

**Leila Ron**

Servicio de Hidrografía Naval, MinDef

**Nancy Correa**

Servicio de Hidrografía Naval, MinDef y Facultad de la Armada, UNDEF

**Esteban Paolucci**

Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Conicet

# Agua de lastre

## Legislación y nuevos tratamientos para prevenir la introducción de especies exóticas

### Especies exóticas acuáticas y agua de lastre

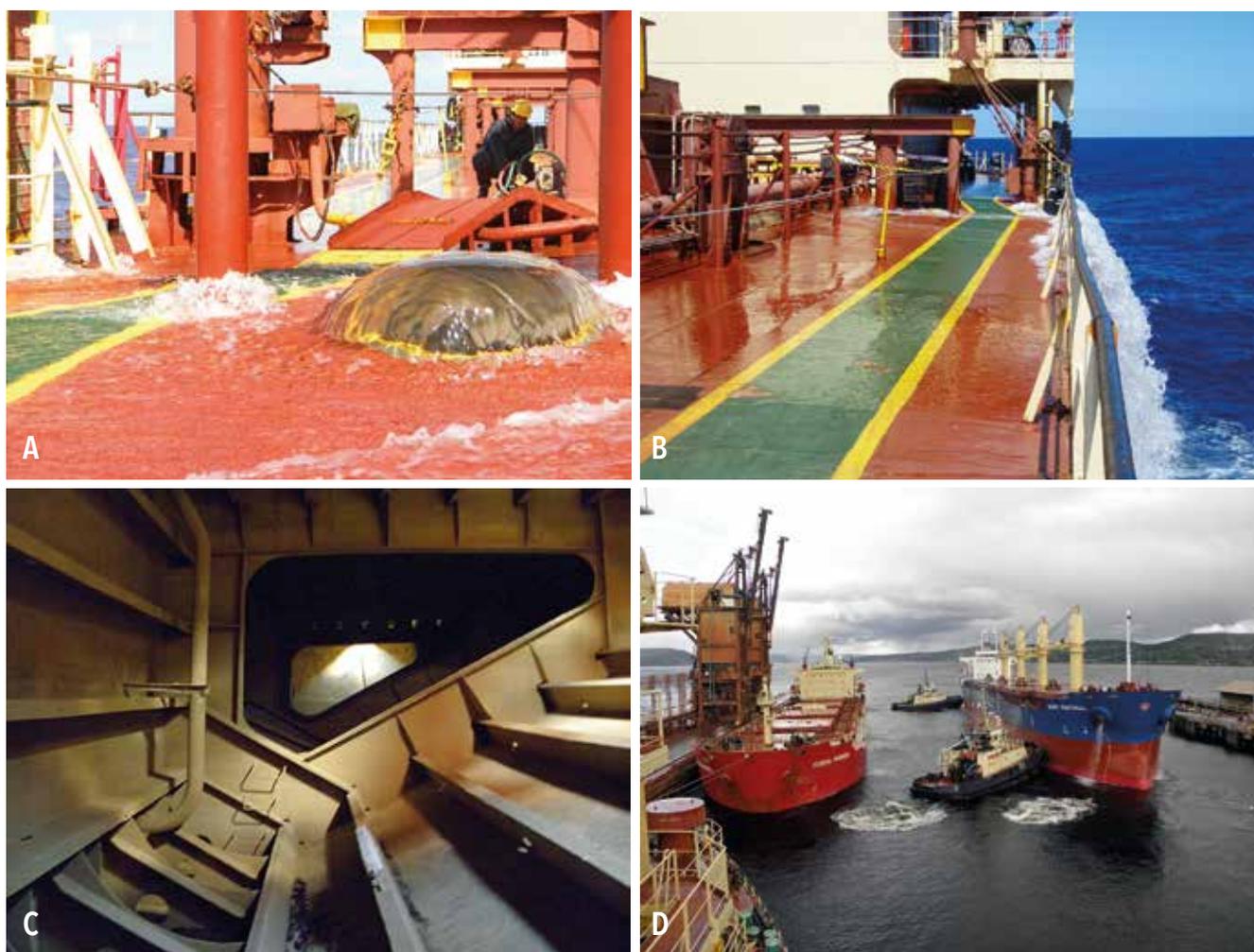
Gran cantidad de investigaciones han abordado la problemática de las especies exóticas invasoras desde distintas ópticas, incluyendo el estudio de las características más relevantes de estos organismos, su impacto sobre la biodiversidad natural y sobre actividades humanas, el costo económico asociado y las formas de control o erradicación, entre otras. Más allá de algunas controversias generadas por estas investigaciones, existe un

consenso general sobre la necesidad de prevenir la introducción de organismos nuevos a los ambientes. Este acuerdo implícito de la comunidad científica ha impulsado la implementación de medidas y regulaciones a distintas escalas, tanto en el tráfico de mercancías (comercio internacional), el comercio y consumo de organismos silvestres (por ejemplo, mascotas) como en el tránsito de personas. Son estos los principales vectores de introducción de nuevas especies en los ecosistemas.

En el ambiente acuático se considera que los buques comerciales son el principal factor de dispersión de organismos exóticos, sea adheridos al casco de la embarca-

#### ¿DE QUÉ SE TRATA?

En virtud de la implementación de medidas estrictas por parte de los Estados y las exigencias de la Organización Marítima Internacional para prevenir la introducción de especies exóticas, la aplicación de nuevas tecnologías y el análisis de riesgo son instrumentos fundamentales para dar cumplimiento a los nuevos estándares.



Detalle de la escotilla de cubierta abierta y tanque de agua de lastre rebalsando (A), y descarga del agua en el medio del océano (B) durante la maniobra de intercambio de agua de lastre en aguas abiertas por método flujo continuo bombeando una cantidad de agua de mar equivalente a tres veces el volumen de los tanques y permitiendo el rebalse de estos con un recambio estimado de más del 90% del agua transportada. Tanque de agua de lastre por dentro (C) y maniobra del buque en el puerto (D).

ción (como bioincrustaciones) o dentro de los tanques de agua de lastre. El agua de lastre tiene por propósito compensar la carga y descarga de mercancías, brindando estabilidad a la embarcación durante la navegación. De esta forma, y de manera inadvertida, los barcos transportan enormes cantidades de organismos pequeños en el agua de sus tanques, que son liberados a miles de kilómetros de distancia de su lugar de origen. El impacto de la actividad naviera sobre los ecosistemas costeros provocó que los Estados, a través de sus entes de control en puerto, adoptaran gradualmente regulaciones y medidas de control –a nivel nacional, regional o internacional– para reducirlo.

En la actualidad, el instrumento jurídico más importante y de mayor alcance global para regular el manejo del agua de lastre y mitigar el transporte de organismos es el Convenio Internacional para el Control y la Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos de los Buques

dictaminado por la Organización Marítima Internacional (OMI) en 2004. El Convenio describe dos etapas –también llamadas estándares o normas– para su implementación. La primera etapa, o Norma D-1, exige un intercambio de agua de lastre en el océano al menos a 200 millas náuticas de la costa y 200 metros de profundidad y, para su control en puerto, se establece un mínimo de 30 partes por millón (ppm) de salinidad. Esta medida evita que la mayoría de los organismos transportados en el agua de lastre sean descargados en el puerto de destino y también somete a los persistentes a un cambio brusco de salinidad (provocando un estrés osmótico), reduciendo drásticamente la cantidad de organismos a descargar en puerto.

Con la entrada en vigor del Convenio en septiembre de 2017 no solo se hizo efectiva la exigencia de la Norma D-1 para todos los países parte, sino que también se puso en marcha un calendario para la implementación

## Nuevos estándares de calidad y tratamiento de agua de lastre

Así como la Norma D-1 exigía una cantidad no menor a 30ppm de salinidad para probar que se ha efectuado el intercambio de agua de lastre en aguas oceánicas, el estándar D-2 exige menos de diez organismos viables por  $m^3$  de talla  $\geq 50$  micras ( $\mu m$ ) (mayormente zooplancton) y menos de diez organismos viables por ml para organismos entre 50 y  $10\mu m$  (mayormente fitoplancton) para considerar que el tratamiento aplicado fue eficaz. De esta forma se controla la cantidad de organismos que potencialmente podrían sobrevivir y resultar en especies exóticas introducidas. El estándar también determina límites para tres grupos diferenciados de bacterias:  $<1$  unidad formadora de colonia (ufc)/100ml para *Vibrio cholerae* toxigénico;  $<250$  ufc/100ml para *Escherichia coli* y  $<100$  ufc/100ml para enterococos intestinales. Estos tres últimos parámetros son de importancia sanitaria, su control previene la propagación de organismos patógenos plausibles de generar epidemias, y sus densidades, se observó, son también afectadas por los tratamientos aplicados.

Para alcanzar los nuevos estándares de calidad, durante los últimos años se han desarrollado diferentes sistemas de tratamiento de agua de lastre, aprobados y certificados por la OMI, para ser instalados tanto en las embarcaciones nuevas como en los buques construidos con anterioridad al Convenio. En general estos sistemas combinan tratamientos físicos, como filtros o luz UV, con otros de naturaleza química como la aplicación de cloro, por agregado directo o por electrocloración (electrólisis del agua de mar), tratamientos por ozono o algún otro tipo de biocida.

Muchos autores son críticos con el criterio aplicado para la selección de estos grupos de control (y sus valores máximos permitidos), así como también manifiestan las dificultades técnicas y operativas que implican para los entes de control establecer el acatamiento de esta norma. Contemplando estas críticas, la OMI en su Convenio atribuye a los Estados la posibilidad de adquirir medidas más restrictivas o eficientes para la instrumentación en sus normas internas.

Para su control en puerto, la OMI sugiere a los Estados realizar tres fiscalizaciones de orden administrativo a las embarcaciones: exigir un plan de gestión debidamente aprobado; un libro de registro, donde todas las actividades referentes al tratamiento y la gestión deben estar correctamente asentadas, y la presentación de un certificado internacional de agua de lastre. Ninguna de estas tres verificaciones reviste mayor complejidad y son parte del control ordinario de los procedimientos en puerto, sin embargo, su cumplimiento no garantiza de manera inequívoco-



Sistema antiguo de bombeo de agua de lastre en la sala de máquinas (A) y sistema moderno de tratamiento de agua de lastre (B).

de la Norma D-2, que reemplazaría a la D-1. La D-2 exige, entre otros procedimientos, un sistema de tratamiento de agua de lastre a bordo de las embarcaciones que debe ser certificado por la OMI, y garantizar un límite máximo en la cantidad de organismos viables al momento de la descarga. La implementación del estándar D-2 fue prevista de forma escalonada debido a que implica profundas modificaciones estructurales –por el agregado de sistemas de tratamiento– y procedimentales –por la instrumentación de medidas tendientes al control de su cumplimiento en puerto–. Por esto la Norma D-2 es de cumplimiento efectivo para todas las embarcaciones con fecha de construcción posterior a la entrada en vigor del convenio (2017) y de acatamiento gradual para todos los barcos construidos con anterioridad y que requieran modificaciones.

ca que se cumplan los límites numéricos de descarga de organismos estipulados en la Norma D-2. Es por esto que se prevé aplicar un muestreo en aquellas embarcaciones que incumplan con alguno de los requisitos anteriores, o aun cumpliéndolos se presuma un posible riesgo, a fin de controlar que no excedan los límites en las cantidades de organismos descriptas. Muchos países eligen, en su normativa interna, llevar a cabo análisis de riesgo sobre las embarcaciones antes de que arriben a sus puertos. Este análisis permite determinar en qué embarcaciones es más efectivo realizar el muestreo y análisis completo del agua de lastre, optimizando así el tiempo y los recursos.

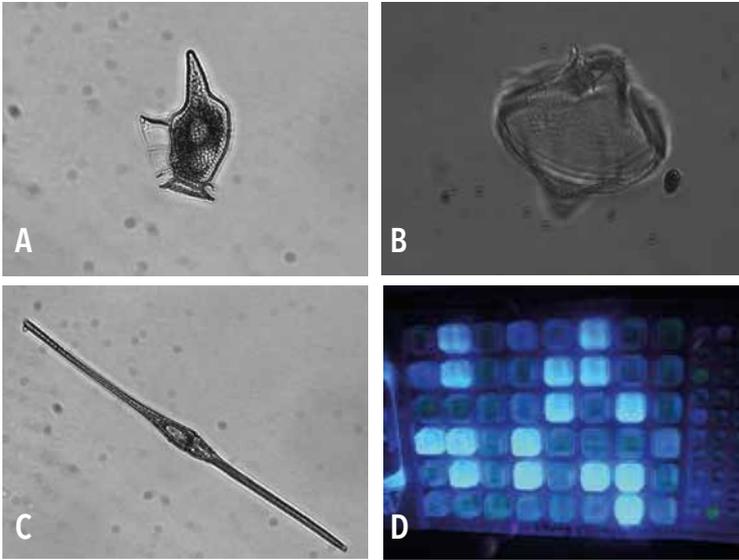
## Combinando las normas D-1 y D-2

Una alternativa propuesta por distintos grupos de investigación es la combinación de ambas normas (en lugar de reemplazar una por otra), es decir, sumar a la técnica de intercambio de agua de lastre ya implementada desde 2004 (Norma D-1) el uso de sistemas de tratamiento aprobados por la OMI (Norma D-2). Esta combinación (tratamiento híbrido) potenciaría la capacidad de control de especies transportadas. Dado que el procedimiento de intercambio de agua es una rutina ya incluida en las tareas normales a bordo de las embarcaciones y que los nuevos tratamientos de agua de lastre cuentan con dispositivos de tecnología avanzada y alto grado de automatismo, no representaría un incremento sustancial de las tareas.

Para poner a prueba esta idea, los coautores de este artículo en conjunto con investigadores del Great Lakes Institute for Environmental Research de la Universidad de Windsor, Canadá, llevaron a cabo un experimento a escala real a bordo del buque de carga *Federal Venture* de la empresa FedNav. Los experimentos se realizaron durante cinco viajes comerciales, entre 2012 y 2013, respetando las condiciones normales de trabajo de la tripulación, a fin de que los resultados fueran lo más próximos posible a la realidad. Se midió el efecto de los tratamientos de intercambio de agua (Norma D-1), de agregado de cloro (hipoclorito de sodio a 10 y 20ppm, Norma D-2) y a la combinación de ambos (tratamiento híbrido) sobre las densidades de organismos establecidas por la Norma D-2, en los diez tanques de agua de lastre, de entre 1100 y 1200 toneladas de capacidad. La comparación de estos tratamientos contra tanques control permitió evaluar el grado de cumplimiento de las normas D-1 y D-2 según dichos tratamientos. Tanto el agregado de cloro como el tratamiento híbrido cumplieron los límites propuestos por la OMI para la Norma D-2, pero los mejores resultados fueron observados con el tratamiento híbrido. Incluso en los indicadores bacterianos para enterococos intestinales y *Escherichia coli* se observaron densidades aún menores de las esperadas por la suma de ambos tratamientos aplicados por separado (efecto sinérgico). Esta sinergia podría deberse a una mortalidad mayor cuando se aplica cloro u otro desinfectante sobre organismos previamente sometidos a cambios de salinidad bruscos (estrés osmótico).



Mapa del recorrido del *Federal Venture* durante los experimentos y vista general de la embarcación.



Microorganismos registrados en el agua de lastre, dinoflagelados (A y B) y diatomeas (C). Detección de bacterias mediante kits comerciales sensibles a *Escherichia coli* (D) donde se mezcla la muestra con un químico reactivo, se incuba y se cuentan luego bajo luz UV las celdas fluorescentes, consideradas como resultados positivos a la presencia de bacterias.

## Presión de colonización y un enfoque específico

Dos conceptos fundamentales en el estudio de las invasiones biológicas son la presión de propágulo y la presión de colonización. La primera nos dice cuántos ejemplares de una determinada especie, grupo o taxón son introducidos en un determinado evento de introducción. El aumento en el número de ejemplares implica una probabilidad mayor de que algunos de ellos sobrevivan al transporte, a la liberación y eventualmente a las condiciones bióticas y abióticas en el nuevo medio. Las normas D-1 y D-2 buscan disminuir el riesgo de introducción disminuyendo la presión de propágulo al bajar la abundancia total de los organismos transportados. El segundo concepto, la presión de colonización, se basa en la riqueza o diversidad, o sea, cuántas especies son introducidas en un mismo evento de introducción. En general se considera que existe una relación positiva entre el número de especies introducidas y la posibilidad de introducir exitosamente alguna de ellas. Entonces, ambos conceptos son particularmente importantes en el caso del agua de lastre donde, al transportar enormes cantidades de agua de un puerto a otro, se trasladarían comunidades completas con cientos de especies en un mismo evento.

La Norma D-2 no contempla los efectos de los tratamientos de agua de lastre sobre la presión de colonización, pues no considera la diversidad de organismos sino solo su abundancia. Tampoco considera, dentro de las dos fracciones de plancton a controlar, límites a especies

o grupos problemáticos más específicos, lo que constituye otra de las críticas frecuentes al Convenio. Frente a esto es interesante destacar que, aun cuando un barco descargue aguas con densidades medias menores que el límite permitido por la OMI y por lo tanto cumpla con el estándar, puede representar un riesgo elevado si los organismos descargados pertenecen a grupos potencialmente dañinos, por ejemplo dinoflagelados, frecuentemente responsables de generar mareas rojas. En el contexto del experimento descrito se analizó más detalladamente la fracción menor del plancton (10-50µm), se identificaron las especies y se observó que, aplicando un solo tratamiento (intercambio de agua o cloro), aunque disminuya la abundancia general (presión de propágulo), difícilmente disminuya la diversidad (presión de colonización), mientras que el tratamiento híbrido disminuyó ambos parámetros. Más importante aún es que la disminución de la abundancia es diferente entre los distintos grupos taxonómicos. Aquellas especies con estructuras de resistencia –como quistes y esporas– estuvieron presentes, aunque en menores densidades, aun en los tratamientos más eficientes. Justamente, los dinoflagelados y las diatomeas, que fueron dos de los grupos más resistentes a los tratamientos, suelen incluir distintos casos de invasores problemáticos. Estos resultados destacan la importancia de realizar análisis detallados, identificando las especies potencialmente peligrosas, y justificarían la introducción de valores límites para alguna especie o grupo en particular. Como ya se dijo anteriormente, la OMI atribuye a los Estados la potestad de abordar estas medidas en sus regímenes internos.

## Nuevas tecnologías para una mejor fiscalización

La necesidad de cuantificar la abundancia total de organismos, así como de incorporar la identificación de especies en las muestras de agua de lastre, está impulsando el desarrollo de técnicas moleculares factibles de ser aplicadas rápidamente durante la estadía de las embarcaciones en puerto. Esto está potenciado con el desarrollo de nuevas técnicas de secuenciación masiva que pueden detectar mediante marcadores moleculares muchas especies simultáneamente en una misma muestra. Si bien estas técnicas están aún en proceso de desarrollo y experimentación, prometen ser de gran ayuda en el campo de estudio del agua de lastre. En una primera aproximación, las muestras de zooplancton obtenidas durante el experimento descrito fueron analizadas usando técnicas de secuenciación masiva de próxima generación (*next-generation sequencing*). Los resultados mostraron una disminución de la diversidad de especies solo por efecto del confinamiento

to en los tanques de lastre. Sin embargo, en un estudio más detallado realizado sobre esas mismas muestras con técnicas de *metabarcoding* (técnica que analiza el conjunto de ADN extraído a todos los organismos de una misma muestra) se observó que, si bien la abundancia (presión de propágulo) disminuía para algunos grupos, la presión de colonización (diversidad de especies) no disminuía ni en los tanques de control ni en los que se agregó cloro. Estos resultados en conjunto reafirman lo observado en la fracción menor del plancton y enfatizan la necesidad de aplicar múltiples métodos y tratamientos, destacando el uso de herramientas moleculares para lograr comprender procesos que no pudieran ser analizados con técnicas tradicionales.

## Problemas en la práctica y recomendaciones

Si bien el Convenio Internacional de Agua de Lastre obtuvo gran adhesión (82 Estados firmantes, equivalente al 80,94% del tonelaje mundial transportado) y una muy buena aceptación aun por aquellos países no firmantes, la instrumentación para su control representa un conflicto. Por esto es prudente incrementar los esfuerzos de control en particular para las embarcaciones con mayor riesgo fundado. Sin embargo, la OMI establece que este control no debe generar demoras innecesarias que entorpezcan la operatoria en puerto, lo cual implica la necesidad de dis-

poner de las pruebas de ese riesgo previamente a la llegada de la embarcación. Por lo tanto, los entes de control deben elaborar una evaluación de riesgo que minimice la cantidad de embarcaciones para someter a su análisis, seleccionando solo aquellas que revistan mayor riesgo. Las nuevas tecnologías aplicadas en la identificación de especies sumadas a las evaluaciones de riesgo de acuerdo con el lugar de origen facilitarían la labor de control en puerto. La OMI deja en manos de los Estados la elaboración de estas evaluaciones de riesgo, que son de cumplimiento voluntario y representan un instrumento más dentro de sus directrices para las mejores prácticas.

Otro problema a considerar es la variedad de estrategias adoptadas por los diferentes países, que dificulta la administración de cuerpos de agua geográfica y físicamente compartidos pero divididos geopolíticamente. Por ejemplo, nuestro país comparte frentes marítimos con Chile y con Uruguay, dos países no firmantes que acatan como norma interna el intercambio de agua de lastre, pero no el uso de tratamientos de agua de lastre. De poco serviría para un Estado, por ejemplo, aplicar una estrategia enfocada en los riesgos locales, significativamente más eficiente y restrictiva, como la utilización de tecnologías más avanzadas y el tratamiento o las técnicas de detección más sensibles, si otro Estado limítrofe no cumple con una norma equivalente a nivel regional. Por esto resulta necesario construir estrategias regionales para el control de descargas de agua de lastre y una política más conservadora respecto de la introducción de especies exóticas, para así lograr una mejor gestión y control de esta problemática. 

### LECTURAS SUGERIDAS

**CORREA N y ALMADA P**, 2013, 'Agua de lastre y especies exóticas', *CIENCIA HOY*, 22 (131): 59-63.

**LIN Y et al.**, 2019, 'Can chlorination of ballast water reduce biological invasions?', *Journal of Applied Ecology*, 57: 331-343.

**PAOLUCCI EM et al.**, 2015, 'Hybrid system increases efficiency of ballast water treatment', *Journal of Applied Ecology*, 52: 348-357.

**PAOLUCCI EM, RON L & MACISAAC H**, 2017, 'Combining ballast water treatment and ballast water exchange: Reducing colonization pressure and propagule pressure of phytoplankton organisms', *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 20: 369-377.



#### Leila Ron

Especialista en gestión de la protección del ambiente acuático. Instituto Universitario de Seguridad Marítima, Prefectura Naval Argentina. Investigadora RPIDFA. Profesora en la Escuela de Cadetes Juan Ángel Pirker de la Policía Federal Argentina. [leylaron@gmail.com](mailto:leylaron@gmail.com)



#### Nancy Correa

Bióloga, FCEyN, UBA. Investigadora RPIDFA. Servicio de Hidrografía Naval, MinDef. Secretaria de Investigación, Escuela de Ciencias del Mar. Docente de la Escuela de Ciencias del Mar y de la Escuela de Guerra Naval. [ncorrea59@gmail.com](mailto:ncorrea59@gmail.com)



#### Esteban Marcelo Paolucci

Doctor en ciencias biológicas, UBA. Investigador adjunto, Conicet. [estebanmpaolucci@gmail.com](mailto:estebanmpaolucci@gmail.com)