

Aguas de lastre, bioinvasiones marinas y proyecto europeo *Atlantic Blue Ports*

Isabel Cárdenas Marcial y José Carlos García-Gómez

Recibido: 24 de marzo de 2022 / Revisado: 20 de abril de 2022 / Aceptado: 28 de abril de 2022 / Publicado: 13 de octubre de 2022

RESUMEN

La invasión de especies exóticas es considerada en la actualidad como la segunda causa de pérdida de biodiversidad a nivel mundial, siendo los ecosistemas acuáticos especialmente vulnerables. En este medio, el transporte marítimo es el principal vector de dispersión de estas especies, las cuales viajan en las aguas de lastre o formando parte del biofouling. Por ello, las aguas portuarias y sus zonas aledañas de fondeo tienen su implicación directa en el proceso. Se realiza una mini-revisión del tema, así como de los mecanismos de control y de tratamiento de aguas de lastre como medidas de mitigación.

Palabras clave: tráfico marítimo, aguas de lastre, biofouling, puertos, medidas de mitigación

ABSTRACT

The invasion of alien species is currently considered to be the second cause of biodiversity loss worldwide, with aquatic ecosystems being particularly vulnerable. In this environment, maritime transport is the main vector for the dispersal of these species, which travel in ballast water or as part of biofouling. Port waters and their surrounding anchorage areas are therefore directly involved in the process. A mini-review of the issue is carried out, as well as of control mechanisms and ballast water treatment as mitigation measures.

Keywords: maritime traffic, ballast water, biofouling, ports, mitigation measures

1. INTRODUCCIÓN

Las especies exóticas son aquellas que han sido introducidas en un área fuera de su rango de distribución natural, las cuales se tornan invasoras cuando superan los filtros del nuevo ecosistema y logran adaptarse a él e invadirlo (Keller *et al.*, 2011). Las bioinvasiones constituyen la segunda causa de extinción de especies a nivel mundial (Bellard *et al.*, 2016) y, por tanto, su manejo representa uno de los mayores desafíos para la conservación de la biodiversidad terrestre, marina y de agua dulce (Pyšek y Richardson, 2010). Su gestión es particularmente desafiante en los océanos debido a la elevada conectividad, a través de amplias escalas espaciales, de los ecosistemas marinos (Giakoumi *et al.*, 2019).

En el medio marino, la transferencia de especies desde sus áreas nativas de distribución

hacia zonas donde anteriormente no se encontraban (donde la distancia entre ambas puede ser muy elevada) se debe en gran medida al tráfico marítimo (Kaluza *et al.*, 2010; Lacarella *et al.*, 2020). Según Lakshmi *et al.* (2021), el 80% del comercio mundial se realiza a través de rutas marítimas, actividad que ha experimentado un incremento exponencial desde hace varias décadas (Seebens *et al.*, 2013; Hughes y Ashton, 2016; Papacostas *et al.*, 2017). Por ello, los puertos poseen un papel fundamental tanto en la dispersión como en el asentamiento y desarrollo de especies exóticas con potencial invasor (O'Brien *et al.*, 2017; Petrocelli *et al.*, 2019; Miralles *et al.*, 2020).

Junto con el *biofouling*, el agua de lastre es uno de los vectores dominantes de dispersión relacionado con el tráfico marítimo, como puede observarse en la lámina 1 (Molnar *et al.*, 2008;

Hewitt *et al.*, 2009; Gollasch *et al.*, 2019). A diferencia de las aguas de lastre, el *biofouling*, además, como vector de dispersión de especies con potencial invasor, se hace extensivo a todo tipo de navegación, con inclusión de la recreativa de embarcaciones menores que pueden recorrer grandes distancias (p. ej., veleros). Castro *et al.* (2017) defienden que unas 10.000 especies marinas pueden ser transportadas diariamente alrededor del mundo en las aguas de lastre, que son empleadas como peso adicional para mantener la estabilidad e integridad estructural de las embarcaciones, mejorar su maniobrabilidad y compensar el consumo de combustible durante el trayecto. Según Moreno-Andrés *et al.* (2017), el volumen anual de aguas de lastre transportado por todas las embarcaciones a nivel global es de unos 10.000 millones de toneladas y, mientras estas aguas no sean tratadas correctamente, su descarga puede desencadenar un posterior proceso de invasión en aquellos sistemas portuarios receptores y zonas aledañas.

En este escenario de entornos portuarios y aguas próximas de fondeo, se impone la necesidad de establecer medidas de gestión eficaces que reduzcan el riesgo de futuras bioinvasiones como consecuencia del tráfico marítimo y de la descarga directa de las aguas de lastre en entornos portuarios. Para abordar este reto medioambiental, el proyecto europeo *Atlantic Blue Ports* (mayo de 2018 – diciembre de 2020), en el que participó el Laboratorio de Biología Marina de la Universidad de Sevilla junto a la Autoridad Portuaria de Sevilla, tuvo como principal objetivo mejorar los servicios portuarios de descarga y el tratamiento de estos efluentes. Para ello, el proyecto afrontó, entre otros aspectos, una revisión sobre el impacto generado por las bioinvasiones marinas, así como las posibles soluciones para dotar a los puertos de instalaciones de recepción de desechos adaptadas a las exigencias del sector. Algunos resultados de este proyecto, junto a los obtenidos de otros en curso, propiciados por otras fuentes de financiación (ver Agradecimientos), se aportan en este documento.

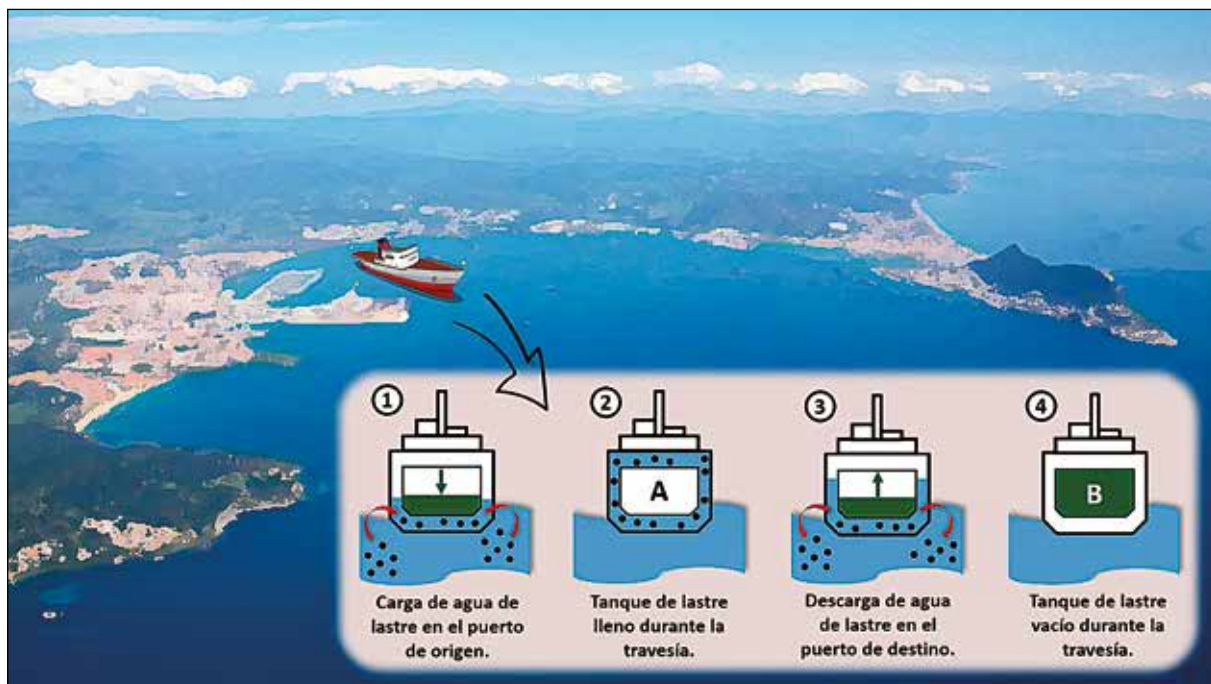


Lámina 1. Representación gráfica del proceso de carga y descarga del agua de lastre: 1) descarga de la mercancía en el puerto de origen y llenado del tanque de lastre; 2) bodega de carga vacía y tanque de lastre completo durante la travesía; 3) carga de mercancía en el puerto de destino, con el consiguiente vaciado del tanque de lastre; 4) bodega de carga completa y tanque de lastre totalmente descargado durante el trayecto de retorno; A) bodega de carga vacía; B) bodega de carga llena; •) organismos cargados y descargados junto con las aguas de lastre. Nótese que la descarga del agua de lastre se corresponde con un llenado de la bodega de carga, y viceversa, consiguiéndose de esta forma el equilibrio de la embarcación. Elaboración propia

2. ANTECEDENTES

Los estados miembros de la Organización Marítima Internacional (IMO, de sus siglas en inglés) adoptaron un nuevo Convenio Internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques en febrero de 2004, pero este no entró en vigor hasta septiembre de 2017 (BOE-A-2016-10960). Así pues, los buques deben establecer planes de manejo de las aguas de lastre, rellenar un libro de registro de estas aguas y controlar su descarga para asegurar el cumplimiento de los límites legales.

Desde su implementación se han propuesto y desarrollado diferentes métodos de control. Sin embargo, aún no existe una única técnica que elimine el 100% de las especies exóticas con potencial invasor presentes en los tanques de lastre (Tsolaki y Diamadopoulos, 2009). El procedimiento de control más aceptado en la actualidad es el intercambio del agua de lastre en mar abierto a través de un vaciado total o parcial del tanque (Lakshmi *et al.*, 2021). No obstante, se ha observado que, incluso después de intercambiar el 95% del volumen de agua de un tanque, el 5% restante contiene aproximadamente el 25% de las especies detectadas antes del intercambio (García-Revillo y Fernández-Delgado, 2009).

A diferencia del agua de lastre, tan solo jurisdicciones puntuales han adoptado medidas obligatorias para el tratamiento del *biofouling* (Martínez-Laiz, 2022). El método de control más empleado actualmente se basa en una limpieza periódica del casco en las infraestructuras portuarias, con el riesgo ecológico que esto supone (Hopkins y Forrest, 2008), así como en la búsqueda de sustancias antiincrustantes más eficaces y sostenibles (Yebra *et al.*, 2004; Dafforn *et al.*, 2011; Shin *et al.*, 2019; Jin *et al.*, 2022).

3. OBJETIVOS

Las bioinvasiones son reconocidas como un problema ambiental importante en la agenda política nacional e internacional. En este sentido, los ecosistemas acuáticos españoles albergan un gran número de especies exóticas invasoras, así como gran diversidad y endemismo de

fauna y flora, por lo que el riesgo de pérdida de biodiversidad es muy elevado, sobre todo en los entornos portuarios.

Por ello, uno de los objetivos principales del proyecto *Atlantic Blue Ports* fue el estudio del potencial real que tienen los diferentes puertos del área atlántica en materia de gestión de estas especies. Para cumplir con este propósito, es de vital importancia establecer una base bibliográfica sólida sobre las metodologías utilizadas y los resultados obtenidos en los estudios medioambientales realizados para el monitoreo y el control de especies exóticas invasoras en aguas portuarias, con inclusión del *biofouling*, además de las aguas de lastre.

4. METODOLOGÍA

Se ha realizado una exploración amplia y crítica de la información publicada a nivel mundial sobre el tema, mediante consulta de diferentes bases de datos y revistas especializadas, plataformas científicas, etc., sobre la evolución y el estado actual de las bioinvasiones marinas, destacando el papel del tráfico marítimo como principal vector de dispersión e incluyendo tanto el agua de lastre como el *biofouling*. Asimismo, una parte representativa de esta búsqueda se centró en el análisis de los métodos empleados para la monitorización y el control de estas especies en áreas portuarias, además de los resultados obtenidos tras su aplicación.

La búsqueda bibliográfica especializada se implementó mediante el uso de palabras clave y descriptores específicos (especies exóticas con potencial invasor, tráfico marítimo, agua de lastre, *biofouling*, áreas portuarias, contaminación marina, etc.). Se descartaron publicaciones por haber sido sustituidas por otras con una metodología más avanzada, ya que, en cada uno de los documentos, se verificó que tanto su base científica como su metodología fueran correctas. Una vez seleccionada la información, se utilizó la herramienta *Mendeley* para una organización por categorías. Otras recomendaciones propuestas para las revisiones bibliográficas han sido adoptadas de Gómez-Luna *et al.* (2014).

5. RESULTADOS

Un total de 368 documentos han sido analizados durante el proceso de búsqueda (lámina 2), muchos de los cuales, aunque no explícitamente citados aquí, han ayudado a sustentar las consideraciones finales de esta revisión.

interior del espigón, así como las áreas necesarias para las maniobras de atraque y viraje. En ocasiones, ya sea por tamaño o por carga, algunos buques no pueden acceder a esta zona.



Lámina 2. Fuentes de datos consultadas, expresadas en porcentajes: artículos (211), conferencias, congresos e informes (41), libros y capítulos (18), recursos online (67), tesis (8) y otros (23). Elaboración propia

La información revisada coincide en que el transporte marítimo y los puertos juegan un papel fundamental como vectores de dispersión de especies exóticas en el medio acuático, al facilitar en muchos casos su desplazamiento a gran distancia desde sus hábitats nativos hasta los nuevos ecosistemas. Sin embargo, un porcentaje elevado de los documentos examinados (alrededor del 70%) otorga mayor importancia a las aguas de lastre y, aunque esta tendencia está cambiando en las revisiones más recientes (Martínez-Laiz, 2022), el *biofouling* queda relegado a un segundo lugar.

5.1. El papel de los puertos en el proceso de invasión

Un aspecto relevante es qué se entiende por aguas portuarias y cuáles son sus límites. Las aguas portuarias son, por tanto, aquellas que forman parte del área de servicio de un puerto por ser necesarias para el desarrollo de sus actividades. Estas, a su vez, pueden dividirse en dos zonas, las cuales quedan limitadas por el espigón o escollera:

- Zona I, o interior de las aguas portuarias. Abarca los espacios comprendidos en el

- Zona II, o exterior de las aguas portuarias. Comprende aquellas áreas de maniobra, entrada y posible fondeo. Las áreas de fondeo son aguas de influencia portuaria, subsidiarias del puerto correspondiente.

La descarga de las aguas de lastre será más perjudicial cuando se produzca en la zona II ya que, entre otras cuestiones, es más difícil detectar precozmente los organismos vertidos y, por tanto, acometer una posible contención de los mismos. Por tanto, la zona en la que los buques liberan sus aguas de lastre o depositan sus incrustaciones -además de los organismos o gametos asociados a ellas- influye significativamente en el posible proceso de invasión. Asimismo, referente a los puertos, se ha demostrado que los ambientes degradados se han transformado en medios favorables para el asentamiento y desarrollo de especies exóticas, ya que no cumplen con la competencia de las comunidades nativas (Miralles *et al.*, 2020).

En el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras figuran aquellas especies que han sido introducidas a través de los dos vectores mencionados anteriormente (lámina 3).



Lámina 3. Especies incluidas en el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras cuya introducción en nuestro país se debe a las aguas de lastre o al biofouling. Se han añadido también especies observadas en aguas salobres (por ejemplo, en zonas estuarinas o deltas). Elaboración propia

5.2. Tecnologías disponibles para el tratamiento de las aguas de lastre

Estas tecnologías se centran fundamentalmente en la adaptación de las infraestructuras portuarias para una descarga del agua de lastre sin riesgos o en la implantación de sistemas de control de estas aguas en las propias embarcaciones, siendo esta última la opción más factible (Tsolaki y Diamadopoulou, 2009). Se ha propuesto habilitar áreas apropiadas en los puertos para la carga y descarga de los tanques de lastre (Pereira y Britani, 2012) y, pese a que los resultados pueden ser prometedores, serían necesarias grandes extensiones de terreno y una importante inversión económica dado el volumen de agua que transporta una sola embarcación.

No obstante, ninguno de los métodos comúnmente empleados para el control de las aguas contenidas en los tanques de lastre es, de forma individual, totalmente efectivo, pudiendo ser la solución más adecuada una combinación de los mismos (García-Revilla y Fernández-Delgado, 2009; Tsolaki y Diamadopoulou, 2009). Actualmente, se considera que un tratamiento físico unido a un proceso de filtración es el método más eficaz para la eliminación de una gran variedad de organismos (Lakshmi *et al.*, 2021).

5.2.1. Intercambio del agua de lastre

Según el Convenio actual (IMO, 2004), al menos el 95% del agua contenida en el tanque debe ser intercambiada a un mínimo de 200 millas náuticas de la tierra más cercana y en aguas con una profundidad mínima de 200 metros. Como ya se ha indicado, el 5% restante contiene aproximadamente el 25% de los organismos detectados antes del intercambio (García-Revilla y Fernández-Delgado, 2009).

5.2.2. Tratamientos primarios

Filtración e hidrociclón

La filtración es una de las tecnologías más eficaces a considerar, con una tasa de eliminación del 95-98%. Sin embargo, el volumen de agua a filtrar es inmenso, y los métodos actuales aún no están preparados para ello. Es necesario

seguir investigando en la posibilidad de diferentes niveles de filtración, así como en las características de los filtros utilizados (Lakshmi *et al.*, 2021).

Por otro lado, el hidrociclón, que inactiva a los organismos del plancton mediante fuerzas hidrodinámicas (Kurtela y Komadina, 2010; Pećarević *et al.*, 2018), aparece como una alternativa rentable a la filtración (Taylor y Rigby, 2001), pero con una eficacia mucho más baja (Parson, 2003) y variable dependiente, por ejemplo, del tamaño de los individuos y de la densidad del agua (Waite y Kazumi, 2001).

5.2.3. Tratamientos físicos

El tratamiento mediante calor es otra medida de erradicación. Según Tsolaki y Diamadopoulou (2009), la temperatura mínima necesaria para la eliminación de las especies contenidas en el tanque está por encima de los 40°C. Sin embargo, además de ser inviable para buques con más de 10.000 Tm de agua de lastre, sería necesario un rediseño de todo el sistema de bombeo (García-Revilla y Fernández-Delgado, 2009).

El uso de radiación ultravioleta es también un método físico para la eliminación de estas especies (Tsolaki y Diamadopoulou, 2009; Lakshmi *et al.*, 2021). Las longitudes de onda más cortas son las más efectivas, dañando el ADN, el ARN y las proteínas de los organismos, pero la transmisión en el medio acuático no es buena. Asimismo, aquellos organismos con una relación superficie/volumen baja son menos susceptibles a la radiación (García-Revilla y Fernández-Delgado, 2009).

Otros tratamientos físicos, generalmente empleados como mecanismos secundarios, son ultrasonidos, microondas, pulsos eléctricos y separación magnética por electroionización (Lakshmi *et al.*, 2021). La cavitación hidrodinámica (basada en la formación de burbujas, las cuales crecen rápidamente y colapsan de forma violenta resultando letal para los organismos), desarrollada recientemente (Pandit *et al.*, 2014; Dular *et al.*, 2016), se presenta como un método prometedor que será implementado en un futuro próximo y que parece ser muy eficiente en la

eliminación de microorganismos, así como de microcontaminantes, resultando inocuo para el medioambiente, entre otros aspectos (Pandit et al., 2014; Lakshmi et al., 2021).

5.2.4. Tratamientos químicos

La cloración, oxidación y ozonización destacan como los métodos más aplicados en la actualidad para el tratamiento químico del agua de lastre (Kurniawan et al., 2022). Si bien el uso de biocidas (cloro y derivados de este, peróxido de hidrógeno, iones de cobre, etc.) es efectivo para resolver el problema de las especies exóticas (Lakshmi et al., 2021), el riesgo potencial como consecuencia de su liberación al medio debe ser considerado (Kurniawan et al., 2022). Por ello, el uso de biocidas ha quedado restringido a cantidades relativamente pequeñas, lo que, sumado a su alto costo, hace improbable su aplicación a las ingentes cantidades de agua de lastre utilizadas (García-Revilla y Fernández-Delgado, 2009).

5.3. Estado actual de la gestión del *biofouling*

Mientras que la gestión del agua de lastre está sujeta a planes de actuación establecidos a nivel internacional, solo se han adoptado medidas obligatorias para el *biofouling* en jurisdicciones puntuales (Martínez-Laiz et al., 2022). Una limpieza periódica del casco de los grandes buques, como medida actual de mitigación, no solo disminuye la tasa de introducción de especies exóticas (Fernandes et al., 2016), sino que también reduce el consumo de combustible. Sin embargo, no es una técnica efectiva que elimine la totalidad de los organismos incrustantes y conlleva el riesgo del posible vertido de los mismos en las infraestructuras portuarias delimitadas para su limpieza, así como de los productos químicos empleados para ello.

Cabe destacar que, para futuros planes de gestión, la navegación de recreo es un sector que debe tenerse en cuenta por suponer un alto riesgo de propagación secundaria tanto en aguas portuarias como en zonas vulnerables/protegidas (Martínez-Laiz et al., 2019; Martínez-Laiz, 2022).

6. DISCUSIÓN

Ninguno de los diseños desarrollados para solventar el problema de las bioinvasiones

marinas provenientes de la descarga de aguas de lastre no tratadas correctamente, así como del *biofouling*, ha sido totalmente satisfactorio. Al respecto, deviene más evidente la idea de que la solución última debe pasar por una combinación de tratamientos, los cuales, además, deben ser factibles en términos económicos y de seguridad.

Recientemente, se ha descubierto que un proceso de filtración, seguido de un tratamiento con radicales hidroxilo, podría constituir un método energéticamente eficiente, rentable y capaz de inactivar el 100% de los organismos (Lakshmi et al., 2021). Además, la tecnología basada en ultrasonidos, en tratamientos electroquímicos y en ozono podría llegar a erradicar la totalidad de los organismos, especialmente el zooplancton y las bacterias (Lakshmi et al., 2021). Por último, la mejora de las técnicas basadas en la radiación UV puede suponer un gran avance en la gestión eficaz del agua de lastre (Tsolaki y Diamadopoulou, 2009).

Merecen especial atención aquellas técnicas que tengan en consideración a las especies de menor tamaño, como es el caso de los microorganismos, los cuales pueden superar todos los filtros y suponer una grave amenaza (Takahashi et al., 2008; Vázquez-Luis et al., 2017). Asimismo, deben considerarse aquellas estructuras de resistencia, tanto de organismos unicelulares o pluricelulares fotosintéticos, capaces de soportar durante un tiempo prolongado condiciones extremas de oscuridad (situación que ocurre en el interior de los tanques de lastre), permaneciendo en un estado de latencia, y que pueden continuar con su desarrollo una vez se encuentran en zonas favorables (Hallegraeff y Bolch, 1992).

7. CONSIDERACIONES FINALES

A diferencia de las invasiones de especies exóticas terrestres, las marinas son casi imposibles de erradicar y, por lo tanto, la medida de mitigación más importante para afrontarlas es evitar su introducción. No obstante, la fase inicial de una futurible bioinvasión marina, especialmente de macroorganismos, podría ser abortada si aquella se detecta en entornos semicerrados y manejables como los portuarios (con inclusión

de zonas exteriores de diques de abrigo y hábitats naturales colindantes), de ahí que estos deban estar sujetos a vigilancia ambiental periódica de detección temprana de especies exóticas con potencial invasor. Al respecto, dentro de la filosofía emergente *Working with Nature*, diferentes puertos y marinas del mundo promueven, acogen, coparticipan y/o cofinancian investigaciones en esta línea.

Pese a que en España tenemos una de las normativas más avanzadas para prevenir y controlar estas especies, debe priorizarse y potenciarse su control y aplicación en aquellas zonas donde las especies exóticas con potencial invasor supongan un mayor grado de amenaza, no solo por su elevada probabilidad de aparición, sino por su presencia efectiva y descontrolada cuando esta ha acontecido (p. ej., la macroalga *Rugulopteryx okamurae* en la bahía de Algeciras, estrecho de Gibraltar y zonas aledañas atlántico-mediterráneas). Para ello, es necesario impulsar canales de comunicación entre el mundo científico y las administraciones con competencias en la regulación y gestión de estas especies.

Asimismo, las administraciones deben fomentar la investigación aplicada a la prevención, manejo y gestión de las especies exóticas invasoras (con inclusión de su valorización, si la hubiere, en el ámbito de la economía circular), sin obviar la investigación básica. Adicionalmente, deben implementarse estrategias e iniciativas de divulgación y de sensibilización de esta problemática a la sociedad, incluyendo el establecimiento de planes de educación y comunicación. Especial atención merece la colaboración ciudadana coordinada por las administraciones y/o instituciones científicas (*Citizen Science*).

8. BIBLIOGRAFÍA

■ Ballard, C., Cassey, P. y Blackburn, T. M. (2016). "Alien species as a driver of recent extinctions". *Biology Letters* (12). Boletín Oficial del Estado, de 22 de Noviembre de 2016, núm. 282. 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. Castro, M. C. T., Fileman, T.W. y Hall-Spencer, J. M. (2017). "Invasive species in the Northeastern and Southwestern Atlantic Ocean: A Review". *Marine Pollution Bulletin* (116), pp. 41-47. Dafforn, K. A., Lewis, J. A. y Johnston, E. L. (2011). "Antifouling strategies: History and regulation, ecological impacts and mitigation". *Marine Pollution Bulletin* (62), pp. 453-465. Dular, M., Griessler-Bulc, T., Gutierrez-Aguirre, I., Heath, E., Kosjek, T., Klemenčič, A. K., Oder, M., Petkovšek, M., Rački, N., Ravnikar, M., Šarc, A., Širok, B., Zupanc, M., Žitnik, M. y Kompare, B. (2016). "Use of hydrodynamic cavitation in (waste) water treatment". *Ultrasonics Sonochemistry* (29), pp. 577-588. Fernandes, J. A., Santos, L., Vance, T., Fileman, T., Smith, D., Bishop, J. D. D., Viard, F., Queirós, A. M., Merino, G., Buisman, E. y Austen, M. C. (2016). "Costs and benefits to European shipping of ballast-water and hull-fouling treatment: Impacts of native and non-indigenous species". *Marine Policy* (64), pp. 148-155. García-Revilla, M. y Fernández-Delgado, C. (2009). *La introducción por mar de especies exóticas invasoras a través del agua de lastre de los barcos: El caso de Doñana*. Córdoba: Servicio de publicaciones, Universidad de Córdoba.

■ ■ Giakoumi, S., Katsanevakis, S., Albano, P. G., Azzurro, E., Cardoso, A. C., Cebrian, E., Deidun, A., Edelist, D., Francour, P., Jimenez, C., Mačić, V., Occhipinti-Ambrogi, A., Rilov, G. y Ramzi Sghaier, Y. (2019). "Management priorities for marine invasive species". *Science of the Total Environment* (688), pp. 976-982. Gollasch, S., Hewitt, C.L., Bailey, S. y David, M. (2019). "Introductions and transfers of species by ballast water in the Adriatic Sea". *Marine Pollution Bulletin* (147), pp. 8-15. Gómez-Luna, E., Navas, D. F., Aponte-Mayor, G. y Betancourt-Buitrago, L. A. (2014). "Literature review methodology for scientific and information management, through its structuring and systematization". *Dyna* (81), pp. 158-163. Hallegraeff, G. M. y Bolch, C. J. (1992). "Transport of diatom and dinoflagellate resting spores in ships' ballast water: implications for plankton biogeography and aquaculture". *Journal of Plankton Research* (14), pp. 1067-1084. Hewitt, C. L., Gollasch, S. y Minchin, D. (2009).

“The Vessel as a Vector – Biofouling, Ballast Water and Sediments”. *Biological Invasions in Marine Ecosystems*, pp. 117-131.

- Hopkins, G. A. y Forrest, B. M. (2008). “Management options for vessel hull fouling: an overview of risks posed by in-water cleaning”. *ICES Journal of Marine Science* (65), pp. 811-815. Hughes, K. A. y Ashton, G. V. (2016). “Breaking the ice: the introduction of biofouling organisms to Antarctica on vessel hulls”. *Aquatic Conservation* (27), pp. 158-164. International Maritime Organization, IMO. (2004). *International Convention for the Control and Management of Ships’ Ballast Water and Sediments*. International Maritime Organization, Londres.
- Jin, H., Tian, L., Bing, W., Zhao, J. y Ren, L. (2022). “Bioinspired marine antifouling coatings: Status, prospects, and future”. *Progress in Materials Science* (124). Kaluza, P., Kölzsch, A., Gastner, M. y Blasius, B. (2010). “The complex network of global cargo ship movements”. *Journal of The Royal Society Interface* (7), pp. 1093-1103. Keller, R. P., Geist, J., Jeschke, J. M. y Kuehn, I. (2011). “Invasive species in Europe: ecology, status, and policy”. *Environmental Sciences Europe* (23). Kurniawan, S. B., Pambudi, D. S. A., Ahmad, M. M., Alfanda, B. D., Imron, M., F. y Abdullah, S. R. S. (2022). “Ecological impacts of ballast water loading and discharge: insight into the toxicity and accumulation of disinfection by-products”. *Heliyon* (8). Kurtela, Z. y Komadina, P. (2010). “Application of Hydrocyclone and UV Radiation as a Ballast Water Treatment Method”. *Promet-Traffic & Transportation* (22). Lacarella, J., Burke, L., Davidson, I., DiBaccco, C., Therriault, T. y Dunham, A. (2020). “Unwanted nets: boat traffic increases the risk of invasions in marine protected areas”. *Biological Conservation* (245). Lakshmi, E., Priya, M. y Achari, V. S. (2021). “An overview on the treatment of ballast water in ships”. *Ocean & Coastal Management* (199). Martínez-Laiz, G., Ulman, A., Ros, M. y Marchini, A. (2019). “Is recreational boating a potential vector for non-indigenous peracarid crustaceans in the Mediterranean Sea? A combined biological and social approach”. *Marine Pollution Bulletin* (140), pp. 403-415. Martínez-

Laiz, G. (2022). *Bridging gaps for preventive management of marine bioinvasions associated to the recreational boating vector: vector assessment, baseline surveys and social perception*. Tesis: Universidad de Sevilla.

- Miralles, L., Gómez-Agenjo, M., Rayón-Viña, F., Gyraitė, G. y García-Vázquez, E. (2018). “Alert Calling in port areas: Marine litter as possible secondary dispersal vector for hitchhiking invasive species”. *Journal for Nature Conservation* (42), pp. 12-18. Molnar, J. L., Gamboa, R. L., Revenga, C. y Spalding, M. D. (2008). “Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity”. *Frontiers in Ecology and the Environment* (6), pp. Moreno-Andrés, J., Romero-Martínez, L., Acevedo-Merino, A. y Nebot, E. (2017). “Tratamientos basados en luz ultravioleta para aguas de lastre como opción viable hacia el control de especies invasoras en la Bahía de Algeciras”. *Almoraima. Revista de Estudios Campogibraltareños* (47), pp. 159-172.
- O’Brien, C. E., Johnston, M. W. y Kerstetter, D. W. (2017). “Ports and pests: Assessing the threat of aquatic invasive species introduced by maritime shipping activity in Cuba”. *Marine Pollution Bulletin* (125), pp. 92-102. Pandit, A. B., Mukherjee, A. C. y Sangave, P. P. (2014). “Water treatment Using Hydrodynamic cavitation”. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences* (43), pp. 2033-2041.
- Papacostas, K. J., Rielly-Carroll, E. W., Georgian, S. E., Long, D. J., Princiotta, S. D., Quattrini, A. M., Reuter, K. E. y Freestone, A. L. (2017). “Biological mechanisms of marine invasions”. *Marine Ecology Progress Series* (565), pp. 251-268. Parsons, M. G. (2003). *Considerations in the Design of the Primary Treatment for Ballast Systems*. Marine Technology and SNAME News, New York, vol. 40, pp. 1-49.
- Pećarević, M., Mikuš, J., Prusina, I., Juretić, H., Cetinić, A. B. y Brailo, M. (2018). “New role of hydrocyclone in ballast water treatment”. *Journal of Cleaner Production* (188), pp. 339-346. Petrocelli, A., Antolić, B., Bolognini, L., Cecere, E., Cvitković, I., Despalatović, M., Falace, A., Finotto, S., Iveša, L., Mačić, V., Marini, M., Orlando-Bonaca, M., Rubino, F., Trabucco, B. y Žuljević, A. (2019). “Port Baseline Biological

Surveys and seaweed bioinvasions in port areas: What's the matter in the Adriatic Sea?" *Marine Pollution Bulletin* (147), pp. 98-116. Pereira, N. N. y Britani, H. L. (2012). "Onshore ballast water treatment: A viable option for major ports". *Marine Pollution Bulletin* (64), pp. 2296-2304.

Pyšek, P. y Richardson, D. M. (2010). "Invasive Species, environmental change and management, and health". *Annual Review of Environment Resources* (35), pp. 25-55. Seebens, H., Gastner, M. T. y Blasius, B. (2013). "The risk of marine bioinvasion caused by global shipping". *Ecology Letters* (16), pp. 782-790. Shin, W. H., Jung, S. M., Lee, H. J., Park, T. H., Yoon, J. H., Lee, K. S., Kim, J. T. y Lee, J. D. (2019). "Progress in alternative antifouling technologies for healthy biodiversity". *Journal of Environmental Biology* (40), pp. 977-982. Takahashi, C. K., Lourenço, N. G. G. S., Lopes, T. F., Rall, V. L. M. y Lopes, C. A. M. (2008). "Ballast water: a review of the impact on the world public health". *Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases* (14), pp. 393-408. Taylor, A. H. y Rigby, G. (2001). *Suggested Designs to Facilitate Improved Management and Treatment of Ballast Water on New and Existing Ships*. Discussion Paper Prepared for Agriculture, Fisheries and Forestry Australia as Part of the Research Advisory Group Ballast Water Research and Development Program, vol. 22, p. 24.

■ Tsolaki, E. y Diamadopoulos, E. (2009). "Technologies for ballast water: a review". *Journal of Chemistry Technology Biotechnology* (85), pp. 19-32. Vázquez-Luis, M., Álvarez, E., Barraón, A., García-March, J. R., Grau, A., Hendriks, I. E., Jiménez, S., Kersting, D., Moreno, D., Pérez, M., Ruiz, J. M., Sánchez, J., Villalba, A. y Deudero, S. (2017). "S.O.S. *Pinna nobilis*: A Mass Mortality Event in Western Mediterranean Sea". *Frontiers in Marine Science* (4). Waite, T. D. y Kazumi,

J. (2001). *Field Tests on Alternatives to Ballast Exchange*. University of Miami.

■ Yebra, D. M., Kiil, S. y Dan-Johansen, K. (2004). "Antifouling Technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings". *Progress in Organic Coatings* (50), pp. 75-104.

Isabel Cárdenas Marcial

Laboratorio de Biología Marina de la Universidad de Sevilla (LBMUS)

Departamento de Zoología, Facultad de Biología, Universidad de Sevilla

Área de Investigación Biológica I+D+i del Acuario de Sevilla

Corresponding autor: 656 66 08 68
(icardenasmarcial@gmail.com)

José Carlos García-Gómez

Laboratorio de Biología Marina de la Universidad de Sevilla (LBMUS)

Departamento de Zoología, Facultad de Biología, Universidad de Sevilla

Área de Investigación Biológica I+D+i del Acuario de Sevilla

Estación de Biología Marina del Estrecho (Ceuta), España

Cómo citar este artículo

Isabel Cárdenas Marcial y José Carlos García-Gómez (2022). "Aguas de Lastre, bioinvasiones marinas y proyecto europeo *Atlantic Blue Ports*". *Almoraima. Revista de Estudios Campogibaltareños* (57), octubre 2022. Algeciras: Instituto de Estudios Compagibaltareños, pp. 163-172.
