

# Alternativa de solución a la contaminación marina por agua de lastre

## *Alternate Solution of the Marine Contamination for Water of Ballast*

MSc. Telvia Árias-Lafargue, tal@fiq.uo.edu.cu

Facultad Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

*La contaminación por agua de lastre acarrea afectaciones económicas, sociales y ecológicas que a veces resultan de incalculable valor. Organismos patógenos se han encontrado en el agua y sedimentos de los tanques de lastre, teniendo impactos económicos y ecológicos significativos en la biodiversidad marina de muchas regiones del mundo e incidencias importantes en la salud humana. Nuestro país no está exento de estos problemas, por ser una isla situada en el paso de importantes rutas marítimas, vinculadas al comercio internacional y depender su economía en gran medida del transporte marítimo. En este trabajo se explican distintos métodos de tratamiento de esta agua que pudieran desarrollarse en Cuba. Y aunque debido a los costos se recomienda el intercambio de agua de mar afuera y el tratamiento térmico, se propone como medida la posible implementación de un sistema de tratamiento térmico acoplado a un filtro para la desnaturalización de los microorganismos que se introducen en los tanques de agua de lastre. El sistema propuesto puede o no aplicarse conjuntamente con el intercambio de agua en mar abierto.*

**Palabras clave:** contaminación, agua de lastre, tráfico marítimo.

---

*The contamination for water of ballast brings it carries economic, social and ecological affectations that are sometimes of incalculable value. The pathogenic organisms have found themselves in water and sediments of the tanks of ballast, having significant economic and ecological impacts in the marine biodiversity of many regions of the world and important incidences in the human health. Our country is not exempt of these problems, to be an island located in the step of important marine routes, linked to the international commerce and to depend your economy in great measure of maritime transportation. In this work different methods of treatment of this water are explained that could be developed in Cuba. And although due to the costs the exchange of seawater is recommended out and the thermal treatment, intends as measure the possible implementation of a system of thermal treatment coupled to a filter for the desnaturalización of the microorganisms that are introduced in the tanks of water of ballast. The proposed system can or not to be applied jointly with the exchange of water in open sea.*

**Keywords:** contamination, water of ballast, sea traffic.

## Introducción

El agua de lastre constituye un gran problema debido a que con ella se introducen especies marinas en los ecosistemas lo cual ha sido identificado como un factor que puede afectar la biodiversidad de los océanos. Los daños que provocan las descargas del agua de lastre han sido reconocidos, sin embargo los buques transportan cerca del 80 % de la mercancía que se mueve en el mundo, 10 billones de toneladas métricas de lastre a través del globo cada año, facilitando el desplazamiento de grandes biomásas de nuevos organismos a puertos incluyendo virus,

bacterias, fitoplancton, huevos y larvas de muchas especies /1/.

Sin embargo, el lastre debe ser usado para la seguridad de los buques pues proporciona estabilidad y balance en su integridad estructural facilitando el proceso de carga y descarga de las mercancías. Para prevenir estas invasiones la comunidad científica ha ido trabajando en la implementación de regulaciones entre los diferentes puertos para reducir al máximo la invasión de estas especies marinas disminuyendo

---

así sus posibles consecuencias, especialmente aquellas que implican riesgos para la salud humana, los recursos pesqueros y el ecosistema.

Los 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 por los buques incluso después de viajes de varios meses de duración. La posibilidad de que las descargas de agua de lastre causen daños ha sido reconocida no solo por la Organización Marítima Internacional sino también por la Organización Mundial de la Salud, a la que preocupa la función del agua de lastre como medio de propagación de bacterias causantes de enfermedades epidémicas /4/.

La ubicación geográfica del puerto santiaguero es privilegiada, al estar situado en el paso de importantes rutas marítimas, vinculadas al comercio internacional de la región. Existen además ocho terminales marítimas para operaciones de carga y descarga y seis fondeaderos para buques. La infraestructura actual permite la operación de buques y manipulación de cargas como combustible, cemento, cereales, carga refrigerada, pesca, contenedores de diversos tipos, materiales de construcción y graneles /2;3/.

Nuestra bahía actualmente se encuentra expuesta a varios tipos de contaminación ambiental, los cuales influyen negativamente en el entorno y el ecosistema de la misma. A pesar de su poco calado, es una de las más importantes de nuestro país, es el puerto natural para la importación y exportación de las provincias orientales, las cuales constituyen la parte más poblada y grande, las tierras más fértiles y las minas más ricas del país, con perspectivas de desarrollo a mediano y largo plazo para su modernización, con vistas a aumentar la importación y exportación de cargas de toda la parte oriental del país y para el refinamiento de crudo venezolano para su exportación a todo el caribe como parte de los proyectos de Petrocaribe. Es por ello que se hace necesaria la toma de medidas encaminadas a contrarrestar los efectos nocivos de la descarga de aguas residuales de los buques, en este caso el lastre.

Nuestro mayor mercado de importación proviene de Latinoamérica, en algunos casos de Asia y en menor cuantía, pero con perspectivas de desarrollo, el mercado norteamericano, debido a los tratados y negocios firmados entre Alimport y Agricultores Norteamericanos de Estados Unidos.

El agua de lastre procedente del tráfico internacional es uno de los medios principales de introducción de bacterias, fitoplancton y zooplancton. En los puertos venezolanos dentro de las bacterias patógenas se encuentra el cólera, *zalmonea* sp, *escherichia coli*, *seudomona aeruginosa*, *proteus mirabilis*, *proteus bulgaris*, neumonía, *klebsiella*, y enterobacterias. Esto muestra que el agua de lastre es un factor más de contaminación de la zona geográfica.

En la bahía santiaguera fueron tomadas muestras de aguas de lastre a dos buques, procedentes de EUA y Asia, así como muestras al agua de la bahía para realizar los estudios pertinentes. Los resultados obtenidos avalan que la comunidad fitoplanctónica de otras latitudes se encuentra en nuestras costas. Además arrojaron la presencia de coliformes totales y fecales por valores de 240 000 col/mL /3/.

Para definir cual de estas especies está involucrada en la bio-invasión se requiere de un estudio amplio y específico. Lo que sí es claro es que se necesita un sistema que permita eliminar todas las especies presentes en las aguas de lastre con el objetivo de evitar la bio-invasión por todas las afectaciones económicas y sociales que traen aparejadas.

En este trabajo se muestra una alternativa para prevenir y reducir la entrada de microorganismos patógenos en la bahía santiaguera procedentes del agua de lastre, identificando medidas para garantizar evitar que el lastre de otras latitudes influya negativamente en la contaminación de la bahía santiaguera, y tiene como **objetivo:**

1. Buscar métodos de tratamiento para la eliminación de la contaminación por agua de lastre.
2. Presentar una propuesta para el tratamiento de agua de lastre en Cuba.

---

## Metodología

Todo buque que lleve agua de lastre debe ir provisto de un plan de gestión para ayudar a reducir al mínimo la transferencia de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos. La finalidad del plan debe ser aportar procedimientos seguros y eficaces para la gestión del agua de lastre, el mismo debe ser específico para cada buque y debe incluirse en la documentación relativa a sus operaciones /6;7/.

Este debe describir los puntos idóneos de acceso para el muestreo del lastre o los sedimentos, ello permitirá a los miembros de la tripulación prestar la máxima ayuda cuando las autoridades del puerto soliciten una muestra del agua de lastre o de los sedimentos.

Al tomar o descargar agua de lastre se debe tomar nota, como mínimo, de las fechas, la ubicación geográfica, la temperatura y salinidad del agua de lastre, así como de la cantidad embarcada o desembarcada. Las autoridades marítimas portuarias están en la obligación de informar al buque o a sus agentes situaciones en las que convendrá reducir al mínimo la toma del agua de lastre, tales como:

- Zonas afectadas por epidemias, plagas o colonias conocidas de organismos perjudiciales y agentes patógenos;
- zonas en las que haya floraciones fitoplanctónicas (floraciones algales, como es el caso de las mareas rojas);
- en las proximidades de desagües de residuos cloacales;
- cerca de lugares donde se realicen operaciones de dragado;
- donde se sepa que en una corriente de marea el agua es más turbia;
- zonas en las que se sabe que el efecto dispersante de la marea es insuficiente.

Siempre que sea posible, la limpieza del tanque de lastre para retirar sedimentos se realizará en alta mar y al cargar el lastre, deberá hacerse todo lo posible para evitar la toma de organismos

acuáticos potencialmente perjudiciales, agentes patógenos y sedimentos que puedan contener tales organismos. La toma de agua de lastre se reducirá al mínimo o, si resulta factible, se evitará totalmente en zonas y situaciones tales como las señaladas anteriormente, así como:

- En la oscuridad, cuando los organismos que viven en el fondo pueden ascender en la columna de agua;
- en aguas muy poco profundas;
- en lugares en los que las hélices puedan levantar los sedimentos.

Cuando resulte necesario tomar y descargar agua de lastre en el mismo puerto con el fin de facilitar la seguridad de las operaciones relacionadas con la carga convendrá evitar la descarga innecesaria del agua de lastre que se halla tomado en otro puerto.

## Resultados y análisis

La aplicación de métodos y procedimientos para la gestión del agua de lastre constituye actualmente la clave de la solución para reducir al mínimo la introducción de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos.

La descarga del agua de lastre de los buques en instalaciones de recepción y/o tratamiento puede constituir un medio aceptable de control aunque, dado el enorme tráfico marítimo que circula hoy día, las horas de espera serían inevitables lo cual hace incurrir en gastos al buque.

Son muchas las formas de tratamiento de agua de lastre que se han planteado como posibles ha emplear en el mundo actual, algunos ejemplos son: el intercambio de agua de lastre, que se efectúa en el mar intercambiando del 95 al 100 % del agua original que se tiene a bordo; el tratamiento por temperatura, la filtración como forma de separar organismos de diferentes tamaños y el tratamiento químico.

Dentro de los distintos tratamientos que se conocen para esterilizar el agua de mar se pueden distinguir tres tipos fundamentales: físicos, mecánicos y químicos. Entre los métodos físicos más utilizados y eficaces se encuentra la radiación

---

ultravioleta, pero tiene el inconveniente de que requiere un tratamiento de tipo mecánico para poder trabajar en óptimas condiciones. Otro método, el tratamiento por calor, aprovecha la energía de las calderas para aumentar la temperatura del agua y producir la muerte de los organismos, aunque requiere un diseño complicado. Por último, puede recurrirse al tratamiento por ultrasonidos, aunque está todavía en fase experimental.

En cuanto a los métodos mecánicos, el tratamiento por filtración elimina cualquier sólido u organismo cuyo tamaño supere el poro del filtro, pero permite el paso a los más pequeños, como virus y bacterias, que no son por ello menos importantes. Otro tanto sucede cuando se centrifuga el agua en un hidrociclón; aquellas partículas u organismos con una densidad mayor a la del agua serán arrastrados a la parte externa del dispositivo y resultarán fáciles de eliminar. Pero escaparán los que tengan una densidad similar o menor a la del agua de mar.

La tercera alternativa consiste en los tratamientos químicos, también muy variados. Cabe citar en primer lugar a los productos desinfectantes y biocidas, generalmente oxidantes de la materia orgánica, como, por ejemplo, el cloro que se usa para potabilizar el agua de consumo. Tienen el gran inconveniente de que las aguas así tratadas conservan cierto carácter biocida que podría afectar posteriormente a otras especies. Además, en ocasiones dan lugar a compuestos organoclorados de carácter tóxico y cancerígeno. Por lo tanto, se están investigando otras sustancias con efecto biocida temporal que no pongan en peligro a las demás especies, así como el uso de cobre y otros metales que son tóxicos para los microorganismos. Sin embargo, al no cubrir todas las zonas del tanque de lastre y dejar espacios muertos sin tratar, estos sistemas no son del todo eficaces.

Dentro de este mismo grupo de las medidas químicas se han propuesto otras opciones como el tratamiento con ozono, electrólisis o variaciones en el grado de acidez (pH) del agua, pero se han descartado debido a su alto costo y a que pueden acarrear nuevos problemas ambientales.

Dentro de las posibles soluciones que se pueden desarrollar para el tratamiento del agua de lastre en Cuba se propone el tratamiento térmico acoplado a

un proceso de filtración. Todo esto teniendo en cuenta que se necesita desarrollar una tecnología de tratamiento adecuada a las características de los buques cubanos y a nuestra economía con gran eficiencia.

El tratamiento térmico de agua de lastre como forma de inactivar o eliminar los microorganismos que esta presenta no han sido formalmente aprobados por la OMI ni por ninguna autoridad nacional, sin embargo ha sido demostrada su eficiencia como opción de tratamiento a bordo de los buques pues es capaz de destruir literalmente todo el fitoplancton y zooplancton presentes en el agua de lastre. Además de ofrecer una forma superior de tratamiento en los casos en que puede ser utilizada. Las altas temperaturas inducen a la desnaturalización de las proteínas más importantes y compromete las estructuras de las membranas celulares, además inactiva los procesos metabólicos imprescindibles para todos los organismos vivos.

Enterobacterias como la salmonela, campilobacterias y echerichia las cuales tienen su hábitat en el interior de la sangre animal requieren temperaturas de calentamiento de 60 a 70°C. La eficiencia de este proceso varía ampliamente en dependencia del tipo de buque, lo cual está basado en la recuperación del calor y su reutilización, en la temperatura del agua de mar, en la capacidad de las bombas de lastre y los requerimientos operacionales. Consecuentemente para este método de tratamiento resulta imprescindible un análisis específico de los requerimientos estructurales y de diseño de cada buque.

Con el objetivo de prevenir la introducción de especies peligrosas a través del agua de lastre de los buques se explicará la planta de tratamiento que al efecto se propone. Dicha planta es una propuesta modificada de una que se está tratando de implementar en los últimos tiempos en el mundo. La modificación consiste en un filtro a la entrada del flujo de agua, este se utilizaría para evitar la entrada de organismos de gran tamaño a los tanques de lastre, de esta forma se garantiza que las temperaturas de tratamiento y el tiempo de este no sean tan considerables.

El proceso de tratamiento térmico para la esterilización de microorganismos marinos

requiere de intercambiadores de calor. La principal fuente de calor a bordo de un buque proviene de las calderas y de la máquina principal. El proceso de calentamiento de agua puede llevarse a cabo durante el lastrado en el puerto de descarga o durante el deslastrado en el puerto de carga.

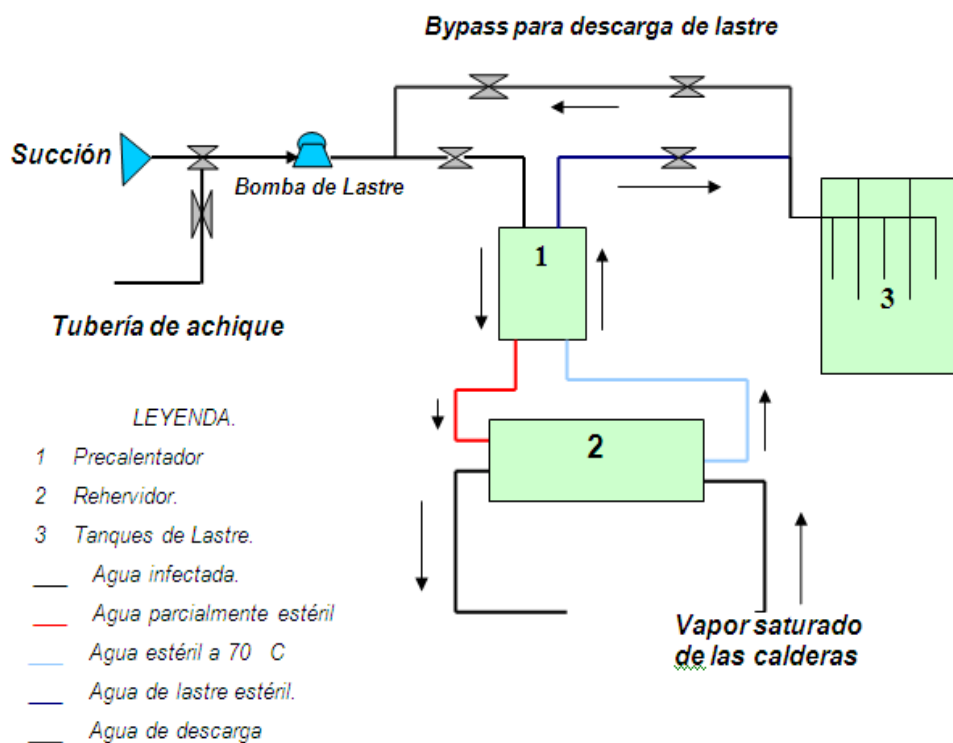
La selección de los equipos que serán instalados en la planta de tratamiento de agua de lastre estará en dependencia de los requerimientos técnicos y estructurales del buque en cuestión. Es decir, para el diseño de estos equipos debe considerarse:

- El tamaño del buque.
- Capacidad de los tanques de lastre del mismo.
- Capacidad de generación de vapor.
- La potencia de las máquinas.

A continuación se muestra un diagrama de flujo general de una planta de tratamiento de agua de lastre. La muestra constituye una forma estandarizada de construir una planta de tratamiento térmico a bordo de un buque. Las cantidades y dimensiones de los equipos al igual que su eficiencia están en dependencia de lo

anteriormente señalado. La figura representa la idea básica de una planta capaz de realizar un rápido tratamiento con eficiencia y economía.

El agua de mar entra al buque impulsada por las bombas de lastrado directamente hacia un precalentador, pasando por un filtro de malla que se ubica a la entrada de las tuberías de lastrado. El precalentador actúa como economizador del sistema. Los vapores saturados procedentes de la caldera y las máquinas principales proveen de energía calorífica a todo el sistema, esta energía calienta el agua de lastre procedente del mar en un intercambiador de calor hasta la temperatura que posibilite la muerte de los microorganismos. Dicha agua caliente cede su calor en el precalentador al agua que seguirá entrando del mar, comportándose de esta forma como un ciclo cerrado, siendo enviada posteriormente a los tanques de lastre. Una vez en estos el agua adquiere la temperatura ambiente y luego es descargada cuando las condiciones lo requieran, todo ello permite que el rendimiento de este sistema puede ser logrado sin ningún tipo de estrés térmico pues el agua es deslastrada solo con unos pocos grados sobre la temperatura del mar.



**Fig. 1 Sistema de tratamiento térmico propuesto.**

---

La planta podría ser ubicada en el cuarto de bombas del buque pues hasta el momento no ha sido tomado en cuenta por lo ingenieros y arquitectos navales un espacio dentro de los buques para la instalación de una planta de este tipo.

El costo del sistema incluirá los precios de las válvulas, metros de tubo requeridos, codos etc., así como del precio del combustible Diesel marino o Fuel Oil. Un ejemplo que demuestra la eficiencia del proceso es que según estudios realizados el promedio de vapor consumido en un buque tanque en su condición de carga total y descargando crudo denso a temperatura normal con sus bombas al máximo de rendimiento es cerca de los 70 000 a 75 000 kg/h de vapor saturado de esto la energía consumida para nuestros propósitos es alrededor de un 7 %. La cantidad de vapor disponible para el proceso de tratamiento será directamente proporcional a la descarga del buque es decir que mientras más se descargue el mismo mayor cantidad de vapor tendremos disponible para el proceso de tratamiento.

Es además apropiado para los buques realizar el lastrado simultáneamente con la descarga del buque pues durante esta, el desplazamiento del buque se altera continuamente y cambia constantemente su centro de gravedad, de esta forma se mantiene la integridad estructural del casco y se mantiene sumergida la propela, hecho el cual proporciona operatividad y rapidez al buque al momento de su despacho para salir nuevamente a la navegación.

El método de tratamiento térmico del agua de lastre puede ser una forma eficiente y económica de reducir los agentes contaminantes en nuestro ecosistema costero, contribuyendo al cuidado y mejoramiento del medio ambiente en Cuba y el Caribe.

## Conclusiones

1. Son muchas las afectaciones económicas, sociales y medioambientales que provoca el trasiego de agua de lastre de una zona geográfica a otra.
2. Existen diversas propuestas de métodos de tratamiento para agua de lastre siendo las más recomendables según sus costos el intercambio de agua mar afuera y el tratamiento térmico.
3. Se propone la implementación de un sistema de tratamiento térmico acoplado a un filtro para la desnaturalización de los microorganismos que se introducen en los tanques de agua de lastre. Este sistema puede o no aplicarse conjuntamente con el intercambio de agua en mar abierto.

## Bibliografía

- 1 "Agua de lastre". Disponible en [www.hidritec.com](http://www.hidritec.com)
- 2 CHABALINA, L.; BELTRÁN, J. "Contaminación marina en bahías y zonas costeras de Cuba y del Gran Caribe". Centro de Ingeniería y manejo Ambiental de Bahías y Costas. La Habana. Cuba, 1999.
- 3 CITMA., "Informe de la situación ambiental bahía santiaguera". Santiago de Cuba, 2008.
- 4 OMI: "2<sup>nd</sup> International ballast water treatment, R&D simposium". Globallast monograph series # 15. Londres, 2004.
- 5 REDONDO SAN MARTÍN, Antonio. "Plan de gestión del agua de lastre de los buques". Empresa CARIBSE. 2005.
- 6 MINISTERIO DE TRANSPORTE. Resolución OMI A 868 (20): Para el control y gestión del agua de lastre. Cuba, 1998.
- 7 \_\_\_\_\_. Resolución 2/98. Para la prevención de la contaminación., Cuba, 1998.