGADA A PUERTO DE DESTINO, DONDE HA DE DESLASTRAR
SUMINISTRO DE AGUA - DESCARGA
Instalación de Recepción en tierra (recepción de lastre tratado o sin tratar)
Descarga en una planta de tratamiento de aguas residuales
Descarga a Instalaciones Flotantes (buques o gabarras de recepción)
Remoción y entrega de sedimentos a instalaciones mar adentro
Exterminación de organismos “ <i>in situ</i> ” a la llegada
SIN DESCARGA
No deslastrear
5. REGRESO A LA MAR – CAMBIO DEL AGUA DE LASTRE
El buque vuelve al mar con el compromiso de hacer el cambio de lastre



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE
NÁUTICA E MÁQUINAS

“GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE”

ANEXO III



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

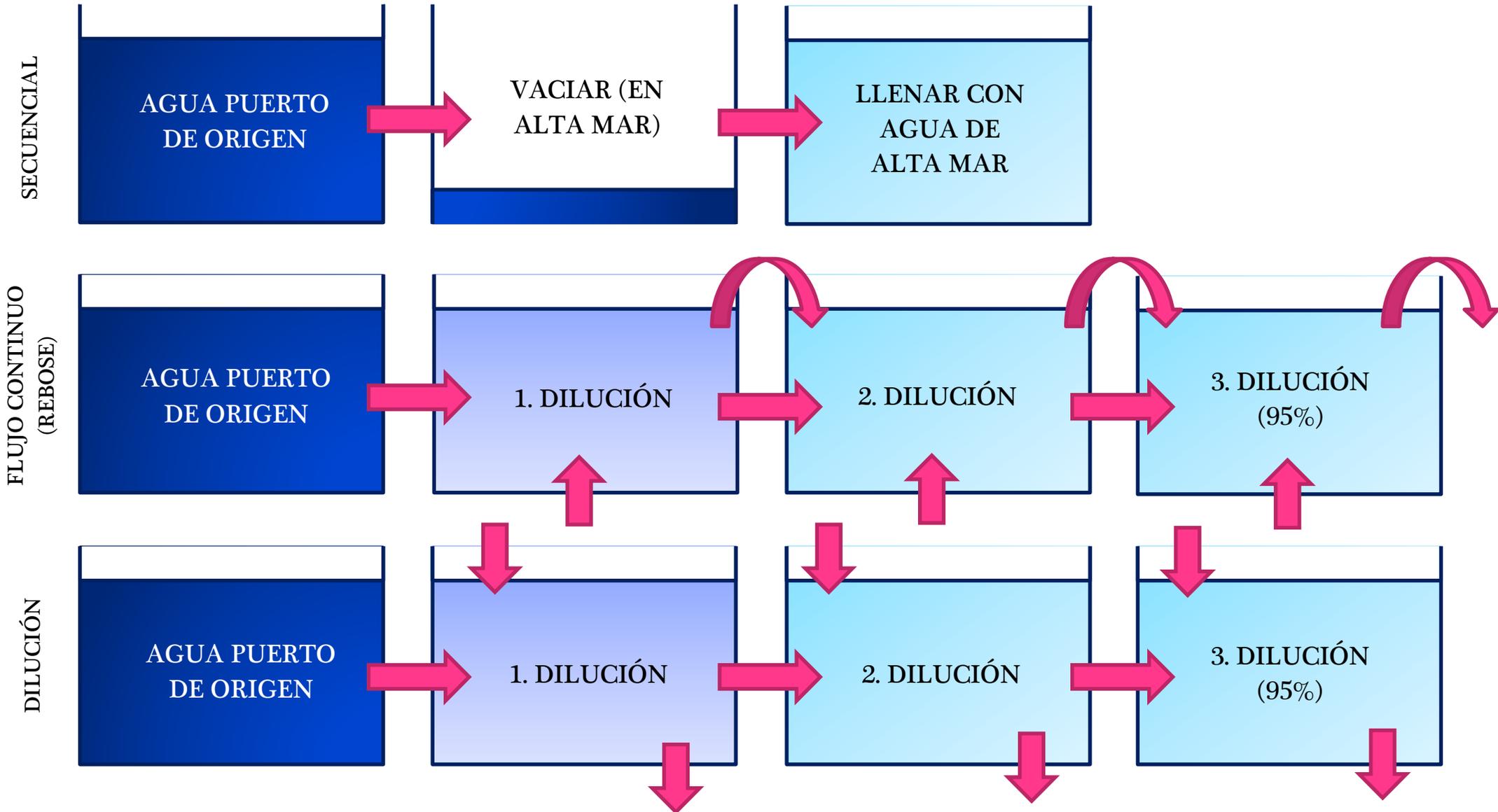
FECHA: **JUNIO 2019**

AUTOR: La alumna

Fdo.: Ainhoa Conde Castro



- ANEXO III. Relación entre el método secuencial, flujo continuo, y dilución





UNIVERSIDADE DA CORUÑA



ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE
NÁUTICA E MÁQUINAS

“GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE”

ANEXO IV



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

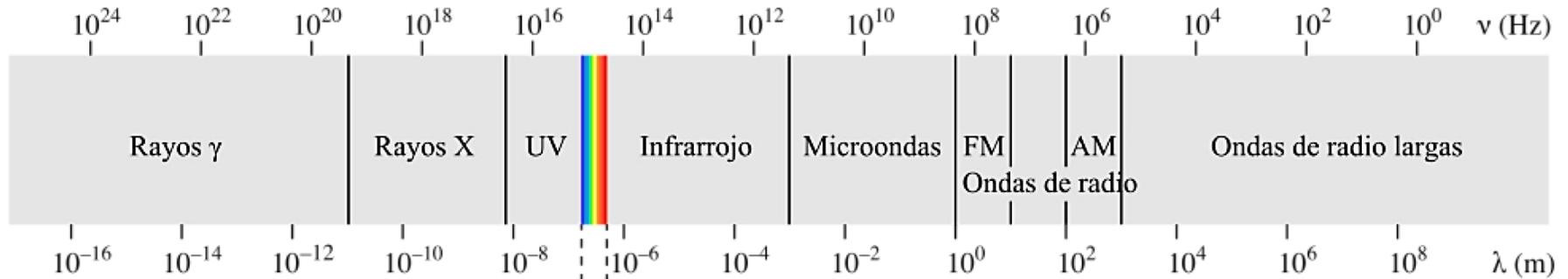
FECHA: **JUNIO 2019**

AUTOR: La alumna

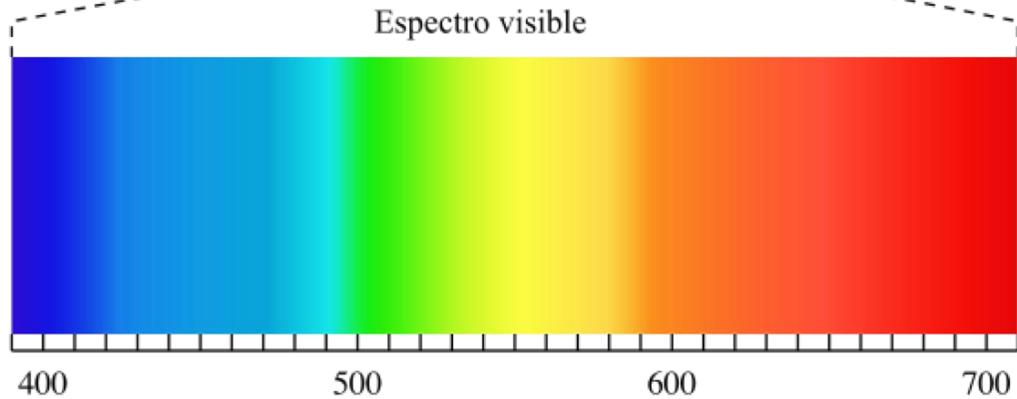
Fdo.: Ainhoa Conde Castro



- ANEXO IV. Espectro Electromagnético



Longitud de onda creciente (λ) →



Longitud de onda creciente (λ) en nm →



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE
NÁUTICA E MÁQUINAS

“GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE”

ANEXO V



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

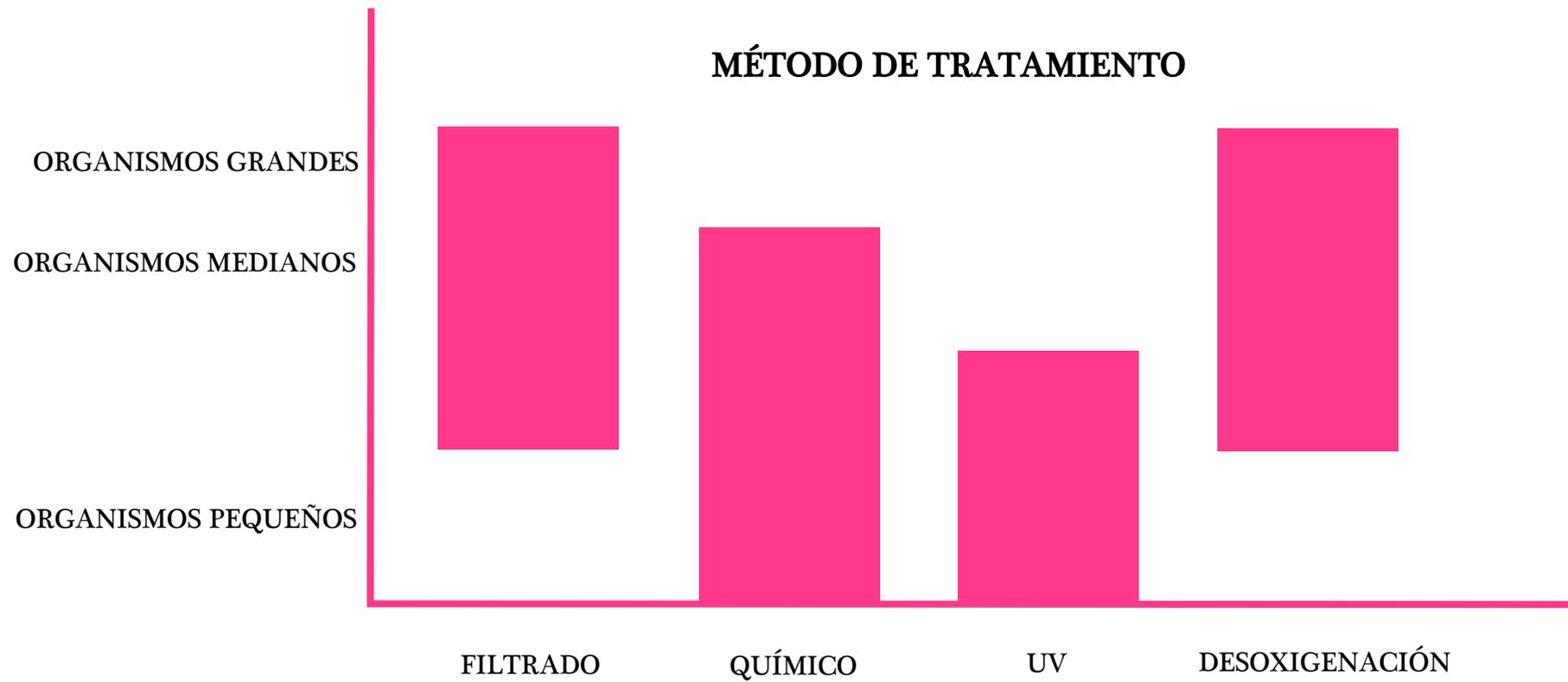
FECHA: **JUNIO 2019**

AUTOR: La alumna

Fdo.: Ainhoa Conde Castro



- ANEXO V. Comparación sobre la efectividad de los métodos de tratamiento





UNIVERSIDADE DA CORUÑA



ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE
NÁUTICA E MÁQUINAS

“GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE”

ANEXO VI



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

FECHA: **JUNIO 2019**

AUTOR: La alumna

Fdo.: Ainhoa Conde Castro

**- ANEXO VI. Ventajas e inconvenientes de los sistemas de gestión**

MÉTODOS	VENTAJAS	INCONVENIENTES
FILTRACIÓN	Efectividad elevada Se puede usar durante el lastrado	Solo para organismos de grandes dimensiones No es adecuado para abundantes caudales
MÉTODO HIDROCICLÓNICO	Gran sencillez Coste muy reducido Reduce la turbidez del agua	Solo para organismos de grandes dimensiones No puede trabajar por gravedad Rendimiento escaso
FLUJO CONTINUO Y DILUCIÓN	Permiten un intercambio permanente del agua de lastre	Difícil implementación Requiere un circuito especial del agua de lastre Limitaciones sobre seguridad
SEDIMENTACIÓN Y FLOTACIÓN	Adecuado para instalaciones de recepción en tierra Adecuado para partículas con mayor peso específico que el agua	Requiere mucho espacio Afectado por las variables climáticas
MÉTODO SECUENCIAL	Comodidad Efectividad elevada Rendimientos del 95%	Coste – Beneficio impreciso Difícil aplicación
TRATAMIENTO POR CALOR	Aprovecha el Calor residual Elevado rendimiento	Requiere instalaciones especiales La efectividad varía en función del tipo de organismos



MÉTODOS	VENTAJAS	INCONVENIENTES
RADIACIÓN ULTRAVIOLETA	<p>Adecuada para eliminar microorganismos</p> <p>Rapidez</p> <p>Efectividad elevada</p> <p>No contamina el medio</p> <p>Sencillez</p> <p>Poco mantenimiento</p> <p>Reducidos costes operativos</p>	<p>Escasa propagación de las ondas de baja frecuencia</p> <p>Riesgo de fotorreactivación</p>
ULTRASONIDOS Y MICROONDAS	<p>Procedimientos en vías de investigación y desarrollo</p>	<p>Coste indeterminado</p> <p>Repercusiones en la salud humana</p> <p>Requiere instalaciones especiales</p>
TRATAMIENTOS QUÍMICOS	<p>Valorar las ventajas / inconvenientes en función de: coste, almacenamiento, manipulación, consecuencias para la salud, repercusiones en el medio ambiente, gases desprendidos, efectos de toxicidad, oxidación, corrosión, degradación, etc.</p>	



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE
NÁUTICA E MÁQUINAS

“GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE”

ANEXO VII



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

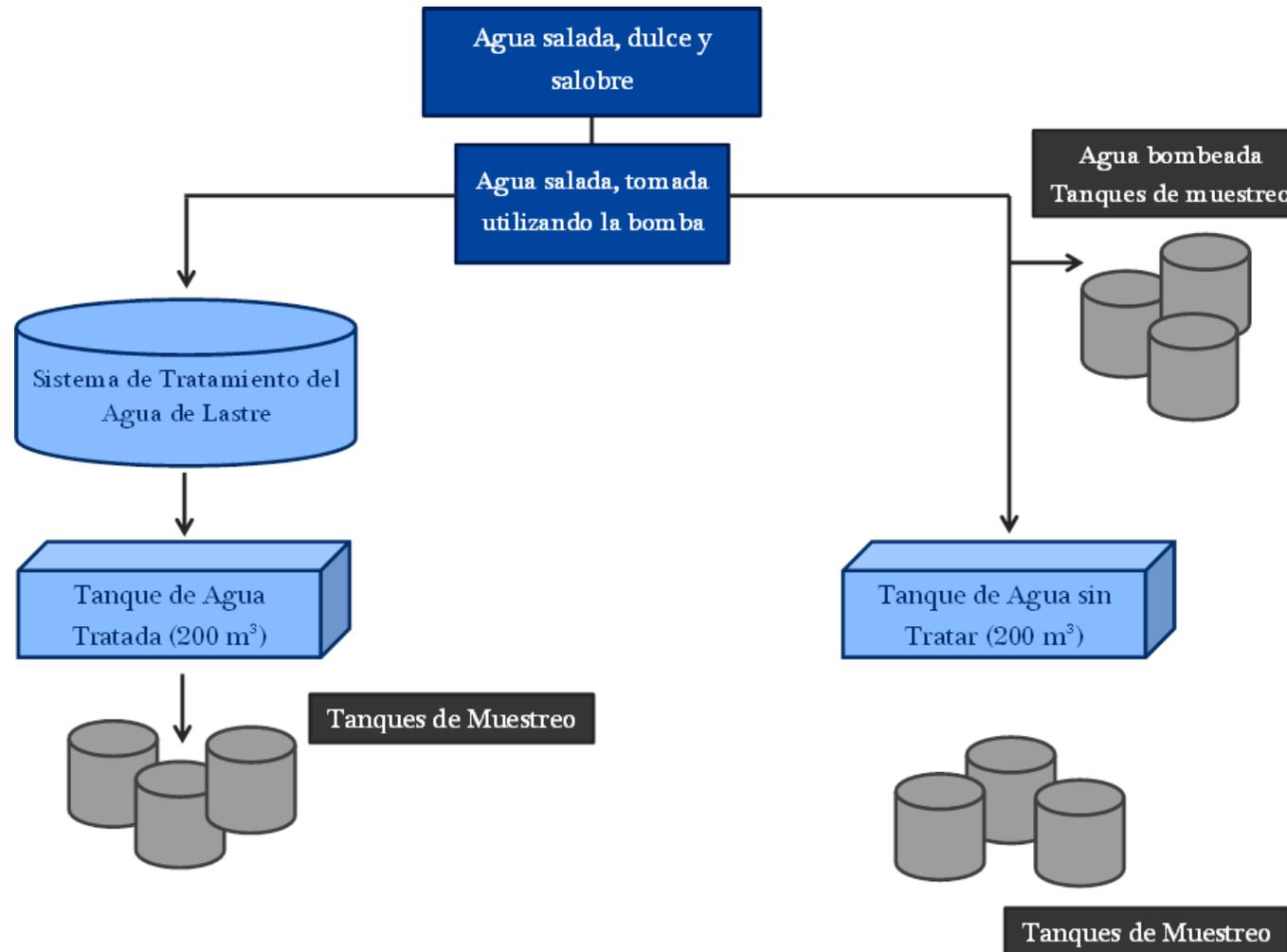
FECHA: **JUNIO 2019**

AUTOR: La alumna

Fdo.: Ainhoa Conde Castro



- ANEXO VII. Aprobación de sistemas de gestión del agua de lastre





UNIVERSIDADE DA CORUÑA



ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE
NÁUTICA E MÁQUINAS

“GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE”

ANEXO VIII



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

FECHA: **JUNIO 2019**

AUTOR: La alumna

Fdo.: Ainhoa Conde Castro

- ANEXO VIII. Aprobación de sistemas que hacen uso de sustancias activas

