



## Tratamiento de aguas en el sector naval

---



## Why seawater disinfection?

Industrial activities located in coastal areas, shipping industry or some recreational facilities, are activities that need seawater for many purposes.



it is necessary to **correctly manage marine water treatments**

**Seawater** with specific particularities:

- high salinity,
- low organic matter content,

**High microbiological activity and diversity**

**Industrial activities**

**Aquaculture**

**Maritime Transport**







Maritime transport is continuously expanding through the globe

## CARGO SHIPS

It actually covers about **80-90% of total world merchandise**

Growth of container ship size and insured vessel values

**Fully cellular** (1970-) 1,000–2,500 teu 215x20x10m - \$8m to \$12m

**Panamax** (1980-) 3,000 – 3,400 teu 250x32x12.5m - \$62m

**Post Panamax** (1988) 4,000 – 5,000 teu 285x40x13m - \$49m

**Post Panamax Plus** (2000) 6,000 – 8,000 teu 300x43x14.5m - \$98m

**Triple E** (2013) 18,000 teu 400x59x15.5m - \$140m

Adapted with permission from The Geography of Transports Systems, Jean-Paul Rodrigue

Insured vessel values: ACIS Insured vessel values are approximate. Based on value on entering the fleet. Allow +/- 10% variance

The **Triple E** is equivalent to the length of 2 ft *Source: maritime-executive*

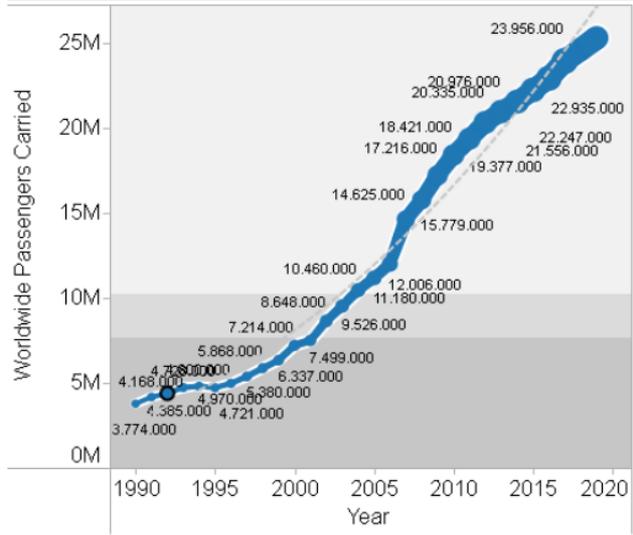
David & Gollasch (2015)  
UNCTAD (2016)

## CRUISE TOURISM INDUSTRY

**Exponential Growth**



Growth of Worldwide Passengers Carried

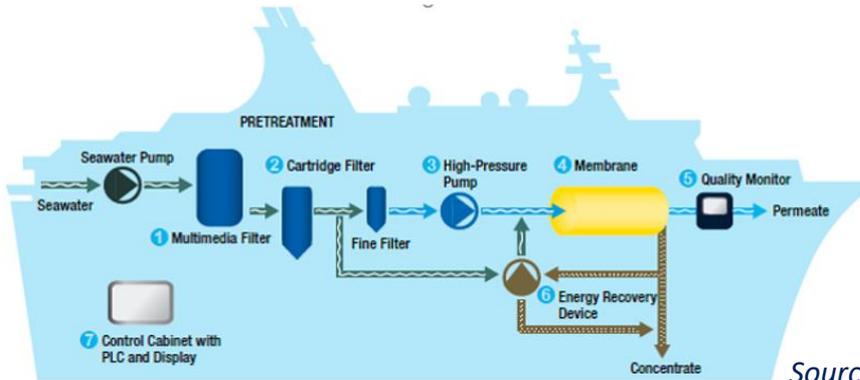


Source: Cruise Market Watch

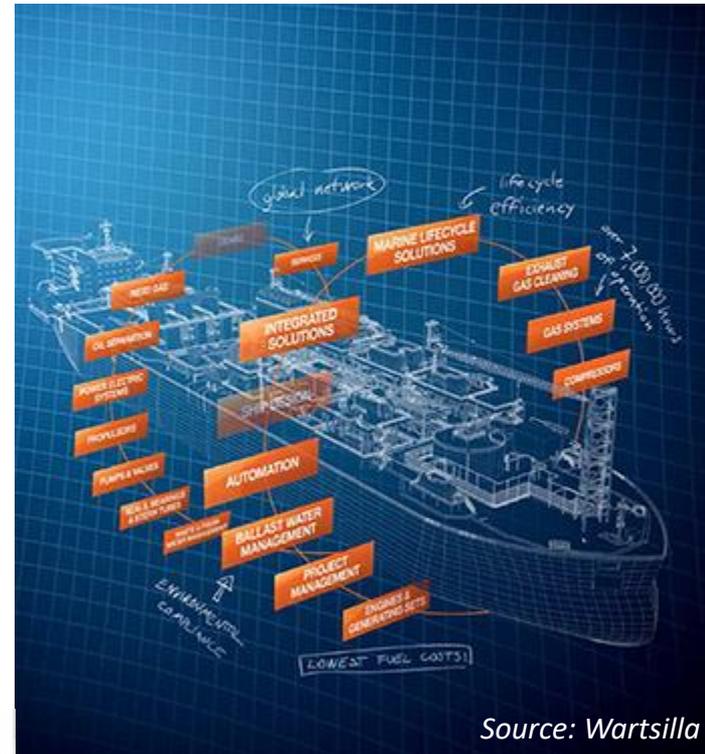


## WATER MANAGEMENT

Use of water in vessels implies the needs to discharge it

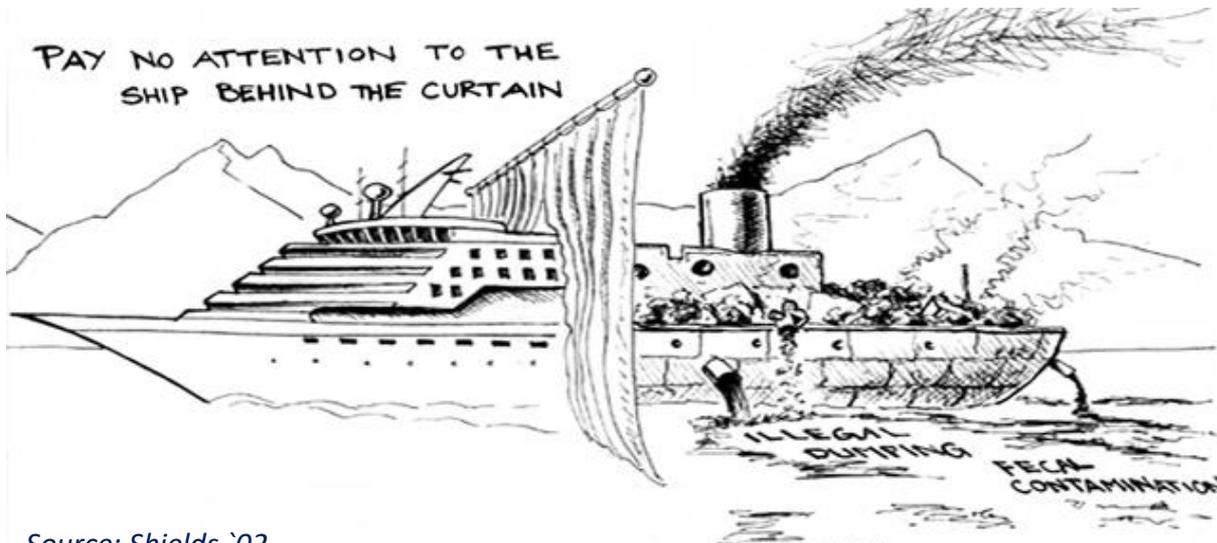


Source: EVAC



Source: Wartsilla

PAY NO ATTENTION TO THE SHIP BEHIND THE CURTAIN



These environmental pressures could be enough to constitute a **health hazard to the ecosystem** and increase **marine pollution**

El tratamiento y la eliminación de desechos, **aguas residuales** y emisiones de escape generados por los buques en el mar están regulados por **el Convenio MARPOL 73/78 de la Organización Marítima Internacional (OMI), anexos I — VI** sin perjuicio de las normas regionales o locales que puedan aplicarse y otras leyes:

El Convenio, modificado por el Protocolo de 1978, se conoce con el nombre de ***“Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978”*** o, de manera abreviada,

**“MARPOL 73/78”.**

- I. **Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos**. Se centra en la eliminación de residuos de petróleo y sentinas.
- II. **Reglas para prevenir la contaminación por sustancias nocivas** líquidas transportadas a granel. Prevención de la contaminación por aguas residuales. En cualquier caso, no se permiten las descargas de residuos que contengan sustancias perjudiciales a menos de 12 millas de la tierra más próxima.
- III. **Reglas para prevenir la contaminación por sustancias perjudiciales transportadas por mar en bultos**. "Sustancias perjudiciales" son las consideradas como contaminantes del mar en el Código marítimo internacional de mercancías peligrosas.

**IV. Reglas para prevenir la contaminación por las aguas sucias de los buques.** La descarga de aguas sucias al mar está prohibida a menos que el buque utilice una instalación de tratamiento de aguas sucias aprobada o descargue aguas sucias previamente desmenuzadas y desinfectadas mediante un sistema aprobado, a una distancia superior a 3 millas marinas de la tierra más próxima, o a una distancia superior a 12 millas marinas de la tierra más próxima si no han sido previamente desmenuzadas ni desinfectadas.

**V. Reglas para prevenir la contaminación ocasionada por las basuras de los buques.** Trata de los distintos tipos de basuras y especifica las distancias desde tierra y la manera en que se pueden evacuar; la característica más importante del anexo es la total prohibición impuesta al vertido en el mar de toda clase de plásticos.

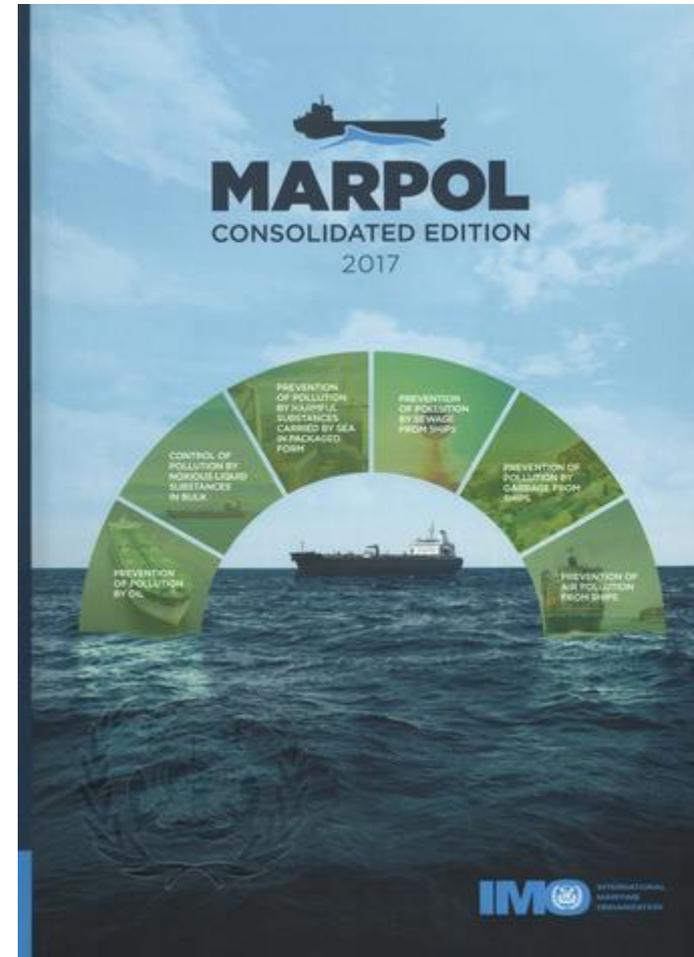
**VI. Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques.** En el Anexo VI se establecen los límites de las emisiones de óxidos de azufre y de óxidos de nitrógeno de los escapes de los buques y se prohíben las emisiones deliberadas de sustancias que agotan el ozono; para las zonas de control de emisiones designadas se establecen normas más estrictas en relación con la emisión de SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y PM<sub>2.5</sub>.



El Anexo IV de MARPOL, en particular, regula la descarga de aguas residuales domésticas, sin embargo, **no distingue específicamente entre un buque de carga (con una tripulación menor de 20 personas) o buques de crucero con miles de personas a bordo.** Según este convenio (Anexos IV y V), los cruceros pueden descargar desechos sólidos y aguas residuales no tratadas cuando el barco está a más de 12 millas de la costa más cercana y fuera de zonas sensibles.

Por aguas sucias se entiende:

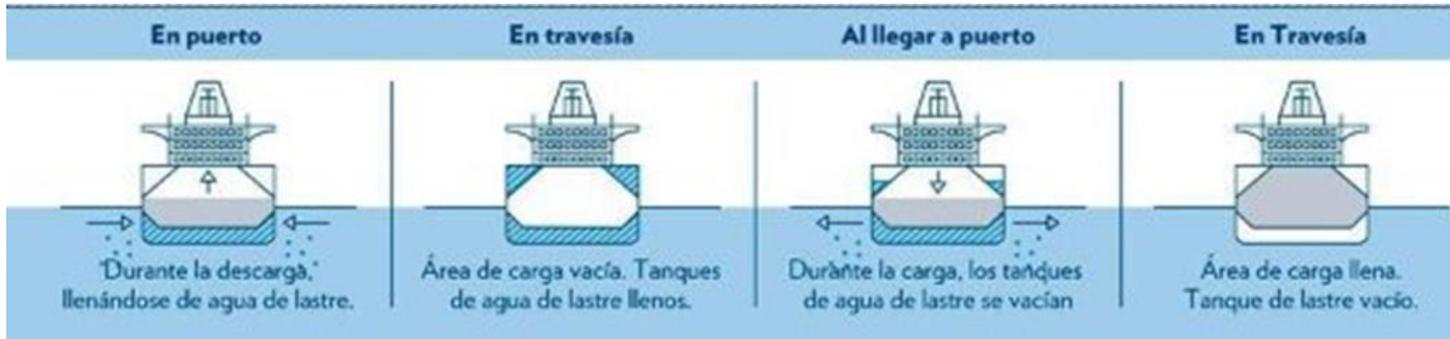
- a) Desagües y otros residuos procedentes de cualquier tipo de inodoros, urinarios y tazas de WC;
- b) desagües procedentes de lavabos, lavaderos y conductos de salida situados en cámaras de servicios médicos (dispensario, hospital, etc.);
- c) desagües procedentes de espacios en que se transporten animales vivos; o
- d) otras aguas residuales cuando estén mezcladas con las de desagüe arriba definidas.



## RESOLUTION MEPC.227(64) - 2006

"Effluent standards and performance tests for sewage treatment plants (MEPC.159(55))

Effluent Standards		
Indicator	Limit (geometric mean of the samples of effluent taken during the test period)	Analytical procedure
Thermotolerant Coliform	Not exceed <b>100 thermotolerant coliforms/100 ml</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. membrane filter;</li> <li>2. multiple tube fermentation;</li> <li>3. other internationally accepted equivalent test standard</li> </ol>
Total Suspended Solids (TSS)	Not exceed <b>35 mg/l</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. filtration of representative sample through a 0.45 µm filter membrane, drying at 105°C and weighing;</li> <li>2. centrifuging of a representative sample (for at least five minutes with mean acceleration of 2,800-3,200 g), drying at least 105°C and weighing;</li> <li>3. other internationally accepted equivalent test standard</li> </ol>
BOD without nitrification	BOD <sub>5</sub> without nitrification does not exceed <b>25 mg/l</b>	ISO 5815 1:2003 or an equivalent
COD	COD does not exceed <b>125 mg/l</b>	ISO 15705:2002 or an equivalent
pH	between <b>6 and 8.5</b>	
<i>in special areas should additionally meet the following</i>		
Total Nitrogen	<b>20 mg/l</b> or at least <b>70 % reduction</b> in relation to the load of the influent	ISO 29441:2010 or an equivalent
Total Phosphorous	<b>1.0 mg/l</b> or at least <b>80 % reduction</b> in relation to the load of the influent	ISO 6878:2004 or an equivalent



Entre las principales corrientes de agua generadas a bordo de un buque:

## Agua de Lastre como desafío emergente

Asegura la estabilidad y maniobrabilidad cuando los buques viajan sin carga o no es lo suficientemente pesada

Source: Maersk group





Especies Invasoras Acuáticas (**mayormente derivadas de las aguas de lastre**) están consideradas como un RETO GLOBAL

**UNA DE LAS MAYORES AMENAZAS GLOBALES DE LOS OCEÁNOS**

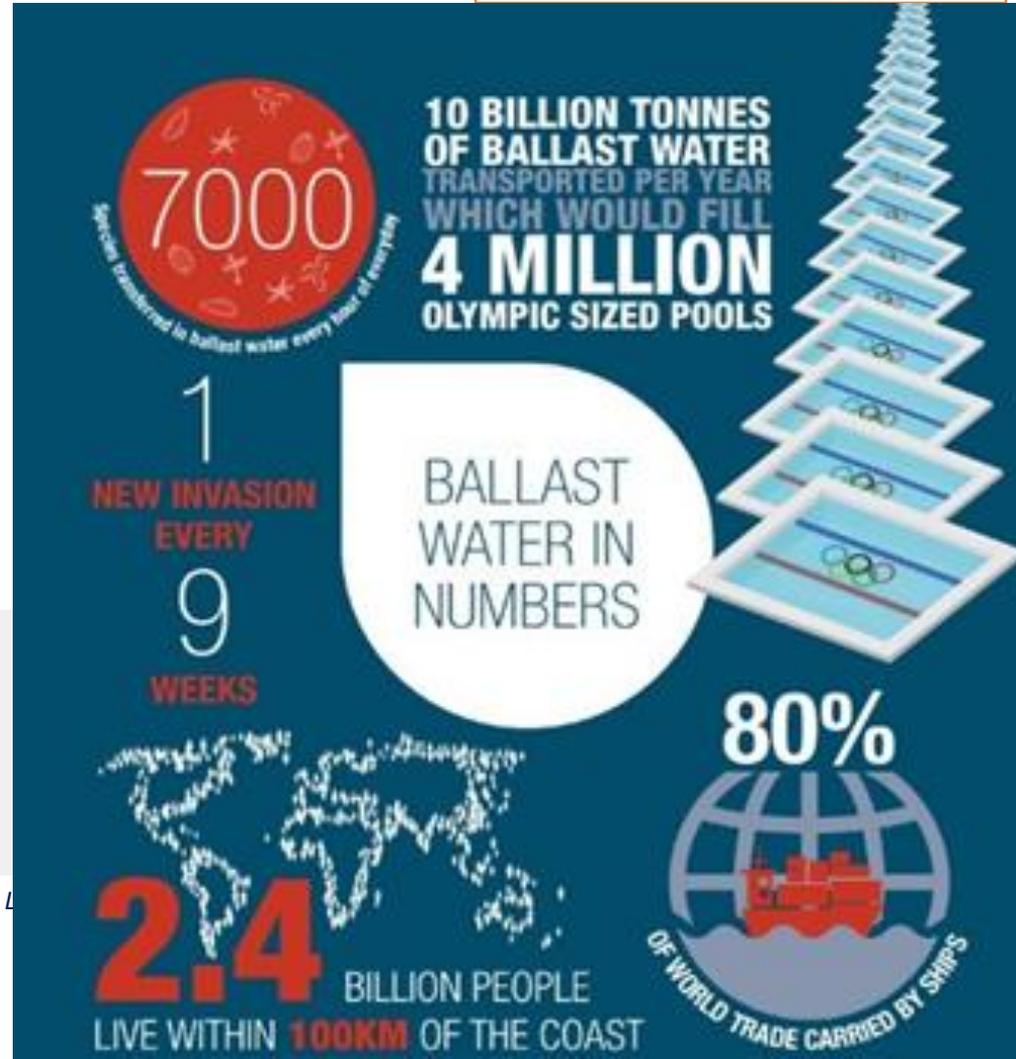
Genera grandes impactos **medioambientales, socioeconómicos** y de **salud pública**

Transporte marítimo es una de las principales vías de introducción de especies acuáticas



Transfer of **10,000** unwanted species daily

Source: L



**Impacto Económico**  
Mejillón cebra  
(*Dreissena polymorpha*)



- Coste mantenimiento \$500 millones/año en los Great Lakes

**Impacto ambiental**  
Cangrejo de Shangai  
(*Eriocheir sinensis*)



- Alteración cadena trófica
- Pérdida biodiversidad autóctona
- Alteraciones físicas

**Impacto Social**  
Cólera  
(*Vibrio cholera*)



- Enfermedad humana



## International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments



12 months after **30 states** have ratified it, and they represent at least **35%** of world merchant shipping tonnage

The USCG's final rule was published on March 23, 2012 in the Federal Register



## BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO



Núm. 282

Martes 22 de noviembre de 2016

Sec. I. Pág. 81757

«Administración»: el Gobierno del Estado bajo cuya autoridad opere el buque

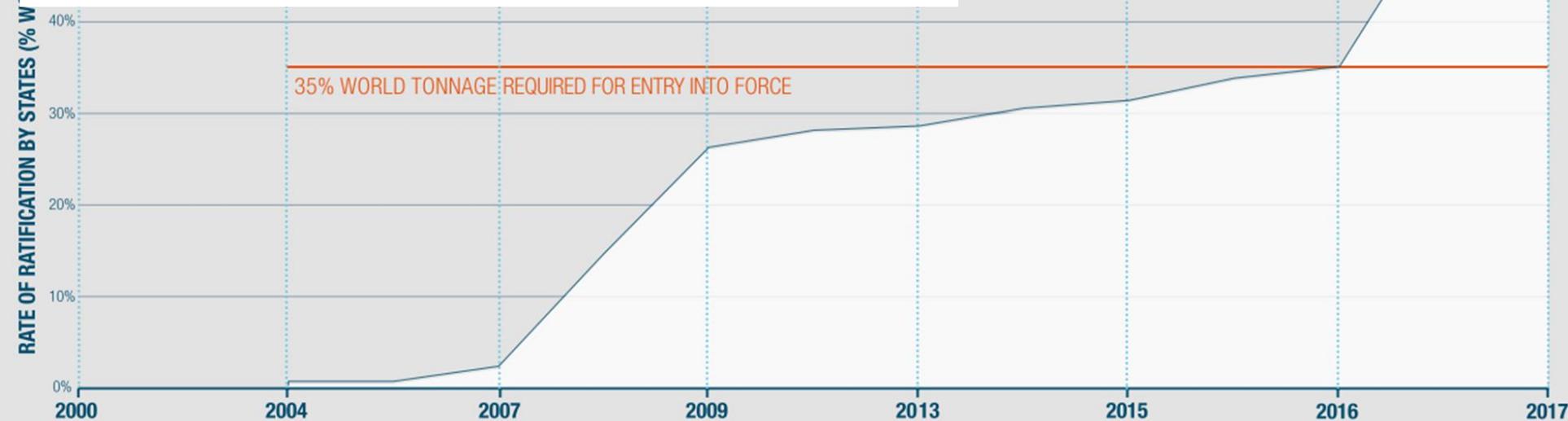
### I. DISPOSICIONES GENERALES

#### JEFATURA DEL ESTADO

**10960** Instrumento de ratificación del Convenio Internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques, 2004, hecho en Londres el 13 de febrero de 2004.

Source: Lloyd's Register, 2016

35% WORLD TONNAGE REQUIRED FOR ENTRY INTO FORCE





## Convenio Internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques

12 meses después de que sea ratificada por **30 Estados**, y que estos representen el **35%** del tonelaje bruto de la marina mercante mundial.



Todos los buques de carga deben implantar un Sistema de tratamiento que cumpla los estándares de descarga contemplados en la Directriz D-2

Actualmente, ha sido ratificada por **> 75%** de la marina mercante global.

Over  
**68,000**  
vessels impacted by  
the BWM Convention



Impacts **99.9%**  
of all new build  
tonnage on order



Source: IHS, September 2015



# Complying with the Ballast Water Management Convention

*Stopping the spread of invasive aquatic species*



**D1** standard requiring ships to exchange ballast water in open seas, away from coastal areas. Few organisms survive.

**D2** standard specifying the maximum amount of viable organisms allowed to be discharged, including specified indicator microbes harmful to human health. Usually involves installing ballast water management system.

### BACKGROUND INFO

- All new ships must conform to the D2 standard.
- Until the date when they have to meet the D2 standard, existing ships should exchange ballast water mid-ocean, to meet the D1 standard.
- Over time, all ships will have to meet the D2 standard.
- 'Renewal survey' refers to the IOPPC renewal survey under MARPOL Annex I

Existing ships with renewal survey after 8 September 2019 must meet D2 standard by this renewal survey.

Existing ships with renewal survey between 8 September 2017 and 8 September 2019

Case 1: if previous renewal survey was between 8 September 2014 and 8 September 2017 – must comply with D2 by this renewal survey.

Case 2: if previous renewal survey was before 8 September 2014 – then compliance with D2 must be by the next renewal survey.

All ships must meet D2 standard by 8 September 2024.

2024 ✓

New ships built on or after 8 September 2017 must meet the D2 standard.

2019 ✓

Existing ships built prior to 8 September 2017 must meet the D1 standard until their D2 compliance date.

2017 ✓

All ships must have:

- ballast water management plan
- ballast water record book
- International Ballast Water Management Certificate

D2 STANDARD  
D1 STANDARD





## Convenio Internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques

### Regulation D-2 Ballast Water Performance Standard

Indicadores microbiológicos	Límite de Descarga
<i>Vibrio cholerae</i>	1 UFC/100 mL
<i>Escherichia coli</i>	250 UFC/100 mL
<i>Enterococci</i>	100 UFC/100 mL
Organismos Estándar	Límite de Descarga
Organismos mayores o igual a 50 µm	10 viable organismos/m <sup>3</sup>
Organismos 10 - 50 µm	10 viable organismos/mL

Source: DNVL group

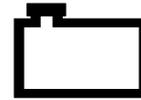




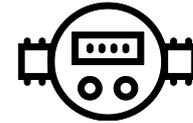
## BALLAST DEPENDENCE



Vessel Type



Ballast tank



Flow rate

<b>High Ballast Dependent Vessels</b>	Bulk carriers (Buques carguero, graneleros)	18 000 – 65 000 m <sup>3</sup>	1 300 - 3 000 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>
	Tankers (petroleros)	6 500 – 95 000 m <sup>3</sup>	1 100 – 5 800 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>
<b>Low Ballast Dependent Vessels</b>	Containerships (Buque mercante)	3 000 – 20 000 m <sup>3</sup>	250 – 750 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>
	Other vessels	3 000 – 11 000 m <sup>3</sup>	250 – 600 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>

Source: GloBallast

Source: Maersk group



# Tratamientos disponibles

Cumplir Estándares de descarga (D-2)



Implantar Sistemas de  
Tratamiento de Aguas de Lastre

## DIRECTRICES PARA LA APROBACIÓN DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE (D8) + Sustancias Activas (D9)

- Para cada serie debería elegirse una banda de valores de salinidad
- Asociado a un valor de COD, COP, Sólidos en Suspensión

Pruebas realizadas:

- A bordo
- En tierra

Salinidad		
28–36 (PSU)	10–20 PSU	< 1 PSU

**3 ciclos de prueba  
consecutivos válidos en un  
periodo de 6 meses!**



# Tratamientos disponibles

Cumplir Estándares de descarga (D-2)



Implantar Sistemas de Tratamiento de Aguas de Lastre

**DIRECTRICES PARA LA APROBACIÓN DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE (D8)  
+ Sustancias Activas (D9)**

El sistema no debería contener ni utilizar ninguna sustancia de carácter peligroso

Pruebas de persistencia, bioacumulación y toxicidad

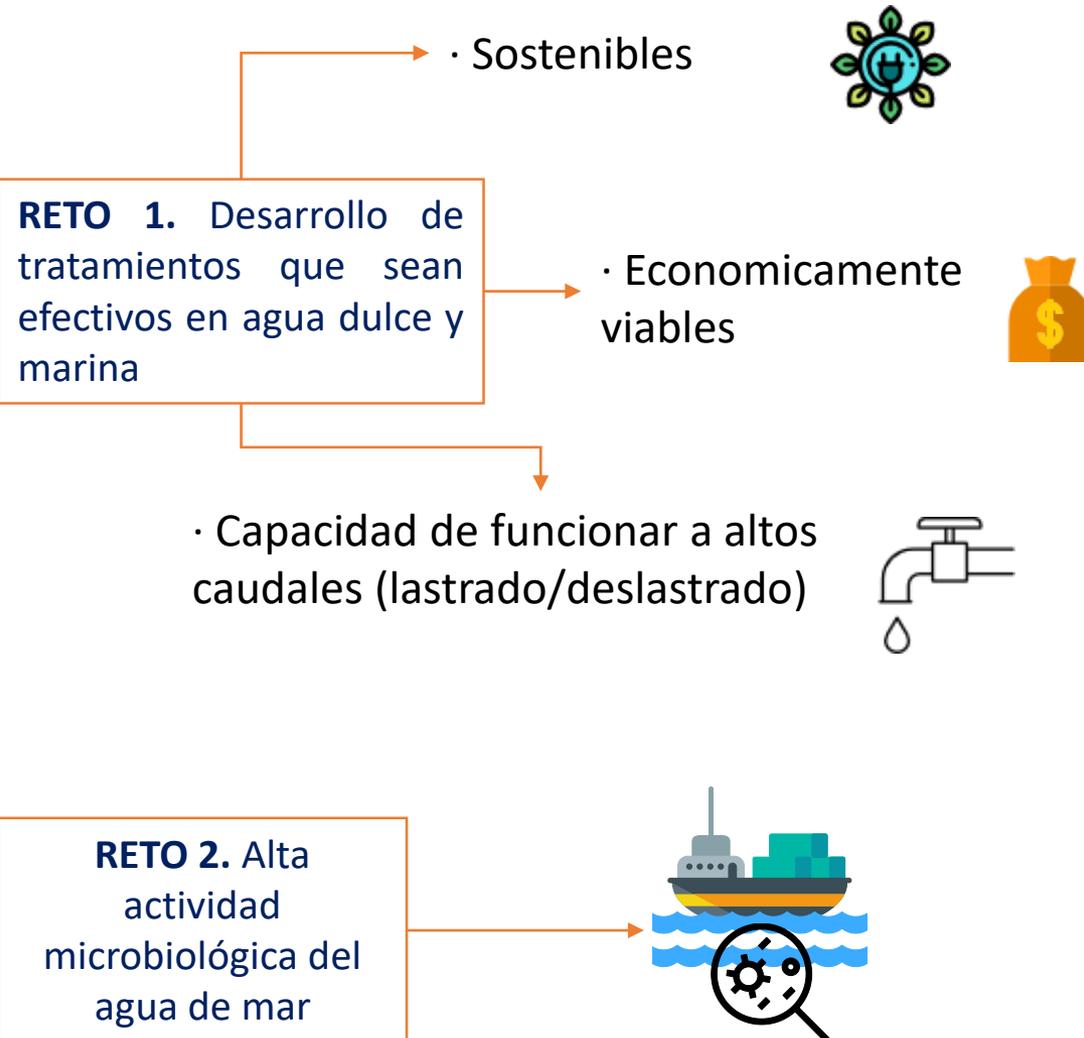
Efectos para el medio ambiente y la salud pública

En la solicitud de evaluación se debería proporcionar información sobre los oxidantes residuales totales (TRO), tanto para el proceso de tratamiento del agua de lastre como para la descarga del agua de lastre.



# Tratamientos disponibles

El funcionamiento de los sistemas de gestión del agua de lastre **no debería menoscabar la salud ni la seguridad del buque o del personal, ni causar ningún daño inaceptable al medio ambiente o la salud pública**



# SISTEMA DE AGUA DE LASTRE

Los sistemas de aguas de lastre, se basan en tomas directas de agua de mar que llenan tanques para dar estabilidad a los buques.

En septiembre de 2017 entrará en vigor una nueva norma de la OMI para el tratamiento de aguas de lastre, a fin de evitar la propagación de especies acuáticas invasivas que dañan los ecosistemas locales.



En puerto



En travesía



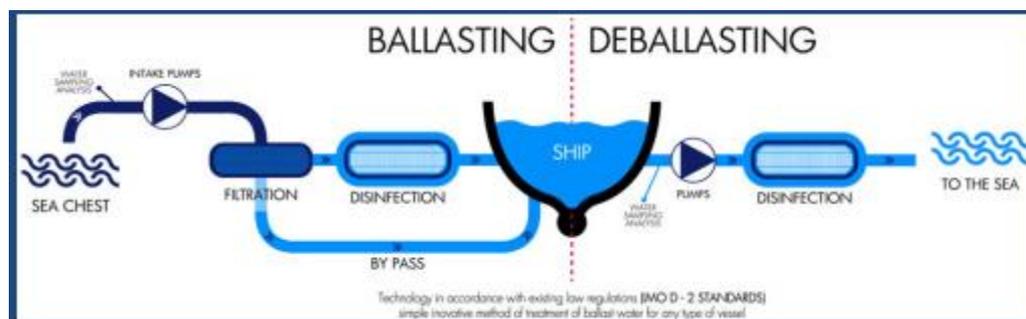
Al llegar a puerto



En Travesía



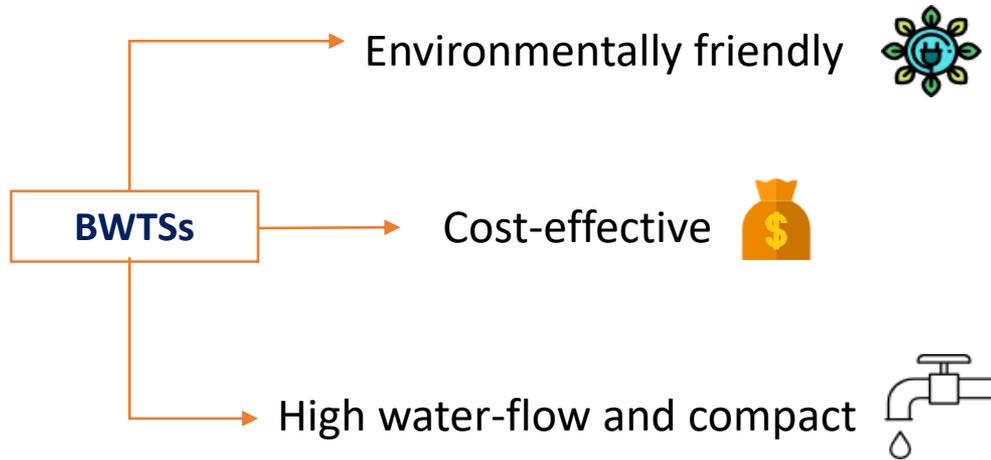
*Jasa*





# Tratamientos disponibles

It is necessary to develop treatment technologies that are efficient in both freshwater and saltwater



## Physical separation



## Disinfection phase

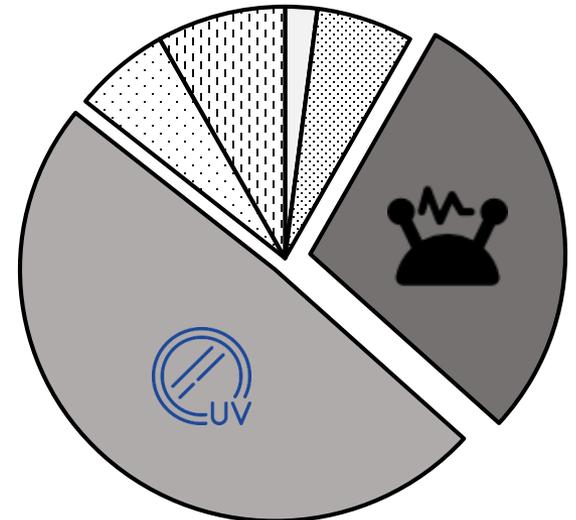
UV treatment ( $\approx 48\%$ )  
Chemical disinfection ( $\approx 36\%$ )

### Chemical treatment:

- Biocides:
- Chlorine Dioxide
- Peracetic Acid
- Electrochlorination
- Ozone

### Physical treatment:

- UV irradiation
- Deoxygenation
- Ultrasound

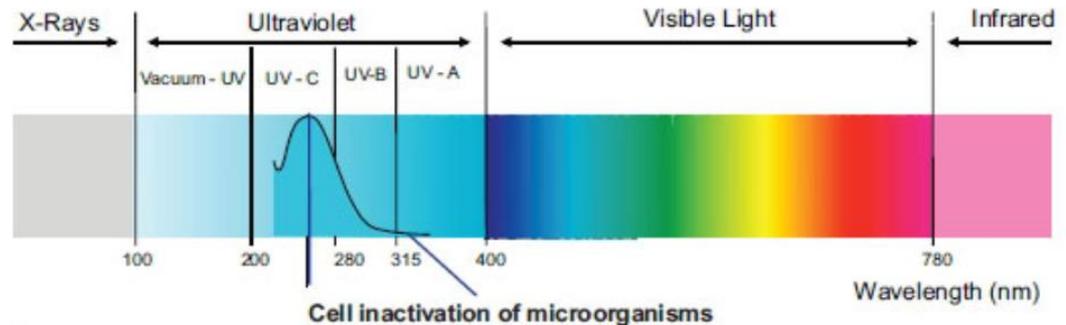
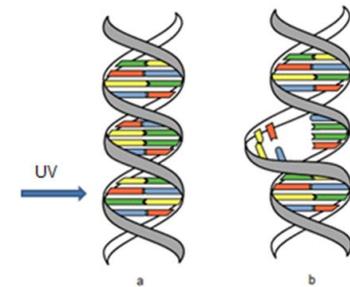


# Tratamientos disponibles

## Radiación UV

La luz ultravioleta se transfiere al material genético.

Inhibe la replicación normal del ADN resultando en la inactivación de los microorganismos



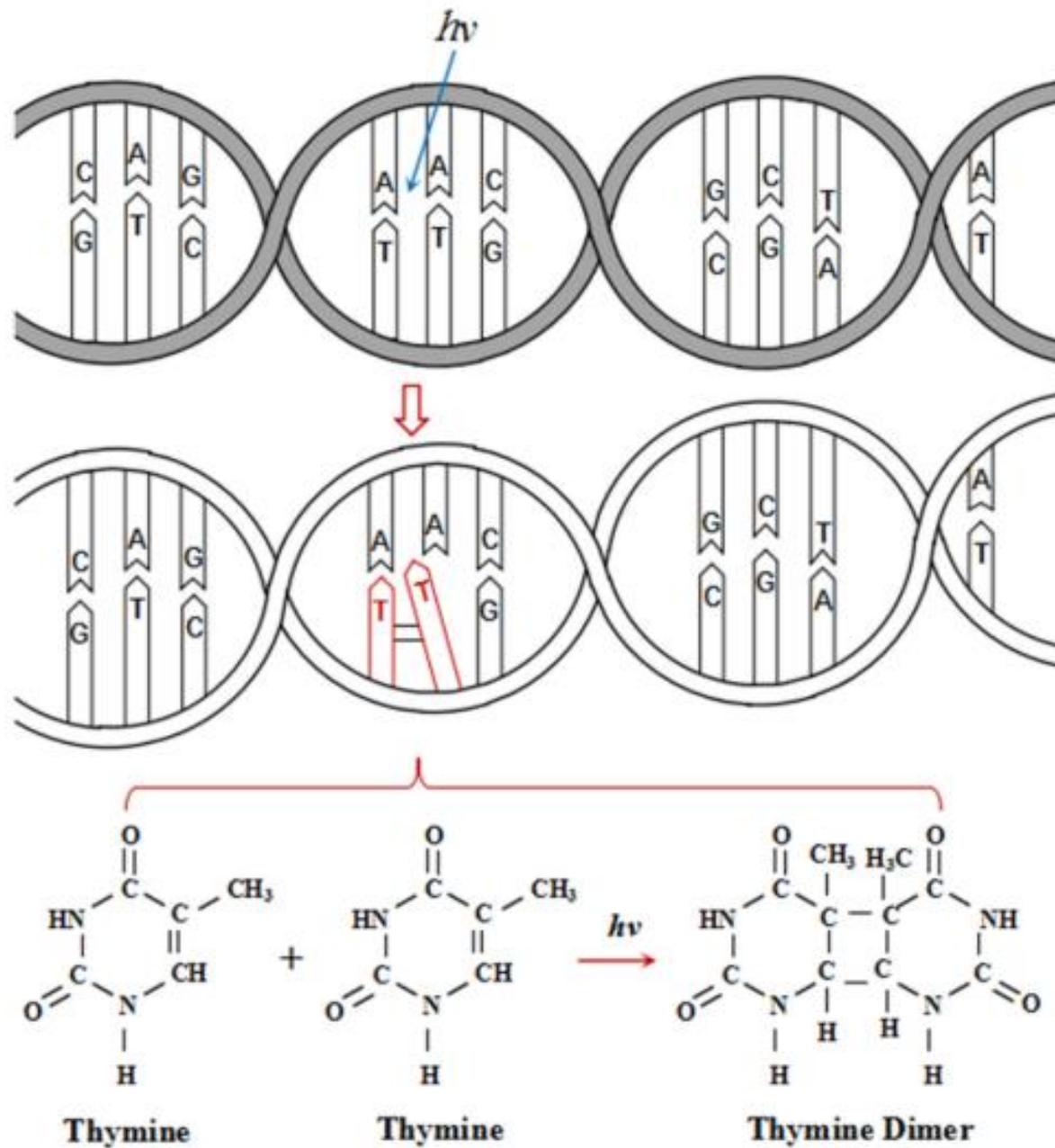
Source: Trojan UV

La región espectral más efectiva para la inactivación ocurre a una longitud de onda de 254 nm (UV-C), ya que el ADN expuesto a esta energía tiene una absorción máxima y, por lo tanto, la inactivación

**PRINCIPAL VENTAJA: No generación de sub-productos**

**...DESVENTAJA: Reparación del daño celular**





**Fig. 1.** Double-stranded DNA chain showing how the formation of thymine dimers disrupts the structure chain (top); photochemical dimerization of two thymine bases (bottom) (Bolton and Cotton, 2008).



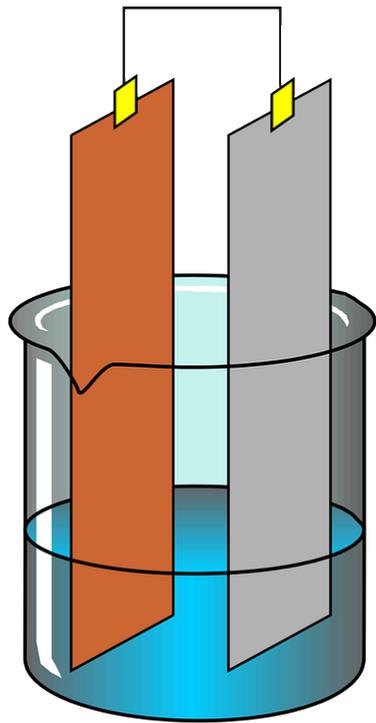
## Electro-Chlorination

The use of seawater as an efficient electrolyte implies the generation of Chlorine Active Species



Electrical shock

**PRINCIPAL VENTAJA: Generación *in-situ* de especies oxidantes**



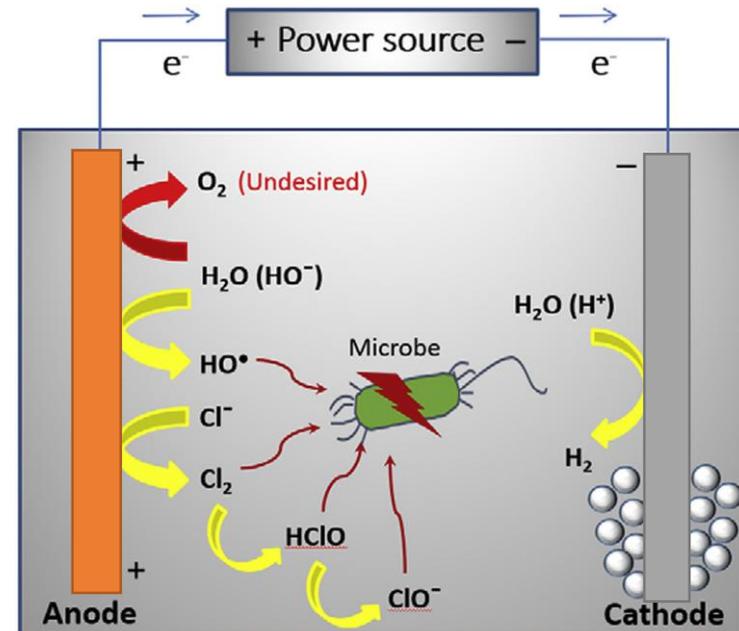
### Chlorine generation



Different strategies could be utilized after chemical disinfection.

- i) quenching the TRO
- ii) keeping it in solution.

**... DESVENTAJA: Neutralización del oxidante residual. Uso de sustancias activas.**



Source: Ghasemian et al., *Water Res.*, 2017, **126**, 299–307.



## Electro-Cloración

Altos caudales:  $> 1500 \text{ m}^3/\text{h}$



## Radiación UV

Bajos caudales:  $0-1500 \text{ m}^3/\text{h}$



## Desoxigenación

Creación de un ambiente hipóxico al desplazar el oxígeno con nitrógeno inerte a través del burbujeo en el BW.

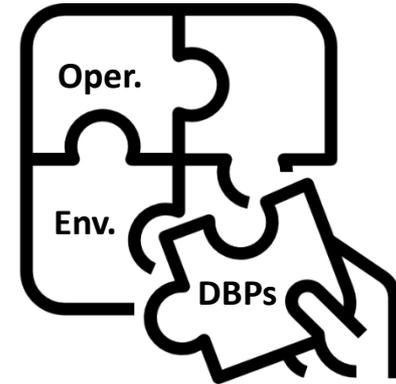
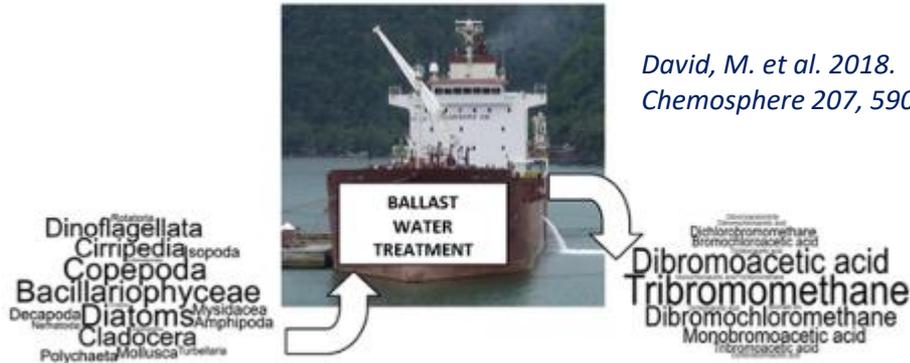
## Ozonación

El ozono es un oxidante poderoso pero inestable. Eficiente en la eliminación de bacterias y virus. se necesitan altas concentraciones para eliminar organismos más grandes, corrosión, producción de DBP, número moderado de incidentes informados de mantenimiento y operación.



# Tratamientos disponibles

## G8, G9 Guideline



Water quality parameters		IMO			USCG		
Salinity (PSU)		28-36	10-20	<1	28-36	10-20	<1
Organic Matter (mg·L <sup>-1</sup> )	DOM	>1	>5	>5	DOM: 6 mg·L <sup>-1</sup> as DOC		
	POC	>1	>5	>5	POM: 4 mg·L <sup>-1</sup> as POC		
	MM	-	-	-	MM: 20 mg·L <sup>-1</sup>		
Suspended Solid Material (mg·L <sup>-1</sup> )		>1	>50	>50	TSS = POM + MM: 24 mg·L <sup>-1</sup>		
Temperature		-	-	-	4-35 °C		

**Salinity:** Cl<sup>-</sup> and Br<sup>-</sup> concentrations  
(~1000 and 672 times higher than FW)

**Organic Matter augmentation:** Wide additives as a source of organic carbon



©WD

# Generación de aguas grises y negras

Informes ambientales de navieras, informes de agencias gubernamentales y bibliografía científica.

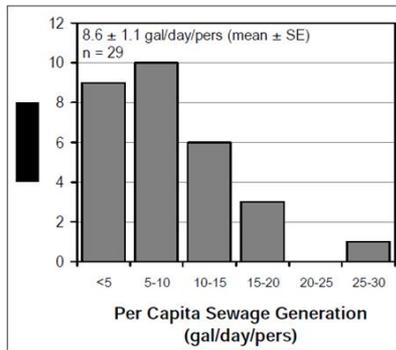


Figure 2-1. Per Capita Sewage Generation as Reported in EPA's 2004 Cruise Ship Survey

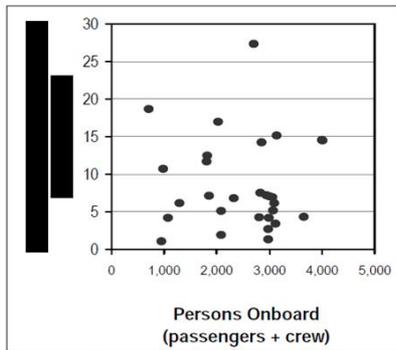


Figure 2-2. Sewage Generation by Persons Onboard as Reported in EPA's 2004 Cruise Ship Survey

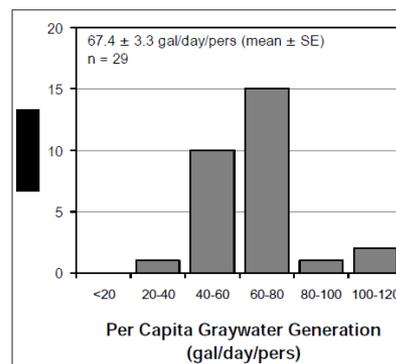


Figure 3-1. Per Capita Graywater Generation as Reported in EPA's 2004 Cruise Ship Survey

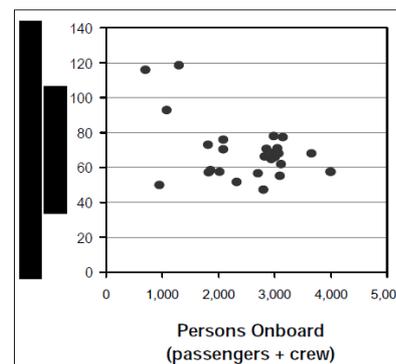


Figure 3-2. Graywater Generation by Persons Onboard as Reported in EPA's 2004 Cruise Ship Survey

Buque	Aguas negras	Aguas grises
140 – 1200 $m^3 \cdot día^{-1} \cdot buque^{-1}$	3,8 – 280 $m^3 \cdot día^{-1} \cdot buque^{-1}$	136,3 – 942,6 $m^3 \cdot día^{-1} \cdot buque^{-1}$
Promedios	31,79 $L \cdot día^{-1} \cdot persona^{-1}$	169,64 $L \cdot día^{-1} \cdot persona^{-1}$

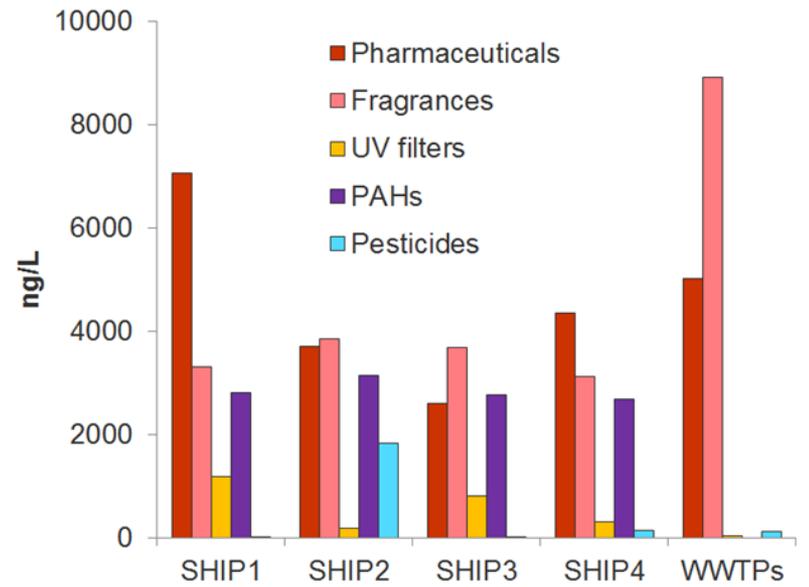
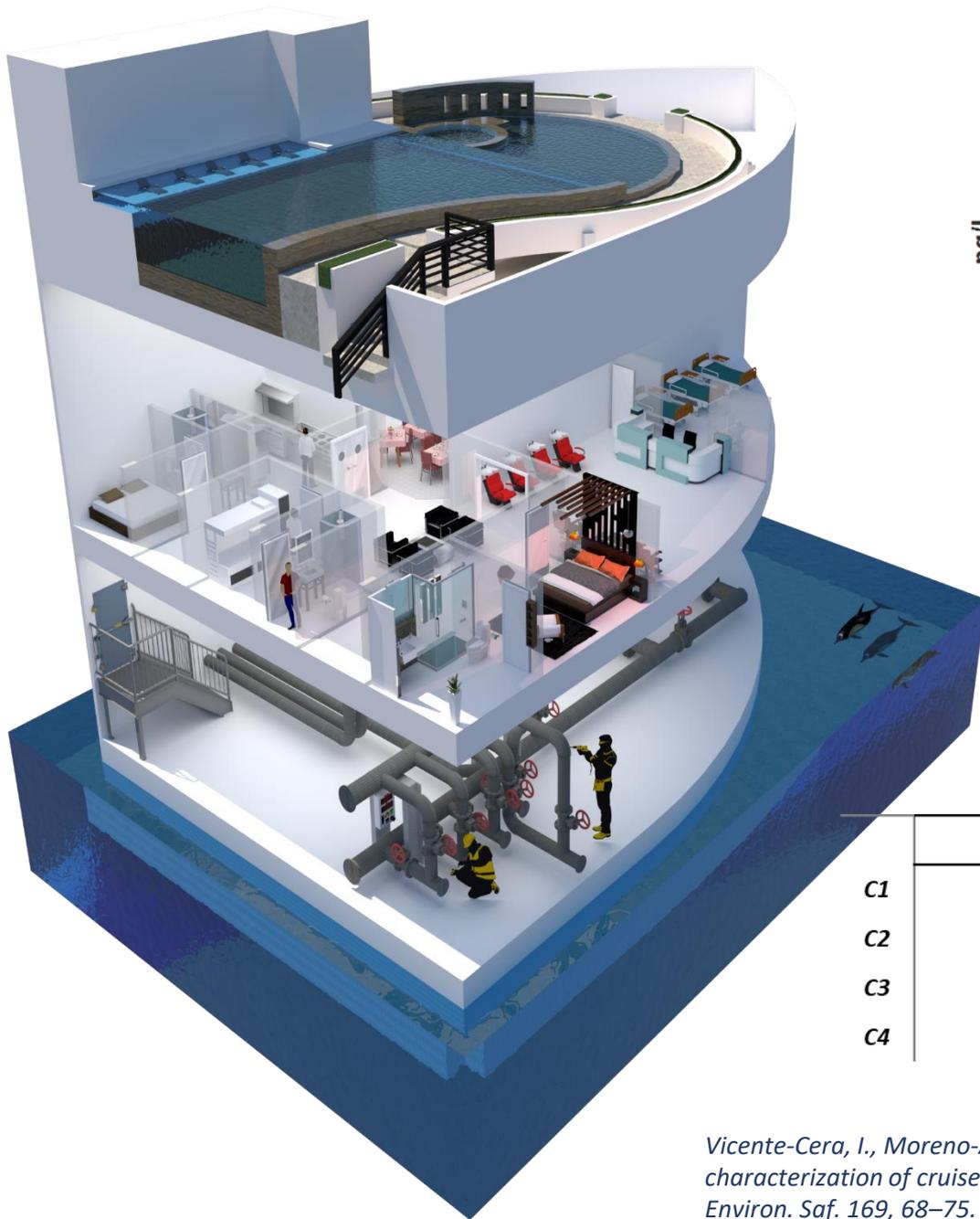
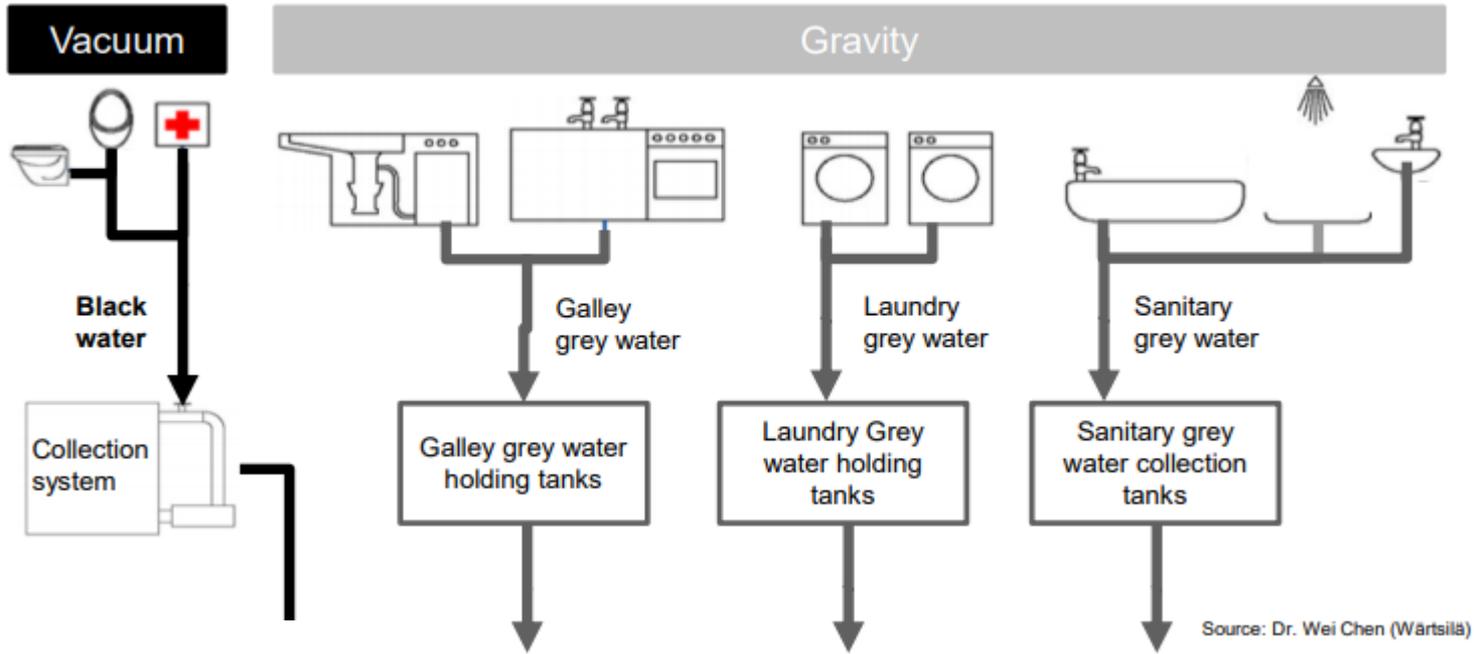


Fig. 3. Concentrations of different classes of organic pollutants ( $\text{ng L}^{-1}$ ) in the cruise ships sampled and in effluents from urban WWTP (Cadiz, Spain) (Díaz-Garduño et al., 2017).

	<i>E. coli</i> CFU·100 mL <sup>-1</sup>	<i>Enterococci</i> CFU·100 mL <sup>-1</sup>	<i>Total Coliforms</i> CFU·100 mL <sup>-1</sup>
C1	4.40E+05	3.93E+04	4.70E+06
C2	7.17E+06	4.88E+04	7.55E+08
C3	1.32E+08	1.04E+05	1.20E+08
C4	1.59E+05	1.82E+04	1.04E+06



**Black water**

**Grey water**



# Tipos Tratamiento en Buques

MSD (Marine Sanitation Device)



Cualquier equipo, para su instalación a bordo de un buque, que esté diseñado para recibir, almacenar, tratar o descargar aguas residuales, así como cualquier proceso para el tratamiento de dichas aguas residuales. 33 U.S.C. 1322 (a) (5). “*Clean Water Act*” U.S.

AWTs (Advanced Wastewater Treatment System)



Generalmente proporcionan un mejor cribado, tratamiento biológico, separación de sólidos (utilizando filtración o flotación) y desinfección (usando luz ultravioleta) en comparación con los MSD II tradicionales.

# Tipos Tratamiento en Buques

MSD (Marine Sanitation Device)

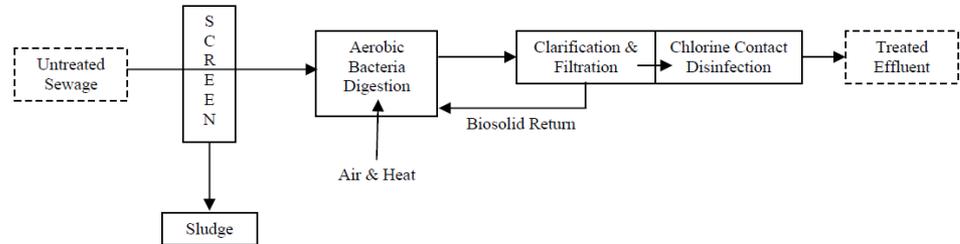


Figure 2-3. Simplified Schematic of Traditional Type II Marine Sanitation Device Using Biological Treatment and Chlorine Disinfection

AWTs (Advanced Wastewater Treatment System)

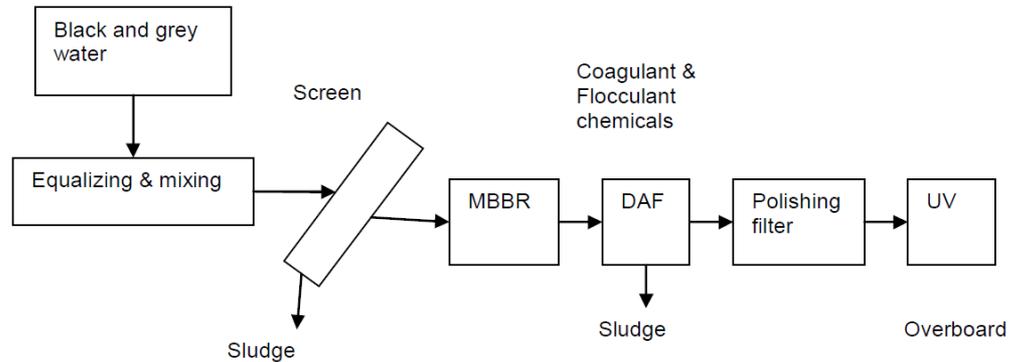


Figure 4-3. The principle of the moving bed bioreactor and flotation system (Kiukas, 2005).

WÄRTSILÄ

Waste, Oil & Fresh Water Management

WÄRTSILÄ HAMWORTHY MEMBRANE BIOREACTOR (MBR) TECHNOLOGY

CUNARD®

Queen Mary 2  
(2620 pax. + 1253 trip.)

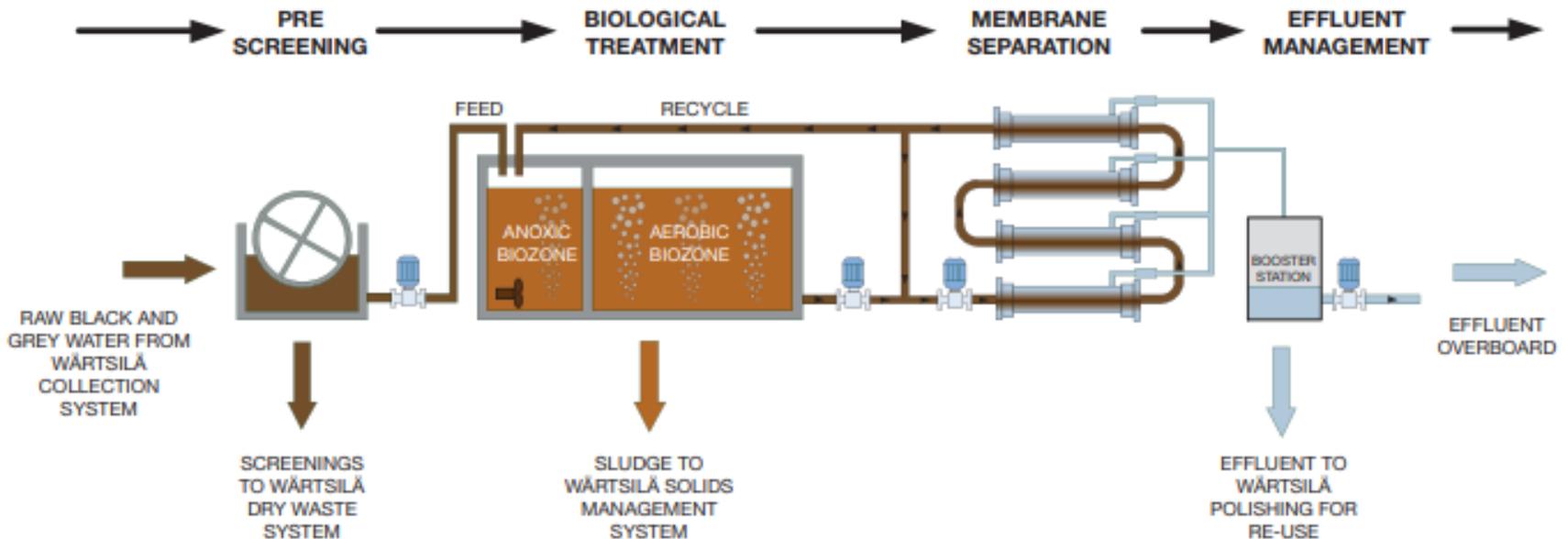
PRINCESS CRUISES  
escape completely™

Costas Españolas:

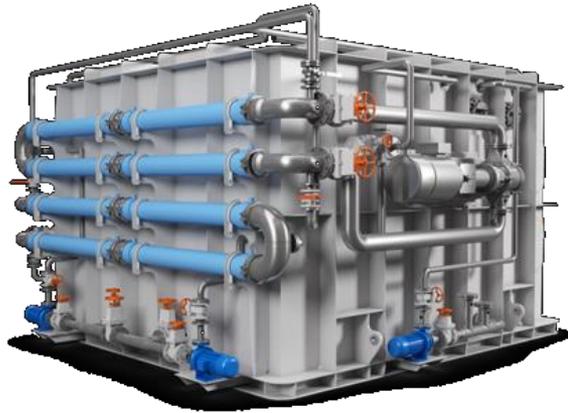
*Emerald Princess*  
(3100 pax. + 1200 trip.)

*Island Princess*  
(1974 pax. + 900 trip.)

Biorreactor con membrana externa

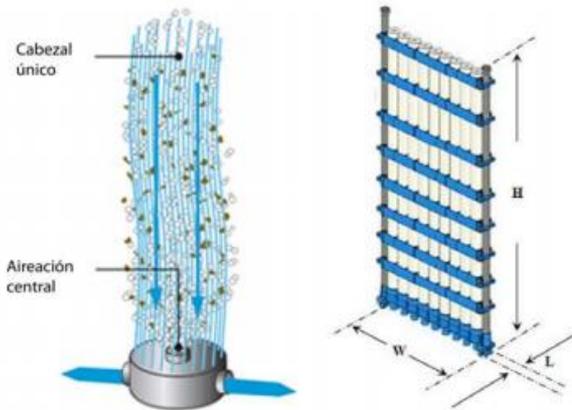
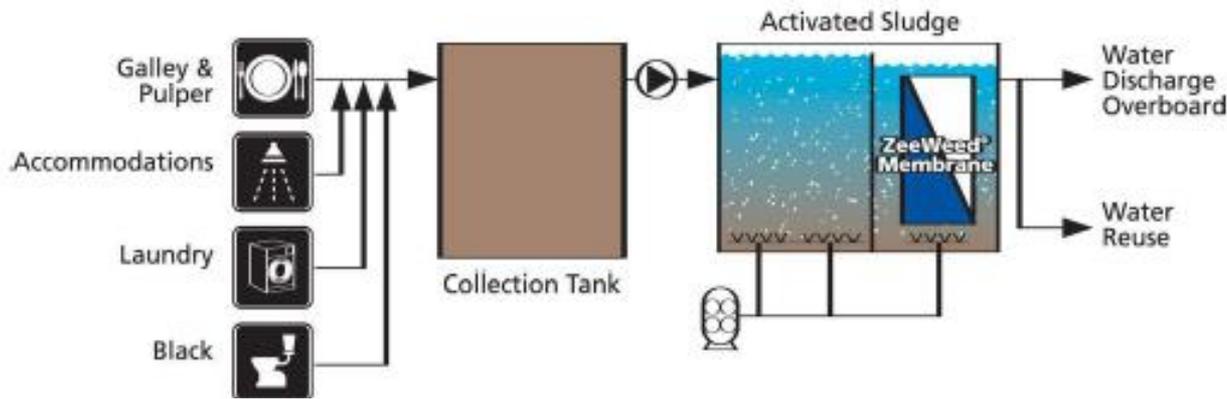


**WÄRTSILÄ HAMWORTHY MEMBRANE  
BIOREACTOR (MBR) TECHNOLOGY**





## Biorreactor con membrana externa sumergida



Sistema de membranas de fibra hueca con cabezal en la base. (Koch, puron mbr brochure)

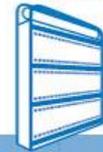
## ZeeWeed®

Quick Reference  
Product Selection Guide

ZW1000

ZW1500

ZW500



### APPLICATIONS

Application	ZW1000	ZW1500	ZW500
Drinking Water	●	●	●
Industrial Process Water	●	●	●
Seawater	●	●	●
Tertiary	●	●	●
MBR	●	●	●

### ADDITIONAL CONSIDERATIONS

Consideration	ZW1000	ZW1500	ZW500
Pressurized	●	●	●
Immersed	●	●	●
Difficult-to-Treat Water	●	●	●
Retrofit	●	●	●

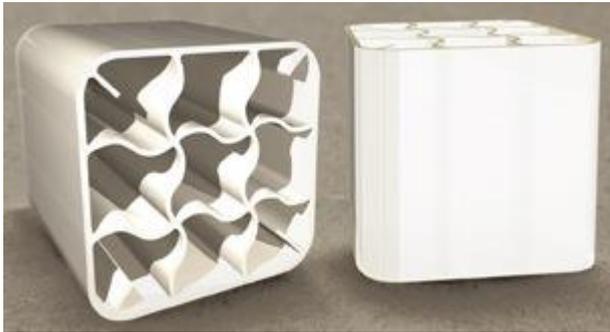


*Costas Españolas:*

*Allure of the Seas*  
(5400 pax. + 2384 trip.)

*Rhapsody of the Seas*  
(1435 pax. + 765 trip.)

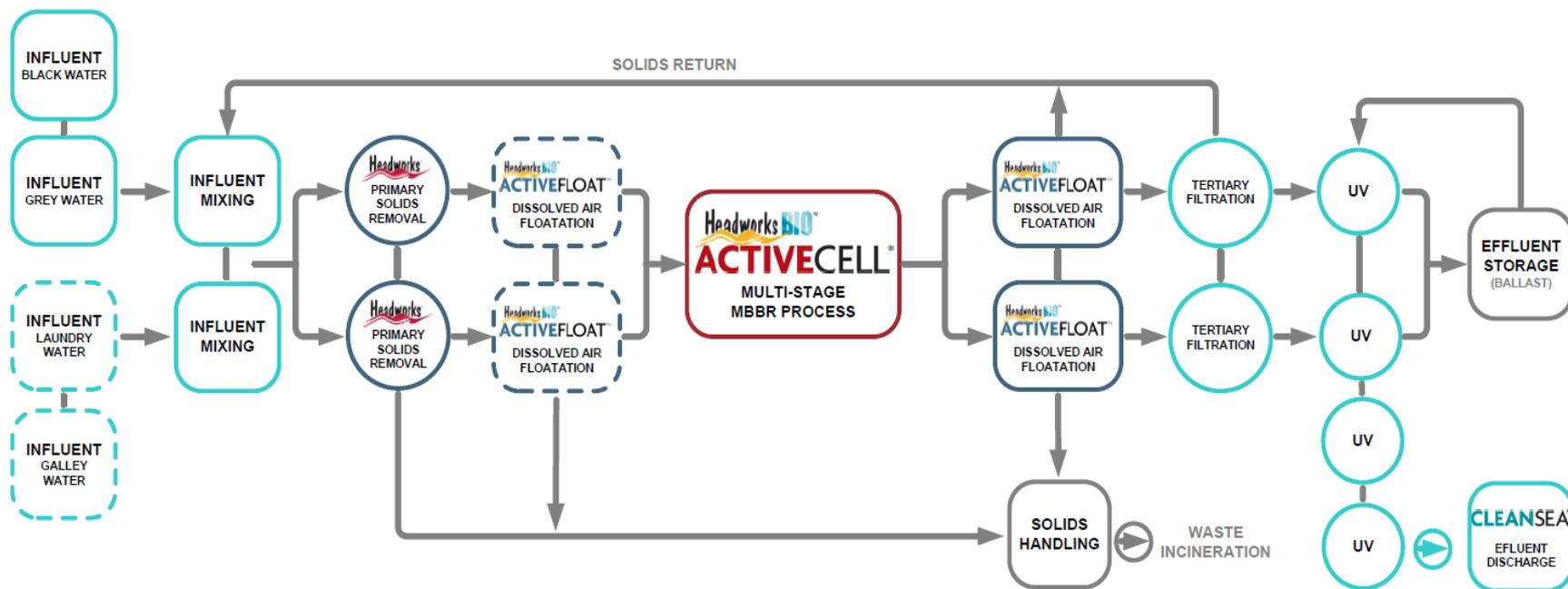
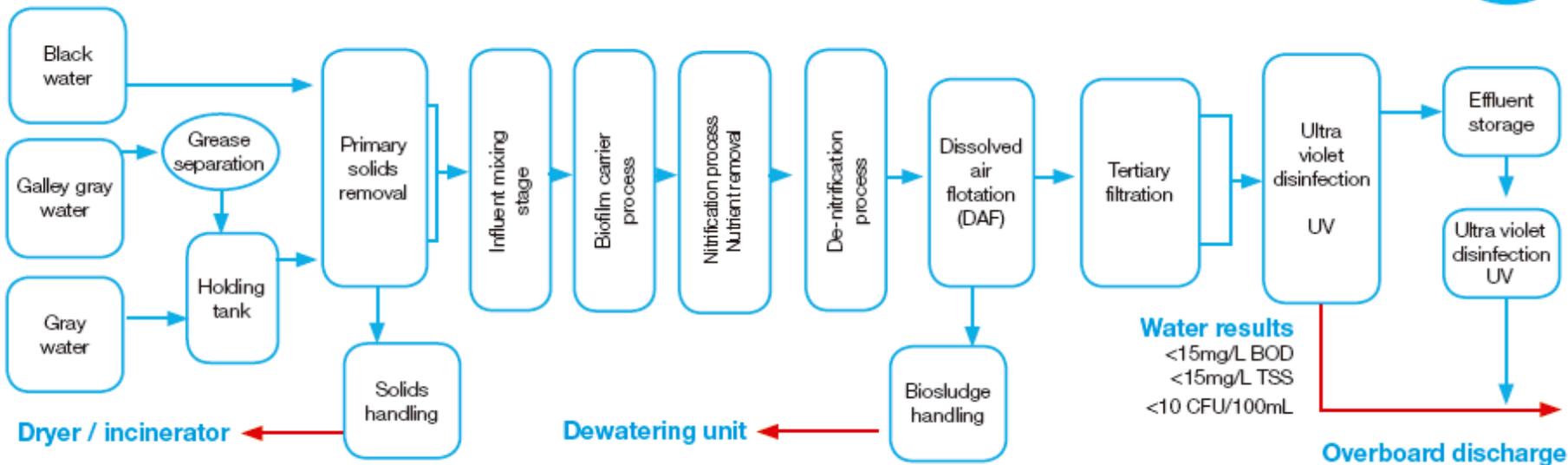
*Vision of the Seas*  
(2435 pax. + 660 trip.)



**MBBR**  
(Moving Bed Biofilm Reactor)

**MBBR**  
**Moving Bed Bioreactor**



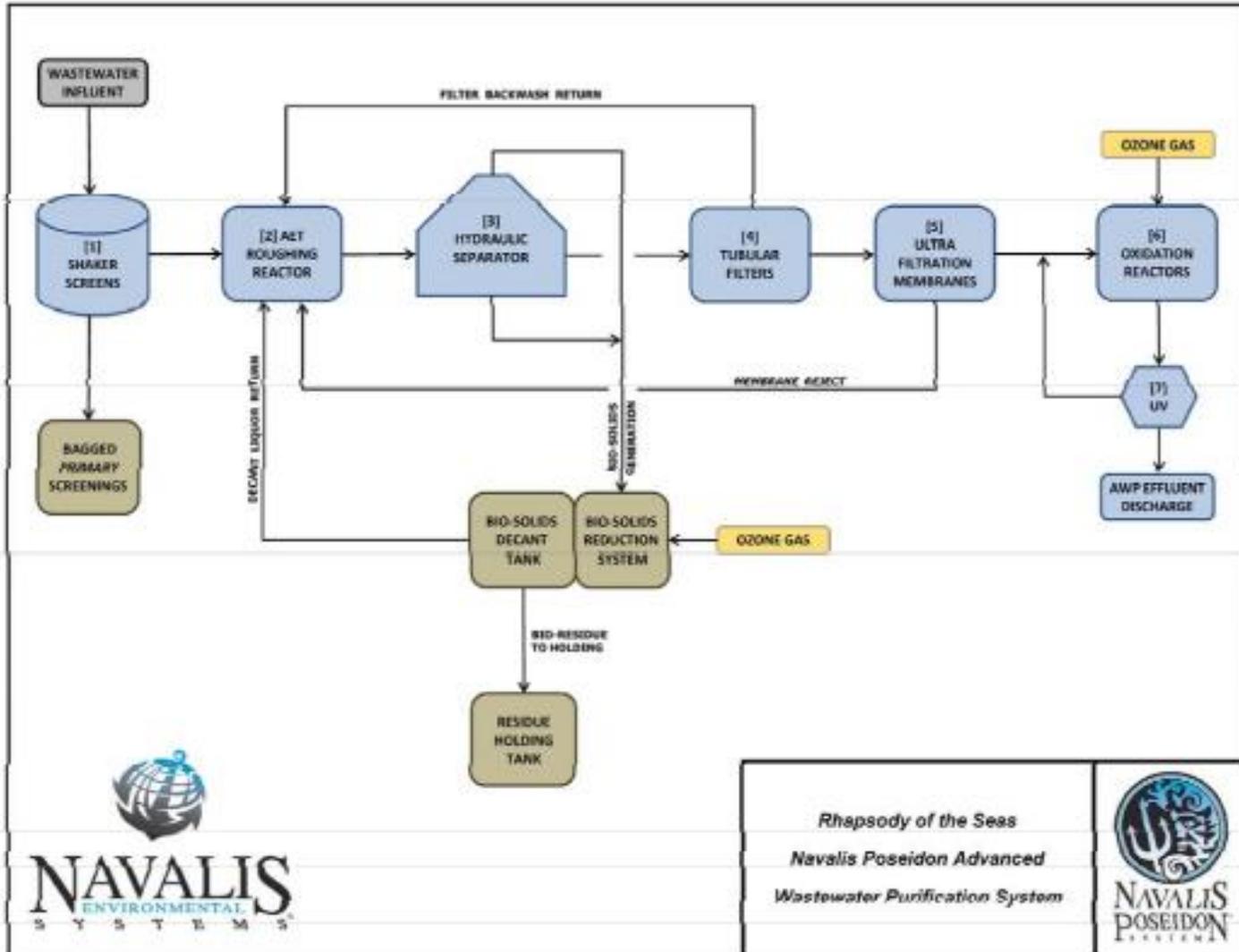




<https://evac.com/solutions/wastewatertreatment/evacecocean/>



Costas Españolas:  
Rhapsody of the Seas  
(1435 pax. + 765 trip.)



<p>Rhapsody of the Seas Navalis Poseidon Advanced Wastewater Purification System</p>	
--	--

# Ballast Water

## Hyde Marine USCG Approved System

### GOLDEN PRINCESS:



The smallest footprint on the market

**Control & Power Panels**

- Operates entire system with larger touchscreen LCD panel
- All internal wiring & connections come complete on skid system

**Compact Filter**

- Automatic backwashing
- Provides continuous filtration and flow to ballast tanks

**UV Treatment Chamber & Central Outlet**

One of the smallest UV reactor footprints — includes a specific number and size of UV lamps depending on total ballast water flow to be treated

**Ballast Water Inlet**

Common inlet for ballasting and deballasting

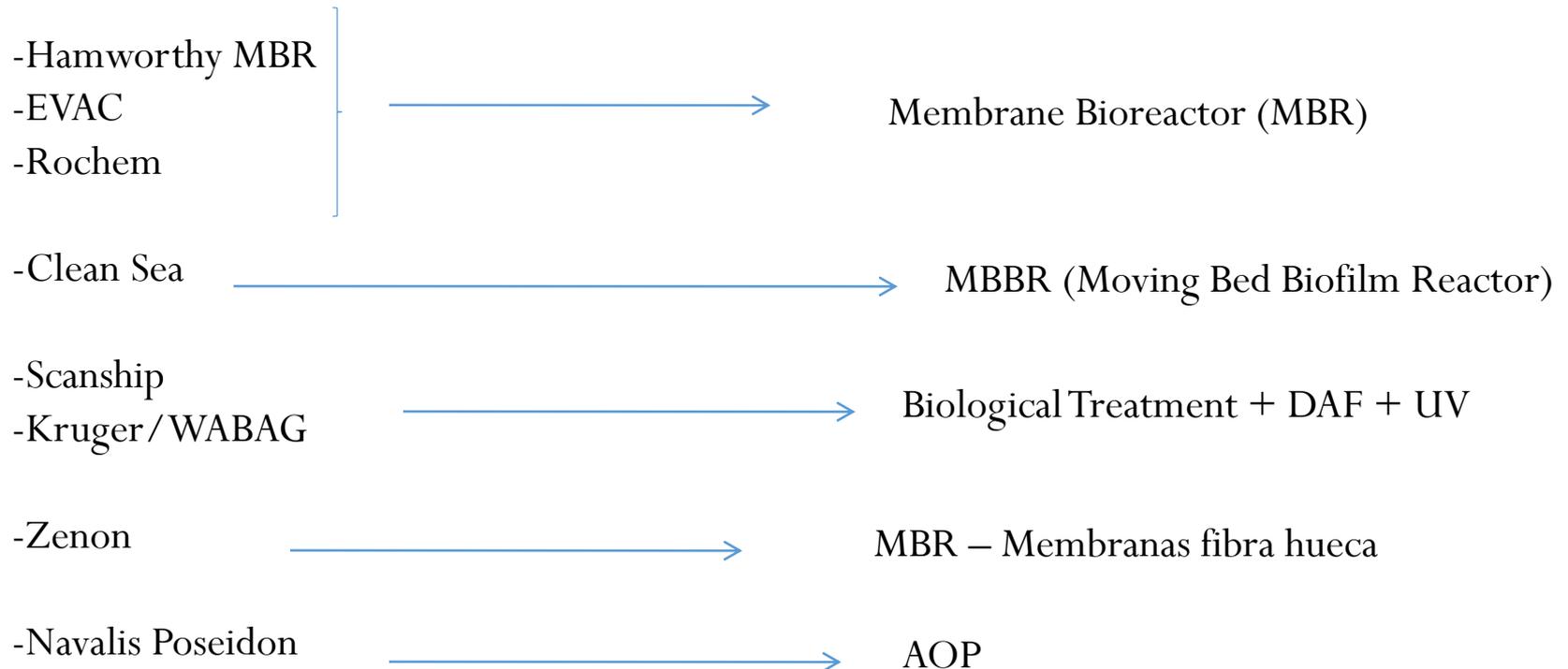
**Skid**

- Compact configuration
- Self contained
- Easy to install

**HG250G BWTS**

# AWTs mayormente instalados en “Large Cruise Ships”

## 8 PRINCIPALES AWTs:





## Tratamiento de aguas en el sector naval

---