



**Contaminación biológica del mar
por el agua de lastre de los buques
y medios para evitarla**

Autores: Primitivo B. González López

Antonio Salamanca Giménez

Junio 2013

**Grupo de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible
Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España**

© Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos

Edita: COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS NAVALES Y OCEÁNICOS

Castelló, 66 6º

28001 Madrid

Tel: 915751024

E-mail: coin@ingenierosnavales.com

ISBN: 978-84-939303-3-2

Depósito Legal: M-27719-2013

1	INTRODUCCIÓN	6
1.1	Traslado e introducción de organismos exógenos	8
1.2	Especies invasoras	9
1.2.1	ALGAS	9
1.2.2	DINOFLAGELADOS	12
1.2.3	MOLUSCOS: MEJILLÓN CEBRA Y ALMEJA CHINA.	12
1.2.4	MEDUSAS, CANGREJOS Y OTROS POLIZONES	14
1.2.5	PECES AGRESIVOS	16
1.2.6	ORGANISMOS ESPECIFICAMENTE PATÓGENOS PARA LA SALUD HUMANA	16
1.3	Gravedad del problema	17
2	CONVENIO INTERNACIONAL PARA EL CONTROL Y LA GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE Y LOS SEDIMENTOS DE LOS BUQUES	25
2.1	Artículo 1 Definiciones	27
2.2	Regla A-1 Definiciones	28
2.3	Regla D-1. Norma para el cambio del agua de lastre	29
2.4	Regla D-2. Norma de eficacia de la gestión del agua de lastre	30
2.5	Fechas de aplicación	31
2.6	Condiciones para la entrada en vigor del Convenio	31
2.7	Aplicación del Convenio	32
2.8	Fechas de aplicación de la Norma de Eficacia del Agua de Lastre	32
3	TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA DE LASTRE	34
3.1	General	34
3.2	Sistemas de filtración	35
3.3	Biocidas	39

3.3.1 Biocidas oxidantes.....	39
3.3.2 Biocidas no oxidantes.....	41
3.4 Técnicas térmicas.....	42
3.5 Técnicas de impulso eléctrico y de plasma.....	42
3.6 Tratamiento ultravioleta.....	43
3.7 Sistemas acústicos.....	43
3.8 Campos magnéticos.....	43
3.9 Desoxigenación.....	43
3.10 Técnicas biológicas:.....	44
3.11 Pinturas antiincrustantes.....	44
4 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN.....	45
4.1 Aprobación del sistema de tratamiento del agua de lastre.....	45
4.2 Directrices para la aprobación de sistemas de gestión del agua de lastre.....	45
4.3 Procedimiento para la aprobación de sistemas de gestión del agua de lastre que hacen uso de sustancias activa.....	46
4.4 Tecnologías candidatas.....	48
4.5 Estado de aprobación de los sistemas de tratamiento del agua de lastre, marzo 2010.....	48
5 ALTERNATIVAS.....	52
5.1 Lastrado con agua tratada para su intercambio en los puertos y terminales de carga.....	52
5.1.1 Diferentes posibilidades para esta solución.....	53
5.1.2 Tratamiento del agua de lastre en los puertos.....	54
5.2 Buques con lastre reducido.....	55
5.3 Buques libres de lastre por formas de los buques (NOBS).....	57

5.3.1	Formas del casco libre de lastre	57
5.3.2	Resistencia viscosa estimada	58
5.3.3	Propulsión y Potencia Propulsora.....	59
5.3.4	Disposición general de un buque tanque sin lastre.....	59
5.3.5	Momentos de flexión longitudinales.....	59
5.3.6	Asiento y escora.....	59
5.3.7	Segregaciones de Carga	60
5.3.8	Noticias acerca buques sin lastre	60
6	CONCLUSIONES	61
6.1	General.....	61
6.2	Consideraciones ambientales e investigación y desarrollo.....	64
6.3	Ventajas e inconvenientes de las diversas alternativas para el tratamiento del agua de lastre.	65
7	BIBLIOGRAFÍA	68
8	CRÉDITOS POR FOTOGRAFÍAS E IMÁGENES.....	70

1 INTRODUCCIÓN

Existen graves problemas de contaminación marina y uno de los más graves, quizá el que pueda tener consecuencias más trascendentes es el de la contaminación biológica debida a los organismos transportados de un sitio para otro, en muchos casos separados por grandes distancias, por el agua de lastre de los buques.



Fig. 1 - No solo los derrames de petróleo representan amenazas ambientales

Accidentes como los de la foto resultan desastrosos, al menos a corto plazo, para el medio ambiente marino, pero, aunque parezca mentira, pueden no ser los más perjudiciales a medio y largo plazo, ya que la contaminación biológica debida a la implantación de organismos exógenos en zonas alejadas de su hábitat normal puede tener consecuencias aún más dañinas.

Estudios realizados en varios países han puesto de relieve que muchas especies de bacterias, plantas y animales pueden sobrevivir en el agua de lastre y en los sedimentos transportados, incluso después de viajes de varios meses de duración. La descarga ulterior de agua de lastre y sedimentos en aguas de los puertos receptores puede dar lugar al asentamiento de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos que pueden constituir un riesgo para la vida de los seres humanos, para la flora y la fauna autóctonas y para el medio marino. Y si bien se han descubierto varias causas responsables de la transferencia de organismos entre áreas marinas geográficamente separadas a gran distancia, la descarga de agua de lastre de los buques parece ser una de los más importantes.

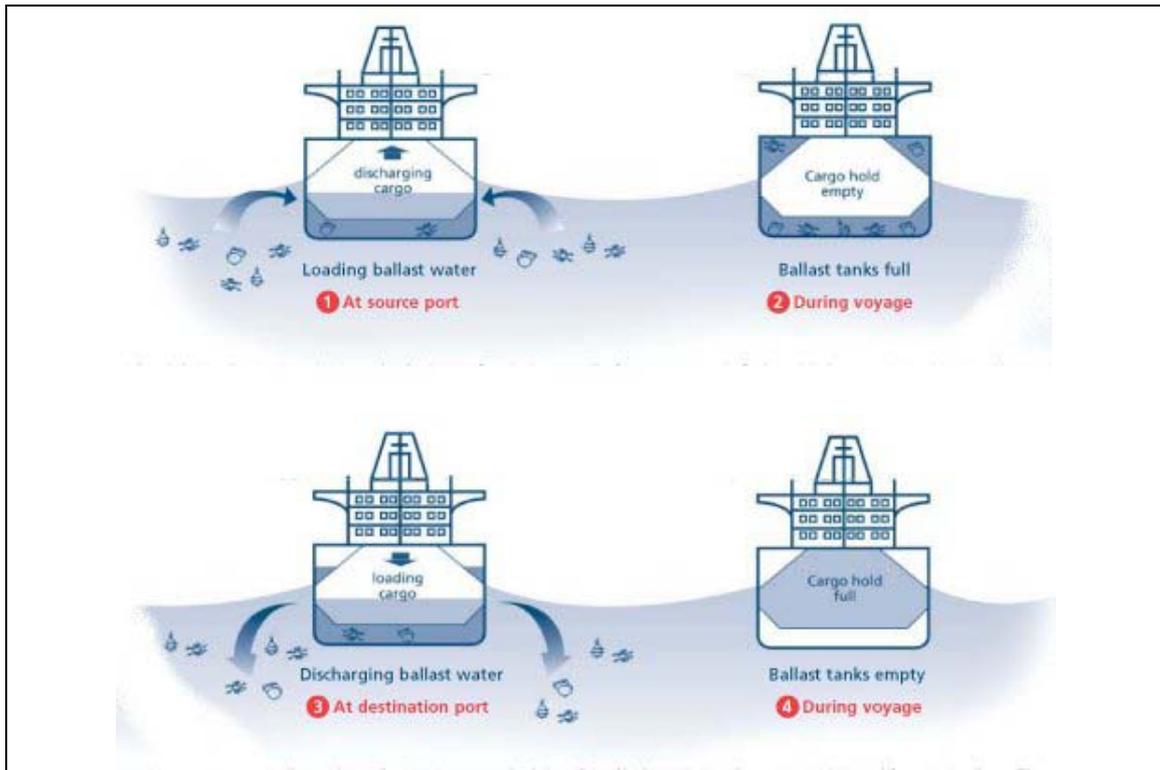


Fig. 2 - Ciclo de transporte de especies exógenas

Con el agua de lastre de los buques se transportan especies marinas y, cuando es expulsada del buque para poder realizar la carga de mercancías, son también expulsadas especies foráneas, siendo su cantidad significativa debido a la cantidad de agua involucrada, miles de millones de toneladas anuales. Se desplazan así especies indígenas provocando un desastre ecológico sin precedentes y difícilmente reversible.

Antes de 1870 se solía utilizar lastre sólido. Las calles del "Old Boston" están pavimentadas con piedras usadas como lastre sólido por los buques. En Manila se hicieron iglesias con ellas.

Con el paulatino aumento del número y del tamaño de buques construidos en acero, se hizo habitual empleo de agua, normalmente salada, como lastre, incrementándose el problema del trasiego de organismos de un sitio para otro paralelamente al incremento ingente del volumen de mercancías transportadas por mar. Lógicamente, el problema es mayor en las zonas y países exportadores de grandes volúmenes de carga, a cuyos puertos arriban los buques con cantidades importantes de agua de lastre, especialmente si son petroleros y buques de carga a granel; agua que es descargada en los canales de acceso y en los puertos de estos países.



Fig. 3 - Bulkcarrier deslastrando

Consciente del grave problema, la OMI ha redactado y aprobado el Convenio Internacional para el Control y Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos de los Buques, el cual está casi a punto de que se den las condiciones mínimas para su entrada en vigor.

El Gobierno Español fue de los primeros en dar su autorización para la adhesión al citado convenio por lo que, cuando entre en vigor, deberá satisfacer las obligaciones que del mismo se deriven, es decir, que los buques que entren en puertos españoles, ya sean abanderados en España o no, cumplan sistemáticamente con un Plan de Gestión del Agua de Lastre, para lo cual deberán tener instalado el equipamiento necesario, realicen las oportunas operaciones y maniobras, cumplimenten las anotaciones necesarios reglamentarias en el correspondiente Libro de Registro del Agua de Lastre, etc.

1.1 Traslado e introducción de organismos exógenos

La introducción involuntaria de organismos acuáticos foráneos en varias zonas del mar ha llevado al asentamiento de muchas especies lejos de sus áreas nativas, con una potencial amenaza para el medio ambiente y la economía de las áreas que las reciben.

Parece demostrado que, independientemente de la introducción de especies exógenas para acuicultura y, a veces, con propósitos simplemente ornamentales, el principal vector para el transporte de organismos vivos es el transporte involuntario de los mismos como polizones en los buques.

Los lugares en que estos organismos pueden ser transportados en los buques son varios: adheridos como incrustaciones al casco, en las tomas de mar, con las aguas de sentinas, con las aguas de limpieza de las bodegas, con los residuos no bien tratados de las plantas

sépticas, con residuos de la cocina, con los alimentos en la gambuza y, fundamentalmente, en el agua de lastre con que se cargan los buques, principalmente cuando van de vacío en los viajes de retorno, así como en los fangos que estas aguas de lastre dejan como sedimento en los tanques



Fig. 4 - Las principales especies invasoras

1.2 Especies invasoras

1.2.1 ALGAS

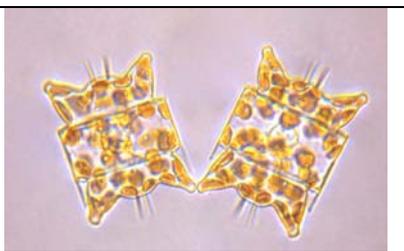


Fig. 5 – Alga Odontella Sinensis

Los antecedentes de las primeras invasiones se centran en la *Odontella sinensis*, un alga asiática del plancton que se reproduce con extrema facilidad y que invadió el mar del Norte en 1903. Fue el primer registro de introducción de un alga por agua de lastre.

Posteriormente se detectaron otros casos similares en todo el mundo, como el de la llamada alga asesina (*Caulerpa taxifolia*). Todo empezó en 1970, a raíz de ciertos experimentos llevados a cabo en Stuttgart para dotar de mayor resistencia y tamaño a la especie tropical originaria, con el

propósito de obtener una variación genética que pudiera utilizarse para decorar acuarios. En 1984 el Museo Oceanográfico de Mónaco, que ya contaba en sus acuarios con la nueva variedad genética, introdujo el alga asesina en las costas francesas del Mediterráneo en un accidentado proceso de limpieza de tanques. Entonces, comienza el desastre: la Riviera francesa, las costas italianas y las islas españolas, se ven invadidas por una nueva especie que todo lo arrasa a su paso. Más tarde, el fatal organismo comienza a extenderse hasta lugares tan remotos como Croacia. En muy poco tiempo llega a ocupar el fondo marino a lo largo de 3.300 ha de costa.



Fig. 6 - *Caulerpa taxifolia*

La *Caulerpa taxifolia* siguió extendiéndose y, poco después, en 1992, alcanzó el litoral levantino español introducida en las aguas de lastre de los buques. En la actualidad el alga asesina constituye un serio problema ambiental, ya que a sus rápido crecimiento hay que sumar una gran capacidad para reproducirse y su resistencia a medios muy diversos. Todas estas características le permiten desarrollarse con velocidad y sustituir a otras especies autóctonas, como la Posidonia (*Posidonia oceanica*), una fanerógama marina de aguas poco profundas, al tiempo que provoca la desaparición de otras muchas debido a las toxinas que produce, inocuas para el ser humano pero letales para multitud de organismos acuáticos, lo que impide que ningún fitófago mediterráneo pueda deshacerse de ella de forma natural. El empobrecimiento de las poblaciones a las que desplaza puede alcanzar un 75%, la mayoría de las algas indígenas entran en regresión y suelen desaparecer de la zona.



Fig. 7 - Posidonia

El alga *Undaria pinatifida* también ha provocado invasiones importantes. Conocida popularmente como alga Wakame, es anual y tiene un ritmo de crecimiento desmesurado, que le lleva a alcanzar tamaños entre uno y tres metros. Además es muy prolífica, pues el número de esporas que libera puede llegar incluso a los cien millones.

Originaria de Japón, donde se cultiva para uso gastronómico (ensaladas,

sopas, guarniciones de pollo y pescado, condimento para arroces y vegetales...en el mundo se consumen anualmente 20.000 toneladas de Wakame), fue introducida de forma accidental en las costas francesas en el año 1971. Desde entonces se han producido varias invasiones, como la de Argentina en 1992, donde llegó a través de las aguas de lastre de los buques procedentes de Corea.

El alga *Laminaria asiatica* es originaria del norte de Asia. Introducida en el sur de Australia, Nueva Zelanda y costa Oeste de USA, Europa y Argentina. Crece y se extiende rápidamente de forma vegetativa y mediante de las dispersión de esporas. Desplaza las algas nativas y especies marinas. Altera el ecosistema y la cadena trófica. Puede afectar los stocks comerciales de marisco por la competición del espacio y alteración del hábitat.



Fig. 8 - Laminaria

Hay otras algas tóxicas (*Mareas rojas, pardas y verdes*) que pertenecen a varias especies y son originarias de varias zonas en que están ampliamente extendidas. Varias especies han sido transferidas a nuevas áreas con el agua de lastre de los buques. Pueden dar lugar a expansiones masivas dañinas. Según la especie que sea, pueden causar la muerte masiva

de la vida marina por eliminación del oxígeno, emisión de toxinas y/o mucus. Pueden invadir playas y zonas turísticas y de recreo. Algunas especies pueden contaminar el alimento de los cultivos de marisco y provocar su destrucción, ya que el consumo de marisco contaminado puede provocar enfermedades humanas graves e incluso la muerte.

1.2.2 DINOFLAGELADOS

Entre los polizones problemáticos que pueden introducirse con las aguas de lastre figuran también los dinoflagelados, un extenso grupo de protistas –fundamentalmente planctónicos– que pueden vivir tanto en aguas dulces como saladas. También producen potentes toxinas que, en algún caso, sí llegan a afectar a la salud humana. Estos organismos son los responsables de las mareas rojas, un fenómeno conocido desde tiempos remotos y que podría explicar el célebre relato bíblico que describe cómo las aguas del Nilo se teñían de sangre. Además, estas toxinas de los dinoflagelados se acumulan en peces y moluscos, con el consabido efecto sobre toda la cadena trófica. Por otro lado, una plaga de dinoflagelados puede provocar asimismo una disminución del oxígeno en el agua. Las plagas más peligrosas son las causadas por los géneros *Gymnodinium* y *Alexandrium*, que han afectado a las costas de Noruega y el Reino Unido. Una de estas especies, *Alexandrium minutum*, fue observada por primera vez en la costa occidental de Suecia y desde allí se extendió al mar del Norte, luego a la costa oriental de Estados Unidos y por fin a Australia y a Nueva Zelanda.

Otro dinoflagelado a tener en cuenta es *Pfiesteria piscicida*, especie descubierta en 1988 por científicos de Carolina del Norte. Existen veinticuatro formas distintas de este microorganismo, algunas de las cuales producen una serie de toxinas inocuas para el ser humano, pero asociadas a lesiones y a mortandades de una gran cantidad de peces, como la que tuvo lugar en Carolina del Norte y en la bahía de Chesapeake tras haber sido introducida en las aguas de lastre.

1.2.3 MOLUSCOS: MEJILLÓN CEBRA Y ALMEJA CHINA.

Una de sus primeras consecuencias de la invasión de polizones indeseables fue la llegada a Europa del mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) (Figura 9), un pequeño bivalvo de agua dulce –aunque también resiste aguas salobres– originario de la cuenca del mar Caspio. El mejillón cebra colonizó los muelles de Londres en los años veinte del siglo XIX, introducido por la navegación fluvial, y desde allí se extendió poco a poco por todo el continente. En 1988 fue visto por primera vez en América del Norte, en un pequeño lago de Detroit (Estados Unidos), detectándose, en esa fecha, una densidad de 200 ejemplares por metro

cuadrado; al año siguiente la densidad aumentó hasta los 4.500 individuos por metro cuadrado en dicho lago, mientras que en otro lago alcanzó la cifra de 750.000 por metro cuadrado en pocos meses (Schloesser, Nalepa & Mackie, 1996) y, desde los Grandes Lagos, ha penetrado en diversos ríos norteamericanos de tal forma que el mejillón cebra ha infestado alrededor del 40% de los canales internos, siendo necesaria una inversión de casi 1.000 millones USD en medidas de control entre 1989 y 2000.



Fig. 9 - Mejillón cebra

En el año 2001 Quercus publicó la aparición de esta especie en España, concretamente en el curso bajo del Ebro, seguramente a causa de una embarcación que traía aguas de lastre infestadas con larvas de mejillón cebra. Los primeros datos conocidos de la situación de esta especie en el Ebro, en septiembre de 2001, daban la cifra de unos 500 mejillones cebra por metro cuadrado (Altaba, Jiménez y López,

2001); al cabo de unos meses la densidad de sus poblaciones ha llegado a ser muy grave.

A pesar de su pequeño tamaño, este bivalvo provoca graves desequilibrios ecológicos porque, como es muy prolífico y se alimenta de fitoplancton, compite con ventaja frente a otras especies, cubriendo y tapizando todo el sustrato que encuentra a su paso, lecho fluvial, cantos rodados y rocas, vegetación de ribera, conchas de bivalvos, obras hidráulicas de todo tipo, turbinas, desagües, depósitos, cascos, motores y anclas de embarcaciones, embarcaderos, industrias, centrales hidroeléctricas, plantas potabilizadoras de agua, presas, azudes, acequias y canales de riego, canales de entrada y salida de centrales energéticas, etc.; e incluso llega a obstruir totalmente cañerías, tuberías, conductos de irrigación y conducciones hidráulicas.

También en la cuenca del Ebro, se ha confirmado la presencia de almeja china (*Corbicula fluminea*) en el Canal Imperial de Aragón desde el año 2006. Los ejemplares detectados tienen un tamaño en torno a dos centímetros, cuando la especie no suele pasar de cinco en los estadios de mayor desarrollo. Este molusco es susceptible de provocar graves daños ambientales cuando coloniza un ecosistema acuático, ya que pone en peligro la existencia de otras especies al alterar la cadena alimentaria. También puede dañar las infraestructuras de los sistemas de abastecimiento y distribución de agua, aunque en menor medida que el mejillón cebra. La almeja asiática prefiere las superficies limosas a las duras para instalarse, por lo que es más frecuente encontrarla en los lechos de ríos, pantanos y canales que en

infraestructuras como presas, tuberías y conductos de canales y centrales hidroeléctricas. Su ritmo de reproducción es también menor, aunque sus colonizaciones llegan a superar varios millares de ejemplares por metro cuadrado.

Recientemente se ha establecido en el Pacífico estadounidense provocando la disminución del plancton y de diferentes especies de vida planctónica como larvas de crustáceos y peces.

1.2.4 MEDUSAS, CANGREJOS Y OTROS POLIZONES

La medusa (*Mnemiopsis leidy*) es originaria de las costas occidentales del continente americano. La pesca excesiva y la contaminación han provocado el declive de sus principales depredadores, como el rodaballo, el pez azul y la foca monje. Debido a la introducción de esta medusa en el Mar Negro, donde ha alcanzado la densidad de 1kg de biomasa por m³, la pesca en la antigua Unión Soviética ha caído de manera brusca desde las 250.000 hasta las 30.000 toneladas anuales. Prácticamente lo mismo ocurrió en Turquía, donde la medusa americana ha agotado la acción autóctona del plancton hasta tal punto que ha contribuido al derrumbamiento de la industria pesquera, de tal manera que entre mediados de los ochenta y principios de los noventa se perdieron aproximadamente 300 millones de dólares en ingresos pesqueros, con graves consecuencias económicas y sociales.

Además, puede adaptarse a un rango muy amplio de condiciones ambientales y, si tenemos en cuenta que sus larvas son capaces de sobrevivir más de ochenta días en el plancton, concluiremos que es un buen colonizador.

Otro intruso reciente es la estrella de mar (*Asteiras amurensis*), originaria del Pacífico norte (China, Corea, Japón y Rusia). Tiene un diámetro de cincuenta centímetros y se reproduce con extrema rapidez, ya que las hembras adultas de mayor tamaño pueden llegar a producir hasta 19 millones de huevos entre junio y septiembre. Las larvas son capaces de permanecer más de noventa días en el agua. Se alimenta de una gran cantidad de moluscos, por lo que puede provocar graves alteraciones del ecosistema. Pese a que su área de distribución se encontraba limitado a aguas de entre 7 y 10°C, actualmente resiste hasta los 22°C.

Recientemente se ha introducido en el mar de Bering, en las costas del norte de Canadá y, sobre todo, en Tasmania, unas veces a través de las aguas de lastre y otras fijada al casco de los buques. Se cree que puede causar pérdidas cercanas a los 370 millones de dólares en la industria del mejillón y otros bivalvos, de los cuales se alimenta. Se teme que produzca

daños en ascidias y otros organismos del fondo marino, sobre los que depositan los huevos muchos peces.

La Medusa Peine Norteamericana (*Mnemiopsis leidyi*) es originaria de la costa este americana y ha sido introducida en el Mar Negro, en el Mar de Azov y en el Caspio. Se reproduce rápidamente (hembra hermafrodita auto-fertilizante) en condiciones favorables. Se alimenta de forma masiva de zooplankton agotando los stocks y alterando la cadena trófica y el ecosistema, habiendo contribuido de forma significativa en los 90 al colapso de las pesquerías del Mar Negro y del Mar de Azov, con grandes consecuencias económicas y sociales, provocando similares amenazas en el Mar Caspio.

La Pulga de agua Cladoceran (*Cercopagis pengoi*) es originaria del Mar Negro y Mar Caspio, habiendo sido introducida en el Mar Báltico. Se reproduce formando poblaciones muy numerosas que dominan las comunidades de zooplancton y obstruyen las redes de pesca con el consiguiente efecto económico asociado.

El Cangrejo Chino o *Mitten crab* ha sido introducido en Europa Occidental, Mar Báltico y costa Este de Norte América. Emprende migraciones masivas con objeto de reproducirse. Se entierra en las orillas de los ríos y diques causando erosión y sedimentos. Captura peces e invertebrados nativos, causando su extinción.



Fig. 10 - Pulga de agua



Fig. 11 - Cangrejo verde europeo



Fig. 12 - Cangrejo chino

El Cangrejo verde europeo (*Carcinus maenus*) es originario de: la Costa Atlántica Europea. Ha sido introducido: en el sur de Australia, Sudáfrica, Estados Unidos y Japón. Se adapta con facilidad. Resistente a la depredación debido a su cáscara dura. Compite con los cangrejos autóctonos a los que desplaza y se convierte en una especie dominante en las zonas invadidas. Consume y agota una amplia gama de especies de presa. Altera la zona intermareal rocosa del ecosistema

La Estrella de mar del Norte del Pacífico es originaria del Norte del Pacífico y ha sido introducida en el sur de Australia. Se reproduce en gran número alcanzando rápidamente

proporciones de plaga en los ecosistemas que invade. Se alimenta de marisco de gran valor comercial como vieiras, ostras y almejas.

1.2.5 PECES AGRESIVOS

El gobio redondo (*Neogobius melanostomus*), proviene de las cuencas del Caspio y del Mar Negro y fue introducido accidentalmente, en primer lugar, en el Báltico y en los humedales del Este de Europa. Los gobios son peces extremadamente agresivos que compiten fieramente con otras especies por los lugares más apropiados para desovar.

También tienen un sistema sensorial muy desarrollado que les permite detectar cualquier movimiento en el agua, lo que supone una gran ventaja pues pueden alimentarse en aguas turbias o sumidos en una total oscuridad. Este depredador de 12 cm de longitud, devora los huevos y las crías de cualquier otra especie presente en su hábitat, como: la perca, el lucio o la lubina. Al igual que otras especies invasoras, el gobio redondo cuenta con una enorme capacidad de reproducción y las hembras llegan a producir 5.000 huevos en los meses de verano. Su introducción accidental en los Grandes Lagos en 1990 ha supuesto un grave problema medioambiental, económico y social, especialmente en los puertos del área Duluth-Superior, donde apareció en 1995 causando enormes daños a la pesca y gigantescas pérdidas económicas.

1.2.6 ORGANISMOS ESPECIFICAMENTE PATÓGENOS PARA LA SALUD HUMANA

En el terreno de la salud humana, un grave problema es el causado por la bacteria *Vibrio Cholerae*, responsable de la enfermedad del cólera. Esta bacteria produce una enterotoxina que origina diarreas, vómitos y una fuerte deshidratación, capaz de provocar incluso la muerte si no se aplica rápidamente el tratamiento adecuado. Sin embargo, la mayor parte de los individuos infectados por el cólera no presentan síntomas de ningún tipo, aunque la bacteria puede permanecer en las heces por un período de tiempo que oscila entre los siete y los catorce días. Sólo un 10% desarrollan la enfermedad y padecen los típicos síntomas de deshidratación. El cólera causa unas 120.000 muertes al año y en África hay 79 millones de personas que corren el riesgo de padecerlo. La bacteria puede sobrevivir en el agua durante largos periodos de tiempo, incluso cincuenta días cuando se asocia con algas o crustáceos marinos, lo que la convierte en una buena candidata para su transporte en aguas de lastre. Entre 1991 y 1992 se localizó la presencia de *Vibrio Cholerae* en el agua de lastre de cinco cargueros atracados en Estados Unidos, concretamente en el golfo de México.

Y algunas epidemias de cólera parecen directamente asociadas con el agua de lastre. Como ejemplo se puede citar la epidemia que apareció simultáneamente en tres puertos distanciados entre sí en Perú en 1991, extendiéndose después a lo largo de Sudamérica, habiendo afectado a más de un millón de personas y causando la muerte de unas diez mil en 1994. Esta variedad había sido detectada previamente sólo en Bangladesh. Actualmente también se hacen controles en Australia para evitar la introducción accidental de esta peligrosa bacteria.

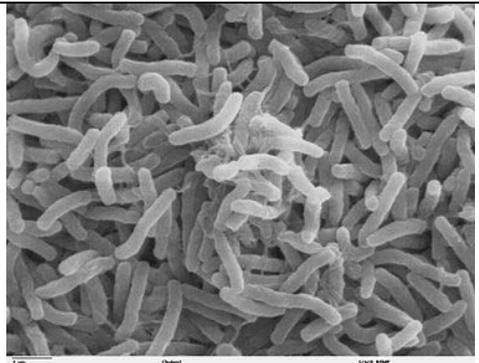


Fig. 13 – Bacilo del cólera

Otros organismos patógenos habituales en las aguas de lastre son el *Escherichia coli*, el *Clostridium perfringens*, diversas especies de *Salmonella* y *enterovirus*.

1.3 Gravedad del problema

Como bien sabemos, la cantidad transportada de agua de lastre es enorme en cierto tipo de buques como son los buques tanque para transporte de hidrocarburos y los buques gaseros, los graneleros

o bulkcarriers para transporte de mineral o grano y los buques portacontenedores. Consecuentemente, transportan consigo una gran cantidad de organismos diversos, a veces diminutos o microscópicos que, como vimos, pueden ser patógenos. Pero con frecuencia, los organismos transportados pueden ser seres de mayor tamaño en estado de esporas de plantas acuáticas, larvas de diversos tipos de crustáceos, bivalvos, e incluso peces.

La Tabla 1 indica los grandes volúmenes de agua de lastre que transportan los buques, consideremos los diferentes tipos y tamaños:

TIPO DE BUQUE	Peso muerto (T)	AGUA LASTRE (T)		Porcentaje del PM (%)
		Lastre ligero	L. mal tiempo	
Granelero	250.000	75.000	125.000	30-50
“	150.000	45.000	67.000	30-45
“	70.000	25.000	40.000	36-57
“	35.000	10.000	17.000	30-49
Petrolero	250.000	100.000	120.000	40-48
“	100.000	40.000	45.000	40-45
“	80.000	30.000	34.000	38-42
“	40.000	12.000	15.000	30-38
Contenedores	40.000	12.000	15.000	30-38
“	15.000	5.000	Diverso	33 o más
Carga general	17.000	6.000	Diverso	35 o más
“	8.000	3.000	Diverso	37 o más
Pasaje Ro-ro	3.000	1.000	Diverso	33 o más



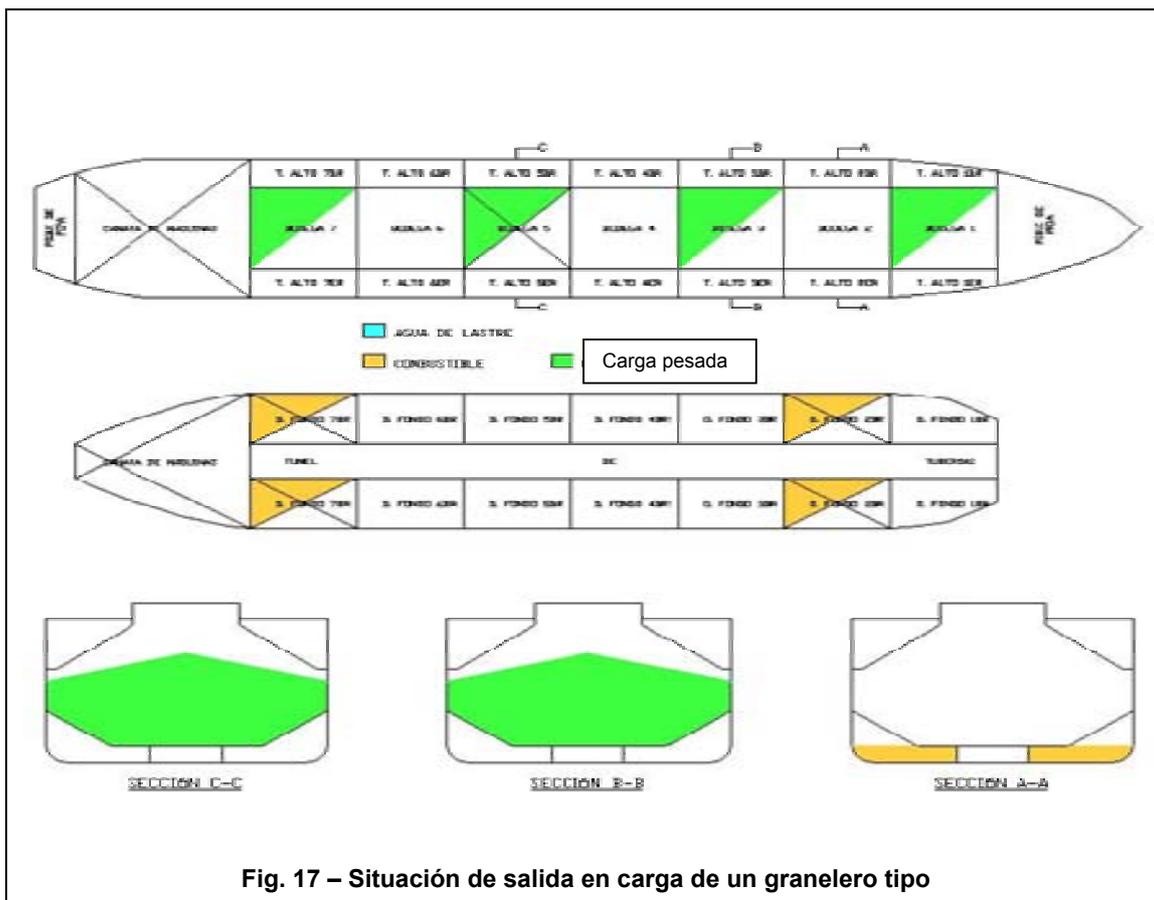
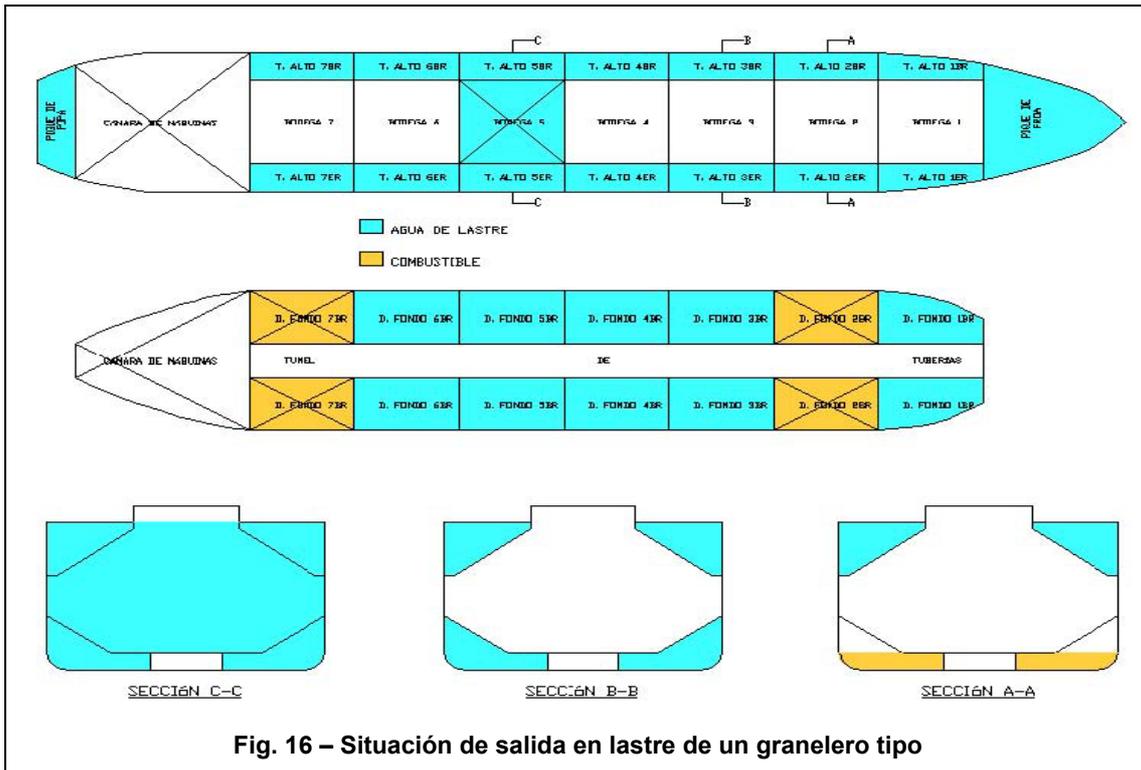
Fig. 14 – Granelero autodescargante



Fig. 15 - Petrolero

La contaminación producida por este tipo buques es fundamentalmente contaminación de tipo biológico, producida por el agua de lastre transportada, al ser descargada en los puertos de carga.

En la Figura 16 podemos apreciar la situación de salida en lastre de un granelero tipo de siete bodegas, hacia un puerto de carga. Cuando el buque se encuentra en el puerto de carga, vacía toda el agua de lastre que lleva, al mismo tiempo que inicia las operaciones de carga en las bodegas centrales que son las de carga. La descarga en el puerto del agua de lastre da lugar a fenómenos de contaminación biológica provocada por los microorganismos y otros seres vivos presentes en el agua y traídos de otras zonas.



En la Figura 17 vemos una de las posibles situaciones de carga en las que el buque sale de puerto. En este caso se trata de una carga pesada, debido a lo cual se transporta en bodegas alternas.

Antes de 1870 se solía utilizar lastre sólido pero a partir de entonces, con el paulatino aumento del número y del tamaño de buques construidos en acero, se hizo habitual el empleo de agua, normalmente salada, como lastre, incrementándose el problema del trasiego de organismos de un sitio para otro paralelamente al ingente incremento del volumen de mercancías transportadas por mar. Lógicamente, el problema es mayor en las zonas y países exportadores de cantidades masivas de carga, a cuyos puertos arriban los buques con volúmenes importantes de agua de lastre, especialmente si son buques petroleros y buques de carga a granel como hemos visto; agua que es descargada en los canales de acceso y en los puertos de estos países.

La probabilidad de que una especie introducida se asiente en nuevas regiones y cree problemas, aparte de sus características y del número de individuos inmigrantes, depende de varios factores tales como son las condiciones ambientales, el clima, los competidores nativos y la disponibilidad de alimento. Por supuesto que las especies se asentarán con mayor probabilidad si las condiciones son similares a las de su ubicación habitual de origen.

Los estudios realizados indican que, por lo normal, menos del 3% de las especies transportadas llegan a establecerse en las nuevas regiones, pero tan sólo una especie de organismos depredadores que se asiente puede dañar gravemente al sistema local.

Se ha observado que los organismos que se asientan no tienen que ser necesariamente plagas dañinas pero, sin embargo, pueden causar daños severos en su nuevo asentamiento. Algunos invasores han afectado en muchos lugares la flora y la fauna natural compitiendo por el alimento, por el hábitat y por otros recursos. La peor consecuencia ecológica es el desplazamiento de una especie nativa por un invasor exótico. Esto puede provocar no sólo la extinción de esa especie, sino también la de otros organismos que aunque sean especies diferentes, dependen de la anterior. Como resultado, la cadena trófica puede ser seriamente trastocada debido a la invasión de una sola especie extraña.

Parece que las primeras sospechas de la importancia del problema de la introducción de especies no deseadas datan de un estudio realizado en 1908, en el que se constató una masiva aparición del alga fitoplanctónica asiática (*Odontella, bidulpphia sinensis*) en el Mar del Norte desde 1903. Varias décadas después, científicos alemanes, como consecuencia de un estudio de muestras de la flora y de la fauna del Canal de Suez, realizadas a lo largo de un viaje en barco, llegaron a la conclusión de que varios tipos de especies podían

sobrevivir a las operaciones de bombeo del agua hasta los tanques del buque y mantenerse vivas durante viajes de larga duración.

Pero estudios sistemáticos de la contribución del agua de lastre que se transporta en los barcos a la introducción de especies no deseadas no se realizaron hasta pasados los años 70: Medcof (1975), Carlton (1985, 1987), Hallegraeff & Bolch (1991), Subba Rao y otros (1994). En 1980, Rosenthal revisó los conocimientos existentes y los riesgos asociados a la introducción de especies exógenas en las pesquerías y plantas de acuicultura, empleando como vector de introducción el agua de lastre de los buques.

En el estudio llega a la conclusión de que el desarrollo de la acuicultura moderna en las zonas costeras está expuesto a un alto riesgo de trasiego de enfermedades, debido a las aguas de lastre, en el caso de que las instalaciones de acuicultura y los caladeros pesqueros estén situados cerca de las rutas de navegación. El problema se agrava con el crecimiento a nivel mundial de la acuicultura y sus infraestructuras, haciendo inútiles posiblemente en muchas áreas las reglamentaciones que se establezcan con relación a la limitación de enfermedades de los peces.

La gravedad del problema es que, a diferencia de lo ocurrido con los derrames de hidrocarburos y otras contaminaciones marinas causadas por el tráfico marítimo, las especies y organismos marinos exóticos transferidos no pueden ser limpiados mediante medios físicos artificiales, ni absorbidos o eliminados de forma natural por los océanos. Una vez asentados son casi imposibles de erradicar y pueden causar daños muy graves.

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), Río de Janeiro, 1992, calificó este asunto como merecedor de la mayor preocupación internacional e instó a los Estados a evaluar la necesidad de tomar medidas para evitar la degradación del medio marino debido a la navegación, incluyendo la *“la posibilidad de adoptar normas adecuadas sobre la descarga del agua de lastre con el fin de impedir la propagación de organismos foráneos”*.

El Programa 21 adoptado por la CNUMAD abordaba los problemas acuciantes entonces y trataba de preparar el mundo para los desafíos del siglo siguiente, en el que estamos. Reflejaba un consenso mundial y un compromiso político al más alto nivel sobre el desarrollo y la cooperación en la esfera del medio ambiente y, así, el título del capítulo 17 del Programa 21 se refiere a la *“Protección de los océanos y de los mares de todo tipo, incluidos los mares cerrados y semicerrados, y de las zonas costeras, y protección, utilización racional y desarrollo de sus recursos vivos”*.

Realmente, los trabajos y discusiones sobre el tema en el seno de la OMI ya habían comenzado en la Conferencia Internacional sobre la Contaminación Marina celebrada en

1973, en que se adoptó la Resolución 18: *Investigación del efecto de la descarga del agua de lastre que contiene bacterias de enfermedades epidémicas.*

Siguiendo con el tema, en octubre de 1992, el CPMM (Comité de Protección del Medioambiente Marítimo de la OMI) creó un Grupo de Trabajo para examinar los documentos presentados por Australia sobre el asunto de la invasión de especies acuáticas foráneas, refrendando una propuesta para establecer, asimismo, otro grupo intersectorial que realizaría un estudio específico sobre las aguas de lastre, examinando hasta que punto se estaban aplicando unas directrices establecidas en 1991 con relación a este tema. Este último Grupo incluía a Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, Nueva Zelanda y Japón, con Australia como país líder.

En 1993 se realizó una encuesta en cuyas conclusiones, basadas en las respuestas de 13 países, se cita: *“La introducción de organismos exóticos tiene un efecto económico importante en el medio marino, en la acuicultura y en otras actividades económicas en ciertos países. En algunos casos se han cerrado varias veces criaderos acuícolas en los dos últimos años... Esto ha producido pérdidas financieras al sector a las personas que trabajan en él y en última instancia a la economía nacional... Todo el sector marisquero de Nueva Zelanda quedó cerrado al mercado interno y a los mercados de exportación a causa del brote de algas tóxicas que se produjo en las aguas marinas de este país”*

El informe hace también la observación de que las especies foráneas, una vez asentadas, pueden extenderse rápidamente: *“Invariablemente, una vez que una especie se establece, es imposible eliminarla, y la contención del organismo puede resultar muy costosa, como lo demuestra la experiencia de Canadá y de los Estados Unidos con el mejillón cebra de los Grandes Lagos, cuya introducción habría significado, ya en el año 2000, para esos países, un coste de unos 5000 millones de dólares”.*

Destaca también el informe la rápida propagación del alga marina japonesa *Undaria pinnatifida* a lo largo de la costa oriental de Tasmania, con un efecto desastroso en la comercialización de la *oreja marina* y la amenaza, además, de los criaderos de ostras y mejillones.

Pese a éstos y a otros ejemplos, el informe indica que: *“todavía no se entiende bien la gravedad del problema del agua de lastre”* y que las directrices al efecto adoptadas en 1991 no se habían implantado en su debida amplitud

Recomienda dos medidas:

1. *“procurar que las Directrices sobre el agua de lastre sean aplicadas por el mayor número posible de Estados Miembro”* y

2. *“proseguir con las investigaciones sobre prácticas de manejo y procesos de tratamiento del agua de lastre”.*

El principal resultado de los debates sobre dicho informe fue la adopción por la Asamblea de la OMI en noviembre de 1993 de la Resolución A.774 (18) sobre las *“Directrices internacionales para impedir la introducción de organismos acuáticos y agentes patógenos indeseados que pueda haber en el agua de lastre y los sedimentos descargados por los buques”*, basada en las directrices, anteriores, adoptadas en 1991.

Al adoptar tales directrices como Resolución de la Asamblea, cobraron mayor importancia que al estar contenidas en una simple resolución del CPMM.

Se pedía además, al CPMM y al Comité de Seguridad Marítima (CSM), que se mantuvieran las Directrices en estudio *“con miras a seguir desarrollándolas como base para un nuevo anexo al MARPOL 73/78”* o que, en otras palabras, se formularan disposiciones de obligado cumplimiento, aplicables internacionalmente, como parte del Convenio MARPOL 73/78.

Desde 1993, el Grupo ha estado trabajando para redactar un *proyecto de reglas*. Sus intervenciones han constituido un tópico habitual de las sesiones del CPMM y ha existido una participación cada vez mayor tanto por parte de organismos no gubernamentales como de diferentes países que han ido adquiriendo una mayor concienciación del problema.

En marzo de 1997, el CPMM aprobó una nueva versión actualizada de las mencionadas Directrices de 1993, que fue adoptada en el 20º período de sesiones de la Asamblea de la OMI en noviembre de 1997 como *Resolución A.868(20), “Directrices para el control y la gestión del agua de lastre de los buques a fin de reducir al mínimo la transferencia de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos”*.

Estas directrices revisadas incorporan nuevas recomendaciones, entre ellas, la forma de reducir las posibilidades de tomar a bordo, con el agua de lastre, organismos perjudiciales.

Se recomienda *informar a los agentes locales de los buques acerca de las zonas o situaciones en que debe minimizarse la carga de agua de lastre*, tales como son las zonas en que se conoce la existencia de agentes patógenos y las zonas cerca de las descargas de aguas residuales. Los buques deberían además tener la precaución de no tomar agua de lastre en aguas poco profundas o en zonas en que las hélices puedan agitar los sedimentos. Igualmente, deberían evitarse descargas innecesarias de agua de lastre.

Entre los procedimientos para la gestión del agua de lastre se incluye el cambio de agua de lastre en alta mar, en zonas de aguas profundas, ya sea: 1) *vaciando los tanques y llenándolos de nuevo*; 2) *procediendo a un trasvase continuo de agua de lastre por la*

impulsión del agua hacia los tanques, por medio de las bombas de lastre, y dejándolos ir rebosando durante el tiempo estimado necesario para conseguir prácticamente el total remplazamiento del lastre transportado. Como tercera alternativa, el lastre se mantendría a bordo para ser descargado en instalaciones de recepción y tratamiento especiales que los Estados Rectores de los Puertos deberían disponer ex profeso. Se indicaba también que, en el futuro, podrían ser aceptadas otras medidas por los Estados Rectores de los Puertos, como son el tratamiento por calor y por rayos UV.

En todo caso, la seguridad de los buques es la consideración principal, no estando éstos obligados a realizar cambios del agua de lastre en medio del océano si ello resultara peligroso, ya que el cambio de agua de lastre, máxime en alta mar y durante la navegación, puede ser una operación arriesgada. Además, estas operaciones tendrían que hacerse en aguas profundas lo más lejos posible de la costa y, tal como prevé la Resolución A.868 (20), cuando ello no pudiera ser, regirían prescripciones elaboradas en el marco de acuerdos regionales, concretamente en las áreas situadas en las ZEE, es decir, a menos de 200 millas de la costa.

2 CONVENIO INTERNACIONAL PARA EL CONTROL Y LA GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE Y LOS SEDIMENTOS DE LOS BUQUES

En la Conferencia de la Organización Marítima Internacional celebrada en Londres (9-13 febrero 2004) se aprobó el *Convenio para el Control y la Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos de los Buques*. Consiste en 22 Artículos que comprenden:

1. *Definiciones*
2. *Obligaciones de carácter general*
3. *Ámbito de aplicación*
4. *Control de la transferencia de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos por el agua de lastre y los sedimentos de los buques*
5. *Instalaciones para la recepción de sedimentos*
6. *Investigación científica y técnica y labor de vigilancia*
7. *Reconocimiento y certificación*
8. *Infracciones*
9. *Inspección de buques*
10. *Detección de infracciones y control de buques*
11. *Notificación de las medidas de control*
12. *Demoras innecesarias causadas a los buques*
13. *Asistencia técnica, cooperación y cooperación regional*
14. *Comunicación de información*
15. *Solución de controversias*
16. *Relaciones con la Derecho Internacional y con otros acuerdos*
17. *Firma, ratificación, aceptación, aprobación y adhesión*
18. *Entrada en vigor*
19. *Enmiendas*
20. *Denuncia del Convenio*
21. *Depositario del Convenio*

22. Idiomas

Hay además un Anexo técnico que consta 5 Secciones, de la A a la E, que contienen en conjunto veinticuatro (24) Reglas, tal como se resume en la Tabla 2 que sigue:

TABLA 2 - Anexo al convenio internacional para el control y gestión del agua de lastre y sedimentos en los buques (convenio BWM).	
Objetivos:	<i>Prevención, reducción y, finalmente, eliminación de la transferencia de organismos acuáticos patógenos y dañinos mediante la aplicación de las adecuadas reglas sobre la gestión y descarga del agua de lastre y sus sedimentos.</i>
SECCIÓN	REGLAS
A - Disposiciones generales	<i>A-1. Definiciones A-2. Aplicación general A-3. Excepciones A-4. Exenciones A-5. Cumplimiento equivalente</i>
B - Prescripciones de gestión y control aplicables a los buques	<i>B-1. Plan de gestión del agua de lastre B-2. Libro registro del agua de lastre B-3. Gestión del agua de lastre para buques B-4. Cambio del agua de lastre B-5. Gestión de los sedimentos de los buques B-6. Funciones de los oficiales y tripulantes</i>
C – Prescripciones especiales para ciertas zonas	<i>C-1. Medidas adicionales C-2.- Avisos sobre la toma de agua de lastre en ciertas zonas y medidas conexas del Estado de abanderamiento C-3.- Comunicación de información</i>
D - Normas para la Gestión del agua de lastre	<i>D-1.- Norma para el cambio del agua de lastre D-2.- Norma de eficacia de la gestión del agua de lastre D-3.- Prescripciones relativas a la aprobación de los sistemas de gestión del agua de lastre D-4.- Prototipos de tecnologías de tratamiento del agua de lastre D-5.- Examen de normas por parte de la Organización (OMI)</i>
E - Prescripciones sobre reconocimiento y certificación para la gestión del agua de lastre	<i>E-1.- Reconocimientos E-2.- Expedición o refrendo del Certificado E-3.- Expedición del Certificado por otra parte del Convenio E-4.- Modelo del Certificado E-5.- Duración y validez del Certificado</i>
Apéndice I	<i>Modelo del Certificado Internacional de gestión de agua de lastre</i>
Apéndice II	<i>Modelo del libro de registro del agua de lastre</i>
Aplicación:	<i>Todos los buques (nuevos y existentes) abanderados en cualquier país perteneciente a la OMI</i>
Excepciones:	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Buques que operen solamente en las aguas de su país de bandera</i> • <i>Buques con lastre permanente que no tengan que descargarlo</i> • <i>Buques de guerra</i>

Se consideró conveniente, a fin de facilitar una mejor comprensión de este trabajo, incluir de forma íntegra las definiciones en español a las que se refiere el Artículo 1 del Convenio y también las definiciones a las que se refiere la Regla A-1 citada en la tabla anterior.

2.1 Artículo 1 - Definiciones

Salvo indicación expresa en otro sentido, a los efectos del presente Convenio regirán las siguientes definiciones:

1.- "*Administración*": el Gobierno del Estado bajo cuya autoridad opere el buque. Respecto de un buque con derecho a enarbolar el pabellón de un Estado, la Administración es el Gobierno de ese Estado. Respecto de las plataformas flotantes dedicadas a la exploración y explotación del lecho marino y su subsuelo adyacente a la costa sobre la que el Estado ribereño ejerza derechos soberanos a efectos de exploración y explotación de sus recursos naturales, incluidas las unidades flotantes de almacenamiento (UFA) y las unidades flotantes de producción, almacenamiento y descarga (unidades FPAD), la Administración es el Gobierno del Estado ribereño en cuestión.

2.- "*Agua de lastre*": el agua, con las materias en suspensión que contenga, cargada a bordo de un buque para controlar el asiento, la escora, el calado, la estabilidad y los esfuerzos del buque.

3.- "*Gestión del agua de lastre*": procedimientos mecánicos, físicos, químicos o biológicos, ya sean 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.

4.- "*Certificado*": el Certificado internacional de gestión del agua de lastre.

5.- "*Comité*": el Comité de Protección del Medio Marino de la Organización.

6.- "*Convenio*": el Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques.

7.- "*Arqueo bruto*": el arqueo bruto calculado de acuerdo con las reglas para la determinación del arqueo recogidas en el Anexo I del Convenio internacional sobre arqueo de buques, 1969, o en cualquier convenio que suceda a éste.

8.- "*Organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos*": los organismos acuáticos y agentes patógenos cuya introducción en el mar, incluidos los estuarios, o en cursos de agua dulce pueda ocasionar riesgos para el medio ambiente, la salud de los seres humanos, los bienes o los recursos, deteriorar la diversidad biológica o entorpecer otros usos legítimos de tales zonas.

- 9.- "*Organización*": la Organización Marítima Internacional.
- 10.- "*Secretario General*": el Secretario General de la Organización.
- 11.- "*Sedimentos*": las materias que se depositen en el buque procedentes del agua de lastre.
- 12.- "*Buque*": toda nave, del tipo que sea, que opere en el medio acuático, incluidos los sumergibles, los artefactos flotantes, las plataformas flotantes, las UFA y las unidades FPAD.

2.2 Anexo. Regla A-1 - Definiciones

- 1.- Por "*fecha de vencimiento anual*" se entiende el día y el mes de cada año correspondientes a la fecha de expiración del Certificado.
- 2.- Por "*capacidad de agua de lastre*" se entiende la capacidad volumétrica total de todo tanque, espacio o compartimiento de un buque que se utilice para el transporte, la carga o descarga del agua de lastre, incluido cualquier tanque, espacio o compartimiento multiusos proyectado para poder transportar agua de lastre.
- 3.- Por "*compañía*" se entiende el propietario del buque o cualquier otra organización o persona, tal como el gestor naval o el arrendatario a casco desnudo, que haya asumido la responsabilidad del propietario del buque de su funcionamiento y que, al asumir tal responsabilidad, haya acordado asumir todas las funciones y responsabilidades impuestas por el Código Internacional de Gestión de la Seguridad.
- 4.- Por "*construido*" con referencia a un buque se entiende una fase de construcción en la que: .1, la quilla ha sido colocada; o.2, comienza la construcción que puede identificarse como propia de un buque concreto; o.3, ha comenzado, respecto del buque de que se trate, el montaje que supone la utilización de cuando menos 50 toneladas del total estimado de material estructural o un uno por ciento de dicho total, si este segundo valor es menor; o.4, el buque es objeto de una transformación importante.
- 5.- Por "*transformación importante*" se entiende la transformación de un buque que: .1, modifica su capacidad de transporte de agua de lastre en un porcentaje igual o superior al 15%; o .2, supone un cambio del tipo de buque; o.3, a juicio de la administración, está destinada a prolongar la vida del buque en diez años o más; o.4, tiene como resultado modificaciones de su sistema de agua de lastre no consistentes en una sustitución de componentes por otros del mismo tipo. No se considerará que la transformación de un buque existente para que cumpla las disposiciones de la regla D-1 constituye una transformación importante a efectos del presente anexo.

6.- Por la expresión "*de la tierra más próxima*" se entiende desde la línea de base a partir de la cual queda establecido el mar territorial del territorio de que se trate de conformidad con el derecho internacional, con la salvedad de que, a los efectos del presente Convenio, a lo largo de la costa nordeste de Australia, "*de la tierra más próxima*" significará desde una línea trazada a partir de un punto de la costa australiana situado en latitud 11°00' S, longitud 142°08' E, hasta un punto de latitud 10°35' S, longitud 141°55' E, desde allí a un punto en latitud 10°00' S, longitud 142°00' E, y luego sucesivamente a latitud 9°10' S, longitud 143°52' E latitud 9°00' S, longitud 144°30' E latitud 10°41' S, longitud 145°00' E latitud 13°00' S, longitud 145°00' E latitud 15°00' S, longitud 146°00' E latitud 17°30' S, longitud 147°00' E latitud 21°00' S, longitud 152°55' E latitud 24°30' S, longitud 154°00' E y finalmente, desde esta posición hasta un punto de la costa de Australia en latitud 24°42' S, longitud 153°15' E.

7.- Por "*sustancia activa*" se entiende una sustancia u organismo, incluido un virus o un hongo, que ejerza una acción general o específica contra los organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos.

Igualmente, se consideró interesante incluir lo expresado en **Regla A-2, Aplicación general**, citada antes: *Salvo indicación expresa en otro sentido, la descarga del agua de lastre sólo se realizará mediante la gestión del agua de lastre, de conformidad con las disposiciones del presente anexo.*

El *Convenio para Control y Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos de los Buques* es un convenio independiente para la gestión del agua de lastre y no se trata de un anexo al Convenio MARPOL.

El punto clave de este convenio es el control de la transferencia de sedimentos y agua de lastre que contienen organismos acuáticos dañinos o patógenos. Los métodos de intercambio de lastre están indicados en la *Regla D-1*, y las normas relacionadas con la calidad del agua de lastre que deben cumplirse están indicadas en la *Regla D-2* del Convenio.

2.3 Anexo. Regla D-1 - Norma para el cambio del agua de lastre

1. Los buques que efectúen el cambio del agua de lastre de conformidad con la presente regla lo harán con una eficacia del 95%, como mínimo, de cambio volumétrico del agua de lastre.

2. En el caso de los buques que cambien el agua de lastre siguiendo el método del flujo continuo, el bombeo de tres veces el volumen de cada tanque de agua de lastre se considerará conforme a la norma descrita en el párrafo 1. No obstante, se podrá aceptar un

bombeo inferior a tres veces ese volumen siempre y cuando el buque pueda demostrar que se ha alcanzado el 95% de cambio volumétrico del agua de lastre.

2.4 Anexo. Regla D-2 - Norma de eficacia de la gestión del agua de lastre

1. Los buques que efectúen la gestión del agua de lastre conforme a lo dispuesto en la presente regla descargarán menos de 10 organismos viables por metro cúbico, cuyo tamaño mínimo sea igual o superior a 50 micras y menos de 10 organismos viables por mililitro cuyo tamaño mínimo sea inferior a 50 micras y superior a 10 micras; y la descarga de los microbios indicadores no excederá de las concentraciones especificadas en el párrafo 2.

2. Los microbios indicadores, a efectos de la salud de los seres humanos, comprenderán los siguientes organismos:

- a. *Vibrio cholerae* toxicógeno (O1 y O139): menos de 1 unidad formadora de colonias (ufc) por 100 mililitros o menos de 1 ufc por gramo (peso húmedo) de muestras de zooplancton;
- b. *Escherichia coli*: menos de 250 ufc por 100 mililitros;
- c. *Enterococos intestinales*: menos de 100 ufc por 100 mililitros.

Asimismo, se han desarrollado 14 directrices como un apéndice al Convenio. Debido a la complejidad y naturaleza multidisciplinar del problema creado por las especies acuáticas invasoras, transportadas en el agua de lastre, y con objeto de facilitar una implantación global y uniforme del Convenio, se han desarrollado y adaptado las siguientes directrices (*Guidelines*) que son revisadas y actualizadas bajo los auspicios del Comité de Protección del Medio Ambiente Marino (MEPC) de la OMI, a medida que vayan surgiendo nuevas tecnologías y se vaya disponiendo de nuevos conocimientos al respecto:

G1.- Directrices para las instalaciones de recepción de sedimentos (resolución MEPC.152(55)).

G2.- Directrices para toma de muestras del agua de lastre (resolución MEPC.173(58))

G3.- Directrices para cumplimentación equivalente a la gestión del agua de lastre (resolución MEPC.123(53))

G4.- Directrices para planes de gestión del agua de lastre y para el desarrollo de planes de gestión del agua de lastre (resolución MEPC.127(53))

G5.- Directrices para las instalaciones de recepción de agua de lastre (resolución MEPC.153(55))

G6.- Directrices para el cambio de agua de lastre (resolución MEPC.124(53))

G7.- Directrices para evaluación del riesgo con respecto a la regla A-4 del Convenio (resolución MEPC.162(56))

G8.- Directrices para la aprobación de sistemas de gestión del agua de lastre (resolución MEPC.174(58))

G9.- Procedimiento para aprobación de sistemas de gestión del agua de lastre que hagan uso de Sustancias Activas (resolución MEPC.169(57))

G10.- Directrices para aprobación e inspección de programas prototipo de tecnología de tratamiento del agua de lastre (resolución MEPC.140(54))

G11.- Directrices para el diseño y normas de construcción del sistema de cambio de agua de lastre (resolución MEPC.149(55))

G12.- Directrices sobre el diseño y la construcción a fin de facilitar el control de los sedimentos de los buques (resolución MEPC.150(55))

G13.- Directrices para medidas adicionales con relación a la gestión del agua de lastre incluyendo situaciones de emergencia (resolución MEPC.161(56))

G14.- Directrices para la designación de zonas para el cambio de agua de lastre (resolución MEPC.151(55))

Directriz adicional.- Directrices el cambio de agua de lastre en la zona del tratado del Antártico (resolución MEPC.163(56))

2.5 Fechas de aplicación

La fecha de aplicación del Convenio se decide según la fecha de construcción del buque y de la cantidad de lastre que contiene ese buque. Si el convenio entra en vigor y si el buque controla la descarga del agua de lastre de acuerdo con la Regla D-1 o con la Regla D-2, cumplirá con las disposiciones del Convenio.

Por otra parte, será necesario que los sistemas de control del agua de lastre cumplan con la Regla D-2. La Regla D-2 especifica la cantidad (concentración) de organismos marinos o microbios permitidos en el agua de lastre descargada, tal como se vio antes.

2.6 Condiciones para la entrada en vigor del Convenio

El Artículo 18 del Convenio establece que *“Este Convenio entrará en vigor doce meses después de la fecha en que por lo menos treinta Estados, cuyas flotas mercantes*

combinadas representen no menos del treinta y cinco por ciento del tonelaje bruto de la marina mercante mundial, lo hayan ratificado.”

A 3 de junio de 2013, 36 países habían ratificado el Convenio, y las flotas mercantes combinadas de estos países habían alcanzado el 29,06 % del tonelaje bruto de la marina mercante mundial. Entre otros países el Convenio había sido ratificado por Brasil, Canadá, Corea, Croacia, Egipto, España, Francia, Holanda, Irán, Líbano, Liberia, Malasia, México, Nigeria, Noruega, Suecia, Sudáfrica, Trinidad y Tobago.

Aunque es difícil predecir exactamente cuándo entrará en vigor el Convenio, el tipo y número de sistemas de tratamiento del agua ofrecido por los fabricantes es ya considerable. Por ello, es muy probable que se satisfagan pronto los requerimientos establecidos (llegar a un porcentaje de tonelaje de flota, correspondiente a los países ratificantes del Convenio, del 35%).

2.7 Aplicación del Convenio

El Convenio se aplicará a los buques con derecho a enarbolar el pabellón de los países Partes del Convenio.

En las disposiciones del Convenio no existen concesiones.

Por consiguiente, se aplicará a todos los buques registrados en los países Partes del Convenio, excepto que, en principio, no será exigible su aplicación a los tipos de buques siguientes:

- 1) Los buques no proyectados o contruidos para llevar agua de lastre y buques que sólo lleven agua de lastre permanente (que no se descargue) en tanques precintados.
- 2) Los buques de un país parte del Convenio que operen únicamente en aguas bajo la jurisdicción de esa Parte, o buques que operen únicamente en aguas bajo la jurisdicción de otra Parte.
- 3) Los buques que operen únicamente en aguas bajo la jurisdicción de esa Parte en alta mar.
- 4) Los buques de guerra.

2.8 Fechas de aplicación de la Norma de Eficacia del Agua de Lastre

1. Los buques contruidos antes de 2009 con una capacidad de agua de lastre comprendida entre 1 500 y 5 000 metros cúbicos, inclusive, habrán de llevar a cabo una gestión del agua de lastre que cumpla como mínimo la norma descrita en la regla D-1 o

bien en la regla D-2 hasta 2014, fecha después de la cual habrán de cumplir como mínimo la norma descrita en la regla D-2;

2. Los buques construidos antes de 2009 con una capacidad de agua de lastre inferior a 1.500 metros cúbicos o superior a 5.000, habrán de llevar a cabo una gestión del agua de lastre que cumpla como mínimo la norma descrita en la regla D-1 o bien en la regla D-2 hasta 2016, fecha después de la cual habrán de cumplir como mínimo la norma descrita en la regla D-2.

Los buques a los que se aplique el párrafo 1 cumplirán lo dispuesto en el mismo a más tardar en el primer reconocimiento intermedio, o de renovación, si éste es anterior, tras la fecha de aniversario de la entrega del buque en el año de cumplimiento de la norma aplicable a dicho buque.

3. Los buques construidos en 2009 o posteriormente, que tengan una capacidad de agua de lastre inferior a 5.000 metros cúbicos, habrán de llevar a cabo una gestión del agua de lastre que cumpla como mínimo la norma descrita en la regla D-2.
4. Los buques construidos en 2009 o posteriormente, pero antes de 2012, que tengan una capacidad de agua de lastre igual o superior a 5.000 metros cúbicos habrán de llevar a cabo una gestión del agua de lastre de conformidad con lo dispuesto en el párrafo 2.
5. Los buques construidos en 2012 o posteriormente, que tengan una capacidad de agua de lastre igual o superior a 5.000 metros cúbicos, habrán de llevar a cabo una gestión del agua de lastre que cumpla como mínimo la norma descrita en la regla D-2

TABLA 3 – FECHAS DE APLICACIÓN DEL CONVENIO							
Fecha de construcción	Capacidad de lastre (m3)	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Antes de 2009	≤ 1500	D1/D2	D1/D2	D1/D2	D2	D2	D2
	1500-5000	D1/D2	D2	D2	D2	D2	D2
	≥5000	D1/D2	D1/D2	D1/D2	D2	D2	D2
2009 a 2011	≤ 1500	D2	D2	D2	D2	D2	D2
	1500-5000	D2	D2	D2	D2	D2	D2
	≥5000	D1/D2	D1/D2	D1/D2	D2	D2	D2
2012 en adelante	≤ 1500	D2	D2	D2	D2	D2	D2
	1500-5000	D2	D2	D2	D2	D2	D2
	≥5000	D2	D2	D2	D2	D2	D2

A 3 de junio del 2013 el Convenio aun no había entrado en vigor con carácter universal ver punto 2.6 , en donde se hace referencia al estatus en dicha fecha

3 TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA DE LASTRE

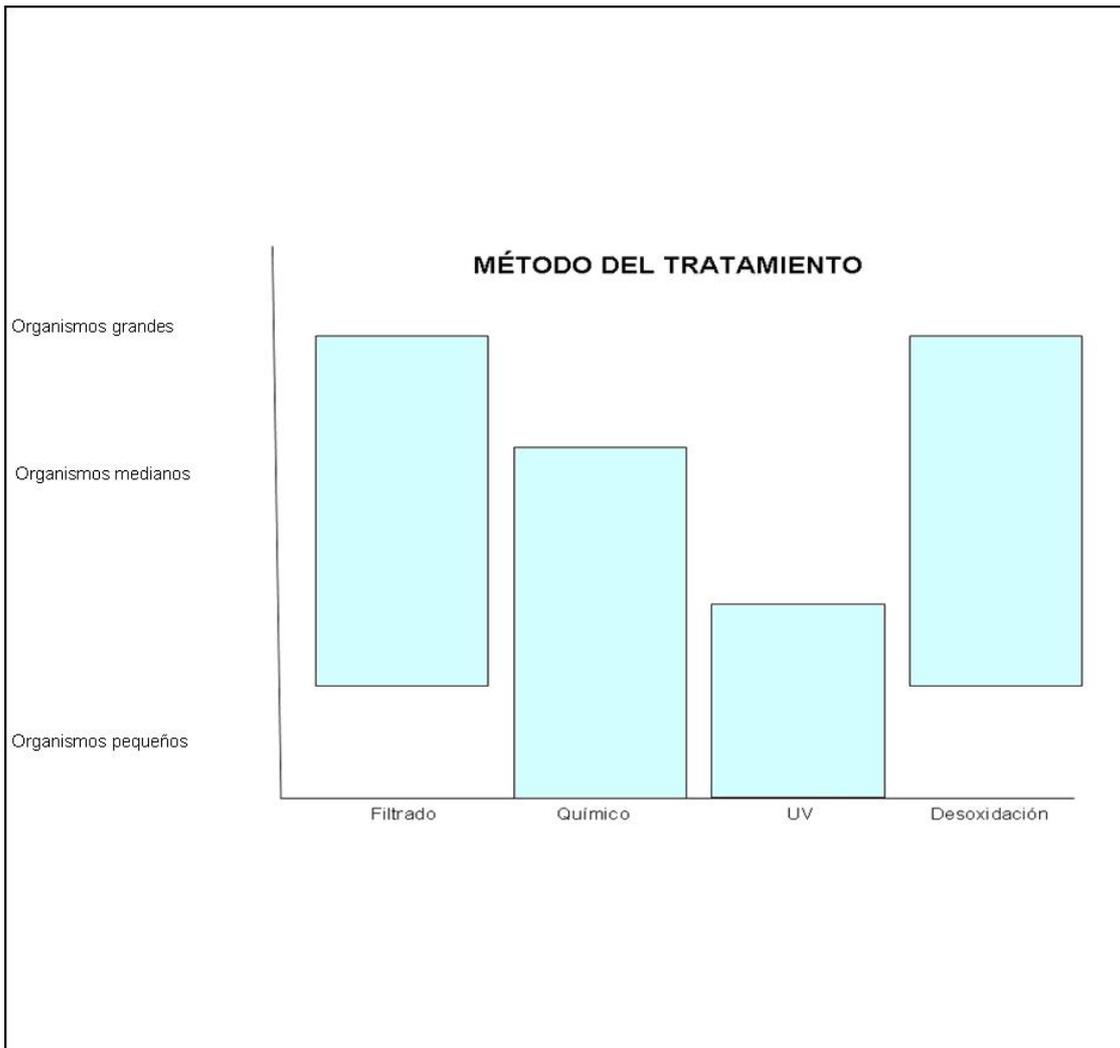
3.1 General

El tratamiento del agua de lastre a bordo de los buques es un método esencial para reducir la introducción de especies acuáticas no indígenas. Este tratamiento se puede realizar durante tres etapas de las operaciones de lastre:

- a. *durante el lastrado en el puerto de descarga;*
- b. *durante el viaje entre puertos,*
- c. *durante el deslastrado del buque en el puerto de carga.*

En el primer y tercer escenario, se deben tratar grandes cantidades de agua en un corto espacio de tiempo, con elevados caudales de carga y de descarga del agua. En el segundo escenario se dispone de más tiempo para el tratamiento y los caudales de agua pueden ser menores. Además, se puede hacer recircular el agua hasta que el número de organismos desactivados proporcione el nivel adecuado de protección. Los buques pueden descargar agua de lastre a una velocidad de flujo o caudal extremadamente elevado. Esto ocasiona inconvenientes para el proceso de tratamiento en términos de capacidad del sistema, espacio asociado y consumo de potencia energética. Sin embargo, el tratamiento durante el proceso de lastrado y deslastrado es potencialmente más efectivo al desactivar organismos a través de toda la mezcla sedimento/agua que el tratamiento a bordo. En este último caso, el sedimento se va al fondo de los tanques y está presente un sistema al menos con dos fases (columna de agua y fracción de sedimento). Por tanto, aunque se trate el agua de lastre con un índice de flujo inferior durante un periodo de tiempo más largo, puede que no se logre fácilmente de forma efectiva la desactivación de la fracción de sedimento.

Para el tratamiento a bordo se puede hablar de diez tecnologías:



Método del tratamiento recomendable según tamaño de los organismos Fig. 18

3.2 Sistemas de filtración

Estos sistemas se utilizan mucho en aplicaciones industriales y municipales. Su diseño está determinado por el tamaño y tipo de partículas que tienen que retirar. Estos sistemas de filtración necesitan una limpieza periódica usando sistemas automáticos de limpieza con agua, o bien, manual.

La separación física y retirada de organismos por encima de un cierto tamaño del agua de lastre se podría lograr durante las operaciones de lastrado usando un sistema de filtración a bordo. Ésta parece ser la tecnología más prometedora para tratamiento a bordo. Filtrar el agua de lastre mientras es cargada es una opción potencialmente atractiva que evitaría o minimizaría la entrada de organismos no deseados, evitando así la necesidad de cambio de lastre o tratamiento a bordo posterior. Se pueden diseñar sistemas de filtración para retirar los organismos que se desee del agua de lastre adecuada para la obtención de un nivel adecuado de protección. Los elevados índices de flujo asociados a la carga y descarga de lastre presentan un reto especial. También la complejidad y el coste de los filtros aumenta según aumenta la cantidad de material retirado del agua de lastre (partículas más pequeñas). Los organismos filtrados podrían concentrarse y almacenarse a bordo de los buques y ser eliminados en una instalación con base en la costa, o descargados al agua si las regulaciones lo permiten.

Se incorporan filtros gruesos en asociación con las tomas de mar de los buques para evitar la entrada de objetos grandes en los sistemas de a bordo. Sin embargo, cuando se reduce el paso efectivo de los filtros para retirar organismos pequeños, tales como los de la serie de 10 μm , resultan taponados o corroídos rápidamente. Los filtros tienen la desventaja de ser una técnica de separación en la que una vez que el material ha sido depositado en la rejilla, el flujo de agua a través de la tela metálica disminuye rápidamente. En los procesos de tratamiento de agua en los que esto se utiliza, se necesitan grandes áreas de filtro filtrante para mantener grandes flujos cuando sea preciso en cualquier momento. Habría que disponer instalaciones de apoyo para poder asegurar una corriente continua de flujo a pesar del rápido taponado de las rejillas.

Hay avances recientes en la tecnología de los filtros y hay sistemas de limpieza disponibles comercialmente. Por ejemplo, filtros auto-limpiantes con sistemas de control automáticos que incorporan ciclos de limpieza que pueden ser activados por un diferencial de presión. El fluido sucio cargado de residuos entra en la cámara del fondo del colador y fluye hacia arriba, pasando a través del elemento de filtro obstruido y los materiales no deseados quedan atrapados. Una limpieza en contracorriente tiene lugar usando el diferencial de presión entre la presión de la línea de flujo de entrada y la atmósfera. Cuando se requiere la limpieza, la válvula automática de contracorriente abre el sistema a la atmósfera, causando un flujo inverso de alta velocidad a través de la sección aislada de la rejilla y la suciedad y restos son obligados a salir de este segmento aislado hacia la tubería en contracorriente. Durante el ciclo de lavado en contracorriente, el flujo principal no se interrumpe y continúa para que el filtrado se realice de forma normal.

Otros desarrollos en la tecnología de filtración pueden ofrecer ventajas para el tratamiento de agua de lastre a bordo. Por ejemplo, sistemas de centrifugado a lo largo del flujo pueden separar partículas antes del filtrado para reducir así el atasco del filtro. Los nuevos sistemas de filtración mediante tela metálica en cuña tienen elevados índices de flujo y se limpian mediante raspado mejor que con lavado en contracorriente, lo que elimina la necesidad de almacenaje y tratamiento del agua para dicho lavado en contracorriente y por tanto reduce el tamaño total de la unidad de filtración.

Otra forma de evitar los problemas de los sistemas de rejilla sencillos descritos antes es usar filtros de profundidad media. La filtración media es uno de los procesos más corrientes para el tratamiento de agua. Los sistemas de filtración media para aplicación en el mar son sencillos en su diseño y funcionamiento y eficientes desde hace muchos años. Cuando se usan para tratar agua de lastre a bordo, un típico filtro de presión podría producir agua de alta calidad a un flujo de por lo menos $24 \text{ m}^3/\text{h}$ por m^2 de zona de filtro, dependiendo del grosor medio. Suponiendo este flujo típico, un buque con un flujo de lastre de $5.000 \text{ m}^3/\text{h}$ necesitaría un filtro de aproximadamente 200 m^2 y 2 m de profundidad. Evidentemente, el tamaño de dichas unidades impediría su utilización a bordo de un barco.

Se pueden diseñar fácilmente filtros medios mixtos y se puede añadir un pre revestimiento de los filtros para mejorar más su efectividad. Los filtros medios se pueden ajustar para la retirada de partículas tan pequeñas como de 1 a $5 \mu\text{m}$ de diámetro, si es necesario. Estos filtros se limpiarían fácilmente usando mecanismos de lavado en contracorriente convencionales, y el material de lavado podría almacenarse a bordo en un tanque separado antes de su descarga al mar en alguna zona abierta del océano. Innovaciones como la del filtro peludo pueden permitir índices de flujo más elevados por unidad de área, reduciendo así el tamaño de las unidades de filtración medias y haciéndolas viables para el uso a bordo.

El tratamiento de filtración media retiraría no sólo todos los organismos mayores de 5 a 10 μm de diámetro sino también la mayoría de los sedimentos existentes en el agua de lastre. Por ello, todos los organismos residentes en el sedimento o dispersos en la columna de agua, serían separados con toda efectividad del agua de lastre durante la operación de lastrado. Al ser estos filtros de profundidad media muy seguros y no taponarse rápidamente, el buque podría utilizarlos de forma intermitente durante las operaciones de lastrado. El tiempo de taponado de estos filtros puede ser monitorizado fácilmente midiendo la disminución de presión o la pérdida de carga a través de los mismos y el sistema instalado a bordo podría ser limpiado o lavado en contracorriente en los intervalos que proceda. La instalación de dichos filtros a bordo puede no ser un problema grave y no se necesitarían muchas modificaciones. Desde el sistema principal de agua de lastre tendrían que instalarse

desvíos que pasen a través del filtro, pero ni el sistema de tuberías ni los tanques de lastre tendrían que ser modificados sustancialmente.

Una ventaja potencial de un sistema de filtración media in situ es que el agua de lastre sería tratada eficazmente sin importar el momento en que fue cargada. Por consiguiente, la descarga del agua de lastre tratada podría tener lugar en cualquier momento en cualquier lugar sin aumentar el riesgo de introducir especies acuáticas dañinas no indígenas. Se necesita más investigación sobre esta opción de tratamiento del agua de lastre para determinar las relaciones entre los índices de flujos que se pueden lograr y los filtros medios elegidos para una retirada efectiva de organismos. Los sistemas de filtración de profundidad media podrían ser diseñados individualmente para cada buque y también para tipos de buques a fin de optimizar el uso a bordo.

Se puede afirmar que la filtración media es efectiva para retirar la mayoría de los organismos marinos del agua de lastre, aunque el gran tamaño de las unidades existentes impide su uso a bordo. Los coladores son relativamente compactos, sencillos en su funcionamiento, y se prestan a ser modificados para los buques existentes, pero tienen una efectividad limitada porque muchos organismos son más pequeños que el tamaño de las ranuras existentes en las rejillas y pueden pasar a través del sistema de tratamiento.

El sistema de filtrado puede utilizarse sólo o junto a otras tecnologías, como la oxidación química o la esterilización ultravioleta.

Existe también otro sistema de filtrado para evitar la entrada de organismos en el agua de lastre, un sistema con dos niveles, usando filtros de rejilla de tela metálica tejida, el primer filtro retiraría la mayor parte del plancton animal; el segundo filtro retiraría la mayor parte del plancton animal y la mayor parte del fitoplancton de tamaño grande y medio.

El proceso de filtrado se realiza con un filtro de rejilla con limpia rejillas de funcionamiento continuo y a continuación otro de tambor o de discos, como el que se muestra en la figura, o similar

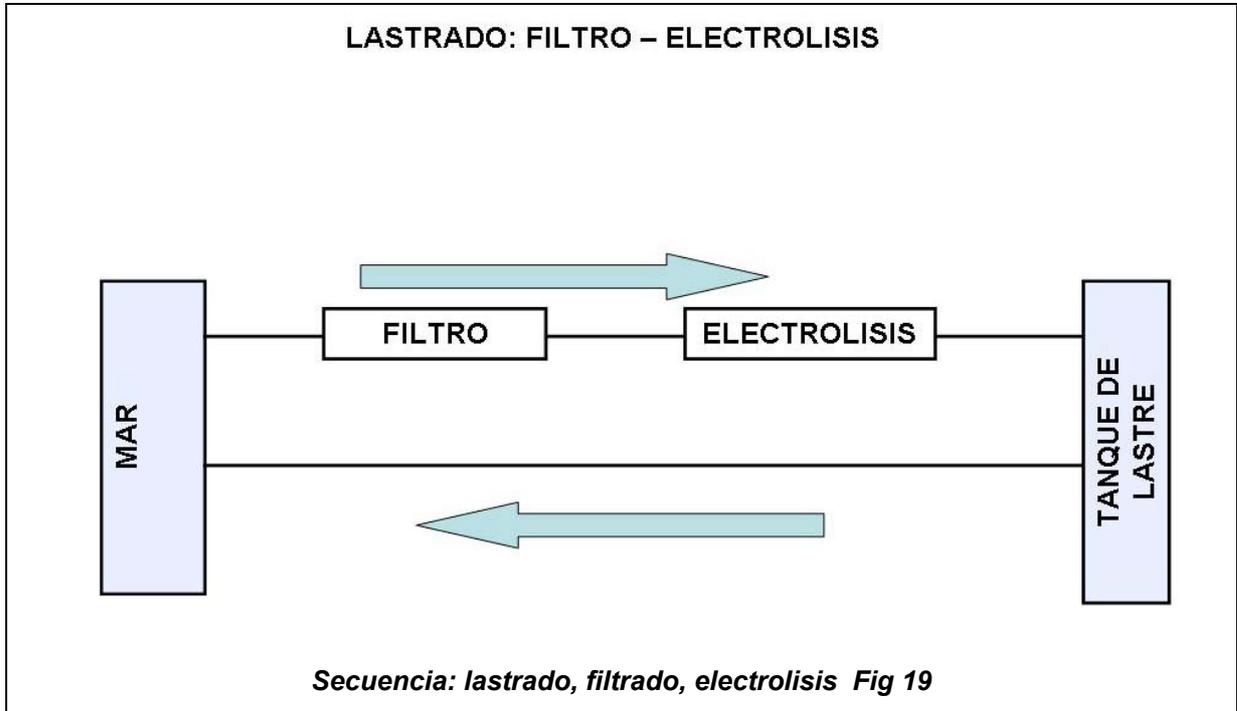
El filtro de tambor es un filtro mecánico auto-limpiante, diseñado especialmente con objeto de alcanzar alto rendimiento en sistemas donde es esencial evitar la fragmentación de las partículas.

El filtro trabaja sin presión y tiene un diseño robusto con pocas partes móviles, lo que aumenta su vida y disminuye los costes de mantenimiento.

El líquido se filtra en la periferia del tambor, que rota lentamente. Las partículas se retienen suavemente sobre la superficie exterior de la tela filtrante o rejilla del tambor separándose

del líquido. Los sólidos separados se apartan de la tela filtrante y se recogen en la bandeja de recogida de sólidos para su descarga.

Los filtros de tambor son ideales para reciclar el agua y como elemento limpiador conjuntamente con otros sistemas de tratamiento de aguas residuales.



3.3 Biocidas

3.3.1 Biocidas oxidantes

Los biocidas oxidantes, principalmente el cloro y el ozono, son muy utilizados en el tratamiento de aguas residuales. Las estructuras orgánicas, como son las membranas de las células, se destruyen al añadir fuertes oxidantes. Los biocidas no oxidantes incluyen un gran número de compuestos que se usan habitualmente en la industria para tratar el crecimiento de organismos en torres de refrigeración de agua y en otras zonas donde se dan grandes cantidades de crecimiento biológico o acumulación de sedimentos. Los biocidas no oxidantes funcionan de una manera parecida a los pesticidas, interfiriendo con las funciones reproductora, neurológica o metabólica de los organismos, como por ejemplo limitando la respiración.

La desinfección sería producida por sustancias activas biocidas siempre que se utilicen en cantidades inferiores a las autorizadas por las Administraciones.

Los *biocidas* se encuentran entre los productos químicos más utilizados y hay muchos datos científicos sobre su uso en el tratamiento de aguas residuales. Las concentraciones de biocidas con eficacia están en la gama de 1 a 5 mg/l (ppm). Los niveles de dosificación y los tiempos de contacto tienen que ser determinados para un tratamiento eficaz de las especies acuáticas perjudiciales. Sin embargo, si las dosis son similares a las utilizadas para el tratamiento de aguas residuales, sólo 5 m³ de biocida serían necesarios para cada millón de metros cúbicos de agua de lastre para dar una concentración de biocida de 5 mg/l. Por ello, incluso grandes buques que transporten miles de metros cúbicos de lastre tendrían que llevar sólo unos pocos metros cúbicos de biocida por viaje.

Tal vez la razón más convincente para considerar los tratamientos con biocidas es su fácil utilización. Los biocidas se pueden añadir al agua de lastre dosificando los productos químicos sólidos concentrados o pueden ser generados electrolíticamente a partir del agua de mar. Ambos métodos de aplicación de biocidas son usados normalmente a bordo, aunque no para el tratamiento de agua de lastre. De forma alternativa, sencillas bombas químicas de inyección, alimentándose en línea con las principales bombas de lastrado, podrían añadir de forma rutinaria una cantidad medida de líquido biocida premezclado durante cualquier operación de lastrado. La turbulencia dentro del sistema de bombeado aseguraría una mezcla completa del biocida con el sedimento y la columna de agua. El resultado sería una eficaz desactivación de los organismos de referencia objetivo del tratamiento.

Los sistemas químicos de alimentación necesitarían pequeñas cantidades de potencia para bombear soluciones de carga concentrada al sistema de lastre. Sin embargo, los sistemas de generación electrolítica necesitarían cantidades de potencia importantes, de más de 200 kW. Además, la generación in-situ necesita equipos grandes y caros que pueden costar de \$ 400.000 a \$ 800.000.

La eficacia de muchos biocidas es sencilla de monitorizar. Otros necesitarían indicadores biológicos para averiguar su nivel de eficacia. Si embargo, no existe un método general automatizado de monitorización actualmente disponible que pudiera ser fácilmente aplicado a bordo.

Las unidades de tratamiento con biocidas son relativamente sencillas, aunque su tamaño podría ser un problema para ser instalados en buques existentes. Se pueden diseñar unidades que requieran poco mantenimiento, y el mayor trabajo para la tripulación sería llenar y monitorizar los tanques con la solución de carga.

Se ha revisado recientemente la adición de productos químicos para desactivar microorganismos y se ha descartado en general esta propuesta por las siguientes razones entre otras:

- Resistencia a añadir cualquier componente al agua que pudiera ser descargado al **océano**.
- Efectividad incierta de los biocidas en lograr la desactivación de los organismos punto de referencia.
- Manejo de productos químicos a bordo.
- Conformidad con las regulaciones de descarga para tales productos químicos en ciertas zonas del mundo.

Aunque estas objeciones existen, pueden realizarse actividades apropiadas de investigación, desarrollo y demostración para poder decidir lo más correcto. La adición de biocidas seleccionados puede ser la solución más económica para lograr el deseado objetivo de desactivación de las especies que se establezcan como objetivo.

Los temas de seguridad asociados al manejo de productos químicos a bordo puede ser motivos de preocupación. Los buques transportan rutinariamente productos industriales peligrosos, combustibles y lubricantes porque los necesitan para las operaciones del buque, o bien son el objeto del transporte en sí. El personal responsable del manejo de estos productos debe estar bien entrenado y podría adaptarse al manejo de otros materiales sin serias dificultades. Las concentraciones de productos químicos necesarias para tratar el agua de lastre serían pequeñas, y las necesidades de almacenamiento son insignificantes. Sin embargo, se deben evaluar los productos químicos residuales que queden en los tanques de lastre del buque después del tratamiento y la posibilidad de corrosión de tuberías, bombas y estructura.

3.3.2 Biocidas no oxidantes

El tratamiento de agua en el pasado se centraba en el uso de biocidas oxidantes. Sin embargo, hay un gran inventario de biocidas no oxidantes que son utilizados por la industria para el control eficaz de una amplia variedad de organismos. Un ejemplo es el grupo de productos químicos basados en *glutaraldehído* utilizados en el tratamiento de aguas industriales. Las reacciones limitadas de los biocidas no oxidantes con compuestos en el agua pueden constituir una posible ventaja para el tratamiento del agua de lastre. Los residuos generados por los biocidas no oxidantes generalmente se descomponen bastante rápidamente y se convierten en derivados no tóxicos. De esta forma, el agua tratada podría

no plantear un riesgo importante medioambiental aunque fuera descargada en grandes cantidades.

3.4 Técnicas térmicas

Las temperaturas altas se usan comúnmente para esterilizar el agua en una amplia variedad de aplicaciones. La utilización de los gases de exhaustación y el sistema de refrigeración de la propulsión un barco son opciones atractivas para la desactivación de los organismos en el agua de lastre utilizando el calor residual, ya sea de los gases de exhaustación o del agua de refrigeración de los motores, para calentar el agua de lastre. Se necesitarían unas tuberías adicionales para bombear el agua de lastre a través de intercambiadores de calor nuevos o ya existentes. Para destruir la mayor parte de los organismos, el agua de lastre tendría que ser calentada a temperaturas en torno a 35°C a 45°C y mantenida así durante un periodo de tiempo determinado, dependiendo de la temperatura de tratamiento y del tipo de organismos.

Algunos factores críticos limitarán probablemente la práctica del tratamiento termal en ciertos buques en rutas comerciales específicas, como son:

Duración del viaje: algunos viajes serán demasiado cortos para permitir el calentamiento del agua a la temperatura necesaria o mantener la temperatura durante el periodo necesario.

Volumen del agua de lastre que necesita tratamiento: hay una cantidad limitada de energía disponible procedente de los gases de exhaustación. Por ello, hay controles acerca del volumen de agua de lastre que puede ser tratada.

Temperatura ambiente del agua: el calor necesario para el tratamiento térmico se puede reducir bastante en aquellos lugares donde las temperaturas del agua sean a nivel tropical o de verano (30°C o más). La pérdida de calor debida a la temperatura ambiente del agua por fuera del casco debe ser tenida en cuenta. Debido a la baja temperatura ambiente, los tanques de lastre situados a lo largo del casco pueden necesitar una cantidad de calor total más elevada que los que están junto a la carga.

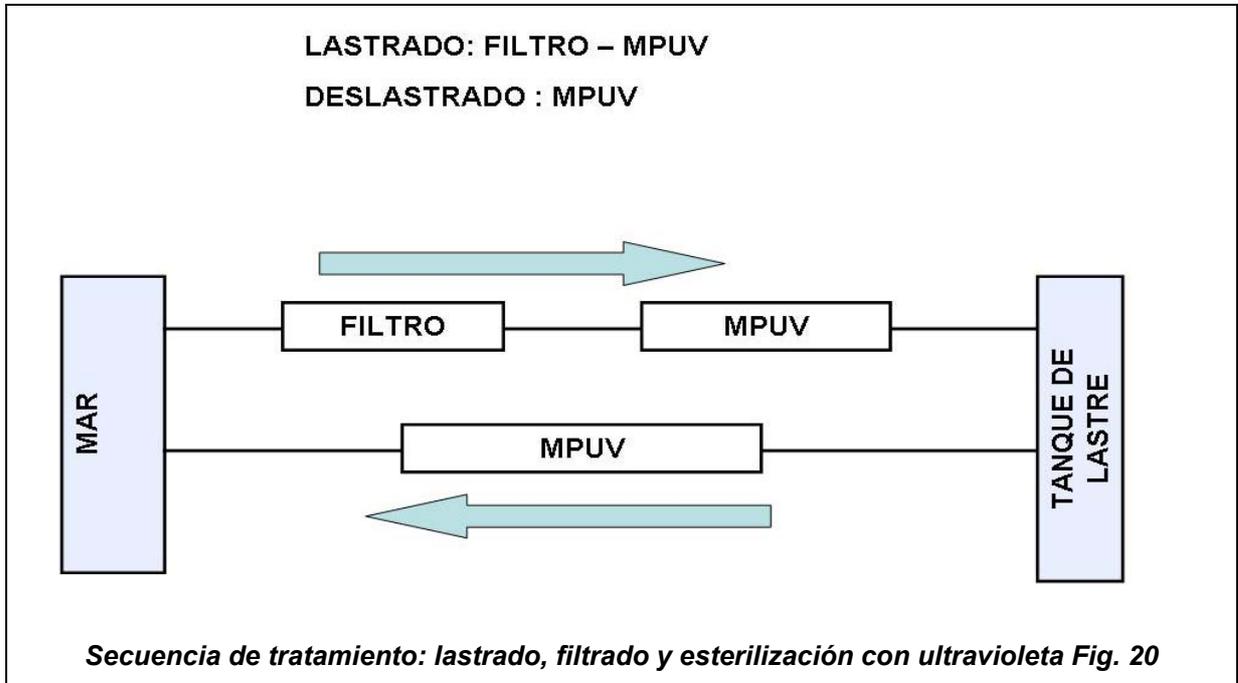
Tipo de organismos objetivo del tratamiento.

3.5 Técnicas de impulso eléctrico y de plasma

La aplicación de un campo eléctrico impulsado o un impulso de energía al agua puede matar organismos. Los sistemas de impulso eléctrico generan un campo eléctrico; los sistemas de impulso de plasma entregan un impulso de mucha energía a un mecanismo de arco en el agua y generan un arco de plasma en la misma.

3.6 Tratamiento ultravioleta

La utilización de este tratamiento en el agua para desactivar bacterias es una tecnología bastante consolidada. La irradiación ultravioleta del fluido con longitudes de onda de aproximadamente 200 nm puede destruir los componentes celulares. La radiación ultravioleta puede ser utilizada, por ejemplo, como complemento de un sistema de filtrado.



3.7 Sistemas acústicos

Estos sistemas utilizan transductores para aplicar la energía del sonido con una frecuencia y amplitud específica al agua y tipo de organismo que se va a tratar. La energía del sonido causa cavitación y las tensiones mecánicas resultantes son perjudiciales para las células.

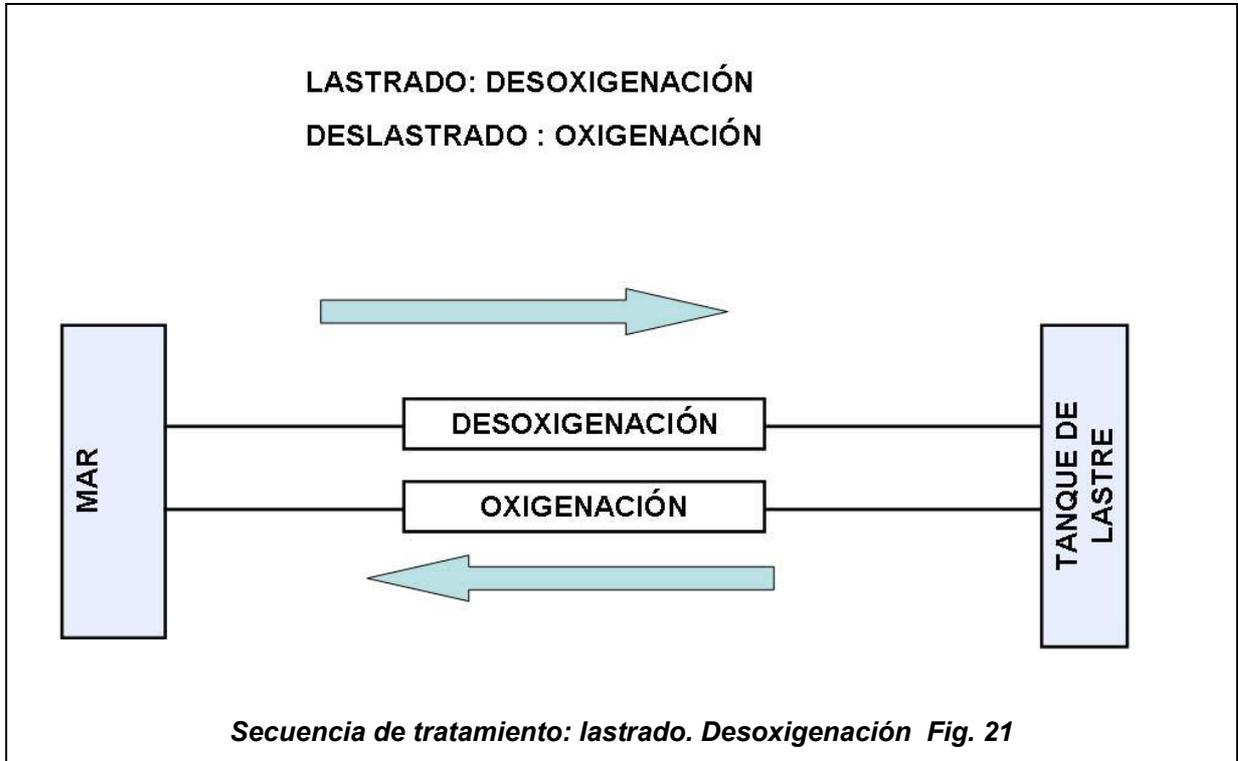
3.8 Campos magnéticos

El agua que va a ser tratada pasa a través de un campo magnético con flujo especificado que es generado por aparatos ferromagnéticos o electromagnéticos. Los efectos biológicos y químicos de estos sistemas no están muy claros, pero se cree que los constituyentes orgánicos e inorgánicos de los organismos vivos existentes en el agua son alterados por el campo magnético.

3.9 Desoxigenación

Las especies acuáticas potencialmente más nocivas requieren oxígeno para sobrevivir. Cuando se elimina el oxígeno del agua, muchos organismos mueren (pero no los

enquistados, esporas ni bacterias anaeróbicas). Algunos organismos que requieren oxígeno pueden sobrevivir durante periodos breves de anoxia, pero generalmente están inactivos en esas condiciones. El oxígeno puede ser eliminado del agua, entre otros sistemas, por medio de un aditivo químico.



3.10 Técnicas biológicas:

Estas técnicas para controlar especies no deseadas incluyen la introducción de organismos adicionales que son depredadores, patógenos o competidores de esas especies. Estas técnicas han resultado útiles en el control de algunas plagas producidas por insectos cuando la especie biocontrolada desarrolla poblaciones que se auto abastecen y se auto reproducen. El tratamiento biológico puede incluir también el uso de modernos métodos biotecnológicos para modificar la genética de los organismos que se controlan.

3.11 Pinturas antiincrustantes

Estas pinturas aplicadas a los cascos reducen el crecimiento biológico en su superficie por toxicidad de contacto o actividad de superficie (lixiviación). La inmensa mayoría de pinturas utilizadas en la actualidad cuentan con la toxicidad de contacto, actividad de superficie o una combinación de ambas. Sin embargo, el uso de sistemas de superficie activos es limitado porque son caros.

4 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Se requiere que el sistema de tratamiento del agua de lastre sea un sistema homologado de acuerdo con el Convenio para el Control del Agua de Lastre y Sedimentos. En este apartado muestra el diagrama de flujo para la homologación del tipo.

4.1 Aprobación del sistema de tratamiento del agua de lastre.

La Administración de cada Estado miembro del convenio debe aprobar el sistema de tratamiento del agua de lastre de acuerdo con las Directrices para la aprobación de los sistemas de tratamiento del agua de lastre. Los valores estándar de descarga se especifican en la Regla D-2 del Convenio.

Si se utilizan agentes químicos definidos como sustancias activas para el sistema de gestión, deberá conseguirse la aprobación IMO separadamente de acuerdo con el Procedimiento de aprobación de los sistemas de gestión del agua de lastre que utilizan sustancias activas. El procedimiento de aprobación de los sistemas de gestión de agua de lastre que utilizan sustancias activas es un sistema de aprobación en dos fases que consiste de una Aprobación Básica y una Aprobación Final.

4.2 Directrices para la aprobación de sistemas de gestión del agua de lastre

Las Directrices para la aprobación de los sistemas de gestión del agua de lastre (G8) especifican en líneas generales la aprobación de los planos, las pruebas en tierra, las pruebas a bordo, y las pruebas ambientales.

La Fig. 19 muestra una visión general de las pruebas en tierra. Durante la prueba en tierra se tratan y analizan 200 m³ de agua de prueba durante cinco días. El agua se evalúa para confirmar que satisface los valores estándar especificados en la Regla D-2. Se seleccionan dos tipos de agua entre agua salada, agua dulce y agua salobre. Se somete cada tipo de agua a cinco análisis consecutivos para confirmar que se satisfacen los valores estándar permitidos.

Las pruebas a bordo se realizan durante un periodo de seis meses con la gestión del agua de lastre normal del buque.

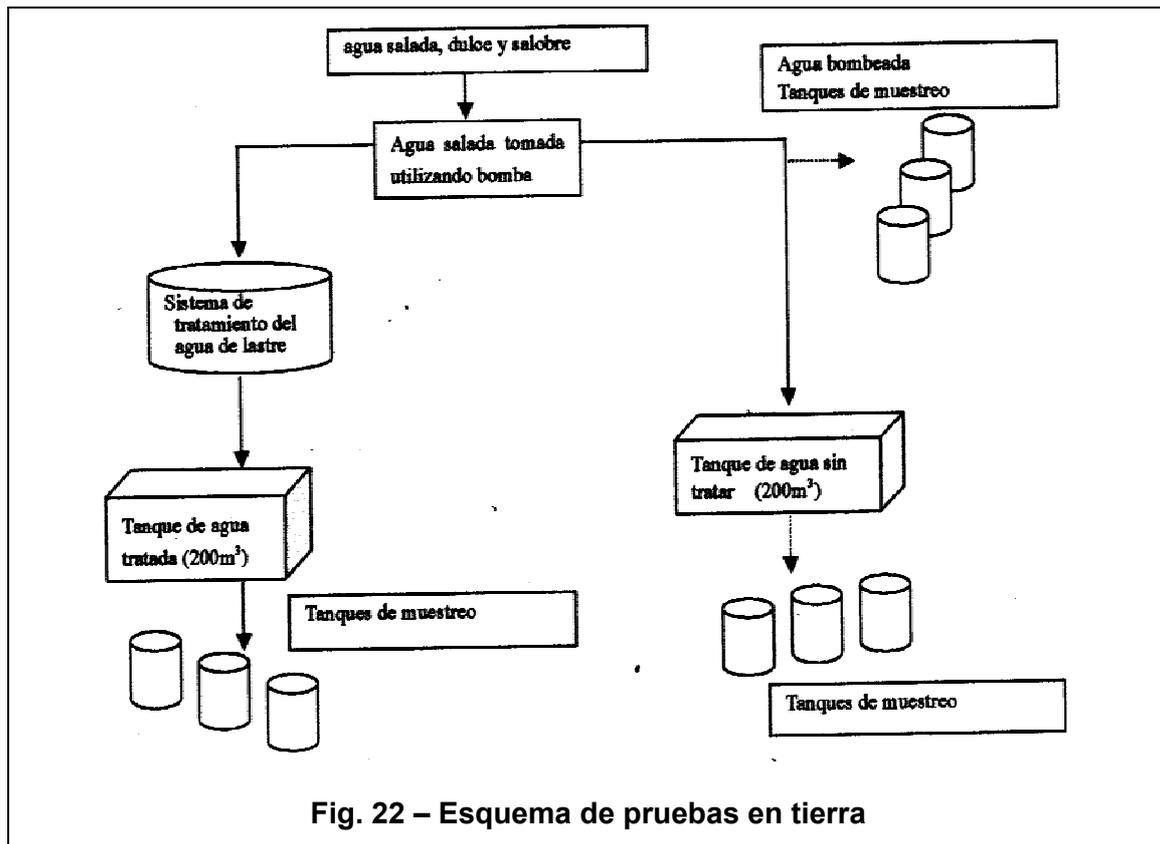
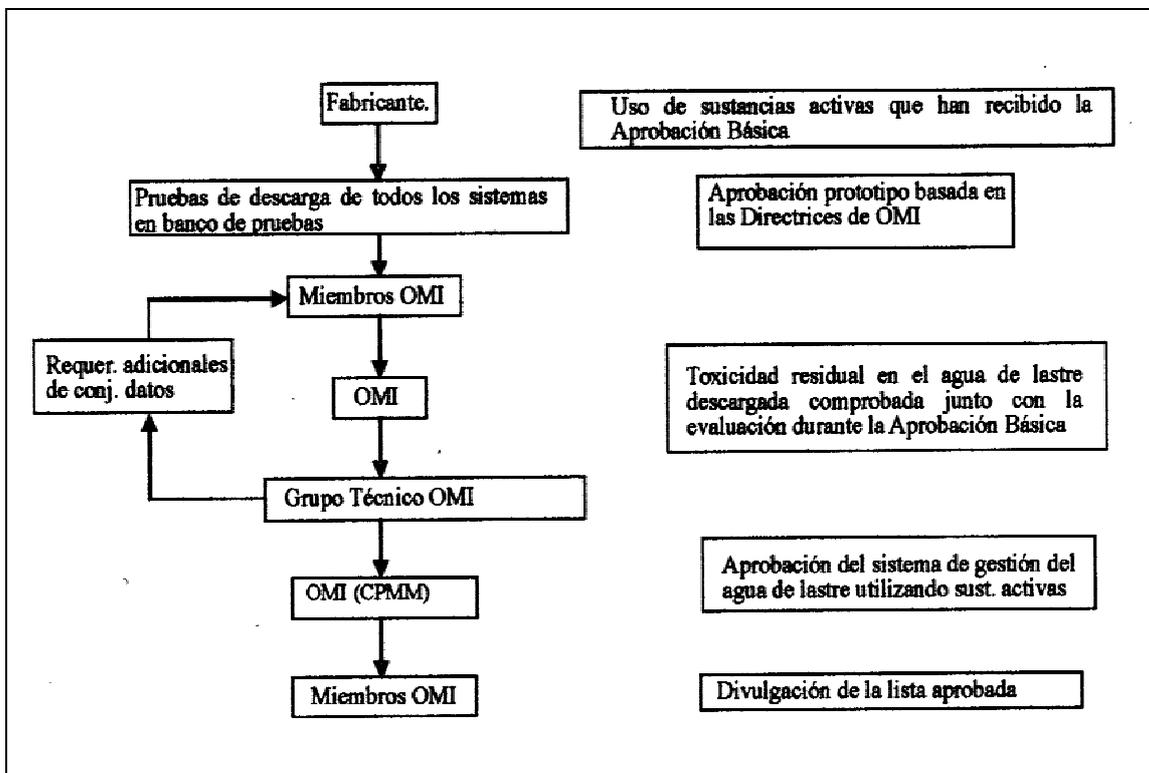
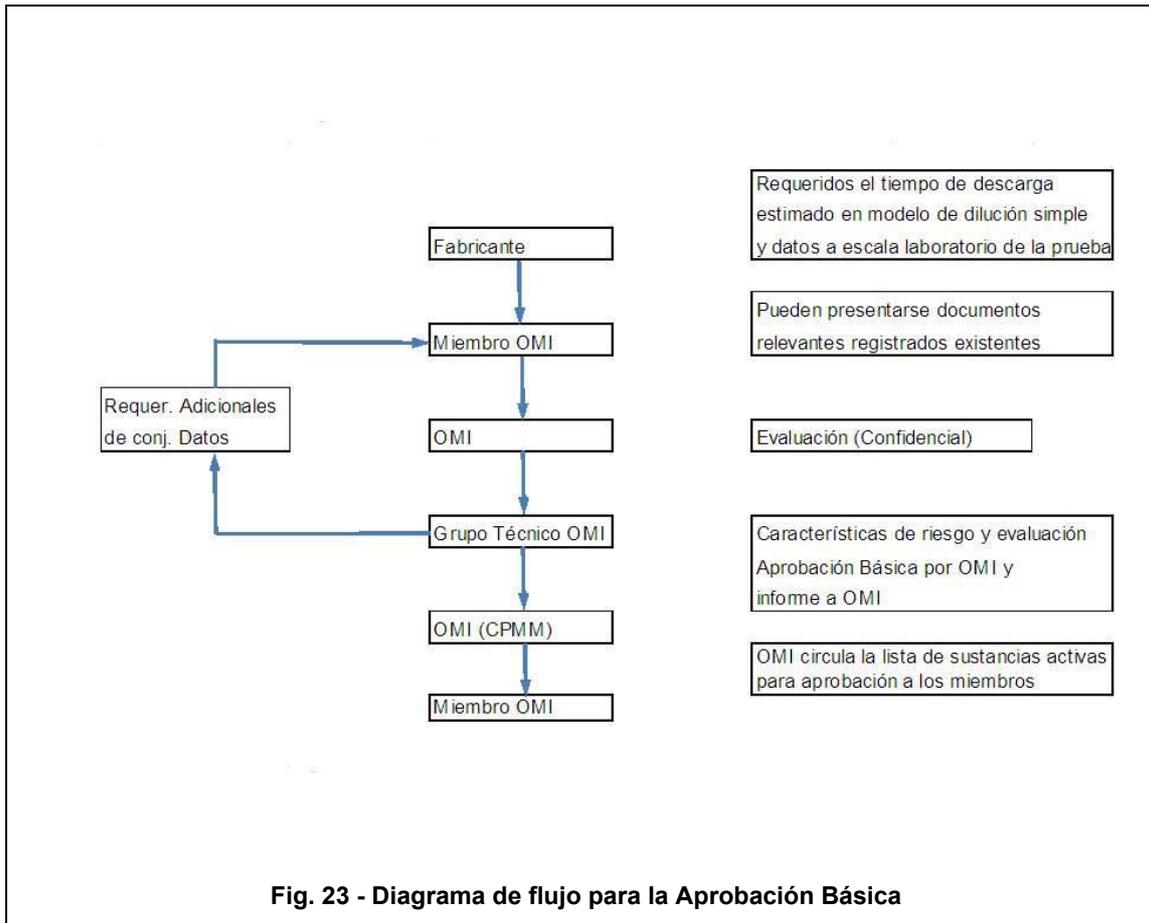


Fig. 22 – Esquema de pruebas en tierra

4.3 Procedimiento para la aprobación de sistemas de gestión del agua de lastre que hacen uso de sustancias activa

Los procedimientos de la Fig. 23 y la Fig. 24 requieren la aprobación de la OMI, de acuerdo con los procedimientos para la aprobación del sistema de gestión del agua de lastre (G9) para uso de sustancias activas cuando en el sistema de tratamiento del agua de lastre se utilizan dichas sustancias. La solicitud para la aprobación debe presentarse a la OMI a través de la Administración del país Parte del Convenio.



La inspección incluye la verificación de los efectos en el ambiente después de evaluar los efectos de las sustancias activas en el medio marino, el casco y los miembros de la tripulación. La verificación la realizará un Grupo de Expertos sobre los Aspectos Científicos de la Protección del Medio Marino (GESAMP), que es un grupo técnico de la OMI. Si la verificación es satisfactoria, el GESAMP informa de la Aprobación Final al Comité de Protección del Medio Marino (CPMM) de la OMI, y en el CPMM se delibera el tema.

A pesar de que el CPMM suele aprobar el sistema, en ocasiones puede imponer restricciones.

Posteriormente, la Administración del país da la aprobación de acuerdo con las Directrices para la aprobación de sistemas de gestión del agua de lastre (G8)

4.4 Tecnologías candidatas

Todas las tecnologías, si aplicamos los criterios de evaluación, deben reunir las condiciones de seguridad para su aplicación a bordo. Aunque no se han demostrado en todos los casos las aplicaciones marinas, ninguna debe ser excluida como sistema de operación segura para tratar el agua de lastre a bordo. En algunos casos, serán necesarias precauciones especiales para proteger al personal del buque. Por ejemplo, el plasma utilizado para el tratamiento de impulso de plasma produce una onda de choque de alta presión que se expande, necesitándose una pantalla protectora adecuada que rodee el sistema de tratamiento. De forma similar, la partes de alto voltaje de los sistemas de tratamiento de impulso eléctrico tendrían que ser encapsuladas para asegurar la no existencia de campos eléctricos elevados fuera del volumen de agua de lastre que esté siendo tratada.

Hay muchas combinaciones tecnológicas posibles que resultarían muy fructíferas para problemas específicos de control del agua de lastre. En concreto, la filtración, la adición de biocidas y el tratamiento térmico son tecnologías maduras y con potencial para su uso para el tratamiento del agua de lastre a bordo.

4.5 Estado de aprobación de los sistemas de tratamiento del agua de lastre, marzo 2010

Visión general de los sistemas de tratamiento del agua de lastre

Estado de aprobación											
											de sistema de tratamiento G8(MEPC125(53)) (Aprobado por Administración)
	Fabricante del sistema de tratamiento del agua de lastre	Nombre del sistema	País fabricante	Método de tratamiento	Fabricante de la sustancia activa	Nombre de la sustancia activa	País del fabricante	Especie de la sustancia activa	Aprobación básica	Aprobación final	Estado de la aprobación de sustancia activa G9 (MEPC126(53)) (Aprobado por IMO)
1	Alfa-Laval	PureBallast	Suecia	FILTRO +UV/TIO2	---	---	---	UV/TIO2	Aprobado (BWM.2/Circ11)	Aprobado (BWM.2/Circ11)	Aprobado (Tipo DNV (Gobierno noruego 27/Jun/08))
2	Ocean Saver AS	OceanSaver	Noruega	Filtro + Desoxidación + Cavitación+Electrólisis del agua salada	---	---	---	Electrólisis del agua salada	Aprobado (MEPC57/2/5)	Aprobado (MEPC58)	Aprobado (Tipo DNV (Gobierno noruego 08/Abr/09))
3	OptiMarine AS	Sistemas Lastre Optimar	Noruega	Filtro + UV	---	---	---				Aprobado (Tipo DNV (Gobierno noruego 12/Nov/09))
4	Hamann AG/Degussa GmbH Senda BWTS	SEDNA	Alemania	Filtro + Peraclean Ocean	Degussa GmbH Senda BWTS	Peraclean Ocean	Alemania	Peróxido de hidrógeno + Ácido acético	Aprobado (BWM.2/Circ11)	Aprobado (MEPC57/2/5)	Aprobado (Tipo Gobierno Alemán 10/Jun/08)
5	Asociación Japonesa de Seguridad Marina	Híbrido SP	Japón	Cavitación + Ozono	Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd.	Dispositivo de desinfectación por ozono	Japón	Ozono	Aprobado (BWM.2/Circ11)	No aprobado	No aprobado
6	Mitsubishi Heavy Industries	Proceso Electrolytico Agua salada	Japón	Filtro + Electrólisis del agua salada	---	---	---	Electrólisis del agua salada	No aprobado	No aprobado	No aprobado
7	Hitachi	Clear Ballast	Japón	Filtro + Floculante	---	---	---	Floculante	Aprobado (MEPC57)	Aprobado (MEPC59)	Aprobado (Tipo Gobierno japonés 05/Mar/10)
8	JFE Engineering Corporation	JFE-BWMS	Japón	Filtro + Cloro + Cavitación	TG Corporation	Hipoclorito de sodio	Japón	Desinfección con cloro	Aprobado (MEPC58)	Aprobado (MEPC60)	No aprobado
9	TECHCROSS INC	Sistema Electro-Cleen	Corea	Electrólisis del agua salada	---	---	---	Electrólisis del agua salada	Aprobado (BWM.2/Circ11)	Aprobado (MEPC58)	Aprobado (Tipo Gobierno coreano 31/Dic/08)
10	RWO	CleanBallast	Alemania	Filtro + Electrólisis del agua salada	---	Ectosys	---	Electrólisis del agua salada	Aprobado (BWM.2/Circ11)	Aprobado (MEPC59)	No aprobado

Visión general de los sistemas de tratamiento del agua de lastre

Estado de aprobación											
										de sistema de tratamiento G8(MEPC125(53)) (Aprobado por Administración)	
	Fabricante del sistema de tratamiento del agua de lastre	Nombre del sistema fabricante	País	Método de tratamiento	Fabricante de la sustancia activa	Nombre de la sustancia activa	País del fabricante	Especie de la sustancia activa	Aprobación básica	Aprobación final	Estado de la aprobación de sustancia activa G9 (MEPC126(53)) (Aprobado por IMO)
11	NEI Treatment System	Aspirador Venturi Oxígeno Sistema de tratamiento agua de lastre NK	EUA	Desoxidación + Cavitación					---	---	Aprobado (Tipo Gobierno liberiano 11/Oct/07)
12	NK CO., LTD.,	Sistema de tratamiento agua de lastre NK	Corea	Ozono	---	---	---	Ozono	Aprobado (BWM.2/Circ11)	Aprobado (MEPC59)	No aprobado
13	Ecochlor,INC.	Ecochlor BWT System	EUA	Dióxido de cloro	---	---	---	Dióxido de cloro	Aprobado (MEPC58)	No aprobado	No aprobado
14	Resource Ballast Technologies Pty(Ltd)	Resource Ballast Technologies System	Sudáfrica	Filtro + Electrólisis del agua salada	--	---	--	Electrólisis del agua salada	Aprobado (MEPC57/2/3)	Aprobado (MEPC60)	No aprobado
15	PANASIA CO., LTD.	GloEn-Patrol	Corea	Filtro + UV	---	---	---	UV	Aprobado (MEPC57/2/4)	Aprobado (MEPC60)	Aprobado (Tipo Gobierno coreano 04/Dic/09)
16	Greenship	Greenship's Ballast Water Management System	Holanda	Centrifugación + Electrólisis(ion cloruro)			Holanda		Aprobado (MEPC58)	Aprobado (MEPC59)	No aprobado
17	China Ocean Shipping (Group) Company	Blue Ocean Shield	China	Tratam.UV + Filtro			China		Aprobado (MEPC60)	No aprobado	No aprobado
18	Hyundai Heavy Industries Co. Ltd.	EcoBallast	Corea	Tratam.UV + Filtro			Corea		Aprobado (MEPC59)	Aprobado (MEPC60)	No aprobado
19	Aquawork ATC GmbH	Sist. tratamiento Agua Lastre Aqua TriCombTM	Alemania	Radiac. UV + Oscil. Ultrason.			Alemania		Aprobado (MEPC59)	No aprobado	No aprobado
20	SIEMENS	Sist. tratamiento Agua Lastre Aqua TriCombTM	Alemania	Hipoclorito de sodio + Filtro	Chloropac	Hipoclorito de sodio	Alemania		Aprobado (MEPC60)	No aprobado	No aprobado
21	Hyde Marine Inc.	Hyde GURDIANTM	EUA	Filtro + Tratam.UV					--	--	Aprobado (Tipo LR (Gobierno UK) 29/Abr/09)
22	Atlas-Danmark ApS	Sist. tratamiento Agua Lastre ATLAS	Dinamarca	Filtro + Electrólisis		Agua electrolizada, Catolito			No aprobado	No aprobado	No aprobado
23	Sunrui Corrosion and Fouling Control Company	Sist. Manejamiento Agua Lastre Sunrui	China	Filtro + Electrólisis					Aprobado (MEPC60)	No aprobado	No aprobado

Visión general de los sistemas de tratamiento del agua de lastre

Estado de aprobación											
	Fabricante del sistema de tratamiento del agua de lastre	Nombre del sistema	País fabricante	Método de tratamiento	Fabricante de la sustancia activa	Nombre de la sustancia activa	País del fabricante	Especie de la sustancia activa	Estado de la aprobación de sustancia activa G9 (MEPC126(53)) (Aprobado por IMO)		de sistema de tratamiento G8 (MEPC125(53)) (Aprobado por Administración)
									Aprobación básica	Aprobación final	
24	DESMI Ocean Guard A/S	Sist. Tratamiento Agua Lastre DESMI Ocean	Dinamarca	Filtro + UV + Ozono					Aprobado (MEPC60)	No aprobado	No aprobado
25	Hyundai Heavy Industries Co. Ltd.	HiBallast	Corea	Filtro + Electrólisis					Aprobado (MEPC60)	No aprobado	No aprobado
26	Kwang San Co. Ltd.	En-Ballast	Corea	Filtro + Electrólisis					Aprobado (MEPC60)	No aprobado	No aprobado
27	Quindao Headway Technology Co., Ltd.	OceanGuard	China	Filtro + Electrólisis + Ultrasonido					Aprobado (MEPC60)	No aprobado	No aprobado
28	Severn Trent DeNora	BalPure	Alemania	Filtro + Electrólisis					Aprobado (MEPC60)	No aprobado	No aprobado

5 ALTERNATIVAS

5.1 Lastrado con agua tratada para su intercambio en los puertos y terminales de carga

La solución ideal consistiría en poder disponer de un material inerte que se pudiera cargar como lastre, con cierta comodidad, en los buques, en los puertos en los que éstos dejan la carga, a fin de poder navegar con seguridad en los viajes de vuelta (*back-leg trips*), de forma similar a lo que se hacía antaño con el lastre sólido. El lastre ha de poder ser también descargado, con comodidad desde los buques, en los puertos en los que éstos toman carga.

Dado el gran tamaño de los buques actuales, difícilmente podría resolverse esto actualmente con lastre sólido. Sin embargo, la carga de grandes cantidades de agua, en principio salada, como lastre, puede hacerse, evidentemente, con gran facilidad en el mismo puerto en que se descargan las mercancías. Si se dispone de agua tratada adecuadamente para su desinfección de organismos de todo tipo y tamaño, ya sea en estado adulto o larvario, tenemos el material ideal para ser utilizado como lastre.

Claro que para poder realizar la operación de lastrado de esta manera, de forma rápida y eficiente, es totalmente necesario el poder disponer de un almacenamiento importante de agua, en principio agua salada del mar, previamente tratada, desinfectada y controlada, lo cual no significa desde el punto de vista tecnológico gran dificultad. Por supuesto, tiene su servidumbre, que es la necesidad de espacio, y un coste relativo que, por efecto de escala, si el agua para lastre puede almacenarse en uno o varios depósitos o embalses que den servicio a varios puertos próximos, tendrá unos costes unitarios realmente bajos, los cuales, parece razonable que habrían de repercutirse en el coste del transporte de la carga, pero que, en definitiva, significarán un ahorro mucho mayor si el buque puede así evitar otras operaciones costosas y arriesgadas como es el cambio de lastre en alta mar o el tratamiento del agua de lastre a bordo por uno u otro de los procedimientos contemplados, muchos de ellos aún en proceso de desarrollo, que, por otra parte, debido a las capacidades por hora necesarias para el tratamiento del agua de lastre, no parece que puedan ser, al menos por el momento, una solución eficiente para los grandes buques como son los petroleros y los bulkcarriers, y su posibilidad de fabricación e instalación en un corto período de tiempo para cubrir las necesidades de los buques existentes y de los que se vayan construyendo, parece lejos de la realidad.

Otra gran ventaja es que, si se dispone en los puertos de instalaciones donde se pueda cargar el agua de lastre como una materia prima, los buques sólo tienen que realizar, y no

todos, mínimas modificaciones en sus servicios o instalaciones. Simplemente la adaptación del sistema de lastre en cubierta o el costado para ser conectado a la tubería de alimentación de lastre desde el depósito o embalse de tierra.

En los puertos en los que el buque tome carga, la situación es distinta, ya que el buque tendrá que descargar el lastre a tierra. Los puertos de carga tendrán, por tanto, que disponer de tanques de muestreo y control de lastres que se hayan de recibir y tanques o embalses de recepción, tratamiento, y almacenamiento.

Lo ideal es que en el mismo puerto se cargaran y se descargaran los mismos tonelajes de mercancías, que normalmente serían de tipos diferentes. De esta forma, en cada puerto se compensaría la cantidad de lastre tratado que se sirve a los buques con la cantidad recibida, por lo menos a lo largo de un período de tiempo suficientemente razonable. Para ello, el almacenamiento ha de tener sólo un cierto margen superior a las necesidades puntuales.

No es fácil sin embargo que esto pueda ocurrir de forma casual, a no ser que se pudiera elegir un *hinterland* adecuado formado por un grupo de puertos cercanos cargadores y descargadores, que pudieran compensar sus balances de agua de lastre cargada y descargada, pero todo sería cuestión de empezar y, a la larga, la estructuración y distribución del transporte marítimo se iría acoplando a esta nueva necesidad y se llegaría a un equilibrio aceptable. Ya ha ocurrido algo parecido a fin de acoplar el transporte marítimo a las circunstancias que impuso la puesta en funcionamiento de grandes superpuertos (*hub ports*), a fin de poder aprovechar los costes competitivos del transporte en grandes buques portacontenedores, por ejemplo.

5.1.1 Diferentes posibilidades para esta solución.

Como ejemplo de alternativas en las que se puede emplear, como lastre, agua ya tratada y desinfectada, aunque fuera necesario aumentar la concentración de algunos biocidas o la adición de otros a fin de asegurar la desinfección hasta el nivel exigido para cumplir con los contenidos máximos de organismos, según su tamaño, tal como establece la legislación internacional elaborada por la IMO, y los criterios del GESAMP, tendríamos:

- a. El uso para lastre de efluentes de agua proveniente de la refrigeración de centrales térmicas u otras plantas.
- b. El uso del agua tratada proveniente de las plantas de regasificación en los terminales de recepción y almacenamiento de GNL.

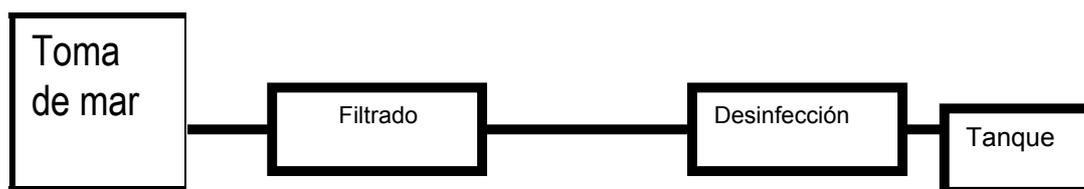
Significaría, tanto en uno como en otro caso, un magnífico reciclaje y aprovechamiento de recursos ya utilizados (agua tratada hasta un cierto nivel) y desperdiciados tirándolos al mar

una vez que ya hubieran cumplido su primera función, y lo peor, con consecuencias negativas medioambientales si no se tratan adecuadamente a fin de reducir su contenido en biocidas residuales. Con la aplicación que se propone, estos efluentes se mantendrán en circuito cerrado durante largos períodos, dando mayor margen a que las sustancias activas se vayan eliminando o desactivando de forma paulatina por evaporación, por formación de compuestos sólidos inertes, etc. En todo caso, habrían de realizarse experiencias previas y observaciones de largo alcance a fin de poder confirmar, en su caso, resultados positivos y benévolos con el medioambiente.

- c. Una aplicación cuyas ventajas no admiten objeciones es la siguiente: está demostrada y es ya muy preocupante la creciente escasez de agua dulce, potable y para otros usos en muchas zonas. España no es una excepción. Véase el caso de Barcelona y el Levante español. En los países del N de África se pueden citar cientos de casos. Pues bien: si con la misma filosofía expuesta, se ha llegado a que lo más adecuado sería tratar y desinfectar el agua de lastre en tanques e instalaciones de tierra, y esto tiene unos costes no desdeñables, ¿por qué no se emplean estos recursos para tratar y desinfectar agua dulce, lo mismo que se hace para el abastecimiento de ciudades, etc. en las zonas portuarias (*hinterlands*) en que este recurso sea abundante, para ser cargada como lastre en los buques que retornan a recoger carga en lugares en que este bien es escaso, descargándola allí para ser almacenada y utilizada localmente, o incluso para ser reexportada a otros sitios?

5.1.2 Tratamiento del agua de lastre en los puertos.

Se sugieren sistemas combinados filtrado/desinfección como el esquema siguiente



La desinfección se realizaría en principio por medio de biocidas, cuyas pros y contras ya se han citado antes. Por otra parte, el impacto ambiental del tratamiento de esta agua resulta minimizado, aunque la concentración de biocidas tuviera que aumentarse a fin de cumplir las exigencias de IMO, pues se maneja en circuito casi cerrado: ... puerto A-buque1-puerto B-buque 1 ó 2... y será al fin evacuada algún día a la costa después del tiempo necesario para la desactivación y adición de tratamientos neutralizantes de los biocidas (sulfitos, etc.), una vez pasados los controles correspondientes.

5.2 Buques con lastre reducido.

En lugar de transportar el agua potencialmente contaminada a través del océano, y luego verterla en un puerto los buques sin lastre crearían un flujo constante de agua de mar local a través de una red de tuberías de gran tamaño, llamadas canales, que va desde la proa hasta la popa por debajo de la línea de flotación. En cierto modo estos buques se comportan más como un submarino que como un buque de superficie, Estamos abriendo la parte del casco al mar, creando un flujo muy lento a través de los canales de proa a popa.

El agua fluye continuamente a través de la nave y hacia el exterior de la misma, por lo tanto, el buque está siempre lleno de agua de mar local y no transporta agua de una parte del mundo a otra.

El concepto de los buques libres de lastre había sido discutido varios años, tanto en la Universidad de Michigan (Canal del laboratorio Hidrodinámico Marino, U-M) como en el Instituto de Investigación Marítimo Nacional Japonés. El proyecto fue concebido en 2001 y patentado en 2004. (Patente EE.UU. n ° 6.694.908 de 2004)

Pasamos a mencionar el informe de las pruebas de optimización hidrodinámica del Diseño de los buques libres de lastre, en donde se muestran los resultados de las investigaciones llevadas a cabo por los autores Arthur F. Thurnau, Profesor de Arquitectura Naval e Ingeniería Marina, y Miltiadis Kotinis, Profesor Asistente, SUNY Maritime College

La investigación fue financiada en parte por el Instituto de Investigación Marítima de los Grandes Lagos .Este estudio fue apoyado por la Administración Marítima de los EE.UU.

En el informe, además de la investigación experimental, disposición y diseño de entrada y de salida del agua, montaje, prueba de resistencia y propulsión (eficiencia de la hélice), se incluyen cálculos, estudio de los contornos, etc.

La investigación inicial del diseño del buque libre de lastre demostró la viabilidad del concepto a través de un examen en profundidad de diversos aspectos. La eficacia del concepto, en términos de eliminar el transporte de agua de lastre exterior de los barcos que operan en la condición de lastre, también se ha demostrado mediante la utilización de un software de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) para simular el flujo en los canales de lastre del doble fondo del buque. No obstante, esta investigación inicial no tuvo éxito en demostrar la plena rentabilidad del concepto. La razón principal fue un aumento significativo de combustible, como resultado de un alto consumo de potencia, encontrado en el ensayo hidrodinámico inicial junto con una condición de descarga no optimizada, con mayor velocidad del embarque y con una hélice no óptima.

La actual fase de este proyecto de investigación se centra en la investigación más a fondo de la hidrodinámica del concepto del buque libre de lastre, tanto experimental como numérica. La investigación experimental se llevó a cabo utilizando el modelo de mayor tamaño de la compañía, vía marítima (Grandes Lagos), que fue diseñado y construido como parte de la fase inicial de este proyecto. La resistencia y pruebas de propulsión se realizaron en el canal de remolque del laboratorio de hidrodinámica marina de la Universidad de Michigan en enero de 2007. La investigación se llevó a cabo numéricamente con la utilización de software comercial CFD, concretamente, FLUENT.

Los resultados de cálculo se utilizaron como guía para el montaje experimental y también para corroborar los resultados experimentales. Específicamente, la selección de los lugares para la entrada y la salida del flujo utilizado en los experimentos del canal de remolque se completaron con los resultados numéricos. La entrada de flujo del canal de lastre se encuentra en el centro de la proa de bulbo. Dos lugares diferentes se probaron para la descarga de agua: uno a el nivel de la parte superior del disco de la hélice próximo a la cuaderna 17 (cerca del mamparo de proa de la sala de máquinas) y otro menor próximo a la cuaderna 19 (cerca del mamparo de popa de la sala de máquinas).

Los experimentos en el canal de experiencias constaron de ensayos de resistencia y ensayos de autopropulsión con y sin el flujo del canal de lastre. El análisis de los datos del modelo de ensayo reveló que los resultados experimentales estaban de acuerdo con los resultados numéricos. En general, la descarga del agua por la popa del modelo aumenta ligeramente la resistencia del buque, pero el diseño apropiado de la descarga puede superar este efecto negativo.

No obstante, una descarga adecuada de agua en la popa del buque tiene un efecto favorable sobre las características de propulsión para el (diseño) el tamaño real del granelero en la ruta marítima usual (Grandes Lagos). Los cálculos numéricos proporcionan una reducción de potencia del diseño con relación al diseño inicial según la posición de la descarga, con una supuesta velocidad de lastre de 15,5 nudos de 7,3% para la descarga de agua cerca de la cuaderna 17 y de 2,1% para la descarga de agua cerca de la cuaderna 19. Este aumento en la eficiencia de propulsión es mayor que el aumento de la resistencia del buque. El método utilizado para calcular el requisito de propulsión del buque se basa en una extrapolación, procedimiento que contiene niveles significativos de incertidumbre, por lo tanto, sólo una aplicación a gran escala del concepto puede proporcionar una determinación precisa de las ganancias de propulsión.

Con el fin de investigar el beneficio económico de las mejoras mencionadas de la propulsión, se adoptó un escenario de operación para el tráfico de graneles a Europa para

buques sin lastre. Se calculó la variación del coste de transporte con respecto a la alternativa de filtración y sistema de tratamiento UV del agua de lastre. El ahorro neto sería de \$ 0,93 por tonelada de carga con la descarga de agua cerca de la cuaderna 17 y 0,44 dólares por tonelada de carga para el agua descargada cerca de la cuaderna 19. Un escenario operativo diferente podría resultar en un ahorro aún más bajo. No obstante, el costo-eficacia confirma el concepto de buque libre de lastre como alternativa viable a los sistemas de tratamiento del lastre más costosos. A pesar de que el proyecto actual se centra en un granelero más pequeño de tamaño vía marítima en los Grandes Lagos, el concepto también puede ser aplicable a otros buques de nueva construcción de diferentes tipos y tamaños.

5.3 Buques libres de lastre por formas de los buques (NOBS)

Un VLCC convencional utiliza el agua de lastre en dos diferentes partes de sus operaciones. En condiciones de tránsito sin carga, el lastre es necesario para obtener una hélice totalmente sumergida y suficiente calado a proa para evitar pantocazos. Durante las operaciones de carga, el agua de lastre se utiliza para reducir los momentos de flexión y compensar el asiento y la escora.

Las operaciones de un buque tanque de lastre actual dan lugar a dos efectos importantes no deseados:

- El agua de lastre contiene organismos que pueden causar daño cuando se liberan en ecosistemas foráneos.
- Se requiere combustible adicional para transportar el agua de lastre

La disposición de los tanques y la forma del casco en los buques pueden eliminar la necesidad de lastre en sus operaciones.

5.3.1 Formas del casco libre de lastre

Con el fin de tener un VLCC libre de lastre, se necesitan algunos cambios drásticos en la forma del casco. Un VLCC convencional, de 300.000 toneladas de peso muerto, en condición de rosca flotará normalmente con un calado medio de 3-4 metros - con la popa y la hélice casi fuera del agua. Para aumentar el calado en condición rosca se ha desarrollado un casco con forma más en V para el diseño del buque.

Nuestro barco está diseñado para transportar un cierto volumen de carga. El objetivo principal durante la fase de diseño del casco era reducir al mínimo la resistencia y optimizar las condiciones de la hélice.

La resistencia de un barco se divide típicamente en viscosa y resistencia de formación de olas, esta última se vuelve importante cuando la velocidad aumenta. Los VLCC tradicionales operan a velocidades moderadas y su resistencia está dominada por los efectos viscosos. El efecto viscoso es proporcional a la superficie mojada de la embarcación y a un factor de forma que depende de la geometría del casco.

La atención se ha centrado en minimizar la suma ponderada de la superficie mojada en condiciones de plena carga y descarga. El buque pasará aproximadamente el mismo tiempo en condiciones de carga y sin carga, y por lo tanto, éstas han sido ponderadas de manera uniforme. Esto optimiza la resistencia total del viaje completo.

Se creó un casco en forma de caja paramétrica para minimizar la superficie mojada por el desplazamiento requerido. Pueden ser variados los siguientes parámetros para la parte sumergida del buque:

- Calado
- Manga en la quilla
- Manga
- Puntal de los costados verticales
- Eslora

Estos parámetros pueden originar cualquier forma desde una cuña a un casco convencional. Se analizó un amplio abanico de parámetros con el fin de encontrar la menor superficie mojada.

5.3.2 Resistencia viscosa estimada

La Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) es una alternativa viable con la precisión de la predicción a escala real a la par con los resultados del modelo a escala de pruebas. En muchos casos, las simulaciones numéricas superaron en precisión las estimaciones de los tanques de ensayo. Las simulaciones numéricas tienen ventajas significativas en términos de coste y flexibilidad y tardan bastante menos tiempo para establecer resultados que los experimentos.

Mediante el uso de herramientas CFD, se puede comparar la resistencia viscosa del nuevo diseño con la de un diseño más tradicional. Se focalizó la idea de la optimización de los campos de presión en la zona de proa y popa. Las zonas de alta presión en la proa y las zonas de baja presión en la popa contribuyen a un factor deformante y deberían evitarse. Varias iteraciones de rediseño y análisis con CFD llevaron a la forma final del casco.

5.3.3 Propulsión y Potencia Propulsora

El diámetro óptimo y hélices gemelas permitirán un proyecto de popa baja en la condición sin carga. Al mismo tiempo, la eficiencia elevada de propulsión está asegurada por la disposición de la hélice superpuesta. La estela del barco causada por la fricción entre el casco del buque y el agua circundante se centra alrededor de la línea central (similar a los diseños de barco convencionales). Las estimaciones de energía necesaria para la propulsión se basan en la resistencia y en el análisis de la hélice. El buque convencional necesita menos potencia de propulsión en condiciones de plena carga, mientras que el diseño que se propone reduce su potencia en la condición sin carga.

5.3.4 Disposición general de un buque tanque sin lastre

Un criterio importante para el nuevo diseño es que debe ser posible llevar a cabo el proceso de manipulación de la carga sin el agua de lastre, utilizando la infraestructura existente y de acuerdo con la legislación vigente.

Un VLCC tradicional llegará a la terminal de carga con los tanques de lastre llenos y vaciará éstos durante el llenado de los tanques de carga para evitar momentos altos de flexión y trimado durante las operaciones de carga.

Al no transportar agua de lastre, la disposición interna de la nave debe ser tal que se compensen los momentos de flexión y trimado.

La solución para compensar estos elementos es una disposición de carga dividida en cinco secciones longitudinales de carga, un tanque central, dos tanques intermedios y dos tanques laterales. Esto se consigue teniendo cuatro mamparos longitudinales en lugar de los dos que son habituales en los petroleros convencionales.

5.3.5 Momentos de flexión longitudinales.

Al llenar / vaciar una sección de carga en toda su longitud, no hay momentos de flexión longitudinal debido al desigual peso de la carga a lo largo de la eslora del barco. El buque estará equipado con un dispositivo de tuberías de carga que se ha configurado para el llenado/vaciado de una sección longitudinal completa de carga, de forma simultánea.

5.3.6 Asiento y escora

Para evitar grandes ángulos de escora durante las operaciones de carga, se debe evitar que la carga origine momentos de escora del buque. Estos momentos se evitan mediante la

colocación de mamparos longitudinales para dar equilibrio alrededor de la línea central longitudinal para todas las alternativas de segregación. El momento de equilibrio se produce no sólo cuando los tanques laterales o intermedios en ambos lados se llenan con la misma segregación, sino también cuando un tanque lateral en un lado se llena al mismo tiempo que un tanque intermedio en el lado opuesto del buque.

5.3.7 Segregaciones de Carga

En caso de tener segregaciones de carga, el diseño del buque debería permitir que sea cargado en principio en la misma forma que un petrolero convencional, siempre que el equilibrio transversal y el llenado longitudinal se mantengan.

5.3.8 Noticias acerca buques sin lastre

5.3.8.1 EU Cargo Xpress, el buque de carga sostenible

El pasado mes de marzo y tras 32 meses de investigación, fue presentado el proyecto de I +D “EU Cargo Xpress” coordinado por Acciona. El buque es tipo catamarán en lugar de monocasco buscando eliminar el agua de lastre. Con ello se consigue reducir el consumo de combustible y la contaminación (Ingeniería Naval, mayo 2012)

5.3.8.2 El primer buque sin lastre (NOBS) será botado en el astillero Ningbo de China

Recientemente se han firmado contratos para la construcción de dos buques de 6.500 toneladas de peso muerto y otros dos de 4.500 DWT, buques tanques (NOBS), por la compañía Zhejiang Huayun Shipping Co Ltd y Guangdong Zhanjiang Fuda y serán construidos por Ningbo Astillero Co Ltd., lo que representa la primera construcción en el mundo de un buque NOBS.

Dos de los buques tanque NOBS serán registrados en Singapur, clasificados por BV, con Green Ship (I) y EEDI (I), el diseño de los cuales fue sometido a la oficina del Bureau Veritas (VB) en Shanghai para su aprobación.

El primero de los dos buques tanque NOBS se botará a finales de 2013, los buques operarán en Singapur y el sudeste asiático para el suministro de combustible y transporte en el mar.

La compañía XED ha pasado 3 años investigando los buques NOBS, y ha obtenido los derechos de patente de la Oficina Estatal de Propiedad Intelectual de la República Popular China. En la actualidad no hay modelos de barcos de este tipo en el mundo. Hay un total de

4 modelos de barcos patentados de NOBS, entre ellos "Petroteros NOBS", " Quimiqueros NOBS ", " Graneleros NOBS " y "Buques de contenedores NOBS"

Al ser una de las series de Buques tanque NOBS, los petroleros de 6.500 y 4.500 toneladas de peso muerto pueden evitar efectivamente la BWM y la PSPC de la OMI. Al mismo tiempo, las líneas de trazado de la parte superior en forma de U y de la parte inferior en forma de V pueden reducir mucho la resistencia. En comparación con los buques tradicionales, tienen ahorro de costes de construcción, operación, y reparación y un buen comportamiento en cuanto a la protección del medio ambiente marino se refiere. Además, las naves podrán adaptarse mejor a la futura aplicación obligatoria de la OMI y EEDI SEEMP a partir del 1 de enero del 2013.

6 CONCLUSIONES

6.1 General

El control y gestión del agua de lastre y sedimentos de los buques es una medida para evitar, minimizar y en definitiva eliminar los riesgos para el medio ambiente, la salud humana, los recursos y propiedades como consecuencia del trasiego de organismos acuáticos dañinos y agentes patógenos. Para evitar dichos efectos dañinos, así como tratar también de evitar los efectos colaterales no deseados de dicho control, el Convenio requiere que los buques realicen o bien el cambio de agua de lastre, o bien sean dotados de un sistema aprobado de gestión del agua de lastre.

Es de notar, sin embargo, que varios estudios han demostrado que la efectividad del cambio de agua de lastre es menor del 100% y varía dependiendo del tipo y diseño del buque; del método para realizar el cambio, ya sea:

- secuencial,
- flujo continuo
- dilución;

Configuración del sistema de lastre; ubicación del lugar para realizar el cambio; condiciones meteorológicas y rutinas navieras para realizar cargas y transporte. Por estas y otras razones se ha concluido que el cambio de agua de lastre por sí sólo no proporciona medidas adecuadas para evitar el daño causado por organismos y agentes patógenos transportados con el agua de lastre, aun cuando dicho cambio de agua de lastre sea aceptado como una solución provisional.

La instalación de sistemas de gestión del agua de lastre (o sistemas de tratamiento del agua de lastre) diseñados, revisados, aprobados, instalados y operados a fin de satisfacer los valores convenidos de una norma de eficacia del agua de lastre descargada, ha resultado ser una medida adoptada por la industria marítima internacional para proporcionar un medio más efectivo de prevenir, minimizar, y en definitiva eliminar el trasiego de organismos y agentes patógenos a través de las descargas de agua lastre, en comparación con el cambio de agua.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que la seguridad del buque puede impedir la operación del cambio de lastre, ya que puede ser peligroso en determinadas condiciones meteorológicas o del mar, sobre todo en aguas profundas que es donde es más adecuado realizarlo.

Por ello, el cambio deberá ser sustituido por una gestión efectiva del lastre y métodos de tratamiento que cumplan con los siguientes criterios:

- Seguridad para la tripulación y para el buque,
- Respeto por el medio ambiente,
- Costes aceptables,
- Técnicamente factibles y de operación práctico.

Como hemos visto, el tipo y número de sistemas de tratamiento del agua ofrecido por los fabricantes es ya considerable.

Dada la importancia que tiene para el transporte marítimo mundial, pareció interesante hacer mención a las próximas fechas de implantación de las reglamentaciones actualizadas del US Coast Guard en aguas de EE UU.

El 21 de junio de 2012 entran en vigor las enmiendas de las reglamentaciones 33 CFR Part 151, para el control y la gestión de las descargas de agua de lastre en aguas de los EE UU de América, y 33 CFR Parte 162 para procedimientos requerimientos para la aprobación de sistemas de gestión del agua de lastre que se instalen a bordo de los buques a fin de cumplir con las normas de descarga del agua de lastre que figuran en la regulación 33CFD Parte 151.

Las fechas debidas de cumplimentación para buques existente y para buques nuevos son las que figuran en las dos tablas 151.2012 (b) y 151.2035(b) que siguen a continuación, que no dan gran margen para la puesta a punto de los sistemas y métodos aprobados para la gestión del agua de lastre.

	Capacidad de agua de lastre del buque	Fecha de construcción	Fecha de cumplimiento de la norma
Buques nuevos	Todos	En o después del 1 de diciembre de 2013	A la entrega del buque
Buques existentes	Menos que 1500 m ³	Antes del 1 de diciembre de 2013	Primera varada programada después del 1 de enero de 2016
	Entre 1500 y 5000 m ³	Antes del 1 de diciembre de 2013	Primera varada programada después del 1 de enero de 2014
	Mayor de 5000 m ³	Antes del 1 de diciembre de 2013	Primera varada programada después del 1 de enero de 2016

Tabla 151.2012(b) PROGRAMA DE IMPLANTACIÓN DE NORMAS PARA GESTIÓN DE DESCARGA DEL AGUA DE LASTRE PARA BUQUES QUE UTILICEN SISTEMAS DE GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE APROBADOS DE ACUERDO CON EL US COASTGUARD

	Capacidad de agua de lastre del buque	Fecha de construcción	Fecha de cumplimiento de la norma
Buques nuevos	Todos	En o después del 1 de diciembre de 2013	A la entrega del buque
Buques existentes	Menos que 1500 m ³	Antes del 1 de diciembre de 2013	Primera varada programada después del 1 de enero de 2016
	Entre 1500 y 5000 m ³	Antes del 1 de diciembre de 2013	Primera varada programada después del 1 de enero de 2014
	Mayor de 5000 m ³	Antes del 1 de diciembre de 2013	Primera varada programada después del 1 de enero de 2016

Tabla 151.2035(b) PROGRAMA DE IMPLANTACIÓN PARA MÉTODOS APROBADOS DE GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE

A más largo plazo, la experiencia lo corroborará o no, parece que la solución de los nuevos diseños de buques libres de lastre (NOBS), por medio de formas adecuadas del casco o con los tanques de lastre conectados con el mar por proa y por popa, para que éste entre y salga libremente, o bien con lastre reducido, que permita su tratamiento con equipos pequeños y con reducida incidencia en los costes totales de transporte de la carga, debe ser la solución definitiva.

En caso contrario, los grandes volúmenes de lastre que hay que tratar en los buques de transporte de gránulos sólidos y en los de transporte de hidrocarburos constituye un gran problema y de solución costosa, agravado para el caso de petroleros que aún navegan sin lastre segregado, por la dificultad adicional de tener que tratar un lastre probablemente contaminado con hidrocarburos en diverso grado, para los cuales, la solución del tratamiento del lastre en grandes instalaciones anexas a los puertos y terminales de carga, propuesta también como alternativa en este trabajo, pueda ser la única solución aceptable.

6.2 Consideraciones ambientales e investigación y desarrollo

La conservación del medio ambiente y biodiversidad en los océanos es un asunto vital, nunca mejor dicho. En este contexto, el control y eliminación de la introducción de especies extrañas debido a su transporte con el agua de lastre, lodos y sedimentos de los buques es de la máxima importancia, ofreciendo un campo ampliamente multidisciplinar para la investigación, la observación y toma de datos de ciertos fenómenos biológicos y de algunas de sus causas, probablemente desconocidas hasta ahora; así como para el desarrollo de nuevas técnicas y equipos de posible uso alternativo y multidisciplinar, aplicables sin duda para diversas actuaciones necesarias de protección medio ambiental y otras.

En este sentido, conviene también recordar lo dispuesto en cuanto a I+D y colaboración en I+D de las Partes, el **Artículo 6 del Convenio: Investigación científica y técnica y labor de vigilancia**:

1. Las Partes se esforzarán, individual o conjuntamente, por:
 - a. fomentar y facilitar la investigación científica y técnica sobre la gestión del agua de lastre; y
 - b. vigilar los efectos de la gestión del agua de lastre en las aguas bajo su jurisdicción.

Dicha labor de investigación y vigilancia debería incluir la observación, la medición, el muestreo, la evaluación y el análisis de la eficacia y las repercusiones negativas de cualquier tecnología o metodología empleadas, así como de cualesquiera repercusiones negativas debidas a los organismos y agentes patógenos cuya transferencia por el agua de lastre de los buques se haya determinado.

2. A fin de promover los objetivos del presente Convenio, cada Parte facilitará a las demás Partes que lo soliciten la información pertinente sobre:
 - a. los programas científicos y tecnológicos y las medidas de carácter técnico acometidas con respecto a la gestión del agua de lastre; y

- b. la eficacia de la gestión del agua de lastre deducida de los programas de evaluación y vigilancia.

6.3 Ventajas e inconvenientes de las diversas alternativas para el tratamiento del agua de lastre.

A continuación se expone una lista resumida de diferentes alternativas y las ventajas e inconvenientes principales de cada una;

TABLA 5 - VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIVERSOS MÉTODOS			
Método	Variedad	Ventajas	Desventajas
Mecánico	Filtración	Autolimpiante Respetuoso con el medio ambiente Instalación sencilla	Reduce el caudal Consumo energético alto Causa contrapresión No efectivo para microorganismos
	Separación ciclónica	Mantenimiento Caudal alto Mejora la claridad del agua No tiene partes móviles Es respetuoso con el medio ambiente	Tamaño del equipo Elimina principalmente partículas pesadas
	Floculación	Es respetuoso con el medio ambiente	Debe ser tenida en cuenta la distancia del viaje Necesario tanque de lodo para material extraído floculado Necesario tanque para aditivos Tamaño de los tanques
Esterilización física	Rayos ultravioleta	Efectividad Es respetuoso con el medio ambiente Vale para agua de mar y para agua dulce	Alto consumo energético Costes operacionales altos Mantenimiento fácil Inefectivo para aguas turbulentas
	Cavitación	Efectividad	Alto consumo energético Ruido Ineficiente para caudales elevados
	Desoxigenación	Corrosión reducida en los tanques de lastre Método sencillo si se dispone de un generador de gas a bordo	Debe ser tenida en cuenta la distancia del viaje Atmósfera controlada en los tanques Espacio
Tratamiento químico	Biocidas Cloración Ozono	Efectividad	No es respetuoso con el medio ambiente Requerido un tiempo alto de residencia del lastre en los tanques El revestimiento de los tanques puede ser afectado por la oxidación Necesario almacenaje de productos químicos Los productos químicos deben ser neutralizados antes de ser descargados Es inefectivo si no es suficientemente potente
Tratamiento térmico		Respetuoso con el medio ambiente Potencialmente con coste	Caudales pequeños Utilizable en mares no fríos

		efectivo Elimina una amplia variedad de organismos	
--	--	--	--

7 BIBLIOGRAFÍA

1. Convenio Internacional para el Control y la Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos de los Buques aprobado en la Conferencia Diplomática Internacional de la Organización Marítima Internacional (OMI). Londres, 9-13 de febrero de 2004.
2. Conclusiones del Simposio sobre I+D en el Tratamiento de Agua de Lastre de los Buques. Londres, 21 -23 de julio de 2003.
3. Directrices para el control y gestión del agua de lastre de los buques para minimizar la transferencia de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos (Resolución A.868(20) del CPMM de la OM), edición de 1998.
4. Resumen de las actividades que se realizan para la Protección y Conservación del Medio ambiente Marino en los Mares Europeos (Comisión Europea, Directorado General del Medioambiente).
5. Agenda 21 del Programa de las NN UU para el Medioambiente.
6. Reportaje de la Conferencia de las NN UU sobre Medioambiente y Desarrollo (UNCED), Río de Janeiro, 3´4 de junio de 1992.
7. ICES Code of Practice on the Introduction and Transfers of Marine Organisms, 2003.
8. Report of the ICES, IOC, IMO Study Group on Ballast and other Ship Vectors, 2000.
9. Removal of Barriers to the Effective Implementation of Ballast Water Control & Management Measures in Developing Countries. Dr. Stephan Gollasch, 1997.
10. Exotics Across the Ocean. E U Concerted Action (S.Gollasch).
11. Joint Hearing on the Implementation of the National Invasive Species Act. Northwest-Midwest Institute. USA. Allegre A. Cangelosi. May15, 2002
12. Fisheries and Oceans, Canada.
13. Global Ballast Water Management Programme (G E F, IMO, UNDP).
14. Ballast Water Invasive Species (INTERTANKO).
15. Atlas of Exotic Molluscs in the Mediterranean. CIESM.

16. Atlas of Exotic Crustaceans in the Mediterranean. CIESM.
17. Atlas of Exotic Fishes in the Mediterranean. CIESM.
18. La peste verde, algas asesinas. *Caulerpa Taxifolia*. Merche S. Calle.
19. Guía de Especies de Mar. Fichas técnicas. Merche S. Calle y J. E. Gómez.
20. Non-native Species in British Waters: a review and directory. N. Clare Eno, Robin A Clark and William G. Sanderson. Joint Nature Conservation Committee, 1997.
21. Hay que impedir que los organismos foráneos se desplacen aprovechando el agua de lastre. IMO, octubre 1998.
22. Plagas Marinas. Globalización de los océanos. Especies invasoras en el mar. Dr. Sommer Okoteccum, Kiel, Alemania.
23. Globallast Legislative Review 2002. Globallast Monograph Series.
24. The ballast-free ship. Havard Nordtveit Austefjord de 2010-15-12.
25. El Convenio Internacional y la Gestión del Agua de Lastre. Panorama Internacional. OMI. Puerto MADRYN 2008.
26. Convención de las NN UU sobre el Derecho en el Mar. Montego Bay, Jamaica, 10/XII/1982.
27. "Legislación Marítima y fuentes complementarias". Ignacio Arroyo Martínez y otros, 1998.
28. "Parar la invasión por especies acuáticas exóticas y organismos patógenos transportados por los buques, principalmente con el agua de lastre".- Primitivo B. González. Trabajo presentado para el Máster de Administración Marítima y Gestión Portuaria. Univ. A Coruña. Curso 2002/3.
29. ¿Hacia un MARPOL biológico? Detener el transporte y la emigración de especies marinas en el agua de lastre de los buques. Primitivo B. González López y Antonio Salamanca Jiménez. Universidade da Coruña. Publicado en la Revista Ingeniería Naval, diciembre 2003.
30. La contaminación biológica por agua de lastre. Publicación "Seguridad en el transporte marítimo". Grupo de Trabajo de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible del COIN. Madrid 2005.

31. Gestión integral del agua de los tanques de lastre. Una necesidad medio ambiental. José Fernando Núñez Basáñez. ETSIN, UPM y Juan Manuel Paíno Monsalve. Director de Astilleros Armón-Vigo
32. Eliminación de organismos en agua de lastre. Rodrigo Pérez Fernández y Antonio Vidal Casais, Ingenieros Navales. Revista Ingeniería Naval.
33. Ballast water treatment technology (Current status). Lloyd's Register. June 2011.
34. Ballast Water Management Systems. Guidance Note NI 538. Bureau Veritas. November 2011.
35. Ballast Water Treatment Systems. DET NORSKE VERITAS . January 2011.
36. Guide for BALLAST WATER TREATMENT. ABS. November 2011.
37. Protocol for the Verification of Ballast Water Treatment Technologies. US Coast Guard. September 2010.
38. Directrices sobre la Instalación de Sistemas de Tratamiento de Agua de Lastre. Nippon Kaiji Kyokai. Marzo 2010.
39. Ballast Water Treatment Technology – A General Note. Germanischer Lloyds.
40. Silcomar, Sistema Integrar de Lucha Contra la Contaminación Marina Editorial CIS T&D 2008.
41. Protocol for the Verification of Ballast Water Treatment Technologies. US Coast Guard. September 2010.
42. US Coast Guard Regulations 33CFR Part 151 y 33CFR Part 162.
43. Directrices sobre la Instalación de Sistemas de Tratamiento de Agua de Lastre. Nippon Kaiji Kyokai. Marzo 2010.
44. Ballast Water Treatment Technology – A General Note. Germanischer Lloyds.

CRÉDITOS POR FOTOGRAFÍAS E IMÁGENES

Las fotografías/dibujos números. Portada, 1, 2, 3, 4 son utilizadas con permiso para fines educativos de IMO/GloBallast, referencia: <http://globallast.imo.org/> año 2002, International Maritime Organization.

Las fotos e imágenes números 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 son de dominio público para fines educativos, tomadas de Wikipedia.