



INFORME FINAL

Proyecto FIPA N° 2016-25

Estudio de evaluación de riesgo sobre la posible presencia de especies constitutivas de plagas hidrobiológicas en agua de lastre y sedimento en naves de transporte marítimo

Concepción, 09 de Julio de 2018

Equipo de trabajo del proyecto

Dr. Patricio Camus, Jefe de Proyecto

Dr. Antonio Brante, Investigador

Dra. Florence Tellier, Investigador

Dr.(c) Javier Monsalves, Investigador

Mg. Christian Díaz, Investigador

Srta. Linette Orozco, Profesional de apoyo

Sr. Luis Umaña, Personal técnico

Srta. Constanza Cofré, Personal técnico

I. RESÚMENES

RESUMEN EJECUTIVO

Cerca de 90 % del comercio internacional de Chile y otros países en desarrollo ocurre por vía marítima, lo cual aumenta el riesgo de recibir especies exóticas perjudiciales a través del agua de lastre (ADL) descargada por las naves en sus puertos de destino. Este riesgo reside en la probabilidad de que el agua y/o los sedimentos contenidos en los estanques de ADL de las naves puedan transportar especies peligrosas que tengan la capacidad de sobrevivir en los estanques, y que a través de la descarga de ADL sean inoculadas en un puerto receptor en un área geográfica distinta. Estas especies exóticas pueden luego establecerse y eventualmente expandirse, con el potencial de causar una amplia diversidad de impactos negativos de tipo ecológico, económico, social, de salud pública, y otros. Por ello desde el año 2000 la Organización Marítima Internacional - a través de su Programa Global de Gestión del Agua de lastre (GloBallast) - ha promovido el desarrollo y aplicación de metodologías de evaluación de riesgo con el fin de prevenir la introducción de especies. Un modelo general propuesto por GloBallast ha sido probado a nivel piloto en puertos seleccionados de varios países, y se constituyó en un referente previo a la entrada en vigor del “Convenio internacional para el control y la gestión del ADL y los sedimentos de las naves” el pasado 8 de septiembre de 2017.

En este contexto, las bases del concurso definieron como objetivo general del presente proyecto FIPA el desarrollar un modelo de análisis de riesgo sobre el efecto en el medio marino para minimizar la posible introducción de agentes patógenos y especies exóticas invasoras por descarga de agua de lastre y sedimentos en los puertos nacionales. Sus objetivos específicos fueron: (1) Identificar y recopilar información bibliográfica que describa el impacto ambiental y en salud pública del ADL y sedimentos en relación a organismos perjudiciales y patógenos; (2) Desarrollar un modelo de análisis de riesgo de ADL y sedimentos, enfocado a especies que podrían constituir plagas hidrobiológicas, especies exóticas invasoras y agentes patógenos; (3) Desarrollar propuestas de planes de vigilancia del ADL y sedimentos basadas en el modelo del análisis de riesgo resultante; (4) Evaluar en un piloto la aplicación del modelo desarrollado y los planes de vigilancia propuestos, para lo cual se debe realizar en puertos chilenos de tres regiones administrativas (V, VIII y X); (5) Identificar las brechas normativas y logísticas de la aplicación del modelo desarrollado y los planes de vigilancia propuestos; (6) Recopilar información para el desarrollo de un sistema de monitoreo de fiscalización y cumplimiento de las naves en relación al

ADL; y (7) Cuantificar la implementación del modelo y los planes de vigilancia considerando personal, costos de laboratorio y logístico.

Para el objetivo (1), la revisión bibliográfica permitió identificar y describir los principales impactos de la introducción e invasión de especies exóticas a través del transporte de ADL en distintas costas del mundo. Estos impactos se traducen a nivel sanitario, ecológico, económico y social. Además, el análisis de la información mostró que tan solo una pequeña fracción de trabajos (cerca al 10 %) reporta especies asociadas a sedimentos de lastres, mientras la gran mayoría solo reporta efecto del transporte de ADL. Una de las principales razones que determinarían este sesgo en favor de los muestreos de ADL, se relacionaría principalmente a la dificultad de acceso para el muestreo de los sedimentos dentro de los estanques. Este hecho fue corroborado en el muestreo piloto que se realizó en el marco del presente proyecto, donde se obtuvo muestra de sedimento de lastre en tan solo una de las naves muestreadas.

En el marco del objetivo (2), se propone un análisis de riesgo adaptado de la metodología usada por el programa GloBallast, la cual se enfoca en el cálculo de un coeficiente de riesgo global relativo (ROR: Relative Overall Risk) para cada uno de los puertos que donan ADL a un puerto receptor de interés. El coeficiente global (ROR) se obtiene a partir de la combinación aritmética de seis componentes particulares, todos expresados en escala de 0 a 1 para facilitar su interpretación: cuatro coeficientes de riesgo (C) que representan factores relevantes en la introducción de especies exóticas vía ADL, y dos factores de reducción de riesgo (R) que actúan como ponderadores de dos de los coeficientes C. Así, el coeficiente de riesgo global relativo de GloBallast corresponde al siguiente modelo:

$$\text{ROR} = [C1 + (C2 * R1) + C3 + (C4 * R2)] / 4$$

El ROR representa la contribución de un puerto donante específico, y los coeficientes C buscan representar los componentes de la presión de propágulos a la que está sometido el puerto receptor. De tal forma, C1 es la proporción de estanques que descargan ADL desde un puerto donante dado, C2 es la proporción del volumen de ADL descargado desde el puerto donante, C3 expresa la similitud ambiental entre el puerto donante y el puerto receptor, y C4 es la proporción del riesgo total asignado a las especies existentes en la bio-región donde se ubica el puerto donante. Por otra parte, R1 se asocia al tamaño de los estanques que descargan ADL (a menor tamaño, menor N° de organismos y menor probabilidad de sobrevivencia), y R2 al tiempo de almacenamiento del ADL en los estanques (a mayor tiempo, peores condiciones del agua y menor probabilidad de sobrevivencia).

En este marco, la propuesta del proyecto propone realizar las siguientes adaptaciones al modelo propuesto por GloBallast: (i) Cambiar el foco de atención desde las naves a los estanques de ADL a deslastrar, teniendo en consideración que cada nave cuenta con varios estanques cargados en diferentes zonas del océano o costa, lo cual genera diferentes niveles de riesgo estanque-dependiente; (ii) Estimar la similitud ambiental comparando con los lugares reales de carga del ADL que es descargada en el puerto receptor (que con frecuencia no corresponden a los últimos puertos de zarpe de las naves como usa GloBallast), y usando un conjunto menor y más accesible de variables físicas y estructurales (en lugar de las 34 variables usadas por GloBallast, varias de las cuales no están disponibles en Chile e implican alto costo y esfuerzo); (iii) Reemplazar las bio-regiones (clasificación de Kelleher et al. 1995) por ecorregiones (clasificación más completa y biogeográficamente más apropiada de Spalding et al. 2007); y (iv) Reemplazar las especies incluidas en la base de datos de bio-regiones (que incluyen especies que no representan amenaza y otras que son amenazas supuestas), por especies reconocidas como invasoras y con impactos negativos demostrados (que pueden ser incorporados al modelo), combinando bases de datos internacionales. De esta forma se genera un índice con mayor sentido biológico y ecológico del riesgo potencial de introducción de especies exóticas.

Para los objetivos (3) y (6), el plan de vigilancia de ADL propuesto por el proyecto se basa en el modelo de riesgo modificado, la información recopilada de la literatura para otros casos en el mundo, y las brechas identificadas tras la ejecución del muestreo piloto de ADL (ver más abajo), con los siguientes aspectos fundamentales a considerar para la toma de decisiones: (i) Disponibilidad de informes de ADL con información completa y fidedigna previo a la recalada de la nave; (ii) Equipo fiscalizador disponible, equipado y entrenado para la toma de muestras, y con prioridad para realizar esta tarea en cada Capitanía de Puerto; (iii) Disponibilidad de laboratorios certificados para evaluar parámetros microbiológicos y biológicos de la norma D2 de ADL sugeridos por la OMI. Es importante considerar que el plan de vigilancia no tiene como objetivo detectar y erradicar *in situ* potenciales especies exóticas introducidas, sino que más bien debe ser entendido como una medida fiscalizadora disuasiva que persuade a los actores correspondientes a cumplir con el buen manejo del ADL. En este contexto, el plan de vigilancia consta de 8 etapas principales: (1) Recepción de los informes de ADL por parte de la Capitanía de Puerto con al menos 2 días de anticipación; (2) Evaluación del nivel de riesgo de los estanques a deslastrar de acuerdo al modelo de riesgo; (3) Toma de decisión respecto a la ejecución de un muestreo de parámetros D2 en la nave en evaluación; (4) Toma de muestras de ADL por parte del equipo de muestreadores si uno o más estanques de ADL son seleccionados para fiscalización; (5) Envío de muestras de ADL a laboratorios certificados; (6) Recepción de los resultados de laboratorio por parte de la

Capitanía de Puerto; (7) Apertura de un proceso sancionatorio en el caso de que el ADL transgreda la norma D2; (7) Envío de resolución a la agencia naviera que corresponda; (8) Agencia Naviera informa a la nave.

En cuanto a los objetivos (4) y (5), la aplicación del piloto para evaluar el modelo de riesgo y el plan de vigilancia, así como identificar brechas para su implementación, se realizó en los puertos de Valparaíso y San Vicente en las Regiones V y VIII, respectivamente, junto a Puerto Montt y Calbuco en la X Región, que por su cercanía y menor tamaño fueron tratados como una unidad. Se planificaron muestreos en un total de 50 naves en los tres puertos analizados, aunque por diversos inconvenientes de coordinación solo 33 naves llegaron a confirmarse y fueron agendadas para muestrear. Por problemas de autorización o logística, finalmente solo 13 naves lograron ser muestreadas. A partir de este muestreo piloto se logró evidenciar varios aspectos relevantes a considerar frente al manejo del ADL y potencial implementación de un plan de vigilancia por parte de las autoridades chilenas: (1) Dificultades administrativas y logísticas para acceder a los estanques de lastre de las naves y realizar los muestreos; (2) Falta de rigurosidad y cumplimiento en la entrega de información a través de los formularios de ADL por parte de las naves; (3) Reducido número de laboratorios certificados y eficientes que puedan realizar los análisis requeridos, mayoritariamente concentrados en la Región Metropolitana; (4) Falta de especialistas para reconocimiento taxonómico de organismos exóticos, potencialmente invasores; (5) Alta frecuencia de incumplimiento de la norma D2 por parte de las naves, principalmente en cuanto a la abundancia de plancton; (6) Presencia de microalgas productoras de toxinas en el ADL que podrían ser transportadas a otros lugares gatillando FAN en las zonas de introducción; (7) Baja eficacia aparente de los mecanismos de tratamiento del ADL en las naves (e.g., radiación ultravioleta), que no aseguran un buen manejo del ADL; (8) Alta resistencia por parte de los organismos transportados en el ADL, lo que posibilita altos niveles de sobrevivencia en condiciones ambientales extremas y en periodos de tiempo prolongados.

En relación al objetivo (7), la evaluación económica del plan de vigilancia se basó en el caso del Puerto de San Vicente de la Región del Biobío como referencia, definiendo dos escenarios de costo: Óptimo (ideal) y Subóptimo (realista). Estos dos escenarios se consideran debido a las brechas existentes entre lo que sugieren las directrices derivadas del Convenio de Agua de lastre y lo que realmente es factible realizar acorde a las capacidades actuales de la autoridad marítima nacional. Los dos escenarios difieren principalmente en los siguientes aspectos: (i) tanto la toma de muestras como la caracterización físico-química *in situ* son externalizadas a una empresa (Escenario Óptimo) o son realizadas por el personal de la Capitanía de Puerto (Escenario

Subóptimo); (ii) el monitoreo de cada puerto es mensual (Escenario Óptimo) o bimensual (Escenario Subóptimo); y (iii) tanto la cantidad de personal de la Capitanía de Puerto a capacitar como el tipo de capacitación (teórica o teórico-práctica) variarán según el escenario elegido. La evaluación económica consideró (i) el muestreo mensual o bimensual (según el escenario) de cada terminal en cada puerto, tomando 1 muestra de sedimento y 1 muestra de agua por terminal, y (ii) la obtención de 1 muestra de ADL y 3 muestras de sedimento de lastre de un estanque en cada una de las 50 naves que recalán anualmente en promedio en el Puerto de San Vicente. Para la evaluación fue necesario identificar los distintos actores y recursos que intervienen en cada etapa por escenario. De esta forma, para todas las muestras, la evaluación económico consideró los costos de la toma de muestras, la caracterización de variables físico-químicas *in situ*, el envío de las muestras al laboratorio, la realización de análisis microbiológicos certificados (según la norma D2), y el recuento de organismos vivos (zooplancton y fitoplancton principalmente) por taxónomos especialistas.

Finalmente, se recomienda la asignación de fondos por el Ministerio de Medio Ambiente para el fortalecimiento de líneas de investigación relacionadas con la identificación de especies exóticas y/o invasoras transportadas a través del agua y los sedimentos del lastre.

EXECUTIVE SUMMARY

About 90% of international trade in Chile and other developing countries occurs by sea, which increases the risk of receiving harmful alien species through ballast water (BW) discharged by vessels at their ports of destination. This risk lies in the likelihood that the water and/or sediments contained in the BW tanks of the vessels may carry dangerous species that have the capacity to survive in the tanks and that, through the discharge of BW, are inoculated in a receiving port in a different geographic area, where they can then be established and eventually expand, with the potential to cause a wide range of negative impacts (ecological, economic, social, public health, and others). For this reason, since 2000, the International Maritime Organization (IMO) - through its Global Ballast Water Management Program (GloBallast) - has promoted the development and application of risk assessment methodologies in order to prevent the introduction of species. A general model proposed by GloBallast has been piloted at selected ports in a number of countries and has become a benchmark for the entry into force of the "International Convention for the Control and Management of Ballast Water and Sediments of vessels" on 8 September 2017.

In this context, the general objective of the present FIPA project is the development of a risk assessment model of the effects of exotic organisms on marine environments, in order to minimize the possible introduction of pathogenic agents and invasive species by discharge of ballast water and sediments in national ports. The specific objectives are: (1) Identify and gather bibliographical information describing the environmental and public health impacts of ballast water and sediments in relation to harmful organisms and pathogens, (2) Develop a risk assessment model of ballast water and sediments, focusing on species that may constitute hydrobiological plagues, invasive exotic species, and pathogenic agents; (3) Develop proposals for ballast water and sediment monitoring surveillance plans based on the resulting risk assessment model, (4) Evaluate the developed model and the proposed surveillance plan in a pilot study, which must be implemented in ports of three administrative regions of Chile (V, VIII y X); (5) Identify normative and logistical breaches in the application of the developed model and the proposed surveillance plan, (6) Gather information for the development of an inspection and norm fulfillment monitoring system of vessels in relation to ballast water; 7) Quantify the implementation of the model and surveillance plan considering personnel, laboratory and logistical costs.

For the first objective, the bibliographical review allowed to identify and describe the main impacts of the introduction and invasion of exotic species through the transport of BW (ballast water) in coasts worldwide. These impacts have implications at the sanitary, ecological, and sociological

levels. Furthermore, the information analysis showed that only a small fraction of works, approximately 10%, reports species associated to ballast sediments, while the vast majority reports only the effect of ballast water transport. One of the main reasons that may determine this bias towards ballast water sampling is the difficulty to access the ballast tanks for sediment sampling. This fact was corroborated during the project's pilot samplings, where a single sediment sample was obtained from only one of the sampled vessels.

In relation to objective (2), the project proposes an adaptation of the methodology used by the GloBallast program, which focuses on the calculation of a Relative Overall Risk (ROR) for each of the ports that donate ballast water (BW) to a recipient port of interest.

The global coefficient (ROR) is derived from the arithmetic combination of six particular components, all expressed on a scale of 0 to 1 to facilitate their interpretation: four risk coefficients (C) representing relevant factors in the introduction of exotic species via BW, and two risk reduction factors (R) acting as weights of two of the C coefficients. Thus, GloBallast's relative overall risk coefficient corresponds to the following model:

$$\text{ROR} = [C1 + (C2 * R1) + C3 + (C4 * R2)] / 4$$

ROR represents the contribution of a specific donor port, and the C coefficients seek to represent the components of the propagule pressure to which the recipient port is subjected. Thus, C1 is the proportion of tanks that discharge BW from a given donor port, C2 is the proportion of the volume of BW discharged from the donor port, C3 expresses the environmental similarity between the donor port and the recipient port, and C4 is the proportion of the total risk assigned to the species present in the bioregion where the donor port is located. On the other hand, R1 is associated with the size of the tanks that discharge BW (smaller size involves smaller N° of organisms and lower probability of survival), and R2 is associated with the residence time of BW in the tanks (longer time involves worse water conditions and lower probability of survival).

In this context, the project proposes the following adaptations to the model proposed by GloBallast: (i) to change the evaluation focus from vessels to BW tanks, considering that each vessel has many tanks filled in different zones of the ocean or coast, which produce different tank-dependent levels of risk; (ii) To estimate environmental similarity using the actual places where BW is loaded and then discharged into the recipient port (which often do not correspond to the last port of departure of vessels used by GloBallast), and using a smaller and more accessible set of physical and structural variables (rather than the 34 variables used by GloBallast, several of which are not available in Chile and involve a high cost and effort); (iii) To replace bioregions (classification by

Kelleher et al. 1995) with ecoregions (the more complete and biogeographically more appropriate classification by Spalding et al. 2007); and (iv) To replace species included in the bioregion database (which include non-threatening species and suspected pests) by species recognized as invasive and with demonstrated negative impacts (which may be incorporated into the model), combining international databases. In this way, more realistic ecological grounds may generate a more suitable index of the potential risk of introducing exotic species.

For objectives (3) and (6), the BW surveillance plan proposed in this project is based on the modified risk model, the information gathered from literature for other cases around the world, and the identified breaches arising after the execution of the pilot BW sampling (see below), considering the following fundamental aspects for decision making: (i) Availability of BW reports with complete and reliable information prior to the arrival of the vessel, (ii) Inspection team available, trained and well equipped for sampling, and having the priority to carry out this task at each harbor captaincy, (iii) Availability of certified laboratories to evaluate biological and microbiological parameters of the D2 BW norm suggested by the IMO. It is important to consider that the goal of the surveillance plan is not detecting and eradicating *in situ* of introduced exotic species; instead, it should be understood as a dissuasive auditing measure to persuade the corresponding actors to comply with better BW management practices. In such a context, the surveillance plan consists of eight main steps: (1) Reception of BW reports by the maritime authority (harbor captaincy) with at least two days in advance; (2) Evaluation of the risk level of tanks to be discharged, following the risk assessment model; (3) Decision making regarding the execution of a sampling of D2 parameters in the selected vessel; (4) Sampling of BW by a sampling team if one or more BW tanks are selected for inspection; (5) Dispatch of BW samples to certified laboratories; (6) Reception of laboratory results by the maritime authority (harbor captaincy); (6) Starting a sanctionatory process if the vessel does not comply with the D2 norm; (7) Sending the final resolution to the corresponding shipping agency; (8) Shipping agency informs the vessel.

Regarding objectives (4) and (5), the execution of the pilot sampling to evaluate the risk model and surveillance plan, as well as the identification of possible breaches for their implementation, were conducted in the ports of Valparaíso and San Vicente in the V and VIII Regions respectively, along with the ports of Puerto Montt and Calbuco in the X Region, which due to their proximity and small size were treated as a single unit. A total of 50 vessels were selected for BW sampling at the three ports, although for different situations only 33 vessels could be scheduled for sampling. However, only 13 vessels were finally sampled owing to authorization or logistic constraints. This pilot sampling allowed the identification of several key aspects that should be considered when

managing BW sampling and the potential implementation of a surveillance plan by Chilean authorities: (1) Numerous logistic and administrative difficulties to access BW tanks for sampling; (2) Lack of rigour and fulfillment in the provision of information through BW reports by the vessels; (3) Insufficient number of certified and efficient laboratories able to perform the required analyses; most of them are concentrated in the Metropolitan Region; (4) Lack of specialists for the taxonomical identification of exotic, potentially invasive organisms; (5) High frequency of violation of the D2 norm by the vessels, mainly regarding the abundance of plankton; (6) Presence of harmful (toxin-producing) microalgae in BW which may be transported to other places triggering harmful algal blooms in the introduction zones; (7) Low apparent efficacy of BW treatment mechanisms in vessels (e.g., ultraviolet radiation), which do not guarantee a proper BW management; (8) High resistance of the organisms transported in BW, which enables high levels of survival in extreme environmental conditions for prolonged periods of time.

Retarding objective (7), the economical evaluation of the surveillance plan was based on considered the case of Puerto San Vicente in the Biobío Region as a reference, defining two cost scenarios: Optimal (ideal) and Suboptimal (realistic). These two scenarios were considered because of the existing breaches between what the guidelines of the Convention of Ballast Water suggest and what is realistically achievable acknowledging the present capabilities of the national maritime authority. Both scenarios differ mainly by the following aspects: (i) Both sampling and *in situ* physical-chemical characterization are either externalized to a company (Optimal scenario) or conducted by the personnel of the maritime authority (Suboptimal scenario); (ii) The monitoring of each port are conducted either monthly (Optimal scenario) or bimonthly (Suboptimal scenario); and (iii) Both the number of personnel of the harbor captaincy requiring training and the type of training (theoretical or theoretical-practical) will vary according to the chosen scenario. The economical evaluation considered (i) the monthly or bimonthly (depending on the cost scenario) sampling of each terminal at each port, taking with 1 sediment sample and 1 water sample per terminal, and (ii) the obtention of 1 BW sample and 3 ballast sediment samples from one tank in each one of 50 vessels that dock annually on average to the Puerto San Vicente. For the evaluation, it was necessary to identify the different actors and resources intervening in each stage of each scenario. For all samples, thus, the economic evaluation considered the costs of sample taking, *in situ* physical-chemical characterization, sample delivery to laboratories, certified microbiological analyses (after the D2 norm) and counting of live organisms (mainly zooplankton and phytoplankton) by specialist taxonomists.

Finally, in order to strengthen research lines related to the identification of exotic and/or invasive species transported by ballast water and sediment, the assignment of funds by the Ministerio de Medio Ambiente is recommended.

II. ÍNDICES

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | | |
|------|---|----|
| I. | RESÚMENES..... | 3 |
| | Resumen ejecutivo..... | 3 |
| | Executive summary..... | 8 |
| II. | ÍNDICES..... | 13 |
| | Índice de Contenido | 13 |
| | Índice de Tablas..... | 15 |
| | Índice de Figuras..... | 19 |
| | Índice de Anexos..... | 21 |
| III. | OBJETIVOS | 22 |
| | Objetivo general | 22 |
| | Objetivos específicos | 22 |
| IV. | ANTECEDENTES | 23 |
| V. | METODOLOGÍA DE TRABAJO..... | 25 |
| | Recopilación y revisión de información bibliográfica..... | 25 |
| | Modelo de evaluación de riesgo | 27 |
| | Modelo de evaluación de riesgo OMI-Globallast..... | 28 |
| | Estimación de los coeficientes C | 30 |
| | Desarrollo del modelo para los puertos seleccionados | 33 |
| | Identificación de naves objetivo..... | 36 |
| | Implementación y adaptación del modelo Globallast | 49 |
| VI. | RESULTADOS | 58 |
| | Revisión de información bibliográfica | 58 |
| | Documentación seleccionada | 58 |
| | Síntesis de la información sobre normativas asociadas al control de la introducción de especies exóticas vía agua de lastre | 59 |
| | Síntesis de la información sobre impactos de la introducción de especies vía agua de lastre (ADL)..... | 72 |
| | Síntesis de la información sobre enfoques y metodologías..... | 86 |
| | Muestreo piloto de agua y sedimentos de lastre..... | 92 |
| | Equipo de trabajo..... | 92 |
| | Acceso al ADL y equipamiento de muestreo..... | 95 |

| | |
|---|-----|
| Muestreo en el puerto..... | 98 |
| Muestreo en las naves..... | 98 |
| Análisis de organismos planctónicos | 99 |
| Resultados del modelo y planes de vigilancia | 102 |
| Resultados cuantitativos del modelo..... | 102 |
| Aplicación del modelo | 113 |
| Resultados de las muestras de ADL..... | 113 |
| Brechas, costos y lineamientos | 129 |
| Brechas | 129 |
| Propuesta de Plan de Vigilancia | 131 |
| Valorización económica del Plan de Vigilancia: caso Puerto de San Vicente..... | 143 |
| Lineamientos para el desarrollo de los respectivos planes de acción sectoriales para las instituciones con competencia en la materia..... | 157 |
| VII. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 161 |
| VIII. CONCLUSIONES..... | 167 |
| IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 169 |
| ANEXOS..... | 176 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-----------------|--|----|
| Tabla 1. | Listado de variables (n = 34) definidas por GloBallast para estimar la similitud ambiental entre un puerto donante y un puerto receptor (Clarke et al. 2004)..... | 31 |
| Tabla 2. | Número de informes de ADL recibidos, repetidos, rechazados (por deficiencias) e ingresados a la base de datos del proyecto para cada puerto de estudio. Calbuco y Puerto Montt se indican por separado y en conjunto..... | 35 |
| Tabla 3. | Listado de naves seleccionadas (i) no muestreadas y (ii) abordadas en los tres puertos estudiados: Valparaíso, San Vicente y Calbuco..... | 38 |
| Tabla 4. | Listado de las 19 naves que fueron seleccionadas para muestreo y que pudieron ser abordadas en cada puerto evaluado a partir de julio de 2017. | 39 |
| Tabla 5. | Listado de las 13 naves que lograron ser abordadas y muestreadas en cada puerto evaluado, indicando el grado de éxito en la ejecución del muestreo (Óptimo: cumpliendo todos los requerimientos; Parcial: incluyendo una o más variables que no pudieron ser evaluadas). | 40 |
| Tabla 6. | Puerto de Valparaíso. Categorización de los coeficientes globales ROR y S-ROR en escala de colores (enfoque tipo “semáforo”) para la visualización del nivel de riesgo de los lugares donantes de ADL. Riesgo: Muy Bajo: verde, Bajo: verde claro, Medio: anaranjado, Alto: amarillo, Muy Alto: rojo. Los valores cero (0) fueron reemplazados por 0,001. | 42 |
| Tabla 7. | Puerto de San Vicente. Categorización de los coeficientes globales ROR y S-ROR en escala de colores (enfoque tipo “semáforo”) para la visualización del nivel de riesgo de los lugares donantes de ADL. Riesgo: Muy Bajo: verde, Bajo: verde claro, Medio: anaranjado, Alto: amarillo, Muy Alto: rojo. Los valores cero (0) fueron reemplazados por 0,001..... | 43 |
| Tabla 8. | Puerto de Calbuco. Categorización de los coeficientes globales ROR y S-ROR en escala de colores (enfoque tipo “semáforo”) para la visualización del nivel de riesgo de los lugares donantes de ADL. Riesgo: Muy Bajo: verde, Bajo: verde claro, Medio: anaranjado, Alto: amarillo, Muy Alto: rojo. Los valores cero (0) fueron reemplazados por 0,001. | 44 |
| Tabla 9. | Lista de variables ambientales que se utilizaron en la adaptación del modelo propuesto por el proyecto. | 52 |

| | | |
|------------------|--|-----|
| Tabla 10. | Requisitos específicos para control y gestión del ADL y sedimentos de las naves bajo la Reglamento B-3 de la Resolución de la OMI Asamblea A.1005 (25) (OMI 2007). | 63 |
| Tabla 11. | Directrices de ADL de la OMI (MEPC 2012). | 65 |
| Tabla 12. | Principales directrices generadas por la Autoridad Marítima para el manejo y control del ADL en Chile (DIRECTEMAR 2012)..... | 71 |
| Tabla 13. | Protocolos para el muestreo. | 93 |
| Tabla 14. | Número de informes conteniendo datos sobre la carga, intercambio y descarga de ADL por las naves que recalaron en cada puerto de estudio. | 103 |
| Tabla 15. | Información sobre el tipo de tratamiento aplicado al ADL a bordo, declarada por las naves que arribaron a los puertos evaluados. | 104 |
| Tabla 16. | Información conflictiva declarada por las naves en relación al manejo del ADL a bordo (anti escora), o a la razón de ausencia de manejo (cabotaje). | 104 |
| Tabla 17. | Tamaño (TRG), volumen de ADL a bordo y capacidad máxima de ADL (m3) de cada tipo de nave de los informes ingresados. | 106 |
| Tabla 18. | Principales puertos de origen de las naves que arribaron a los puertos evaluados, indicando para cada uno los cinco puertos de origen más frecuentes. | 107 |
| Tabla 19. | Puerto de Valparaíso. Estimación del riesgo de introducción de especies perjudiciales para cada lugar que donó ADL al puerto desde distintas ecorregiones, indicando los valores obtenidos para los coeficientes del modelo adaptado (se indica el tipo de riesgo asociado): C1: proporción de estanques que descargaron ADL; C2: proporción del volumen de ADL descargado; C3: similitud ambiental donante-receptor; C4: nivel de amenaza de las especies en la ecorregión respectiva; R1 y R2: factores de reducción de riesgo (constantes predefinidas); ROR: riesgo global relativo; S-ROR: riesgo global relativo estandarizado. | 108 |
| Tabla 20. | Puerto de San Vicente. Estimación del riesgo de introducción de especies perjudiciales para cada lugar que donó ADL al puerto desde distintas ecorregiones, indicando los valores obtenidos para los coeficientes del modelo adaptado (se indica el tipo de riesgo asociado): C1: proporción de estanques que descargaron ADL; C2: proporción del volumen de ADL descargado; C3: similitud | |

| | | |
|------------------|---|-----|
| | ambiental donante-receptor; C4: nivel de amenaza de las especies en la ecorregión respectiva; R1 y R2: factores de reducción de riesgo (constantes predefinidas); ROR: riesgo global relativo; S-ROR: riesgo global relativo estandarizado. | 110 |
| Tabla 21. | Puerto de Calbuco. Estimación del riesgo de introducción de especies perjudiciales para cada lugar que donó ADL al puerto desde distintas ecorregiones, indicando los valores obtenidos para los coeficientes del modelo adaptado (se indica el tipo de riesgo asociado): C1: proporción de estanques que descargaron ADL; C2: proporción del volumen de ADL descargado; C3: similitud ambiental donante-receptor; C4: nivel de amenaza de las especies en la ecorregión respectiva; R1 y R2: factores de reducción de riesgo (constantes predefinidas); ROR: riesgo global relativo; S-ROR: riesgo global relativo estandarizado. | 112 |
| Tabla 22. | Naves muestreadas en los tres puertos estudiados. Además, se presentan las fechas de muestreo y carga de ADL, tiempo de residencia del ADL y ecorregión de origen del ADL. La última columna indica la existencia de mecanismos abordaje para el tratamiento del ADL. | 114 |
| Tabla 23. | Parámetros físico-químicos medidos en el ADL de las distintas naves muestreadas y en la columna de agua de los puertos muestreados. Además se presentan los niveles de salinidad de las ecorregiones de origen de la carga del ADL para las distintas naves. Estos valores de salinidad se obtuvieron del World Ocean Atlas versión 2013 de la NOAA-USA (https://www.nodc.noaa.gov/OC5/woa13/). ORP = Potencial Óxido-Reducción. Las variables que no cuentan con información son aquellas que la sonda no midió y se designan con un guion (-). | 116 |
| Tabla 24. | Parámetros microbiológicos medidos en el ADL de las distintas naves y en agua de los puertos muestreados. Se muestra el promedio (\pm DE) estimado sobre 5 muestras de ADL para las naves y 3 muestras de agua para los puertos. Las variables que no cuentan con información se designan con “-“..... | 118 |
| Tabla 25. | Parámetros microbiológicos medidos en el sedimento de ADL (n = 1 nave) y en el sedimento del puerto de recalado. | 118 |
| Tabla 26. | Análisis de las comunidades fitoplanctónicas y de organismos menores a 50 μ m de las muestras de ADL de las naves y de la columna de agua de los puertos. | |

De todos las naves autorizadas para ingresar, solo en la nave Aotea no se pudo tener estimación de plancton menor. Continúa en la página siguiente..... 122

Tabla 27. Análisis de las comunidades planctónicas mayores a 50 µm de las muestras de ADL de las naves y de la columna de agua de los puertos. De todos las naves autorizadas para ingresar, solo de la nave Aotea no se pudo tener estimación de plancton mayor en su ADL. Continúa en la página siguiente. 125

Tabla 28. Descripción de ítems considerados en la evaluación económica, Escenario Óptimo..... 146

Tabla 29. Descripción de ítems considerados en la evaluación económica, Escenario Subóptimo. 151

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 1. | Informe de ADL entregado por la nave a la capitanía de puerto respectiva. | 34 |
| Figura 2. | Lugares donantes de ADL (en círculos) para el puerto de Valparaíso (A), San Vicente (B) y Calbuco (C). Los distintos colores indican el nivel de riesgo estimado de cada lugar de origen (Rojo = riesgo muy alto, Naranja = riesgo alto, Amarillo = riesgo medio, Verde claro = riesgo bajo, Verde oscuro = riesgo muy bajo). | 46 |
| Figura 3. | Ubicación geográfica de las fuentes de ADL para Valparaíso, San Vicente y Puerto Montt-Calbuco, dependiendo de la definición de las fuentes: (A) últimos puertos de zarpe de las naves (GloBallast) vs. (B) lugares de carga del ADL descargada en puertos chilenos por las mismas naves (proyecto FIPA 2016-25). | 50 |
| Figura 4. | (A) Clasificación biogeográfica propuesta por Kelleher et al. 1995 denominada Biorregiones Marinas. (B) Clasificación biogeográfica propuesta por Spalding et al. 2007 denominada Ecorregiones marinas costeras..... | 53 |
| Figura 5. | Países pilotos de demostración de la primera fase del programa GloBallast (datos obtenidos de Vousden & Okamura 2003). | 68 |
| Figura 6. | Dinámica generalizada de la invasión de especies exóticas introducidas en un nuevo hábitat (Elton 1958, Shigesada & Kawasaki 1997)..... | 73 |
| Figura 7. | (A) Resultado de la búsqueda bibliográfica, mostrando el porcentaje de documentos que cumplía (azul) o no cumplía (rojo) con los criterios de búsqueda, considerando solo los documentos que reportan impactos de especies exóticas transportadas por agua y/o sedimento de lastre. (B) Clasificación porcentual de los documentos analizados, considerando el medio que permitió el transporte de especies exóticas invasoras. | 74 |
| Figura 8. | Distribución porcentual de los documentos analizados, clasificados de acuerdo al tipo de impacto producido por especies exóticas transportadas por agua y sedimento de lastre. | 75 |
| Figura 9. | Porcentaje de los documentos analizados que evaluó el impacto de especies exóticas introducidas vía agua y sedimento de lastre, clasificadas por grupo taxonómico. | 77 |

| | |
|--|-----|
| Figura 10. Porcentaje de documentos analizados, clasificados de acuerdo al continente donde se reporta la invasión y el impacto. | 78 |
| Figura 11. Porcentaje de documentos analizados, clasificados según la región donde se reporta la invasión y el impacto dentro del continente Americano..... | 79 |
| Figura 12. Esquema que resume los impactos ecológicos más importantes asociados a especies exóticas invasoras. | 81 |
| Figura 13. Procesos asociados a la Intoxicación derivada de floraciones de dinoflagelados filtrados por moluscos (extraído de Avaria et al. 1999). | 83 |
| Figura 14. Bomba manual A1 y A2, manguera A3, botellas de diferentes tamaños B1, sistemas de cierre asociados a las botellas B2, B3 y B4..... | 97 |
| Figura 15. Abundancia total fitoplanctónica y de organismos menores a 50 μm en las muestras de ADL de las distintas naves. El * indica las naves que superan la norma D2 para organismos planctónicos de tamaño entre 10-50 μm (< 10 organismos ml^{-1}). | 120 |
| Figura 16. Dendrograma construido a través del método Paired group (UPGMA), utilizando el índice de similitud de Jaccard, de las comunidades fitoplanctónicas de organismos menores a 50 μm muestreados en el ADL de las diferentes naves y en la columna de agua de los puertos. No se consideró la nave Milky Way II debido a que no presentó organismos en su ADL. | 121 |
| Figura 17. Abundancia total de organismos vivos mayores a 50 μm en las muestras de ADL de las distintas naves. El * indica las naves que superan la norma D2 para organismos planctónicos de tamaño $> 50 \mu\text{m}$ (< 10 individuos m^{-3}). | 127 |
| Figura 18. Relación entre el tiempo de almacenamiento del ADL y sobrevivencia del zooplancton (%) medido a través de la técnica de Rojo Neutro. Correlación Spearman: $R = 0,2$; $p < 0,05$ | 128 |
| Figura 19. Diagrama de flujo del plan de vigilancia para la decisión de muestrear una nave, determinar su cumplimiento de la norma D2, y adoptar las medidas correspondientes. | 142 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| ANEXO 1. Referencias bibliográficas de la síntesis de información sobre normativas asociadas al control de la introducción de especies exóticas vía agua de lastre.. | 176 |
| ANEXO 2. Referencias bibliográficas de la síntesis de información sobre impactos de la introducción de especies vía agua de lastre. | 180 |
| ANEXO 3. Referencias bibliográficas de la síntesis de información sobre enfoques y metodologías. | 190 |
| ANEXO 4. Resumen de situaciones que afectaron la ejecución de muestreos piloto..... | 196 |
| ANEXO 5. Personal participante por actividad. | 202 |
| ANEXO 6. Taller de difusión de resultados..... | 210 |
| ANEXO 7 Resúmenes de trabajos presentados en congresos..... | 216 |

III. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un modelo de análisis de riesgo sobre el efecto en el medio marino para minimizar la posible introducción de agentes patógenos y especies exóticas invasoras por descarga de agua de lastre y sedimentos en los puertos nacionales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar y recopilar información bibliográfica que describa el impacto ambiental y en salud pública del agua de lastre y sedimentos en relación a organismos perjudiciales y patógenos.
2. Desarrollar un modelo de análisis de riesgo del agua de lastre y sedimento, enfocado a especies que podrían constituir plagas hidrobiológicas, especies exóticas invasoras y agentes patógenos.
3. Desarrollar propuestas de planes de vigilancia del agua de lastre y sedimento basadas en el modelo del análisis de riesgo resultante.
4. Evaluar en un piloto la aplicación del modelo desarrollado y los planes de vigilancia propuestos.
5. Identificar las brechas normativas y logísticas de la aplicación del modelo desarrollado y los planes de vigilancia propuestos.
6. Recopilar información para el desarrollo de un sistema de monitoreo de fiscalización y cumplimiento de las naves en relación al agua de lastre.
7. Cuantificar la implementación del modelo y los planes de vigilancia considerando personal, costos de laboratorio y logístico.

IV. ANTECEDENTES

El fenómeno de la introducción de especies se define como el desplazamiento activo o pasivo de una especie o propágulo fuera de su rango natural de distribución geográfica (actual o pasada) a través de vectores antrópicos (IUCN/SCC 2014). La gran importancia de este fenómeno radica en que potencialmente: (i) parte de las especies transportadas podría sobrevivir, reproducirse y establecerse con éxito en el lugar de llegada; (ii) algunas podrían expandirse a otros lugares, generando un nuevo rango de distribución en la región invadida; y (iii) en el transcurso de estos procesos, al menos una fracción de las especies podría causar una amplia diversidad de impactos negativos de tipo ecológico, económico, social, de salud pública, y otros (e.g., McKinney & Lockwood 1999, Mack et al. 2000, Olden & Poff 2004, Olden et al. 2004, NISC 2006, Jaksic & Castro 2014).

En los ecosistemas marinos, las descargas de agua de lastre (ADL) por parte del tráfico naviero es uno de los principales vectores de introducción de especies exóticas a nivel global, con un alto riesgo de impacto (véase Carlton 1999, 2001). De hecho al menos 80 % del comercio mundial ocurre por vía marítima, y este valor sube a 90 % en Chile y otros países en desarrollo (UNCTAD/RMT/2015). Así, la Organización Marítima Internacional (OMI) desde 1991, y su Programa Global de Gestión del Agua de lastre (GloBallast) desde 2000, han promovido distintas formas de manejar el ADL para reducir el riesgo (e.g., tratamientos físicos y químicos), aunque pocas veces se evalúa su efectividad (Clarke et al. 2004). Por otra parte, en el ámbito del “Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los naves”, en vigor desde el 8 de septiembre de 2017, la OMI también ha promovido el desarrollo y aplicación de modelos para evaluar del riesgo de introducción de especies, con el objetivo principal de que cada país cuente con herramientas de control adecuadas a su realidad.

En este marco, el proyecto se enfoca en la evaluación del riesgo de introducción de especies marinas perjudiciales (exóticas invasoras, patógenos o pestes) mediada por las descargas de ADL en tres puertos chilenos ubicados en las Regiones V, VIII y X. El eje central del proyecto es el desarrollo de un modelo de análisis de riesgo, que considera las opciones y recomendaciones de la OMI, y que se vincula a la proposición de planes de vigilancia y a la detección de brechas logísticas y normativas en su aplicación futura, entre otros aspectos. Las bases técnicas de licitación establecen que las especies focales son aquellas que puedan constituir plagas hidrobiológicas, definidas reglamentariamente (RSPH 2005) como “la población de una especie hidrobiológica que por su abundancia o densidad puede causar efectos negativos en la salud

humana, en las especies hidrobiológicas o en el medio, originando detrimento de las actividades pesqueras extractivas o de acuicultura y pérdidas económicas”. El proyecto interpreta dicha definición en sentido amplio con objeto de integrar intereses públicos y científicos en cuanto a los tipos de especies focales, incluyendo también a las especies exóticas que si bien se han reconocido como invasoras en otros lugares del planeta, no necesariamente podrían causar impactos negativos directos en Chile, pero el solo hecho de ser introducidas involucraría una modificación de la biodiversidad considerada no deseable.

Por otra parte, las opciones metodológicas existentes para desarrollar y luego aplicar la evaluación de riesgo son diversas (e.g., véase GBWMP 2003, Alexandrov et al. 2004), y sería factible considerar aquellas que involucren bajos niveles de complejidad y recursos (humanos y materiales), asimilándolas a lo que actualmente se realiza en Chile en esta materia. Sin embargo se estimó que ninguna de estas opciones tendría un impacto significativo en la prevención de riesgos, por lo cual junto con buscar opciones que se adapten al contexto nacional, al mismo tiempo este debe adecuarse a mayores niveles de exigencia. A su vez se consideró que el tiempo y los recursos asignados al proyecto no permiten desarrollar una metodología al nivel de algunos desarrollos pilotos realizados por el programa GloBallast (e.g., véase Clarke et al. 2004), que concentraron numerosos recursos y esfuerzos internacionales en un solo puerto con fines demostrativos. Por igual razón, en las condiciones actuales en Chile no sería factible implementar un plan de vigilancia comparable, y/o considerar su aplicación a nivel nacional en el mediano plazo.

Por ello el proyecto ha buscado una opción intermedia, intentando conciliar las demandas internacionales con el objetivo de que la metodología seleccionada no sea discordante con la realidad nacional, y pueda ser aplicable a corto plazo sin requerir recursos excesivos o grandes transformaciones. Cualquiera sea la modalidad adoptada, sin embargo, implicará cambios en las capacidades y recursos disponibles hoy en día, por lo cual se ha optado por enfoques que respondan adecuadamente a las demandas técnicas de la OMI y el Convenio, y que a la vez simplifiquen o flexibilicen aquellos aspectos que requieren mayores costos.

En este contexto, de acuerdo a los requerimientos de las bases técnicas (Resol. 1919-16), el presente Pre-Informe Final da cuenta tanto de los objetivos específicos y los resultados esperados, así como de los problemas y las brechas identificadas a través de la ejecución del proyecto.

V. METODOLOGÍA DE TRABAJO

RECOPIACIÓN Y REVISIÓN DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Durante el desarrollo del proyecto se realizó una revisión exhaustiva de literatura científica y técnica sobre problemáticas asociadas al transporte y gestión del agua de lastre (ADL), en relación directa con el riesgo de introducción de especies exóticas perjudiciales y con los impactos derivados de estos procesos.

Esta revisión se vinculó en primer lugar a requerimientos explícitos en las bases técnicas de licitación, según indica: (i) el Objetivo específico 1, “Identificar y recopilar información bibliográfica que describa el impacto ambiental y en salud pública del ADL y sedimentos en relación a organismos perjudiciales y patógenos”, y (ii) el Resultado esperado 6.1, “Estado del arte y compendio bibliográfico respecto a ADL, métodos de control y manejo de estas, experiencias internacionales y los modelos de análisis de riesgo utilizados por otras naciones, entre otras”. Adicionalmente la revisión también consideró otros requerimientos puntuales señalados en las bases técnicas, que solicitaban revisiones bibliográficas sobre aspectos normativos y metodológicos. De esta forma, la revisión de literatura se enfocó en tres áreas temáticas principales que fueron desarrolladas en forma paralela: (i) contexto normativo nacional e internacional relacionado al control y manejo del ADL; (ii) impactos de tipo ecológico, socio-económico y en la salud humana, derivados de la introducción de especies riesgosas; y (iii) contexto metodológico internacional relacionado a la evaluación del riesgo de introducción.

Para dar cumplimiento a estos requerimientos, se realizó una búsqueda sistemática de información indexada en plataformas y bases de datos bibliográficas tales como ISI Web of Knowledge, SciELO, Google académico, ResearchGate, y otras disponibles en la Biblioteca Electrónica de Información Científica (proyecto BEIC-CINCEL). Complementariamente, y en especial para el caso de las normativas y metodologías, se buscó documentación no indexada de carácter oficial y/o público con relación directa a las temáticas analizadas, incluyendo: (i) informes técnicos, monografías o circulares de organismos nacionales (particularmente DIRECTEMAR) e internacionales (como la CPPS y en particular la Organización Marítima Internacional y su programa GloBallast); y (ii), reportes de cursos y talleres organizados por organismos nacionales e internacionales de carácter público o gubernamental. Para optimizar la búsqueda en cada área temática se aplicaron filtros específicos usando palabras claves en español y en inglés así como combinaciones de ellas en cada idioma.

La documentación recopilada en cada área fue sometida a una primera selección, descartando aquella considerada poco relevante o redundante en función de su adecuación a los tópicos centrales de búsqueda. Posteriormente la documentación seleccionada fue catalogada, separándola en dos grupos en cada área: (i) documentos primarios, incluyendo los más relevantes en términos de su pertinencia, calidad de sus contenidos, e importancia de la fuente; y (ii) documentos secundarios, incluyendo los más pertinentes entre aquellos que fueron de menor relevancia o parcialmente redundantes con los documentos primarios.

En la sección Resultados se incluye el detalle de la documentación analizada, así como una síntesis de la información revisada en cada una de las áreas.

MODELO DE EVALUACIÓN DE RIESGO

La metodología desarrollada en esta sección responde a dos aspectos particulares requeridos por las bases técnicas de licitación: (i) el Objetivo específico 2, “*Desarrollar un modelo de análisis de riesgo de agua de lastre y sedimentos, enfocado a especies que podrían constituir plagas hidrobiológicas, especies exóticas invasoras y agentes patógenos*”; (ii) el Resultado esperado 6.2, “*Modelo de análisis de riesgo y planes de vigilancia adaptados a la realidad nacional, con un enfoque asociado a especies invasoras o especies organismos perjudiciales y patógenos que podrían constituirse como plaga o de importancia en salud pública*”.

Las bases además solicitan aplicar el modelo de riesgo realizando muestreos piloto en un puerto dado (sin especificar) en cada una de las regiones administrativas V, VIII y X. Para ello, los puertos a estudiar fueron seleccionados al inicio del proyecto en conjunto con el Departamento de Preservación del Medio Ambiente Acuático y Combate a la Contaminación, de la Armada de Chile (Dirección de Intereses Marítimos y Medio Ambiente Acuático, DGTM). De esta forma se eligieron puertos con distintas características que se consideraron apropiados para el contexto del proyecto:

- V Región: Valparaíso (33°20'S, 71°36'O)
- VIII Región: San Vicente (36°43'S, 73°76'O)
- X Región: Puerto Montt (41°29'S, 72°58'O) y Calbuco (41°45'S, 73°78'O).

Ante la ausencia de puertos de envergadura en la X Región, se optó por seleccionar dos puertos menores (Puerto Montt y Calbuco) que debido a su ubicación en un mar interior con alto tráfico y actividad de acuicultura, y a su cercanía, permitiría tratarlos como una sola unidad. Sin embargo, sólo se pudo efectuar muestreos en Calbuco, debido a que Puerto Montt recibe mayormente naves de pasajeros que en general transportan bajos volúmenes de ADL y no recalán el tiempo suficiente para permitir el muestreo abordado.

A partir de los análisis bibliográficos sobre normativas y metodologías sobre evaluación de riesgo (véase sección ANEXOS del Informe), se constató que si bien hay una amplia variedad de modelos aplicados en distintos países, era pertinente considerar que: (i) actualmente se tiende a converger en las metodologías derivadas de la fase piloto del Programa GloBallast-OMI (2000-2004), que ya están en uso o en desarrollo en otros países de Sudamérica (e.g., Brasil y Colombia; e.g., Clarke et al. 2004, Mallmann & Asmus 2006), lo cual facilitaría la cooperación y el intercambio de información; y (ii) desde 2017 ya se encuentra en vigor el “Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de las naves” propiciado por la OMI, y resultaría

inconveniente adoptar un enfoque que se aleje de las directrices y recomendaciones asociadas a dicho Convenio. Por lo tanto se optó por seleccionar un modelo de evaluación de riesgo de tipo semi cuantitativo basado en los lineamientos metodológicos recientes de OMI-GloBallast, pero considerando adaptaciones y mejoras para su aplicación en el contexto nacional.

MODELO DE EVALUACIÓN DE RIESGO OMI-GLOBALLAST

A continuación se describe la metodología de evaluación de riesgo que utiliza como base una formulación del programa GloBallast-OMI, la cual puede desarrollarse con distinto nivel de complejidad dependiendo de la cantidad y tipo de recursos materiales, humanos y tecnológicos que se dispongan, y que en forma más idealizada puede implicar altos costos y altos niveles de laboriosidad o sofisticación en términos de la obtención, complejidad y grado de elaboración de la información básica, así como del grado de implementación informática y tecnológica de bases de datos interconectadas (e.g., véase GBWMP 2003).

Por ello, al considerar el desarrollo y eventual aplicación de esta metodología en el contexto nacional (con avances, recursos y capacidades más limitados en esta materia), el proyecto adoptó un enfoque que involucra simultáneamente: (i) una simplificación relativa de algunos insumos y procedimientos a fin de reducir costos y esfuerzos, y (ii) una mayor complejidad relativa en la elaboración de aquella información considerada más crítica para el buen resultado del modelo, pero sin implicar mayores costos y esfuerzos. Esta decisión se tomó teniendo en cuenta que es posible lograr resultados en esencia similares (y similarmente útiles) aplicando enfoques con un nivel de exigencia y complejidad comparativamente mayor (e.g., véase Clarke et al. 2004) o menor (e.g., véase Mallmann & Asmus 2006), ya que en último término los riesgos estimados por el modelo se interpretan en forma cualitativa y el éxito de su aplicación descansa en el uso criterioso de los resultados.

En este contexto, GloBallast propone un modelo matemático simple para estimar el riesgo de introducción de especies perjudiciales (exóticas invasoras, pestes o patógenos) vía ADL a través de un coeficiente denominado Riesgo Relativo Global (ROR: Relative Overall Risk), el cual es calculado para cada uno de los puertos que donan ADL a un puerto receptor focal. Por lo tanto cada valor del ROR expresa la contribución de especies perjudiciales desde un puerto donante particular a un puerto receptor particular, y su aplicación (i) es específica para un puerto, (ii) se enfoca en los estanques de ADL (no en las naves) como unidades de transmisión de especies, y (iii) permite mapear geográficamente el riesgo de introducción.

Sin embargo, como será evidente en las secciones posteriores, el desarrollo paso a paso del modelo GloBallast involucra varias decisiones cualitativas (incorporadas operacionalmente en forma cuantitativa) asociadas a la aplicación del Principio Precautorio, buscando maximizar la ponderación de los riesgos más importantes o críticos para la toma de decisiones. Esto se refleja incluso en la obtención del coeficiente global ROR, el que finalmente es sometido a una estandarización generando un coeficiente global ROR estandarizado (S-ROR), cuyos valores son categorizados (desde Muy Bajo a Muy Alto) como insumo para la toma de decisiones.

En este contexto, el modelo base de GloBallast es una formulación algebraica lineal de carácter estático (i.e. no considera el tiempo ni la dinámica de la introducción), donde el coeficiente global ROR es una función que combina cuatro coeficientes específicos de riesgo (C_i) y dos coeficientes específicos de reducción de riesgo (R_i). En este punto es pertinente indicar que si bien el presente Informe alude “al” modelo GloBallast, existe una formulación básica que puede tener distintas formas o incluso variar algunos componentes. Sin embargo, el uso eventual de variantes sería un paso apropiado en una etapa más avanzada donde se busque refinar su aplicación, por lo cual en este caso se utilizó su formulación base, definida como sigue:

$$\text{ROR} = [C1 + (C2 * R1) + C3 + (C4 * R2)] / 4$$

Todos los coeficientes son positivos y se expresan en forma estandarizada (valor mínimo = 0 y máximo = 1). Los coeficientes C corresponden a los principales factores que inciden de forma directa en el riesgo de introducción, que a su vez representan a los componentes de la presión de propágulos a la que está sometido un puerto receptor (Lockwood et al. 2005, Johnston et al. 2009, Simberloff 2009). La definición operacional y el concepto biológico (en paréntesis) de estos coeficientes son los siguientes (GBWMP 2003):

- **C1:** proporción entre el N° de estanques que descargan ADL desde un puerto donante y el N° total de estanques de todos los puertos donantes que descargan ADL (= frecuencia de las inoculaciones de organismos).
- **C2:** proporción entre el volumen de ADL descargado desde un puerto donante y el volumen total de ADL descargado desde todos los puertos donantes (= tamaño de las inoculaciones de organismos).
- **C3:** similitud ambiental entre el puerto donante y el puerto receptor (= probabilidad de sobrevivencia de los organismos inoculados).

- **C4:** proporción del riesgo total asignado a las especies existentes en la bio-región donde se ubica el puerto donante en función del patrón contemporáneo -2 a 4 años previos- de comercio (= amenaza relativa representada por los organismos en cada inoculación).

Los coeficientes R (factores de reducción de riesgo) se asocian a los siguientes conceptos:

- **R1:** considera el tamaño de los estanques de ADL (volumen máximo descargado desde cada puerto donante), asumiendo que un menor tamaño implica un menor número de organismos y por tanto una menor probabilidad de sobrevivencia.
- **R2:** considera el tiempo de residencia del ADL (días de permanencia en los estanques cargados en cada puerto donante), asumiendo que un mayor tiempo implica un mayor deterioro de las condiciones del agua y por tanto una menor probabilidad de sobrevivencia.

En términos operativos, R1 y R2 se utilizan como pesos que ponderan a los coeficientes C2 y C4 respectivamente, y sus valores se asignan según las siguientes escalas:

| | | | | |
|----------------------|-------|---------|----------|--------|
| R1 (m ³) | < 100 | 100-500 | 500-1000 | > 1000 |
| Peso del factor | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1 |

| | | | | | |
|-----------------|-----|------|-------|-------|------|
| R2 (días) | < 5 | 5-10 | 10-20 | 20-50 | > 50 |
| Peso del factor | 1 | 0,8 | 0,6 | 0,4 | 0,2 |

ESTIMACIÓN DE LOS COEFICIENTES C

Para su desarrollo el modelo GloBallast requiere al menos tres grupos de insumos básicos: (i) los informes de ADL entregados por las naves que recalzan en el puerto receptor, que deben incluir datos sobre identificación y ruta de la nave, volumen de ADL transportado en cada estanque así como sus lugares de carga y descarga de ADL, y manejo aplicado al ADL, entre otros (véase Figura 1 informe de ADL); (ii) datos ambientales y estructurales de los puertos donantes y receptores; y (iii) Bio-regiones en que se ubican los puertos donantes (definidas en una clasificación biogeográfica desarrollada por Kelleher et al. 1995), y especies registradas en cada bio-región junto con su nivel de riesgo.

Los coeficientes C1 y C2 se calculan directamente a partir del historial de carga y descarga de ADL de cada estanque registrado en los informes de ADL.

La estimación de similitud ambiental entre los puertos donantes y el puerto receptor (C3) se basa en un conjunto de 34 variables físicas, biológicas y estructurales, listadas en la siguiente tabla (GBWMP 2003):

Tabla 1.

Listado de variables (n = 34) definidas por GloBallast para estimar la similitud ambiental entre un puerto donante y un puerto receptor (Clarke et al. 2004).

| Variable | Unidad de medida |
|---|-------------------------|
| Tipo de puerto | |
| Temperatura media del agua durante la estación más cálida | °C |
| Temperatura máxima del agua en la época más cálida del año | °C |
| Temperatura media del agua durante la estación más fresca | °C |
| Temperatura mínima del agua en el momento más frío del año | °C |
| Temperatura media del día registrada en la estación más cálida | °C |
| Temperatura máxima diurna registrada en la estación más cálida | °C |
| Temperatura media del aire nocturno registrada en la estación más fresca | °C |
| Temperatura mínima del aire nocturno registrada en la estación más fresca | °C |
| Salinidad media del agua durante el período más húmedo del año | ppt |
| Menor salinidad del agua en la época más húmeda del año | ppt |
| Salinidad media del agua durante el período más seco del año | ppt |
| Salinidad máxima del agua en la época más seca del año | ppt |
| Promedio de marea de muelle | m |
| Promedio de marea muerta | m |
| Precipitación total durante los 6 meses más secos | mm |
| Precipitación total durante los 6 meses más húmedos | mm |
| Mínimo de meses que representan el 75% de lluvia anual | |
| Distancia a la boca del río más cercana | km |
| Tamaño de la cuenca del río más cercano con caudal significativo | km ² |
| Pared artificial lisa | |
| Pared artificial rocosa | |
| Pilas de madera | |
| Marea alta marisma / laguna, salinas o sabkha | |
| Playa de arena | |
| Playa de guijarros, piedras o adoquines | |
| Lodo de marea baja plano | |
| Borde de manglar / Bosque de manglar | |
| Orilla rocosa natural o acantilado | |
| Sedimentos arenosos firmes submareales | |
| Sedimentos fangosos blandos submareales | |
| Pradera de pastos marinos | |

| Variable | Unidad de medida |
|--|------------------|
| Arrecife rocoso o pavimento | |
| Arrecife de coral con almacón de carbonato | |

La evaluación de similitud se efectúa a través de técnicas multivariadas de ordenación usando una medida de distancia o disimilitud, para lo cual GloBallast recomienda usar la Distancia Euclidiana Normalizada acoplada a un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (nMDS). Esta distancia luego es convertida a su valor complementario (expresando similitud), y finalmente es estandarizada a una escala de 0 a 1 considerando el valor máximo obtenido como 1. En el caso de obtener valores de $C3 = 0$, GloBallast recomienda aplicar una medida precautoria y asignarles un valor distinto de cero (valor mínimo = 0,01), asumiendo que ningún puerto receptor es suficientemente hostil para impedir totalmente el establecimiento de un invasor. Sin embargo esta forma de estimar $C3$ no es del todo coherente, ya que el ADL descargada en el puerto receptor con frecuencia no proviene de puertos sino de lugares en alta mar, con lo cual una comparación puerto-puerto pierde sentido. Por lo tanto el proyecto consideró una variante en este aspecto, como se describe más adelante.

Para la estimación del riesgo asociado a las especies ($C4$), GloBallast se basa en los números de especies exóticas que se encuentran en la bio-región donde se ubica un puerto donante particular, y define $C4$ como sigue:

$$C4 = [N^{\circ} \text{ spp. (1)} + N^{\circ} \text{ spp. (2)} + N^{\circ} \text{ spp. (3)}] / \text{Valor total}$$

En el numerador de $C4$, los números 1, 2 y 3 representan niveles crecientes de riesgo asociados a grupos de especies que revisten distintos grados de amenaza, donde a cada nivel se asigna un peso diferencial de la siguiente forma:

- Nivel 1 = especies introducidas que no tienen estatus especial de riesgo; peso = 1
- Nivel 2 = especies potencialmente riesgosas; peso = 3
- Nivel 3 = especies reconocidas oficialmente como perjudiciales; peso = 10

En el denominador de $C4$, el “valor total” corresponde a la suma ponderada de los riesgos para el conjunto completo de especies de todas las bio-regiones fuente asociadas a todos los puertos donantes, con lo cual se estandariza el valor del coeficiente en escala de 0 a 1.

Sin embargo, este enfoque considera especies exóticas no perjudiciales, requiere hacer suposiciones sobre el riesgo potencial de otras, y se basa en bio-regiones cuyos límites no tienen

una clara correspondencia con las clasificaciones biogeográficas más reconocidas actualmente (véase Figura 4 bio vs. ecorregiones más adelante). Por ello también se consideró una variante en este coeficiente para asociarlo en forma más directa al riesgo, como se indica más adelante.

DESARROLLO DEL MODELO PARA LOS PUERTOS SELECCIONADOS

Para implementar el modelo se generaron tres bases independientes de información con el fin de almacenar y procesar: (i) los registros de ADL (volúmenes, carga, descarga, etc.) provenientes de los informes entregados por las naves en cada puerto de estudio; (ii) información disponible sobre especies invasoras y/o perjudiciales identificadas en distintas áreas biogeográficas a nivel global; y (iii) variables ambientales de los lugares de carga y descarga de ADL asociados a cada puerto.

Los informes de ADL de las naves, que pueden variar en formato (e.g., véase un ejemplo particular en la Figura 1), son una fuente crucial de información para el modelo ya que todos deben consignar datos sobre: (a) la nave (nombre, tipo, número IMO, propietario, bandera, y otros); (b) el viaje (puerto de llegada y fecha, país del último puerto visitado y del siguiente a visitar); (c) el uso de ADL (número total de estanques y número con carga, capacidad total de ADL y volumen a bordo, capacidad de bombeo); (d) las operaciones de carga y descarga mercante; (e) la gestión del ADL (número de estanques a descargar, tipos de manejo realizados, motivo -si procede- de por qué no se efectuó manejo, disponibilidad e implementación de un plan de manejo); (f) el historial del ADL (fechas, coordenadas, volúmenes y datos físicos asociados a las fuentes de carga, tipos de manejo y descargas de ADL en cada estanque); y (g) la identificación del oficial responsable.

BALLAST WATER REPORTING FORM

| 1. VESSEL INFORMATION | | 2. VOYAGE INFORMATION | | 3. BALLAST WATER CAPACITY AND USAGE | | | | | | | | | | |
|--|------------------|---------------------------|----------------|---|-------------------------|---|----------------|-----------|-----------------------|---------------|------------------|-----------------------|----------------|-----------------|
| Vessel Name: MSC CHLOE | | Arrival Port: VALAPARAISO | | Total Ballast Water Capacity | | Ballast Water on Board | | | | | | | | |
| DMO Number: 9720483 | | Arrival Date: 13/10/2017 | | No. of Tanks | | 24 (available) / 12 (in ballast) | | | | | | | | |
| Owner: Xinnian International Ship Lease Co., Limited | | Agent: MSC CHILE | | Volume [m3] | | 31811.8 M3 / 11624 MT | | | | | | | | |
| Type*: CONTAINER SHIP (CS) | | Last Port: CORONEL | | Country of Last Port: CHILE | | Ballast Water Pump(s) Max Capacity [m3/h] | | | | | | | | |
| NT : 53022 GT: 94469 | | Next Port: CALLAO | | Country of Next Port: PERU | | 800 cbm/hr | | | | | | | | |
| Call Sign: CQZB | | Flag: PORTUGAL | | | | | | | | | | | | |
| * Type codes: bulk (BC), ro-ro (RR), container (CS), oil tanker (OT), chemical tanker (CT), oil/bulk ore (OB), general cargo (GC), reefer (RF), barge (BA), other (O) | | | | | | | | | | | | | | |
| 4. CARGO OPERATIONS: Total cargo (type/MT) to be loaded _____ containers / TBC _____ ; to be discharged _____ containers / 9509.5 mt | | | | | | | | | | | | | | |
| 5. BALLAST WATER MANAGEMENT | | | | Total No. Ballast Water Tanks to be discharged: 0 | | | | | | | | | | |
| Of tanks to be discharged, how many: Underwent Exchange: 0 | | | | Underwent Alternative Management: 0 | | | | | | | | | | |
| Please specify alternative method(s) used, if any: NA | | | | | | | | | | | | | | |
| If no ballast treatment conducted, state reason why not: NA | | | | | | | | | | | | | | |
| Ballast management plan on board? YES <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Management plan implemented? YES <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | | |
| 6. BALLAST WATER HISTORY: Record all tanks to be deballasted in port state of arrival; IF NONE, GO TO #7 (Use additional sheets as needed) | | | | | | | | | | | | | | |
| Tanks/Holds List multiple sources/tanks separately | BW SOURCES | | | | BW MANAGEMENT PRACTICES | | | | | BW DISCHARGES | | | | |
| | DATE dd/mm/yy | PORT or LAT. LONG. | VOLUME (m3) | TEMP (°C) | DATE dd/mm/yy | ENDPOINT LAT. LONG. | VOLUME (m3) | % Each | METHOD (ER/FT/ALT) | SEA HT (m) | DATE dd/mm/yy | PORT or LAT. LONG. | VOLUME (m3) | SALINITY (g) |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Ballast Water Tank Codes: Forepeak = FP, Aftpeak = AP, Double Bottom = DB, Wing = WT, Topside = TS, Cargo Hold = CH, Other = O | | | | | | | | | | | | | | |
| 7. RESPONSIBLE OFFICER'S NAME AND TITLE, PRINTED AND SIGNATURE | | | | SINGH, NIKHIL KUMAR Chief Officer | | | | | | | | | | |

Verzija 2, velja od 11.08.2009 dalje.

BWR.

Stran 1 od 1

Figura 1. Informe de ADL entregado por la nave a la capitania de puerto respectiva.

Para obtener los informes de ADL entregados en cada puerto en los años previos se contó con el apoyo de la Dirección de Intereses Marítimos y Medio Ambiente Acuático de la DGTM, a través de la cual gestionó su obtención desde la Gobernación Marítima de Valparaíso, encargada de almacenar los informes recopilados por las distintas Capitanías de Puerto en Chile.

En este proceso, sin embargo, se evidenciaron las primeras brechas significativas para la aplicación del modelo. En base a la experiencia previa en una investigación similar, ya se había anticipado que la recolección y procesamiento de los informes demandaría un tiempo considerable, por lo cual su recopilación comenzó incluso antes de iniciar el proyecto, inmediatamente después que el CIPA comunicara su aprobación. No obstante, y pese a contar con el apoyo de la Autoridad Marítima, esta tarea enfrentó diversos contratiempos tanto por la lentitud del proceso como por la detección de vacíos de distinta magnitud (ausencia de informes para periodos que abarcaron

desde meses hasta años completos según el puerto), que en algunos casos se debió a que los informes habían sido eliminados.

Por otra parte, los informes recolectados evidenciaron otra brecha significativa asociada a los problemas detectados en su contenido, lo cual redujo en forma importante el número efectivo de informes que permitieran alimentar el modelo. La Tabla 2 detalla el número total de informes recolectados (1.362), de los cuales más de un 28 % (386) no pudieron ser considerados por estar repetidos, tener información incorrecta, o no indicar información.

Tabla 2.

Número de informes de ADL recibidos, repetidos, rechazados (por deficiencias) e ingresados a la base de datos del proyecto para cada puerto de estudio. Calbuco y Puerto Montt se indican por separado y en conjunto.

| Puerto | Recibidos | Repetidos | Rechazados | Ingresados |
|--------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Calbuco | 33 | 1 | 0 | 32 |
| Puerto Montt | 24 | 0 | 0 | 24 |
| Calbuco-Pto. Montt | 57 | 1 | 0 | 56 |
| San Vicente | 753 | 229 | 0 | 524 |
| Valparaíso | 552 | 106 | 51 | 395 |
| Total | 1362 | 336 | 51 | 975 |

Todo lo anterior obligó a extender los periodos de tiempo evaluados a fin de aumentar el número de informes, en particular para Calbuco y Puerto Montt donde con ayuda de la DIRINMAR se solicitó directamente a las agencias navieras el envío de copias de los informes perdidos. De esta forma se logró obtener registros suficientes para Valparaíso y San Vicente, pero un número comparativamente bajo para Calbuco y Puerto Montt. Aun así, el procesamiento de estos informes implicó una labor extensa y exhaustiva de verificación y filtrado de un gran volumen de datos para generar información confiable, lo cual debe tenerse en cuenta en aplicaciones futuras.

Estas brechas en la información de base son insalvables para el proyecto, lo cual se reflejará en que al aplicar el modelo algunas zonas de carga de ADL asociados a un puerto de estudio no habrán sido registradas previamente (porque los informes no estaban disponibles o no tenían los datos requeridos), y no tendrán asociado un coeficiente calculado de riesgo global relativo (ROR). Este efecto se evidenció por ejemplo en el análisis de los resultados biológicos de naves evaluadas en los muestreos piloto, donde sus niveles de riesgo debieron ser inferidos basándose en los

riesgos determinados para zonas cercanas o en la abundancia de especies riesgosas en la región biogeográfica de origen del ADL (véase Resultados del proyecto).

En este marco, los problemas detectados generan una situación sub-óptima respecto a la exactitud en la aplicación del modelo, que si bien no afecta su utilidad como ejercicio para evaluar acciones futuras, no es deseable en una aplicación real donde un proceso sub-óptimo de toma de decisiones podría generar perjuicios ambientales. **Por lo tanto la disponibilidad de (i) un registro completo de los informes de ADL de un puerto, (ii) informes con contenido completo y correcto, y (iii) mecanismos eficientes de manejo y consulta de los mismos, serán aspectos esenciales a mejorar para la aplicación futura de planes de vigilancia en el país.**

IDENTIFICACIÓN DE NAVES OBJETIVO

Esta sección aborda dos aspectos solicitados en las bases técnicas: (i) el Resultado esperado 6.4, “*Evaluación de la aplicación del modelo y planes de vigilancia y sus modificaciones si correspondiese*”; y (ii) el Resultado esperado 6.8, “*Identificación de las naves objetivo para la realización del programa de monitoreo de fiscalización y vigilancia, y asignación de nivel de riesgo a las naves mediante la evaluación de riesgo, considerando tipo de nave, puerto de procedencia, número de estanques a deslastrar, entre otros*”.

Esta fase del proyecto enfrentó diversas eventualidades en la coordinación previa de los muestreos piloto en los puertos evaluados, así como en la ejecución de los muestreos, parte de las cuales representan brechas importantes a superar en una eventual aplicación futura de planes de vigilancia.

Durante este ejercicio se constató que la información sobre las naves que arribarían a un puerto ya sea: (i) no estaba disponible o actualizada en fuentes públicas o accesibles para el proyecto (e.g. sitios web de puertos); (ii) en general debía obtenerse de forma indirecta a través de las entidades a cargo (e.g., Capitanías de Puerto, agencias navieras); (iii) no pudo ser gestionada u obtenida con suficiente antelación por las entidades a cargo; o (iv) cuando estuvo disponible, no incluía datos clave para identificar las naves objetivo (e.g., último puerto de zarpe). En general las posibles naves a muestrear no eran conocidas con mucha anticipación, y en algunas ocasiones se recibió la información el día anterior lo cual no impidió la operación en San Vicente (ubicado en Concepción, sede del proyecto), pero sí en Calbuco por la imposibilidad de desplazarse oportunamente.

Por otra parte, el calendario de días y horarios de permanencia de las naves en un puerto con frecuencia experimentaba modificaciones, que en algunos casos llevaron a perder muestreos planificados (e.g., al llegar al puerto se constató que la nave había zarpado un día antes de lo indicado). Por ello el proyecto debía programar muestreos relativamente a corto plazo, con el riesgo de que el personal de la DGTM no pudiera dar luz verde a un muestreo porque debía dedicarse a otras actividades programadas o contingentes. En cualquier caso, el informe de ADL de las naves tampoco estuvo disponible antes de efectuar un muestreo, y solo en 1 caso fue recibido el día anterior pero sin contener datos sobre ADL que permitieran identificar los estanques a deslastrar y/o de mayor riesgo.

El **ANEXO 4** contiene una síntesis detallada de los problemas específicos que afectaron la planificación y desarrollo de los muestreos, incluyendo otras situaciones relacionadas a laboratorios de análisis microbiológico y agencias de courier. Sin embargo se realizaron todos los intentos posibles para cumplir con estas actividades, obteniendo un conjunto de información que permitió evaluar adecuadamente el modelo aunque no en el escenario óptimo.

Considerando que las bases técnicas solicitaban muestrear cinco veces en cada puerto, es decir un total de 15 naves, luego de cada muestreo fallido o incompleto se realizaban nuevos intentos buscando lograr muestreos que cumplieran con el 100 % de lo requerido (denominados “óptimos”), si bien esto no fue posible en Calbuco debido a su baja frecuencia de llegada de naves y a problemas de coordinación. La Tabla 3 muestra el listado de las 50 naves que fueron seleccionadas para muestrear durante la ejecución del proyecto, incluyendo 31 donde el muestreo no llegó a efectuarse (en varios casos a pesar de haber llegado al puerto o incluso a la nave con autorización previa para muestrear; véase **ANEXO 4**), y 19 que pudieron ser abordadas pero no siempre muestreadas (véase **ANEXO 4**). A su vez la Tabla 4 detalla las naves abordadas en cada puertos evaluado, y la Tabla 5 indica las 13 naves en las que se logró efectuar muestreos óptimos o parciales.

Tabla 3.

Listado de naves seleccionadas (i) no muestreadas y (ii) abordadas en los tres puertos estudiados: Valparaíso, San Vicente y Calbuco.

| Naves seleccionadas no muestreadas | Naves abordadas |
|--|---|
| Cape Moreton African Kamilia Rauli Reinhold Shulte Corral TBN Antofagasta MSC Chloe Seaboard America Seaboard America Cartagena Express Antonio Seaboard Peru Cartagena Express Mary Fores Venus Elizabeth River Crown Ruby Cornelius Maersk Stella Stream II Sendai Spirit Sun Maersk Alienda Samsung Global Hospital Speedway Safmatine Nokwanda Arteria Ocean Pegasus Soroe Maersk Cordillera | Sine Maersk Aotea Pacific Action Luna Maersk HK Challenger Sun Master Gulf Bpadge SC Mara Milky Way II Alpine Ultratronador CMA CGM Niagara Mary NYK Libra MSC Chloe Santa Clara Du An Cheng Forestal Reina Medan Express |

Tabla 4.

Listado de las 19 naves que fueron seleccionadas para muestreo y que pudieron ser abordadas en cada puerto evaluado a partir de julio de 2017.

| Puerto evaluado | Naves abordadas | Fecha |
|------------------------|------------------------|--------------|
| San Vicente | Sine Maersk | 16/08/2017 |
| | Aotea | 25/07/2017 |
| | Pacific Action | 16/08/2017 |
| | Luna Maersk | 24/07/2017 |
| | HK Challenger | 10/07/2017 |
| | Sun Master | 26/10/2017 |
| | Gulf Bpadge | 9/09/2017 |
| | Mara | 4/09/2017 |
| | Milky Way II | 27/09/2017 |
| | Alpine | 7/12/2017 |
| | Ultratronador | 20/12/2017 |
| Valparaíso | CMA CGM Niagara | 28/09/2017 |
| | M/N Mary | 27/09/2017 |
| | NYK Libra | 11/10/2017 |
| | MSC Chloe | 13/10/2017 |
| | Santa Clara | 11/12/2017 |
| | Du An Cheng | 14/12/2017 |
| Calbuco | Forestal Reina | 15/11/2017 |
| | Medan Express | 11/01/2018 |

Tabla 5.

Listado de las 13 naves que lograron ser abordadas y muestreadas en cada puerto evaluado, indicando el grado de éxito en la ejecución del muestreo (Óptimo: cumpliendo todos los requerimientos; Parcial: incluyendo una o más variables que no pudieron ser evaluadas).

| Muestreo | Nave | Puerto |
|----------|-----------------|-------------|
| Óptimo | Milky Way II | San Vicente |
| | Ultratronador | San Vicente |
| | MSC Chloe | Valparaíso |
| | Santa Clara | Valparaíso |
| | Du An Cheng | Valparaíso |
| | CMA CGM Niagara | Valparaíso |
| | Mary | Valparaíso |
| Parcial | Forestal Reina | Calbuco |
| | Medan Express | Calbuco |
| | NYK Libra | Valparaíso |
| | Alpine | San Vicente |
| | Aotea | San Vicente |
| | Mara | San Vicente |

Dado el contexto anterior, la selección de naves objetivo y de estanques de ADL a muestrear en función de su nivel potencial de riesgo no pudo efectuarse según lo deseado, y en la práctica el informe de ADL de las naves solo fue conocido una vez a bordo. Aun así, la elección del estanque a muestrear pocas veces dependió del equipo del proyecto, principalmente por razones de seguridad: en algunos casos el acceso se encontraba bloqueado por carga o se ubicaba en zonas donde se efectuaban faenas de carga o descarga, y en otros casos se indicó que uno o más estanques podrían haber acumulado gases peligrosos.

Adicionalmente, debe consignarse que algunos capitanes u oficiales a cargo de las naves se mostraron reticentes a lo que consideraban una fiscalización, mientras otros estaban conscientes de que el equipo de muestreo no tenía facultades para ordenar el acceso a los estanques, y simplemente negaron el acceso (un capitán indicó que su nave “no era una universidad”).

Dada esta situación, el riesgo representado por las naves muestreadas solo pudo evaluarse a posteriori, utilizando los resultados del modelo.

Las Tablas 6 a 8 muestran la aplicación del enfoque tipo “semáforo” a los puertos de Valparaíso (Tabla 6), San Vicente (Tabla 7) y Calbuco (Tabla 8), efectuada tanto para el coeficiente global ROR como para su versión estandarizada S-ROR, aunque solo con fines comparativos para observar los efectos de la estandarización, ya que la evaluación final se basaría primariamente en S-ROR.

Como se aprecia en los resultados para Valparaíso y Calbuco, el proceso de estandarizar el ROR puede generar diferencias cualitativas importantes entre ROR y S-ROR en cuanto a la visualización del riesgo, pero también puede llevar a que una o más categorías de riesgo (usualmente en el tramo inferior) no queden representadas en los valores de S-ROR. En tales casos se abre la opción de redefinir la categorización visual de S-ROR si se juzga pertinente; por ejemplo modificando los intervalos para diferenciar entre niveles de riesgo. Estas diferencias cuantitativas y visuales son un efecto numérico asociado tanto a la conversión de S-ROR como a la estandarización precautoria realizada previamente en el coeficiente C3 de similitud, las que tienden a acumular los valores de S-ROR hacia rangos más altos.

Por lo anterior, al aplicar eventualmente el modelo en un conjunto de puertos no debe esperarse *a priori* que la estructura de los resultados sea totalmente equivalente. Así mismo, tampoco debe esperarse que los valores de S-ROR para lugares específicos o los tramos de riesgo sean comparables directamente entre puertos, y en este punto es necesario enfatizar que el modelo genera resultados *ad hoc* para cada puerto. Además esta es una consecuencia necesaria del hecho que ningún puerto posee una configuración biogeográfica exactamente igual a la de otro puerto.

Tabla 6.

Puerto de Valparaíso. Categorización de los coeficientes globales ROR y S-ROR en escala de colores (enfoque tipo “semáforo”) para la visualización del nivel de riesgo de los lugares donantes de ADL. Riesgo: Muy Bajo: verde, Bajo: verde claro, Medio: anaranjado, Alto: amarillo, Muy Alto: rojo. Los valores cero (0) fueron reemplazados por 0,001.

| Ecorregión | Latitud | Longitud | ROR | S-ROR |
|--------------------------------|---------|----------|--------|--------|
| Greater Antilles | 18,78 | -77,27 | 0,0263 | 0,001 |
| Bahamian | 22,38 | -76,70 | 0,1608 | 0,4498 |
| Tropical Northwestern Atlantic | 22,25 | -74,73 | 0,1610 | 0,4504 |
| Revillagigedos | 18,27 | -108,43 | 0,1630 | 0,4569 |
| Bahamian | 24,37 | -74,62 | 0,1652 | 0,4644 |
| Southwestern Caribbean | 9,15 | -80,15 | 0,1780 | 0,5072 |
| Southwestern Caribbean | 14,58 | -79,42 | 0,1791 | 0,5107 |
| Greater Antilles | 16,83 | -76,18 | 0,1805 | 0,5156 |
| Greater Antilles | 18,35 | -77,22 | 0,1811 | 0,5176 |
| Panama Bight | 8,27 | -80,53 | 0,1814 | 0,5185 |
| Panama Bight | 2,38 | -78,95 | 0,1814 | 0,5186 |
| Southwestern Caribbean | 10,67 | -79,23 | 0,1868 | 0,5367 |
| Panama Bight | 1,60 | -79,65 | 0,1884 | 0,5420 |
| Central Peru | -11,23 | -79,68 | 0,2075 | 0,6058 |
| Central Peru | -14,50 | -78,70 | 0,2088 | 0,6100 |
| Central Peru | -7,83 | -80,87 | 0,2097 | 0,6130 |
| Central Peru | -8,32 | -80,70 | 0,2115 | 0,6192 |
| Central Peru | -10,60 | -79,90 | 0,2124 | 0,6221 |
| Central Peru | -9,58 | -80,28 | 0,2150 | 0,6309 |
| Central Peru | -10,25 | -80,33 | 0,2155 | 0,6324 |
| Central Peru | -8,77 | -80,55 | 0,2161 | 0,6346 |
| Central Peru | -9,15 | -80,42 | 0,2171 | 0,6377 |
| Carolinean | 34,87 | -72,52 | 0,2176 | 0,6395 |
| Juan Fernandez, Desventuradas | -25,80 | -77,33 | 0,2256 | 0,6664 |
| Humboldtian | -15,63 | -77,80 | 0,2363 | 0,7022 |
| Central Chile | -27,65 | -71,28 | 0,2389 | 0,7107 |
| Humboldtian | -13,53 | -78,88 | 0,2394 | 0,7123 |
| Humboldtian | -23,10 | -70,43 | 0,2509 | 0,7510 |
| Central Chile | -26,10 | -71,20 | 0,2518 | 0,7538 |
| Central Chile | -27,35 | -71,18 | 0,2530 | 0,7578 |
| Central Chile | -27,68 | -73,75 | 0,2530 | 0,7579 |
| Central Chile | -32,55 | -71,65 | 0,2533 | 0,7589 |
| Central Chile | -26,10 | -71,47 | 0,2535 | 0,7597 |
| Humboldtian | -23,63 | -70,40 | 0,2564 | 0,7693 |

| Ecorregión | Latitud | Longitud | ROR | S-ROR |
|---------------|---------|----------|--------|--------|
| Central Chile | -27,98 | -71,40 | 0,2593 | 0,7790 |
| Central Chile | -31,35 | -71,77 | 0,2594 | 0,7792 |
| Araucanian | 40,22 | -74,42 | 0,2753 | 0,8326 |
| Araucanian | 38,45 | -74,35 | 0,3158 | 0,9678 |
| Araucanian | 36,15 | -73,52 | 0,3192 | 0,9791 |
| Araucanian | 37,82 | -74,33 | 0,3231 | 0,9923 |
| Araucanian | 39,97 | -74,42 | 0,3254 | 1,0000 |

Tabla 7.

Puerto de San Vicente. Categorización de los coeficientes globales ROR y S-ROR en escala de colores (enfoque tipo “semáforo”) para la visualización del nivel de riesgo de los lugares donantes de ADL. Riesgo: Muy Bajo: verde, Bajo: verde claro, Medio: anaranjado, Alto: amarillo, Muy Alto: rojo. Los valores cero (0) fueron reemplazados por 0,001.

| Ecorregión | Latitud | Longitud | ROR | S-ROR |
|---------------------------------------|---------|----------|--------|--------|
| Phoenix/Tokelau/Northern Cook Islands | -8,50 | -164,18 | 0,0027 | 0,0010 |
| Phoenix/Tokelau/Northern Cook Islands | -10,52 | -161,68 | 0,0118 | 0,0378 |
| Panama Bight | 1,60 | -79,65 | 0,0561 | 0,2200 |
| Northern Gulf of Mexico | 26,00 | -90,42 | 0,0635 | 0,2505 |
| Ogasawara Island | 29,83 | 142,50 | 0,0762 | 0,3029 |
| Ogasawara Island | 27,25 | 144,40 | 0,0968 | 0,3879 |
| Hawaii | 29,25 | -176,23 | 0,1331 | 0,5376 |
| Hawaii | 19,45 | -169,28 | 0,1448 | 0,5857 |
| Hawaii | 28,18 | -178,33 | 0,1492 | 0,6038 |
| Hawaii | 25,95 | -177,93 | 0,1502 | 0,6078 |
| Hawaii | 24,85 | -175,90 | 0,1523 | 0,6164 |
| Hawaii | 18,50 | -171,60 | 0,1536 | 0,6217 |
| Hawaii | 14,55 | -170,65 | 0,1537 | 0,6222 |
| Humboldtian | -24,48 | -71,00 | 0,1545 | 0,6256 |
| Humboldtian | -24,43 | -71,33 | 0,1610 | 0,6523 |
| Hawaii | 18,75 | -170,43 | 0,1634 | 0,6622 |
| Humboldtian | -23,10 | -70,43 | 0,1749 | 0,7097 |
| Humboldtian | -17,97 | -74,13 | 0,1835 | 0,7452 |
| Humboldtian | -18,47 | -70,32 | 0,1889 | 0,7671 |
| Central Chile | -33,10 | -72,20 | 0,1890 | 0,7676 |
| Central Chile | -26,22 | -71,38 | 0,1910 | 0,7761 |
| Channels and Fjords of Southern Chile | -53,60 | -70,10 | 0,1950 | 0,7924 |
| Central Chile | -26,53 | -71,38 | 0,1970 | 0,8007 |
| Central Chile | -25,67 | -71,10 | 0,1973 | 0,8017 |

| Ecorregión | Latitud | Longitud | ROR | S-ROR |
|---------------------------------------|---------|----------|--------|--------|
| Central Chile | -32,75 | -71,50 | 0,1985 | 0,8069 |
| Humboldtian | -20,20 | -70,15 | 0,1993 | 0,8100 |
| Central Chile | -26,10 | -71,20 | 0,1998 | 0,8123 |
| Central Chile | -26,22 | -71,33 | 0,2006 | 0,8155 |
| Central Chile | -25,73 | -71,25 | 0,2011 | 0,8175 |
| Humboldtian | -23,63 | -70,40 | 0,2115 | 0,8605 |
| Channels and Fjords of Southern Chile | -53,10 | -70,85 | 0,2206 | 0,8979 |
| Line Island | -3,72 | -153,57 | 0,2212 | 0,9002 |
| Araucanian | -33,65 | -72,33 | 0,2329 | 0,9486 |
| Araucanian | -33,59 | -71,62 | 0,2369 | 0,9650 |
| Central Chile | -25,30 | -71,17 | 0,2423 | 0,9872 |
| Virginian | 41,77 | -73,13 | 0,2454 | 1,0000 |

Tabla 8.

Puerto de Calbuco. Categorización de los coeficientes globales ROR y S-ROR en escala de colores (enfoque tipo “semáforo”) para la visualización del nivel de riesgo de los lugares donantes de ADL. Riesgo: Muy Bajo: verde, Bajo: verde claro, Medio: anaranjado, Alto: amarillo, Muy Alto: rojo. Los valores cero (0) fueron reemplazados por 0,001.

| Ecorregión | Latitud | Longitud | ROR | S-ROR |
|---------------------------------------|---------|----------|--------|--------|
| Aleutian Island | 49,47 | 174,37 | 0,0071 | 0,0010 |
| Gilbert/Ellis Island | -2,60 | 168,17 | 0,1556 | 0,5063 |
| Gilbert/Ellis Island | -0,90 | 163,53 | 0,1577 | 0,5136 |
| Marshall Islands | 14,70 | 165,78 | 0,1581 | 0,5147 |
| Gilbert/Ellis Island | -0,67 | 164,67 | 0,1778 | 0,5820 |
| Gilbert/Ellis Island | -0,78 | 165,92 | 0,1782 | 0,5833 |
| Gilbert/Ellis Island | -1,62 | 166,87 | 0,1787 | 0,5850 |
| Phoenix/ Tokelau/Northern Cook Island | -11,47 | -159,93 | 0,1808 | 0,5923 |
| Gilbert/Ellis Island | -2,33 | 167,72 | 0,1812 | 0,5937 |
| Southern Cook/Austral Islands | -22,97 | -144,73 | 0,1826 | 0,5983 |
| Marshall Islands | 15,18 | 165,83 | 0,1850 | 0,6066 |
| Gilbert/Ellis Island | -2,73 | 168,17 | 0,1857 | 0,6090 |
| Marshall Islands | 7,87 | 161,93 | 0,1883 | 0,6177 |
| Ogasawara Island | 24,80 | 155,83 | 0,1914 | 0,6282 |
| Marshall Islands | 10,50 | 171,85 | 0,1929 | 0,6334 |
| Ogasawara Island | 22,38 | 156,38 | 0,1954 | 0,6421 |
| Ogasawara Island | 26,98 | 152,33 | 0,1976 | 0,6495 |
| Ogasawara Island | 27,97 | 145,45 | 0,1981 | 0,6513 |
| Tuamotus | -24,75 | -141,92 | 0,1984 | 0,6521 |

| Ecorregión | Latitud | Longitud | ROR | S-ROR |
|-----------------------|---------|----------|--------|--------|
| Ogasawara Island | 25,35 | 154,23 | 0,1985 | 0,6525 |
| Ogasawara Island | 28,42 | 143,72 | 0,1985 | 0,6526 |
| Vanuatu | -11,35 | 164,42 | 0,1990 | 0,6542 |
| Ogasawara Island | 28,85 | 142,50 | 0,2002 | 0,6583 |
| Ogasawara Island | 31,33 | 142,83 | 0,2040 | 0,6712 |
| Sea of Japan/East Sea | 45,78 | 139,92 | 0,2109 | 0,6948 |
| South Kuroshio | 26,47 | 132,55 | 0,2395 | 0,7922 |
| Araucanian | -41,37 | -74,33 | 0,3004 | 1,0000 |

Debido a la incomodidad de examinar un gran número de valores de riesgo en una tabla, GloBallast ha recomendado representar el enfoque tipo “semáforo” en un mapa para facilitar su visualización. Esto además permite inferir el posible riesgo de lugares no analizados, en la medida que su ubicación en el mapa esté cercana a otros lugares previamente evaluados.

De esta manera, la Figura 2 (implementada en SIG) muestra simultáneamente la ubicación geográfica y el color asociado al nivel de riesgo para aquellos lugares que donaron ADL a cada uno de los puertos evaluados, representando además el sistema de las ecorregiones. La visualización combinada de esta información permite obtener una primera apreciación del nivel de riesgo asociado a una nave individual, y puede ser aplicada a un proceso de preselección de naves a fiscalizar, que luego se complementa con el examen del informe de ADL de las naves, lo cual constituye el primer proceso de decisión consignado en el plan de vigilancia propuesto en este Informe (véase Figura 19 con un diagrama de flujo de la toma de decisiones).

No obstante, si no se dispone del informe de ADL de una nave, o como mínimo de información sobre el último puerto de zarpe de la nave, esta primera evaluación no es posible y la única alternativa para realizar un muestreo de fiscalización es seleccionar un estanque de ADL a bordo entre las opciones que estén disponibles. Este escenario refleja de forma cercana las condiciones actuales en que puede efectuarse una fiscalización en un puerto nacional, y fue precisamente la situación enfrentada por el proyecto, que obligó a evaluar el riesgo en forma posterior como se muestra en las tablas siguientes a la Figura 2, lo que solo fue posible cuando se conoció el puerto de origen de la nave o las coordenadas del lugar de carga de ADL.

Por lo anterior, el éxito de una futura fiscalización dependerá de que se cumplan dos condiciones necesarias: (i) que la Autoridad Marítima disponga de toda la información pertinente, y (ii) que tenga las facultades para ordenar el muestreo de un estanque preseleccionado, salvo que lo impidan razones de fuerza mayor.

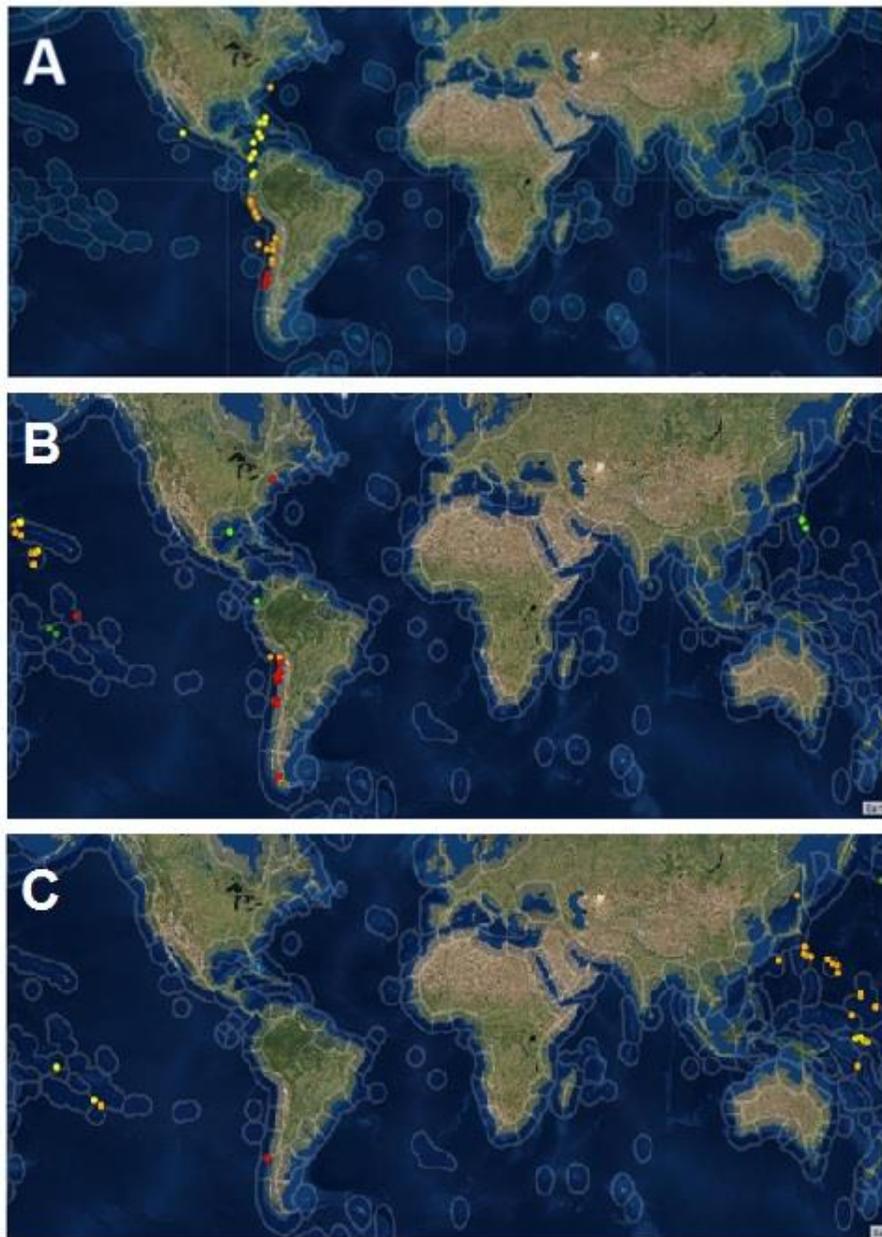


Figura 2. Lugares donantes de ADL (en círculos) para el puerto de Valparaíso (A), San Vicente (B) y Calbuco (C). Los distintos colores indican el nivel de riesgo estimado de cada lugar de origen (Rojo = riesgo muy alto, Naranja = riesgo alto, Amarillo = riesgo medio, Verde claro = riesgo bajo, Verde oscuro = riesgo muy bajo).

VALPARAÍSO

| Naves seleccionadas | Lugar de carga de ADL o Último puerto | Nivel de riesgo |
|---------------------|---------------------------------------|-----------------|
| Cartagena Express | Información no disponible | No evaluable |
| Cartagena Express | Información no disponible | No evaluable |
| CMA CGM Niagara | 19° 10' S / 73° 23' W | Alto |
| Crown Ruby | Información no disponible | No evaluable |
| Du An Cheng | Tianjin, China | Muy Bajo |
| Elizabeth River | Información no disponible | No evaluable |
| Mary | 18° 23' N / 39° 50' E | Muy bajo |
| Mary | Información no disponible | No evaluable |
| MSC Chloe | 33° 41.9' S / 72° 08.9' W | Muy alto |
| MSC Chloe | Información no disponible | No evaluable |
| NYK Libra | 10° 25.5' N / 96° 27.7' W | Muy bajo |
| Antonio | Información no disponible | No evaluable |
| Santa Clara | 15° 09.8' N / 156° 10.1' E | Muy bajo |
| Seaboard America | Información no disponible | No evaluable |
| Seaboard Peru | Información no disponible | No evaluable |
| Seaboard America | Información no disponible | No evaluable |

SAN VICENTE

| Naves seleccionadas | Lugar de carga de ADL o Último puerto | Nivel de riesgo |
|---------------------|---------------------------------------|-----------------|
| Alienda | Información no disponible | No evaluable |
| Alpine | Puerto San Vicente, Chile | No evaluable |
| Aotea | 6° 54' N / 81° 01' W | Muy bajo |
| Cornelius Maersk | Información no disponible | No evaluable |
| Gulf Bpadge | Información no disponible | No evaluable |
| HK Challenger | Long Beach, EE. UU. | Alto |
| Luna Maersk | Información no disponible | No evaluable |
| Milky Way II | 30° 26.6' N / 158° 1.5' E | Muy bajo |
| Pacific Action | Pisco, Perú | Alto |
| Samsung | Información no disponible | No evaluable |
| Mara | Valparaíso, Chile | Muy alto |
| Sendai Spirit | Información no disponible | No evaluable |
| Sine Maersk | San Antonio, Chile | Muy alto |
| Stella Stream II | Información no disponible | No evaluable |
| Sun Maersk | Información no disponible | No evaluable |
| Sun Master | Hososhima, Japón | Bajo |
| Ultratronador | Puerto San Vicente, Chile | No evaluable |

CALBUCO-PUERTO MONTT

| Naves seleccionadas | Lugar de carga de ADL o Último puerto | Nivel de riesgo |
|----------------------------|--|------------------------|
| African Kamilia | Información no disponible | No evaluable |
| Antofagasta | Información no disponible | No evaluable |
| Cape Moreton | Información no disponible | No evaluable |
| Corral | Información no disponible | No evaluable |
| Forestal Reina | 04° 0.1' N / 103° 1.4'W | Muy bajo |
| Medan Express | 14° 54.9' N / 152° 33.8' E | Muy bajo |
| Rauli | Información no disponible | No evaluable |
| Reinhold Shulte | Información no disponible | No evaluable |
| TBN | Información no disponible | No evaluable |

IMPLEMENTACIÓN Y ADAPTACIÓN DEL MODELO GLOBALLAST

Estimación de los coeficientes de riesgo C1, C2 y C3

Un aspecto básico en el modelo de GloBallast es la asociación que se establece entre el ADL descargada en un puerto y el último puerto de zarpe de las naves, definido como puerto fuente. Sin embargo una fracción importante del ADL descargada en puertos chilenos no proviene de puertos, sino de zonas oceánicas o en mar abierto que pueden estar muy lejanas al último puerto de zarpe, lo que puede incidir fuertemente en la determinación de la similitud ambiental donante-receptor, y de las especies perjudiciales asociadas a las fuentes geográficas del ADL.

La Figura 3 evidencia el contraste entre los patrones resultantes al definir la fuente de ADL como puerto de zarpe o como lugar de carga de ADL, y fundamenta la primera adaptación introducida en el modelo GloBallast, que consistió en utilizar como fuentes los lugares geográficos reales de carga del ADL (sean puertos o no). Esta decisión incide en forma puntual y directa en el cálculo de los coeficientes C1, C2 y C3, pero no altera su concepto original y contribuye a una mayor exactitud al determinar el grado de amenaza biológica.

De esta manera los coeficientes C1, C2 y C3 fueron redefinidos como sigue:

- **C1:** proporción entre el N° de estanques que descargan ADL desde un lugar donante de ADL y el N° total de estanques de todos los lugares donantes que descargan ADL (= frecuencia de las inoculaciones de organismos)
- **C2:** proporción entre el volumen de ADL descargado desde un lugar donante de ADL y el volumen total de ADL descargado desde todos los lugares donantes (= tamaño de las inoculaciones de organismos)
- **C3:** similitud ambiental entre el lugar donante de ADL y el puerto receptor (= probabilidad de sobrevivencia de los organismos inoculados).

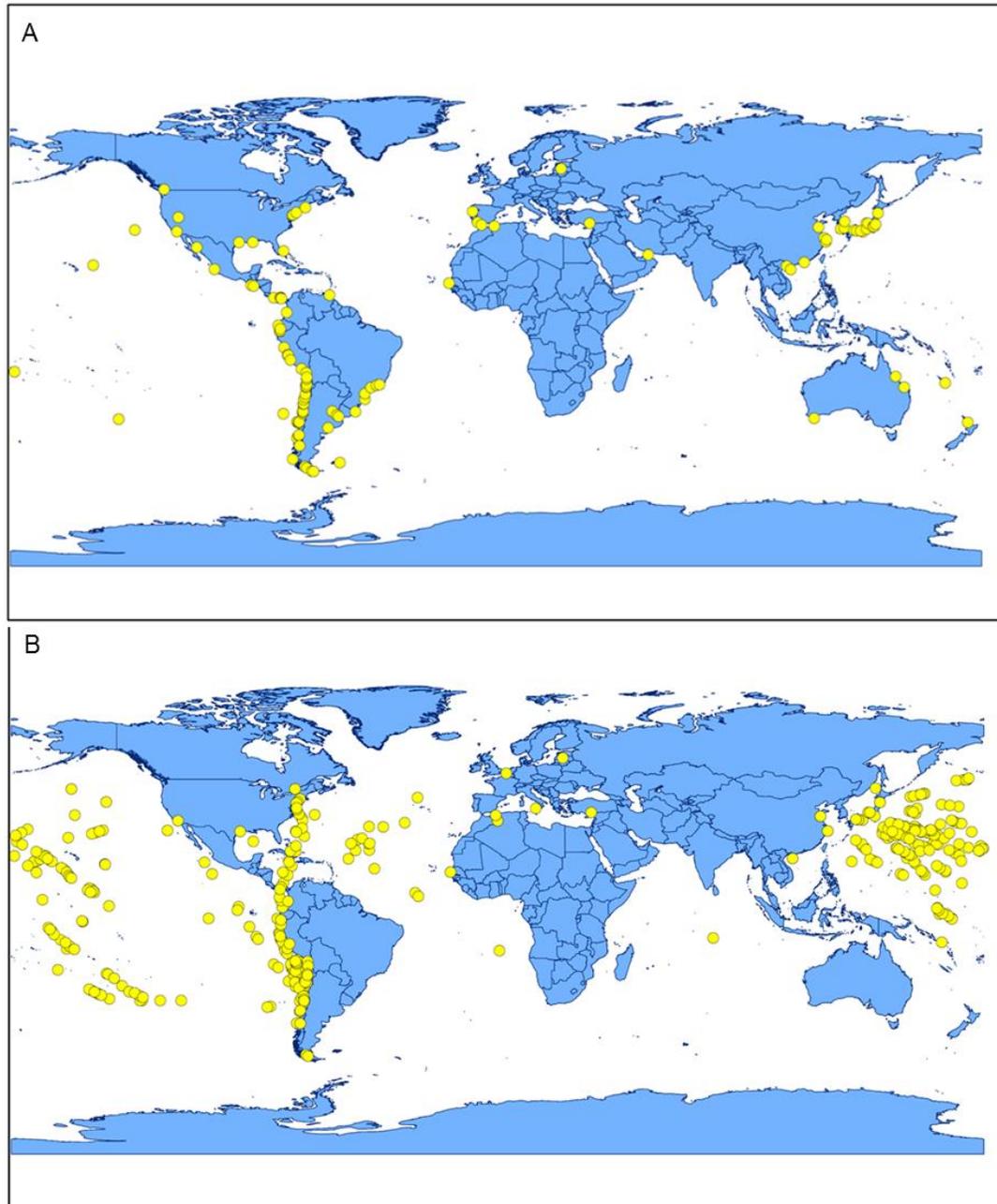


Figura 3. Ubicación geográfica de las fuentes de ADL para Valparaíso, San Vicente y Puerto Montt-Calbuco, dependiendo de la definición de las fuentes: (A) últimos puertos de zarpe de las naves (GloBallast) vs. (B) lugares de carga del ADL descargada en puertos chilenos por las mismas naves (proyecto FIPA 2016-25).

Para la evaluación de la similitud ambiental entre los lugares donantes de ADL y el puerto receptor (C3), se consideró entre otros aspectos: (i) el alto costo, tiempo y esfuerzo que demanda obtener las 34 variables propuestas por GloBallast constituiría una limitante para aplicar el modelo a nivel nacional, incluso si mejorara la disponibilidad actual de recursos humanos y materiales; (ii) en un contexto ecológico estricto, y a la luz del conocimiento actual sobre invasiones, el éxito de introducción de las especies riesgosas depende de numerosos factores que no se limitan a la similitud física entre ambientes, incluyendo múltiples interacciones bióticas positivas y negativas que no pueden ser anticipadas en un análisis de este tipo; (iii) las variables de GloBallast incluyen ambientes particulares que no se encuentran o son infrecuentes en el litoral de Chile (e.g., alta marisma/laguna, salinas o sabkha) asociado a la mayoría de los puertos; y (iv) dichas variables también incluyen formaciones biológicas características de aguas cálidas o tropicales, que ya sea existen en forma localizada sin la importancia que alcanzan en otras regiones (e.g., praderas de macrófitas acuáticas o pastos marinos), o que no se encuentran en el litoral continental chileno (e.g., arrecifes de coral con matriz de carbonato, bosques de manglares).

En consecuencia, se introdujo al modelo una segunda adaptación consistente en calcular C3 seleccionando un número menor de variables que cumplieran tres requisitos: (i) tener conexión estrecha con la sobrevivencia de organismos marinos en general; (ii) combinar determinantes claves para el metabolismo, uso de recursos y rangos de tolerancia de los invertebrados y algas en particular; y (iii) estar disponibles, actualizadas y accesibles en forma pública en bases de datos gratuitas y de alta calidad.

Con este objetivo se seleccionó un conjunto de siete variables físicas y químicas (véase Tabla 9), disponibles en varias modalidades en la base de datos WOA13 de la NOAA-USA (World Ocean Atlas 2013; <https://www.nodc.noaa.gov/OC5/woa13/>): temperatura superficial del mar, salinidad, oxígeno disuelto, pH, y concentración de silicato, fosfato y nitrato. A fin de considerar las condiciones típicas y la variabilidad ambiental, en el cálculo de C3 se utilizó tanto el promedio como la desviación estándar de cada variable, por lo que el análisis de similitud incluyó un total de 14 variables.

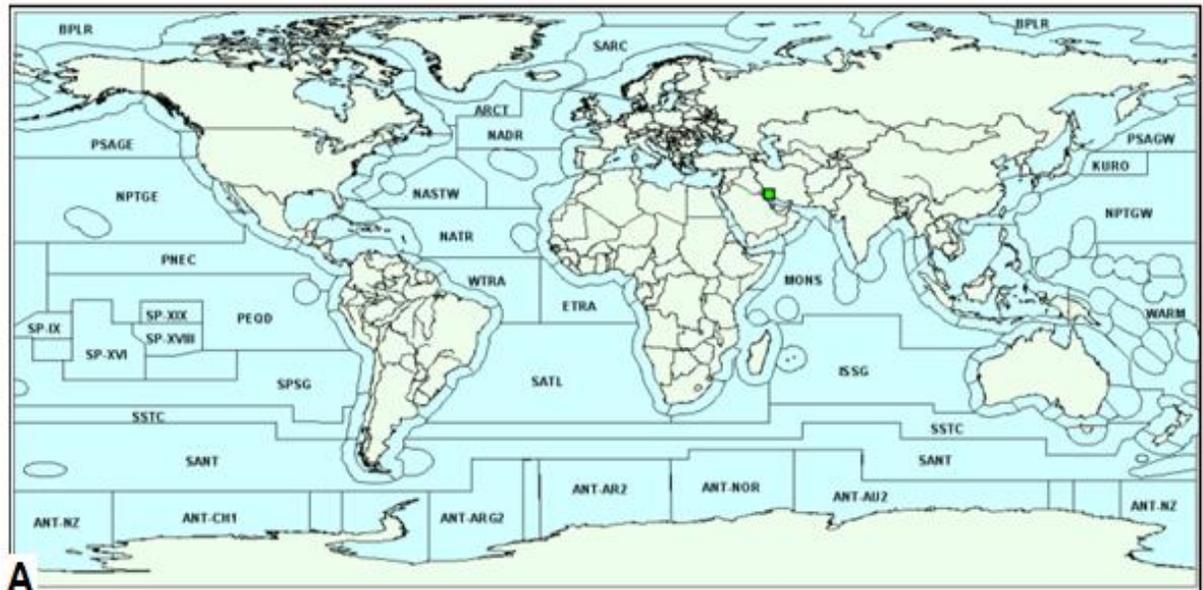
Tabla 9.

Lista de variables ambientales que se utilizaron en la adaptación del modelo propuesto por el proyecto.

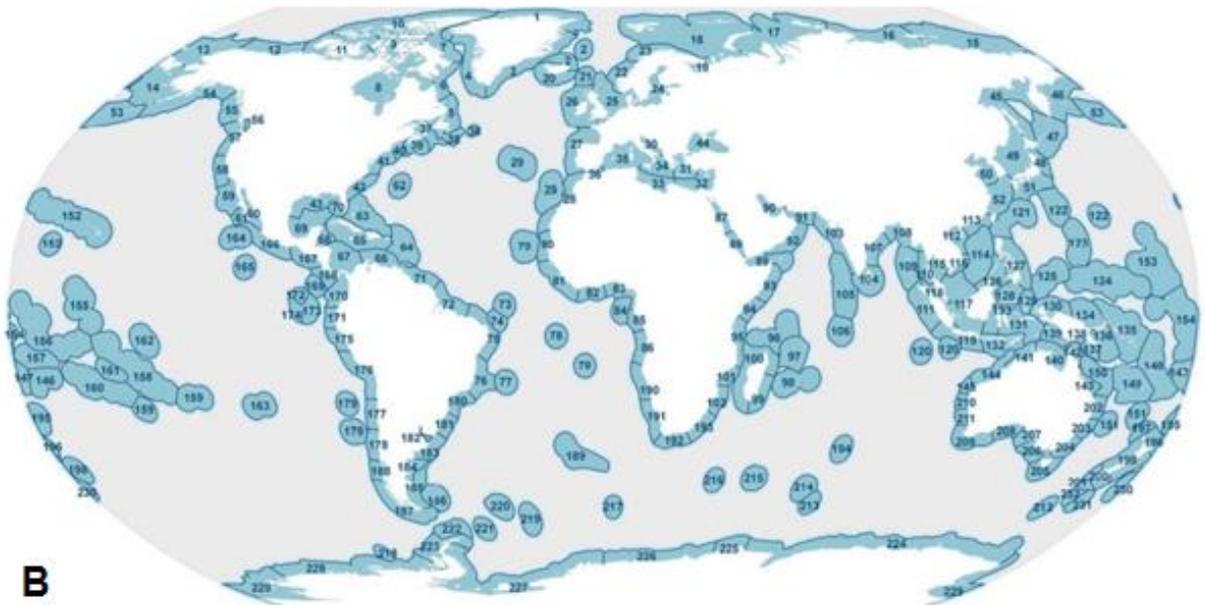
| Variables | Opciones | Base temporal | Periodo de tiempo (decadal o anual) | Resolución espacial |
|-------------------------|---|--------------------------------|--|-----------------------------------|
| Temperatura | Media Desviación o Error estándar | Mensual Estacional Anual | 1955-1964, 1965-1974, 1975-1984, 1985-1994, 1995-2004, 2005-2012 | 5° x 5° 1° x 1° 1/4° x 1/4° |
| Salinidad | Media Desviación o Error estándar | Mensual Estacional Anual | 1955-1964, 1965-1974, 1975-1984, 1985-1994, 1995-2004, 2005-2012 | 5° x 5° 1° x 1° 1/4° x 1/4° |
| Oxígeno disuelto | Media Desviación o Error estándar | Mensual Estacional Anual | 1900-2012 | 5° x 5° 1° x 1° |
| pH | Media Desviación o Error estándar | Mensual Estacional Anual | 1900-2012 | 5° x 5° 1° x 1° |
| Silicato | Media Desviación o Error estándar | Mensual Estacional Anual | 1900-2012 | 5° x 5° 1° x 1° |
| Fosfato | Media Desviación o Error estándar | Mensual Estacional Anual | 1900-2012 | 5° x 5° 1° x 1° |
| Nitrato | Media Desviación o Error estándar | Mensual Estacional Anual | 1900-2012 | 5° x 5° 1° x 1° |

Estimación del coeficiente de riesgo C4

El cálculo de C4 involucró otras dos adaptaciones en el modelo GloBallast. La primera consistió en reemplazar la clasificación de Bio-regiones (Kelleher et al. 1995) por una clasificación más reciente de ecorregiones marinas definidas objetivamente por criterios físicos, químicos y biológicos (Spalding et al. 2007; véase Figura 4).



A



B

Figura 4. (A) Clasificación biogeográfica propuesta por Kelleher et al. 1995 denominada Biorregiones Marinas. (B) Clasificación biogeográfica propuesta por Spalding et al. 2007 denominada Ecorregiones marinas costeras.

La segunda adaptación del modelo fue reemplazar las especies y niveles de riesgo vinculados a Bio-regiones por un sistema de especies exóticas invasoras (Molnar et al. 2008): (i) reconocidamente perjudiciales en base a información validada por expertos; (ii) vinculadas geográficamente al sistema de ecorregiones marinas; (iii) asociadas a distintos tipos de impactos negativos con niveles de riesgo definidos según la magnitud de cada impacto; y (iv) con toda la información anterior disponible públicamente en una base de datos gratuita (The Nature Conservancy; <https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Marine/Pages/marineinvasives.aspx>).

Esta base de datos de especies invasoras se enfoca claramente en los aspectos de mayor relevancia para el proyecto, y por tanto tiene grandes ventajas comparativas sobre el sistema de bio-regiones. Sin embargo implica una desventaja: las ecorregiones son áreas costeras (abarcando 200 millas náuticas en cada costa del planeta), y no dan cuenta de las especies riesgosas en algunas áreas oceánicas, aunque sí de todas las áreas donde existan islas oceánicas. Pese a ello se eligió esta opción debido a la cantidad y calidad de su información, a que la mayoría de las especies marinas habita en las zonas costeras, y a que el sistema de ecorregiones ya fue actualizado incluyendo los ambientes oceánicos (Spalding et al. 2012). Por ello se espera que a corto plazo también exista información actualizada sobre sus especies perjudiciales.

Entre tanto, para evaluar C4 la base de datos de Molnar et al. (2008) fue modificada para incluir otras especies perjudiciales que no estaban consideradas debido a su carácter cosmopolita o de amplia distribución, pero que son de interés en el contexto del proyecto (exóticas invasoras, microorganismos patógenos o microalgas productoras de floraciones nocivas). Luego se aplicaron filtros de grano fino para seleccionar solamente especies que habitaran en zonas costeras y estuarinas, para las cuales el ADL fuera al menos uno de sus vectores de introducción conocidos.

Además para las especies se reemplazó la clasificación única sin distinción de impactos usada por GloBallast, aplicando el enfoque de Molnar et al. (2008) que define cuatro tipos de impacto, con cuatro niveles cada uno designados en orden ascendente de magnitud como 1, 2, 3 y 4, e incluye para todos los impactos un quinto nivel denominado U (información desconocida o insuficiente para determinar la magnitud).

De esta forma, los tipos de impactos considerados fueron los siguientes:

- Extensión Geográfica: escala del rango invasivo de cada especie, relacionada al tamaño de la ecorregión y no a unidades absolutas (e.g., área, longitud de la costa), para permitir su uso en ambientes marinos, dulceacuícolas y terrestres. Niveles: 4: Multi-ecorregión; 3: Ecorregion; 2: Ecosistema/sub-ecorregión local; 1: Sitio único.
- Impacto Ecológico: severidad del impacto de una especie sobre la viabilidad e integridad de las especies nativas y la biodiversidad natural. Niveles: 4: Perturba procesos completos del ecosistema con influencias abióticas más amplias; 3: Perturba a múltiples especies, algunas con una función importante en el ecosistema y/o especies con alto valor de conservación (e.g., especies amenazadas); 2: Perturba especies con poco o ningún impacto en el ecosistema; 1: Poca o ninguna perturbación.
- Dificultad de Manejo: esfuerzo requerido para revertir la amenaza, eliminar la especie y/o gestionar su presencia. Niveles: 4: Irreversible y/o no puede ser contenido o controlado; 3: Reversible con dificultad y/o puede controlarse con una gran administración; 2: Reversible con alguna dificultad y/o puede controlarse con gestión periódica; 1: Fácilmente reversible, sin requerir una gestión continua.
- Potencial Invasivo: magnitud de la tasa de propagación actual o reciente y del potencial de propagación futura después de la introducción a nuevos hábitats. Niveles: 4: Actualmente se extiende de forma rápida (duplicando su población en < 10 años) y/o tiene gran potencial para una rápida propagación futura; 3: Expansión actual con menor rapidez y/o potencial para una propagación menos rápida en el futuro; 2: Establecida, pero actualmente no se está extendiendo y no tiene gran potencial para su futura propagación; 1: Establecida, pero actualmente no extendida y/o con bajo potencial para extensión futura.

Por lo tanto C4 fue redefinido como:

- **C4:** proporción del riesgo total asignado a las especies perjudiciales existentes en la ecorregión donde se ubica el lugar donante de ADL, en función del patrón contemporáneo de comercio y considerando cuatro tipos de impacto (Ecológico, Potencial invasivo, Extensión geográfica, Dificultad de manejo) (= amenaza relativa representada por los organismos en cada inoculación).

Dado que esta definición considera únicamente especies con impactos demostrados, los números que definen sus niveles cualitativos de impacto se usaron también como pesos cuantitativos (i.e., $1 < 2 < 3 < 4$) sin alterar su progresión lineal, en lugar de considerar la asignación de pesos crecientes en forma no lineal (e.g., 1, 2, 4, 8). Esta decisión se tomó aplicando el Principio

Precautorio, en el sentido de no desestimar el peligro potencial de las especies en los niveles de riesgo más bajos.

Sobre esta base, el cálculo de C4 (excluyendo el nivel de impacto U = sin información) se definió como sigue:

$$C4 = \sum [\sum (N^{\circ} \text{ spp.} \cdot 1) + (N^{\circ} \text{ spp.} \cdot 2) + (N^{\circ} \text{ spp.} \cdot 3) + (N^{\circ} \text{ spp.} \cdot 4) / \text{Valor Total}] / 4$$

En la ecuación, la sumatoria interior se efectúa para cada tipo de impacto a fin de obtener su proporción de riesgo como la suma de los productos entre grupos de especies con distinto nivel de impacto y su respectivo valor de impacto (i.e. los números 1, 2, 3 y 4 que son utilizados como pesos), la cual es dividida por un valor total que corresponde al valor de riesgo calculado en forma análoga para todos los impactos. La sumatoria final (exterior) acumula las proporciones de riesgo de los distintos impactos, y luego se divide el resultado por el número total de impactos (= 4) para estandarizar el valor de C4 en escala de 0 a 1.

Cálculo de los coeficientes ROR y ROR estandarizado

Una vez calculados todos los coeficientes C redefinidos, y aplicando los valores de los coeficientes R definidos por GloBallast (los cuales no fueron modificados), para cada lugar donante de ADL se calcula el valor del coeficiente de riesgo global relativo (ROR) usando la misma forma algebraica de la ecuación de GloBallast:

$$ROR = [C1 + (C2 * R1) + C3 + (C4 * R2)] / 4$$

No obstante, la última etapa propuesta por GloBallast es la estandarización y clasificación final de los coeficientes ROR obtenidos para los puertos de origen de las naves, que en este caso se aplicó a los valores ROR obtenidos para el conjunto de lugares que donaron ADL a un puerto receptor.

Usando la orientación de GloBallast, el coeficiente ROR fue convertido a un valor estandarizado (S-ROR) basándose en los valores mínimos y máximos del ROR calculado, y aplicando la siguiente ecuación que ajusta los nuevos valores en escala de 0 a 1:

$$S-ROR = ((ROR - ROR \text{ mínimo}) \times 1) / (ROR \text{ máximo} - ROR \text{ mínimo})$$

Al igual que para el coeficiente C3, en este caso también se aplicó el Principio Precautorio considerando que ningún lugar donante de ADL está exento de riesgo, por lo cual en el caso de obtener un valor cero este fue reemplazado por un valor de 0,001. Por último, los valores de S-

ROR para cada puerto evaluado fueron clasificados en cinco categorías iguales (en intervalos de 0,20), representando niveles de riesgo a los que se asignaron colores de la siguiente forma:

- Muy alto: rojo
- Alto: anaranjado
- Medio: amarillo
- Bajo: verde claro
- Muy bajo: verde

Este enfoque tipo “semáforo” permite representar visualmente los niveles de riesgo en un mapa de lugares donantes de ADL para un puerto receptor, facilitando la interpretación de los resultados del modelo y la toma de decisiones.

VI. RESULTADOS

REVISIÓN DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA

DOCUMENTACIÓN SELECCIONADA

La selección final de los documentos revisados en las tres áreas temáticas se desglosa como sigue:

- Normativas: 41 documentos, 31 primarios y 10 secundarios, describiendo normativas OMI, normativas nacionales e internacionales, y planes de manejo de agua de lastre en distintos países.
- Impactos de especies exóticas: 85 documentos, 62 primarios y 23 secundarios, enfatizando la diversidad de impactos existentes, su dinámica y mecanismos, y las características de las especies involucradas.
- Metodologías de análisis de riesgo: 71 documentos, 56 primarios y 15 secundarios, describiendo metodologías de GloBallast y relacionadas, evaluaciones de riesgo, y métodos de prevención de la introducción de especies.

Para cada área temática se confeccionó una tabla incluyendo los documentos primarios y secundarios por separado, y conteniendo: (i) la referencia bibliográfica completa de cada documento; (ii) la categorización de cada documento según su tipo (artículo WOS, artículo indexado no WOS, reporte, normativa, circular, monografía); y (iii) cuando fue posible, un enlace de Internet para acceder a la lectura y/o descarga del documento.

Las tablas con la documentación sobre normativas, impactos y metodologías se incluyen respectivamente en los **ANEXO 1**, **ANEXO 2** y **ANEXO 3** de este Informe. Adicionalmente se adjunta una versión en formato Excel de cada tabla como parte de la información electrónica que acompaña al presente Informe.

SINTESIS DE LA INFORMACIÓN SOBRE NORMATIVAS ASOCIADAS AL CONTROL DE LA INTRODUCCIÓN DE ESPECIES EXÓTICAS VÍA AGUA DE LASTRE

Introducción

A nivel internacional, en la medida que los países reconocen o sufren los efectos de las Especies Exóticas Invasoras (EEIs), han elaborado estrategias para responder a la amenaza que ellas representan mediante la implementación cada vez mayor de políticas nacionales, leyes o reglamentos que regulan esa problemática, incluyendo la participación en acuerdos internacionales para su control (FMAM 2009).

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de Rio de Janeiro (UN 1993) se estableció por primera vez la amenaza a la biodiversidad de los océanos como un problema medioambiental grave. Asimismo, la Organización Marítima Internacional (OMI), creó el Comité de Protección del Medioambiente Marino (MEPC) con el objetivo de estudiar todos los aspectos relacionados con el control de las EEIs. Esta problemática ha sido recientemente destacada en la agenda de la ONU, en el marco de la aprobación de las 17 Metas de Desarrollo Sustentable (MDSs) por la Asamblea General de la ONU en el 70° período ordinario de sesiones del año 2015. Una de las MDSs de particular importancia, relacionada con la protección del medio marino de los riesgos relacionados con el agua de lastre (ADL), es la meta 14 que se refiere a la conservación y el uso sostenible de los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible (Vousden & Okamura 2003).

El Convenio Internacional para el Control y Manejo del Agua de lastre y los Sedimentos de las Naves (BMW), del 13 de febrero de 2004, fue ratificado en el año 2010 por los siguientes países: Argentina, Australia, Barbados, Brasil, Egipto, Finlandia, Kenia, Kiribati, Maldivas, Islas Marshall, Países Bajos, Nigeria, Noruega, República de Corea, San Cristóbal y Nieves, España, Suecia, República Árabe Siria, y Tuvalu (Tamelander et al. 2010).

Una serie de herramientas globales han sido desarrolladas para apoyar reformas jurídicas, normativas e institucionales para abordar las cuestiones relacionadas con el ADL, y una serie de módulos de capacitación han sido implementados para construir la capacidad de gestión del ADL en los países en desarrollo. El programa GloBallast Partnerships de la OMI promovió el acceso de los distintos países a la política internacional y las leyes relacionadas con el ADL y las EIs, mediante el establecimiento de Grupos de Tarea regionales en 9 sub-regiones, y se han desarrollado estrategias y planes de acción regionales para la gestión del ADL con la participación

de más de 100 países (Anil et al. 2004, Clarke et al. 2004). El Programa GloBallast Partnerships también provee un panorama completo de los marcos legislativos nacionales de seis países (Brasil, China, India, Irán, África del Sur y Ucrania), así como una introducción a la política internacional y las leyes relacionadas con el ADL y las EEIs (Anil et al. 2004, Clarke et al. 2004, Tamelander et al. 2010).

Entre los objetivos generales de este programa, destaca el incentivar a que las partes se comprometan a prevenir, reducir al mínimo y eliminar el traspaso de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos, controlando o gestionando el agua y los sedimentos de lastre de las naves (MEPC 2008).

Aun así, es importante destacar que las políticas nacionales e internacionales y la legislación relativa a las EEIs están en constante desarrollo, ya que si bien existen políticas internacionales, estas están diseñadas para tener una amplia aplicación internacional (Andrade et al. 2010), dejando a cada país la tarea de establecer regulaciones locales que aborden sus diferentes características, organización geopolítica, y particularidades biogeográficas (e.g., Martínez et al. 2015).

El Convenio Internacional para el Control y Manejo del Agua de lastre y los Sedimentos de los Naves

La problemática del ADL ha sido abordada por la OMI y sus estados miembros por más de 43 años, desde que en la conferencia para adoptar el Convenio MARPOL se aprobó la Resolución MARPOL 73/78 (IMO 1973), señalando que "el ADL tomada en aguas que pueden contener bacterias de enfermedades epidémicas, podrán, cuando sean descargadas, causar peligro de propagación de las enfermedades epidémicas a otros países". Debido a lo anterior se le solicitó a la OMI y la Organización Mundial de la Salud (OMS) "iniciar estudios sobre este problema sobre la base de cualquier prueba y propuesta presentada por los gobiernos" (IMO 1973). Luego la OMI estableció el Comité de Protección del Medio Marino (MEPC), que ha participado en la búsqueda de una solución al problema del ADL, y en 1991 se desarrolló un conjunto preliminar de directrices que fueron remplazadas por una versión actualizada (OMI 1997): las Directrices para el control y la gestión del ADL de las naves, para reducir al mínimo la transferencia de organismos acuáticos perjudiciales y patógenos. Así se desarrolló el Convenio Internacional para el Control y la Gestión del Agua de lastre y los Sedimentos de las Naves, aprobado por consenso en una conferencia diplomática en la sede de la OMI en Londres el 13 de febrero de 2004, como un instrumento jurídico

internacional estableciendo normas y procedimientos con el propósito de prevenir la propagación de organismos acuáticos perjudiciales de una región a otra (OMI 2004).

En general el Convenio puede dividirse en las siguientes secciones (Tamelander et al. 2010):

Obligaciones generales:

Según el artículo 2, todas las partes (países) se comprometen a aplicar las disposiciones de la Convenio y el anexo con el fin de prevenir, minimizar y finalmente eliminar la transferencia de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos mediante el control y la gestión del ADL y sedimentos de las naves. A las partes se les otorga el derecho de adoptar, individualmente o junto con otras partes, medidas más rigurosas con respecto a la prevención, reducción o eliminación del traspaso de dichos organismos. Además, deben asegurarse de que las prácticas de gestión del agua del lastre no causen mayor daño al medio ambiente y a la salud humana.

Instalaciones de recepción:

En virtud del artículo 5 referente a las Instalaciones de recepción de sedimentos, las partes se comprometen a garantizar que los puertos y terminales en las que se produce la limpieza o reparación de tanques de lastre, cuenten con instalaciones de recepción adecuadas para la recepción de sedimentos.

Investigación y supervisión:

El Artículo 6, que es aplicable por las Partes en forma individual o conjunta, se dirige a promover y facilitar la investigación científica y técnica sobre la gestión del ADL, y a controlar los efectos de la gestión del ADL en aguas de su jurisdicción.

Examen, certificación e inspección:

Según el convenio los oficiales portuarios pueden requerir examinar las naves para verificar la acreditación y validez los libros de registro del ADL.

Asistencia técnica y cooperación:

Según el artículo 13, todas las partes deben proporcionar ayuda a otras partes que soliciten (directamente o a través de la OMI) asistencia técnica para: instruir al personal; asegurar la

disponibilidad de la tecnología relevante, equipo e instalaciones; iniciar programas comunes de investigación y desarrollo; y tomar cualquier otra acción que tenga como objetivo la puesta en práctica eficaz del Convenio.

Anexos del Convenio:

La sección A incluye definiciones pertinentes, así como sus usos, aplicaciones y exenciones, y la Regla A-2 ("Aplicación General") estableciendo que "salvo indicación expresa en otro sentido, la descarga del ADL sólo se realizará mediante la gestión del ADL, de conformidad con las disposiciones del anexo" (OMI 2004).

La Sección B (Prescripciones de gestión y control aplicables a las naves) incluye el Reglamento B-1, estableciendo que las naves deben tener a bordo e implementar un plan de gestión del ADL aprobado por la administración, y el Reglamento B-2 indicando que las naves deberán tener un Libro de Registro del ADL para consignar cuándo es cargada a bordo, circulada, o descargada en el mar (OMI 2004). Los requisitos para la gestión del ADL se nombran en el Reglamento B-3 (Tabla 10).

Tabla 10.

Requisitos específicos para control y gestión del ADL y sedimentos de las naves bajo la Reglamiento B-3 de la Resolución de la OMI Asamblea A.1005 (25) (OMI 2007).

| Fecha de Construcción | Capacidad de ADL (m ³) | Estándares |
|--|------------------------------------|---|
| Antes de 2009 | < 1500 o 5000 | Debe cumplir por lo menos con un intercambio estándar. Desde 2016, deberá cumplir con la Norma de Desempeño |
| Antes de 2009 | 1500-5000 | Debe cumplir por lo menos con un intercambio estándar. Desde 2014, deberá cumplir con la Norma de Desempeño |
| Durante/después de 2009 | < 5000 | Debe cumplir por lo menos con la norma estándar |
| Durante/después de 2009 pero antes de 2012 | ≥5000 | Debe cumplir por lo menos con el intercambio estándar |
| Durante/después 2012 | ≥5000 | Desde 2016, deberá cumplir por lo menos con la norma estándar |

En particular la Sección D describe dos normas que se deben considerar para la gestión del ADL y los sedimentos de las naves:

- **Norma D1:** Todas las naves que realicen cambio del ADL tendrán que tener un cambio volumétrico del 95 %. En el caso que se utilicen bombas se tendrá que bombear tres veces el volumen de cada tanque de lastre para que el cambio se considere adecuado al estándar indicado (OMI 2004).
- **Norma D2:** la descarga deberá contener menos de 10 organismos viables por metro cúbico para organismos con tamaño mayor o igual a 50 µm de dimensión mínima, y menos de 10 organismos viables por mililitro para organismos con un rango de tamaño de 50 - 10 µm (IMO 2004). Como norma para la salud humana, los indicadores de microorganismos incluyen -pero no están limitados a: toxicogénicos; *Vibrio cholerae* (O1 y O139), menos de 1 unidad formadora de colonias (ufc) por 100 mililitros o menos de 1 ufc por 1 gramo de peso húmedo en muestras de zooplancton; *Escherichia coli*, menos de 250 ufc por 100 mililitros; enterococos intestinales, menos de 100 ufc por 100 ml (David 2013).

La Sección E (Prescripciones sobre reconocimiento y certificación para la gestión del ADL) describe los requisitos para la renovación inicial y la publicación anual de la certificación de gestión del ADL, y proporciona borradores de los certificados y del libro de registro del ADL (OMI 2004).

Programa GloBallast Partnerships

El programa GloBallast se inició a finales de 2007 centrándose en las políticas nacionales (leyes y reformas institucionales), y en la cooperación técnica para ayudar a países en vías de desarrollo en diversos aspectos, tales como: (i) reducir la transferencia de organismos nocivos a través del ADL y los sedimentos; (ii) aplicar las directrices de ADL de la OMI (Tabla 11); y (iii) prepararse para la aplicación del Convenio, el cual fue planeado inicialmente como un proyecto de cinco años, desde octubre de 2007 a octubre de 2012, aunque posteriormente el Comité Ejecutivo de Proyectos acordó ampliar el proyecto hasta junio de 2017 (GloBallast 2017).

Tabla 11.

Directrices de ADL de la OMI (MEPC 2012). Continúa en las páginas siguientes.

| N° | Nombre | Finalidad |
|----|---|---|
| D1 | Directrices sobre las instalaciones de recepción de sedimentos | Facilitar orientaciones para la provisión de instalaciones de recepción de sedimentos, de conformidad con el artículo 5 del Convenio. Su objetivo también es fomentar una interfaz mundial uniforme entre dichas instalaciones y las naves, sin prescribir la provisión de plantas de recepción especializadas en tierra. |
| D2 | Directrices para el muestreo del ADL | Facilitar a las partes, incluidos los funcionarios encargados de la supervisión por el Estado rector del puerto, orientaciones técnicas y prácticas sobre el muestreo y el análisis del ADL para determinar si una nave cumple o no el Convenio sobre la Gestión del ADL de conformidad con lo dispuesto en su artículo 9, "Inspección de naves". Las presentes directrices solamente contemplan los procedimientos técnicos generales de muestreo y no tratan las prescripciones de orden jurídico. |
| D3 | Directrices para el cumplimiento equivalente de la gestión del ADL | Aplicar a las embarcaciones de recreo utilizadas exclusivamente para ocio o competiciones o las embarcaciones utilizadas principalmente para búsqueda y salvamento, de eslora total inferior a 50 metros y con una capacidad máxima de ADL de ocho metros cúbicos. Por eslora total se entiende la eslora del casco, excluyendo el bauprés, el tangón, el pescante de amura y la plataforma para el arponero, etc. |
| D4 | Directrices para la gestión del ADL y la elaboración de planes de gestión del ADL | Ayudar a los Gobiernos, autoridades competentes, capitanes, armadores y propietarios de naves, autoridades portuarias, y otras partes interesadas, a evitar, reducir a un mínimo y finalmente eliminar el riesgo de que se introduzcan organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos en el ADL de las naves y en los sedimentos, y al mismo tiempo garantizar la seguridad de las naves que aplican el Convenio. |
| D5 | Directrices sobre las instalaciones de recepción del ADL | Facilitar orientaciones para la provisión de las instalaciones de recepción de ADL mencionadas en la regla B-3.6 del Convenio. Su objetivo no es exigir que una parte provea tales instalaciones. Las Directrices también están destinadas a fomentar una interfaz mundial uniforme entre dichas instalaciones y las naves, sin prescribir la provisión de plantas de recepción especializadas en tierra. |
| D6 | Directrices para el cambio del ADL | Ofrecer a los propietarios y armadores de naves una orientación general sobre la elaboración de procedimientos específicos de cada nave para efectuar el cambio del ADL. Siempre que sea posible, los propietarios y armadores de naves deberán recabar la ayuda de las sociedades de clasificación o de inspectores marítimos competentes para adecuar las prácticas del cambio del ADL a diferentes condiciones meteorológicas, de carga y estabilidad. La aplicación de métodos y procedimientos de gestión del ADL constituye la base de una solución encaminada a prevenir, reducir al mínimo y, en último término, eliminar la introducción de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos. El cambio del ADL facilita una vía que, combinada con prácticas adecuadas de gestión del ADL, permite llegar a tal solución. |
| D7 | Directrices para la evaluación de los | Ayudar a las partes a garantizar que las disposiciones de la regla A-4 del Convenio se apliquen de manera homogénea y en consonancia con una |

| N° | Nombre | Finalidad |
|-----|--|---|
| | Riesgos a efectos de la regla A-4 del Convenio sobre la gestión del ADL | <p>evaluación de los riesgos provista de una base científica sólida, lo cual garantiza a su vez que las Partes en el Convenio cumplan sus obligaciones generales y específicas.</p> <p>Otro objetivo es garantizar a los estados interesados que las exenciones otorgadas por una Parte cumplen las obligaciones establecidas en la regla A-4.3. En la directriz se esbozan tres métodos de evaluación de los riesgos que permitirán que las Partes determinen las situaciones de alto riesgo inaceptable y las situaciones de bajo riesgo aceptable, y se orienta a dichas Partes sobre los procedimientos para conceder y revocar exenciones de conformidad con la regla A-4.</p> |
| D8 | Directrices para la aprobación de los sistemas de gestión del ADL | <p>Definir las prescripciones sobre las pruebas y el rendimiento a efectos de la aprobación de los sistemas de gestión del ADL.</p> <p>Ayudar a las administraciones a determinar los parámetros apropiados de proyecto, construcción y funcionamiento necesarios para la aprobación de los sistemas de gestión del ADL.</p> <p>Ofrecer una interpretación y aplicación uniformes de las prescripciones de la regla D3.</p> <p>Ofrecer orientaciones a las Administraciones, los fabricantes de equipo y los propietarios de naves para determinar la idoneidad del equipo respecto de las prescripciones del Convenio y la aceptabilidad del agua tratada desde el punto de vista ambiental.</p> <p>Asegurar que los sistemas de gestión del ADL aprobados por las administraciones pueden cumplir la norma D2 en las evaluaciones realizadas en tierra y a bordo de la nave, y no causen un daño inaceptable a la nave, la tripulación, el medio ambiente o la salud pública.</p> |
| D9 | Procedimiento para la aprobación de los sistemas de gestión del ADL en los que se utilicen sustancias activas | <p>Determinar la aceptabilidad tanto de las sustancias activas como de los preparados que contengan una o varias sustancias activas, así como su aplicación en los sistemas de gestión del ADL por lo que respecta a la seguridad de las naves, la salud del ser humano y el medio acuático. El procedimiento se establece como garantía para el uso sostenible de sustancias activas y preparadas.</p> |
| D10 | Directrices para la aprobación y la supervisión de programas para prototipos de tecnologías de tratamiento del ADL | <p>Ayudar a las administraciones a aprobar o rechazar los programas propuestos y, en los casos en que se conceda la aprobación, expedir una declaración de cumplimiento en virtud de la regla D4.</p> <p>Describir las responsabilidades de la administración en la supervisión de la ejecución del programa.</p> <p>Fomentar la interpretación y aplicación uniformes de la regla D4.</p> |
| D11 | Directrices para el cambio del ADL (normas de proyecto y construcción) | <p>Facilitar orientaciones a los constructores, proyectistas, propietarios y armadores de naves en la elaboración de un proyecto para el cambio del ADL seguro, aceptable desde el punto de vista ambiental, técnicamente viable, práctico y eficaz en función de los costos, según se estipula en la regla D1.</p> |
| D12 | Directrices sobre el proyecto y construcción para facilitar el control | <p>Facilitar orientaciones a los proyectistas, constructores, propietarios y armadores de naves sobre el desarrollo de estructuras y equipos de naves para la consecución de los objetivos del párrafo 1.1, reduciendo de esta manera la</p> |

| N° | Nombre | Finalidad |
|-----|--|--|
| | de los sedimentos en las naves | <p>probabilidad de introducir organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos.</p> <p>La regla B-5.2 del Convenio estipula que las naves descritas en las reglas B-3.3 a B-3.5 deberían proyectarse y construirse sin comprometer la seguridad ni la eficacia operacional, con miras a que se reduzca al mínimo la toma y retención no deseable de sedimentos, se facilite su remoción, y se posibilite el acceso sin riesgos para la remoción de sedimentos y su muestreo, teniendo en cuenta estas Directrices. En la medida de lo posible, las naves descritas en la regla B-3.1 del Convenio también deberían cumplir lo dispuesto en la regla B-5.2, teniendo presentes estas Directrices.</p> |
| D13 | Directrices sobre medidas adicionales con respecto a la gestión del ADL, incluidas las situaciones de emergencia | Facilitar orientación en virtud de la regla C-1 a una o varias partes para que éstas determinen si es necesario tomar medidas adicionales a las incluidas en la sección B del Convenio para prevenir, reducir o eliminar la transferencia de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos a través del ADL y los sedimentos de las naves. |
| D14 | Directrices sobre la designación de zonas para el cambio del ADL | Orientar a los estados rectores de puerto sobre la identificación, evaluación y designación de zonas marítimas en las que las naves pueden realizar el cambio del ADL de conformidad con lo dispuesto en la regla B-4.2 del Convenio. |

La Fase I del proyecto GloBallast

La primera fase se basó en realizar una prueba piloto en seis regiones del mundo (Figura 5) la que se ejecutó desde el año 2000 hasta marzo de 2003 con una posterior extensión hasta diciembre de 2004. El programa consistió en realizar: (i) comunicación, educación y sensibilización; (ii) evaluación de riesgos y estudios de puerto para cada uno de los puertos de demostración; (iii) revisión de la legislación existente de gestión del ADL; (iv) cumplimiento, aplicación y seguimiento; (v) cooperación regional y replicación; y (vi) medidas de gestión del ADL (GloBallast 2017).

Debido al gran éxito y reconocimiento del programa piloto, se decidió replicarlo en otras regiones del mundo (OMI 2007).

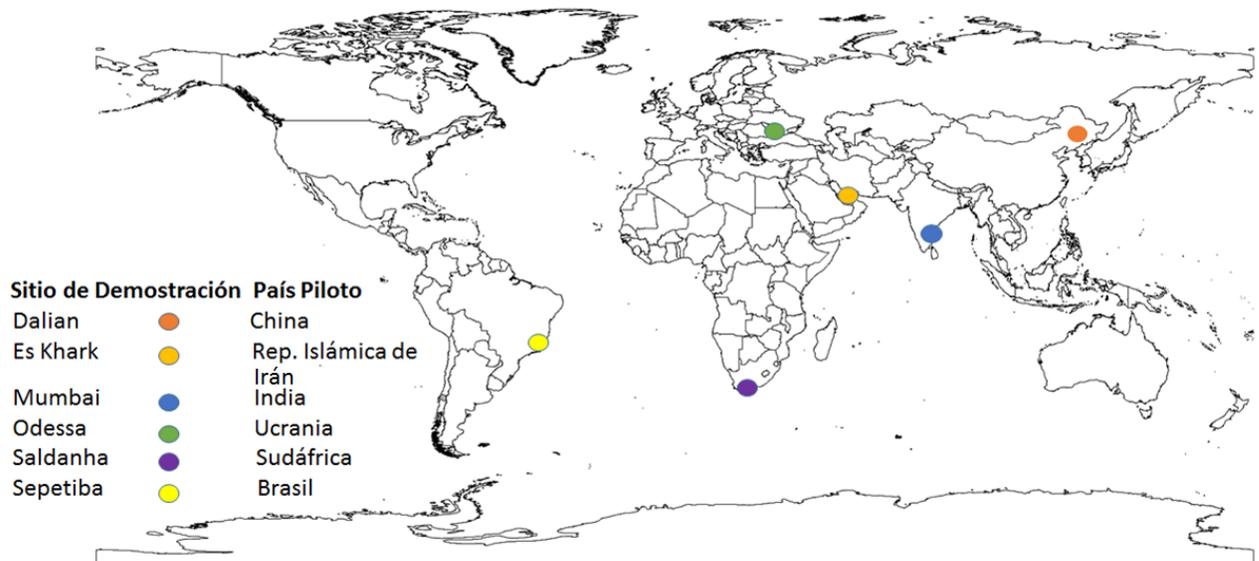


Figura 5. Países pilotos de demostración de la primera fase del programa GloBallast (datos obtenidos de Vousden & Okamura 2003).

La Fase II del proyecto GloBallast

Esta segunda fase del Programa se basó en ayudar a los estados más vulnerables a aplicar mecanismos sostenibles, con el fin de minimizar los impactos negativos de las especies invasoras acuáticas transferidas por las naves. GloBallast ha ayudado a los países a reducir los riesgos de invasión con los resultados obtenidos en la primera fase con los países pilotos, creando una red mundial de comunicación para abordar la problemática. El esfuerzo de colaboración es de tres niveles, con la participación mundial, regional y por países socios (OMI 2007).

El proyecto GloBallast se aplicó en 5 sub regiones de alta prioridad (Caribe, Mediterráneo, Mar Rojo y Golfo de Adén, Pacífico Sudeste, y costa oeste de África), a través de 13 países asociados líderes, y en total en más de 70 Países Socios (Alexandrov et al. 2003, Anil et al. 2004, Awad et al. 2004, Clarke et al 2003, Vousden & Okamura 2003).

Legislación y políticas nacionales del ADL y sedimentos de las naves a nivel mundial

En vista de las dificultades asociadas con la erradicación o el control a largo plazo, y debido a que ninguna de estas acciones resulta eficaz y además presentan altos costos, la prevención es reconocida como la política más apropiada y más barata para detener el aumento de invasiones biológicas marinas (Tamelander et al. 2010). Las normativas internacionales son generales, dejando a cada país la tarea de establecer regulaciones. Las estrategias nacionales en relación ADL y sedimentos difieren entre sí en términos de contenido técnico y enfoque general, debido a las diferentes características, organización geopolítica y particularidades biogeográficas de los países. Si bien esto refleja los diferentes entornos legales e institucionales, se comparten muchos aspectos de contenido y procedimiento de desarrollo (Vousden & Okamura 2003).

Un ejemplo claro del desarrollo de normativas propias (basándose en GloBallast) es Australia (otros casos: EEUU y Nueva Zelanda), unos de los países con mayor avance en esta temática. Australia depende de la industria del transporte marítimo debido a que aproximadamente el 95 % de su comercio se transporta por mar (ca. 150 millones de toneladas cada año; Ubilla 2011, Tamelander et al. 2010). Este país implementó por primera vez directrices sobre la gestión del agua en el año 1990, y desde 1994 adoptó un enfoque nacional coordinado para la gestión del ADL. Los procedimientos implementados son específicos, incluyendo apoyo a la investigación en técnicas para la gestión, y Equipos de Soporte para la toma de Decisiones (ESD) para orientar a las naves de alto riesgo. Las naves con la intención de descargar ADL en aguas australianas son capaces de descargarla en ruta con el ESD. El sistema realiza un muestreo de evaluación tanque por tanque ayudándose de la información básica suministrada por el capitán de la nave, y permite a las naves internacionales decidir qué hacer antes de arribar a Australia si el ADL plantea un riesgo de EEIs (Vousden & Okamura 2003, Tamelander et al. 2010).

En Sur América sólo 7 países forman parte del programa GloBallast (Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Panamá, Perú), siendo Brasil el país piloto para la zona el cual cuenta actualmente con un plan de manejo en múltiples puertos (ej. Rio Grande, Sepetiba) (Clarke et al. 2004, Vousden & Okamura 2003). Por su parte, Colombia constituye otro caso a desatacar, con el desarrollo e implementación de un plan de manejo (Martínez et al. 2015). En el caso de Chile, la fiscalización del Convenio de ADL se realiza solo mediante la obtención de datos de ADL a través de informes.

Estado actual de la legislación y políticas en Chile sobre ADL y sedimentos

Chile posee aproximadamente 4.100 kilómetros de costa con múltiples regiones biogeográficas (y por lo tanto con diversas condiciones ambientales), y con más de 63 puertos: 11 puertos estatales de uso público, 14 puertos privados de uso público, y 38 puertos privados de uso privado (MOP 2009).

La institución a cargo del cumplimiento regulatorio referente al ADL es la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante, DIRECTEMAR, junto a otras instituciones tales como la Subsecretaría de Pesca (SUBPESCA), el Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA), el Ministerio de Medio Ambiente, el Ministerio de Salud, el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), y la Asociación Nacional de Armadores de Chile (ANA). La DIRECTEMAR es el órgano del estado que está facultado para regular y autorizar la descarga de ADL de las naves, conforme a los siguientes cuerpos legales (Miranda 2016): (i) D.L. N°2.222 del 21 de mayo de 1978 correspondiente a la Ley de Navegación; y (ii) D.S. de Marina N°1 del 6 de enero de 1992 que corresponde al Reglamento para el Control de la Contaminación Acuática.

Chile ha definido diferentes directrices desde 1991, y actualmente se utiliza la DGTM Y MM A-51/002, que establece procedimientos y recomendaciones a seguir para la adopción de medidas preventivas (Soto 2011, Miranda 2016), con objeto de reducir al mínimo los riesgos de introducción de organismo acuáticos perjudiciales y agentes patógenos por las naves que ingresan a los puertos nacionales, en paralelo a la resolución de la OMI A.868 (20) (IMO 1997). La Tabla 12 incluye las principales directrices que la Autoridad Marítima chilena ha generado para el manejo y control del ADL en Chile a través del tiempo.

Tabla 12.

Principales directrices generadas por la Autoridad Marítima para el manejo y control del ADL en Chile (DIRECTEMAR 2012).

| Directriz | Año de inicio y derogación | Descripción |
|--|-----------------------------------|--|
| Resolución DGTM y MM N° 12.600/1979 | 1991-1995 | Las naves extranjeras efectuarán la descarga de su lastre a una distancia no menor a 12 millas náuticas de la costa chilena, debiendo registrar dicha operación en la bitácora de la nave. |
| Resolución DGTM y MM N° 12.600/228 | 1995- 1999 | Toda nave procedente del extranjero lastrada con agua de mar, deberá renovar su lastre al menos una vez antes de arribar a puertos chilenos, y a una distancia no inferior a las 12 millas náuticas de la costa, debiendo registrarse este procedimiento en la bitácora del puente y máquinas. |
| Resolución DGTM y MM N° 12.600/1049 | Vigente desde 1999 | Impone expresamente la prohibición de “ingresar a puerto nacional de toda nave extranjera que no haya cambiado su lastre a una distancia mínima de 12 millas náuticas”. Además incorpora como instrumento el “Reporte de Agua de lastre ” que recomendaba la Resolución OMI A.868 (20), haciéndolo obligatorio para los capitanes de las naves que quisieran deslastrar en aguas chilenas. |
| Directiva DGTM Y MM. A-51/002 | Vigente desde 2012 | Establece procedimientos y recomendaciones a seguir para la adopción de medidas preventivas, con objeto de reducir al mínimo los riesgos de introducción de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos por las naves que ingresan a los puertos nacionales. Esta disposición integra básicamente las disposiciones contenidas en la Resolución 12600/98 VRS. |

Visión futura de legislación y manejo de ADL y sedimentos

El Convenio Internacional para el Control y Gestión del Agua de lastre y los Sedimentos (Convenio BWM) entró en vigor el 8 de septiembre de 2017, lo cual marca un hito hacia la prevención de la propagación de especies acuáticas invasoras. Una vez que el convenio entre en plena vigencia, se requerirá que el Estado de Chile tenga la capacidad de verificar y fiscalizar que las naves realicen la gestión del ADL para eliminar, neutralizar, o evitar la toma o la descarga de los organismos acuáticos y agentes patógenos potencialmente presente en el ADL y los sedimentos. Junto a lo anterior, el Estado de Chile deberá modificar el marco regulatorio sectorial específico, con objeto de incorporar las tareas y obligaciones que establece el Convenio para su plena vigencia.

SÍNTESIS DE LA INFORMACIÓN SOBRE IMPACTOS DE LA INTRODUCCIÓN DE ESPECIES VÍA AGUA DE LASTRE (ADL)

Introducción

El tráfico marítimo comercial es considerado uno de los vectores de introducción de especies más importantes tanto a escala global e inter-ecorregional como dentro de países (Williams et al. 1988, Gollasch et al. 2000, Ruiz et al. 2000). Las naves como vectores para la dispersión facilitan el movimiento de organismos de diferentes niveles taxonómicos a grandes distancias, superando las limitantes impuestas por barreras geográficas, biológicas o físicas que impone el ambiente (Carlton & Geller 1993). En este contexto, la logística que conlleva el transporte de carga en el medio acuático obliga a realizar la carga y descarga de grandes volúmenes de agua que permitan el lastrado y deslastrado de las naves, abriendo la oportunidad para que un número importante de organismos que presentan ciertas características biológicas y de historia de vida, puedan ser transportados y evacuados casualmente en los diferentes puertos de recalado producto de estas maniobras. De esta forma, el ADL y los sedimentos asociados han sido reconocidos como un mecanismo importante de transporte e introducción de especies exóticas e invasoras en el medio marino, así como en ríos y lagos (Drake & Lodge 2004).

La introducción y expansión de especies no nativas en nuevos hábitats a través del ADL y sedimentos puede generar importantes efectos sobre la biodiversidad nativa (Bailey et al. 2005, Takahashi et al. 2008), la salud humana a través del transporte de patógenos perjudiciales (González & Salamanca 2013), y la economía local de los sitios invadidos (David et al. 2007). De esta forma, el aumento de la actividad naviera a nivel mundial en las últimas décadas representa sin duda un importante desafío para los gobiernos y entidades afines, de modo de poder compatibilizar su crecimiento y desarrollo, y minimizar la probabilidad de que especies exóticas puedan ingresar a sus territorios, y generar daños para sus ambientes, la salud y la economía.

Introducción e invasión de especies exóticas

El proceso de invasión de una especie no nativa o exótica conlleva varias etapas (Jaksic & Castro 2014) que son reconocidas tanto a nivel teórico como práctico (Figura 6). La primera etapa es la introducción, donde uno o varios individuos de una especie llegan a un sitio fuera de su rango nativo histórico, lo que puede ocurrir a través de uno o múltiples eventos de introducción. La segunda etapa abarca la fase de establecimiento, donde una especie logra establecer poblaciones viables y estables en el nuevo hábitat. El éxito de establecimiento dependerá de múltiples factores

abióticos y ecológicos, tales como el número de individuos introducidos, las características del hábitat, la tolerancia biológica y habilidad competitiva de las especies, y las características de las comunidades ecológicas nativas, entre otros. En una tercera etapa, las poblaciones de la nueva especie introducida expanden su rango de distribución en el nuevo hábitat, invadiendo nuevas localidades y comunidades ecológicas nativas. Sin embargo, se ha determinado que muchas especies que son transportadas exitosamente no logran establecerse, por lo cual la introducción no implica necesariamente que una especie se convierta en invasora causando impactos negativos (Elton 1958, Shigesada & Kawasaki 1997).

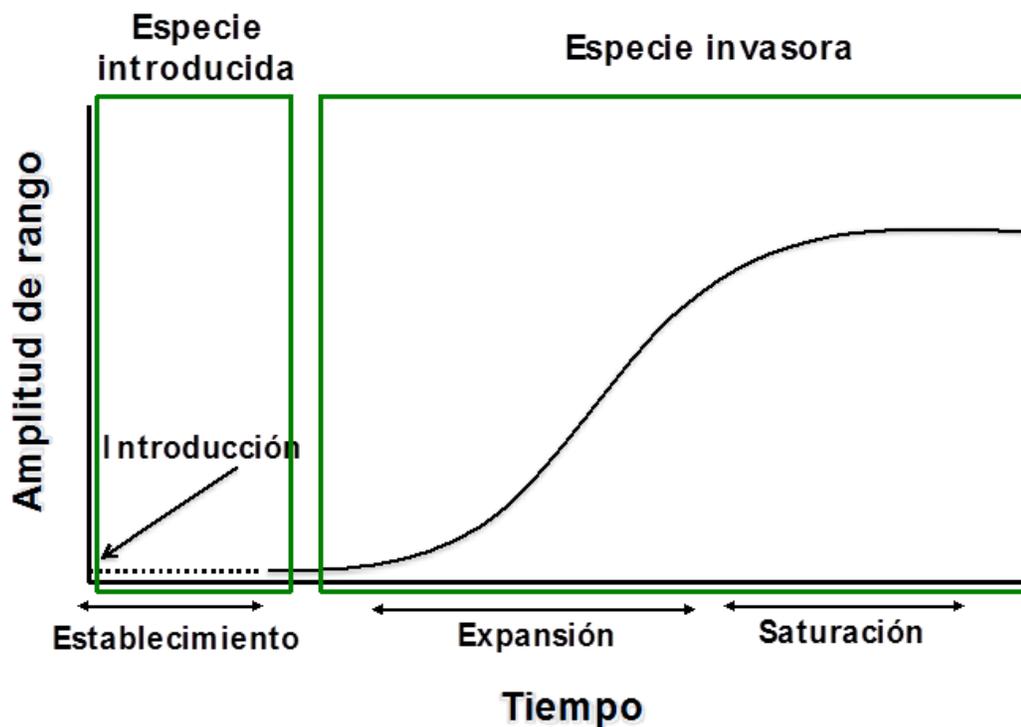


Figura 6. Dinámica generalizada de la invasión de especies exóticas introducidas en un nuevo hábitat (Elton 1958, Shigesada & Kawasaki 1997).

En el ámbito acuático y marino son múltiples los ejemplos en literatura que reportan el transporte de ejemplares de diferentes especies en el ADL y sedimento de naves, y que potencialmente podrían ser introducidas en los hábitats asociados a los puertos de recalada (McCarthy & Khambaty 1994, Hallegraeff 1998, Ruiz et al. 2000). Sin embargo, son menos los estudios que documentan ya sea el establecimiento efectivo y posterior invasión de especies transportadas por dichos vectores, o la generación de impactos significativos de distinto tipo en las regiones afectadas. A nivel nacional ya se han realizado estudios que abordan el problema de las especies

invasoras en el sistema marino (Castilla et al. 2005, Castilla & Neill 2009, Quiroz et al. 2009, Pinochet 2016, Villaseñor et al. 2017), donde las introducciones de especies con potencial invasivo son consideradas como una clara amenaza a la conservación de los ecosistemas acuáticos (Gajardo & Laikre 2003, Camus 2005). Aun así, el conocimiento todavía sigue siendo escaso, y existen muy pocos estudios que analicen o documenten el impacto real o potencial del transporte de organismos exóticos hacia territorio chileno.

Se seleccionaron 97 documentos, de los cuales solo el 46,9 % fue utilizado para el presente análisis ya que cumplía con los criterios de búsqueda (Figura 7A).

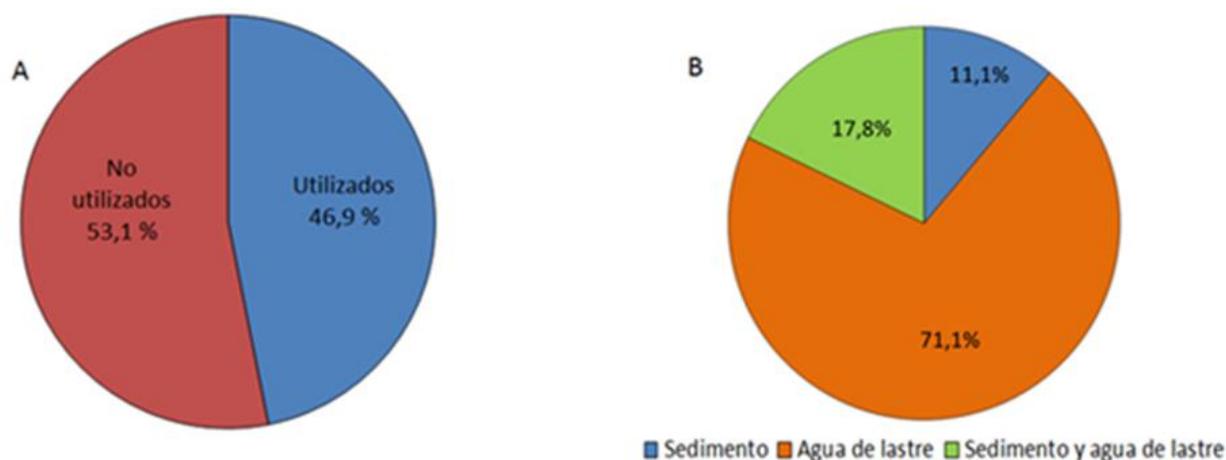


Figura 7. (A) Resultado de la búsqueda bibliográfica, mostrando el porcentaje de documentos que cumplía (azul) o no cumplía (rojo) con los criterios de búsqueda, considerando solo los documentos que reportan impactos de especies exóticas transportadas por agua y/o sedimento de lastre. (B) Clasificación porcentual de los documentos analizados, considerando el medio que permitió el transporte de especies exóticas invasoras.

El análisis de la información mostró que más de un 70 % de los trabajos solo abordan especies transportadas por el ADL, y tan solo el 11,1 % reportan especies asociadas a sedimentos de lastres (Figura 7B). El 17,8 % restante incluye ambas matrices en el mismo estudio, sedimento y ADL. Estos resultados permiten visualizar los menores esfuerzos realizados en la identificación de especies transportadas por sedimentos de lastre y el estudio de sus impactos. Una de las principales razones que determinaría este sesgo a favor del ADL sería las dificultades tanto para muestrear los sedimentos como para identificar especies en esta matriz. Cabe destacar que del

total de documentos analizados, un 22,2 % fueron publicaciones que abarcaban problemáticas generales de los impactos de las invasiones por medio del ADL y sedimentos, sin mención a los impactos específicos de especies particulares.

Los documentos analizados que cumplían con los criterios de la búsqueda bibliográfica además fueron clasificados de acuerdo al tipo de impactos que producen las especies exóticas en el lugar donde llegan a establecerse (Figura 8). Los trabajos que solo reportan los impactos ecológicos representaron el porcentaje más alto (33,3 %), seguidos por aquellos que solo reportan los impactos en la salud humana (22,2 %), o solo impactos sobre la economía (5,6 %). El resto de los trabajos (38,9 %) incluía información sobre más de un efecto, y aquellos que reportaban impactos ecológicos y económicos fueron los más representados (22,2 %).

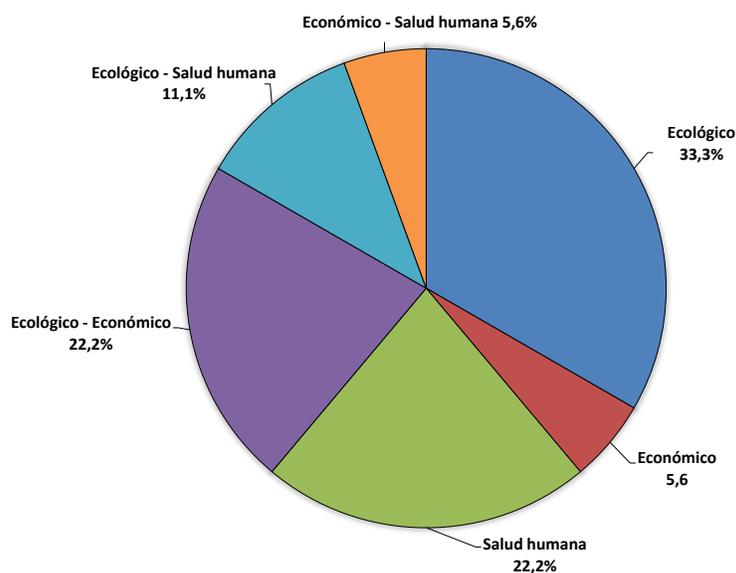


Figura 8. Distribución porcentual de los documentos analizados, clasificados de acuerdo al tipo de impacto producido por especies exóticas transportadas por agua y sedimento de lastre.

Los estudios analizados muestran que las especies exóticas transportadas por agua y sedimento de lastre, y con impactos medidos en la localidad receptora, abarcan un amplio rango de taxa (Figura 9). El grupo de las algas (agrupando macro y microalgas) fue el más representado con un 22,9 % del total de trabajos. Del total de trabajos, un 2,9 % está relacionado con dinoflagelados, los cuales son considerados un grupo importante por sus implicancias en mareas tóxicas o “mareas rojas”. Las algas se consideran uno de los grupos con mayor potencial de introducción e

invasión debido a su mayor resistencia para sobrevivir largo tiempo en el ADL de los estanques de las naves (Flagella et al. 2007).

Esta capacidad de sobrevivencia podría estar relacionada al particular ciclo de vida que presentan algunas de ellas, caracterizado por un estado de quiste o espora con gran resistencia a las condiciones ambientales. De esta forma, al momento que las naves deslastran y son liberadas, logran sobrevivir y adaptarse fácilmente al nuevo hábitat (Godwin 2003).

Un 2,9 % de los trabajos se enfocó en cianobacterias tales como *Microcystis aeruginosa*, que también pueden causar bloom algales nocivos. Un 54 % se enfocó en los invertebrados, particularmente en los crustáceos (e.g. *Carcinus maenas*, *Cercopagis pengoi*, *Daphnia magna*) con un 20%, los moluscos (e.g. *Mytilus galloprovincialis*, *Crepidula fornicata*, *Littorina littorea*) con un 20 %, equinodermos (e.g. *Asterias amurensis*) con un 8,6 % y cnidarios con un 5,7 % (e.g. *Anabaena circinalis*, *Nodularia spumigena*). Un 5,7 % de los trabajos correspondió a vertebrados, donde los peces (e.g. *Neogobius melanostomus*) fueron los únicos representados. Adicionalmente, el 11,4 % de los trabajos evaluó específicamente especies de bacterias que presentan alto riesgo para la salud humana (e.g. *Vibrio cholerae*, *Escherichia coli* y *Clostridium perfringens*) (Figura 9).

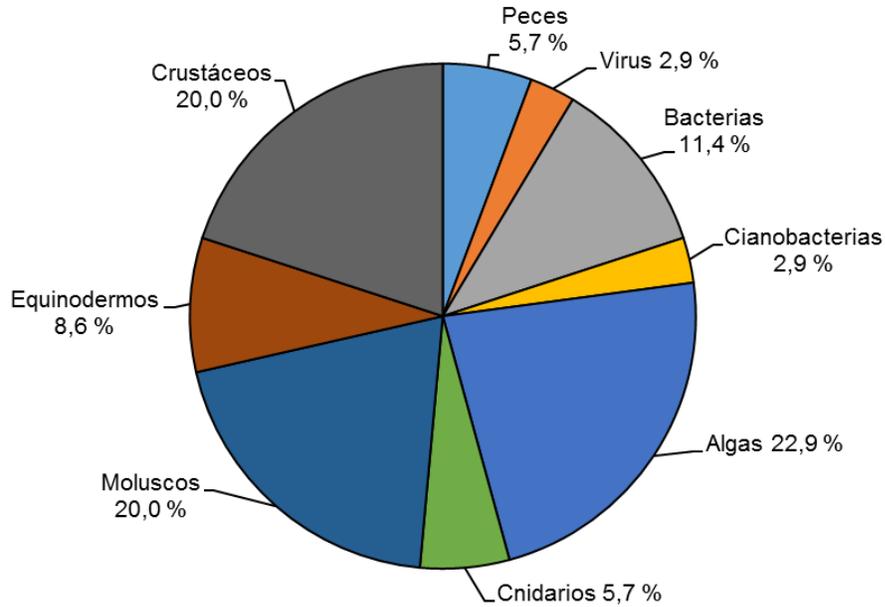


Figura 9. Porcentaje de los documentos analizados que evaluó el impacto de especies exóticas introducidas vía agua y sedimento de lastre, clasificadas por grupo taxonómico.

Al separar los documentos de acuerdo a la región de estudio (Figura 10), se observa que la mayor proporción de reportes de especies invasoras transportadas por agua y sedimentos de lastre, y la evaluación de sus impactos, proviene del continente Americano (48,1 %). El continente europeo alcanza el 31 %, seguido por el Oceánico con 12,4 % y el Asiático con 5,4 %. El continente Africano reporta la menor cantidad de estudios con un 3,1 % (Figura 10).

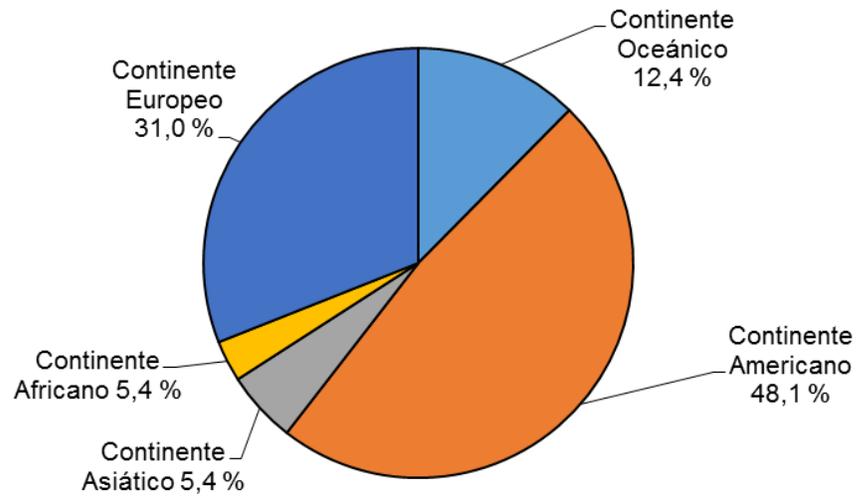


Figura 10. Porcentaje de documentos analizados, clasificados de acuerdo al continente donde se reporta la invasión y el impacto.

Dentro del continente Americano, América del Norte presentó la mayor cantidad de estudios reportados con un 80,6 %, seguida por América del Sur con 16,1 % y América central con 3,2 % (Figura 11).

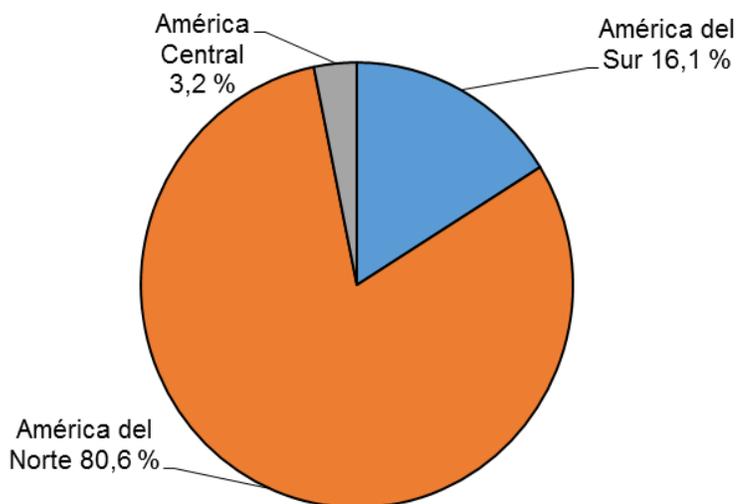


Figura 11. Porcentaje de documentos analizados, clasificados según la región donde se reporta la invasión y el impacto dentro del continente Americano.

La revisión evidencia que a pesar de que existe amplia información y conciencia a nivel mundial sobre los impactos producidos por especies exóticas transportadas por aguas y sedimentos de lastre, para América del Sur, y específicamente para Chile, hay pocos estudios e información relacionados a este tema.

Impactos asociados a la introducción de especies exóticas vía agua y sedimento de lastre

Impactos ecológicos

Como se mostró anteriormente, el mayor porcentaje de estudios de especies invasoras transportadas por aguas y sedimentos de lastre, y en donde se evalúan sus efectos, se enfocan principalmente en sus impactos ecológicos. Los impactos ecológicos usualmente son medidos en términos del riesgo de pérdida de biodiversidad nativa por efecto de las especies invasoras, estos impactos pueden gatillar efectos a nivel comunitario y ecosistémico (Figura 12). Por otro lado, la introducción de especies exóticas puede conducir a una homogenización de la biodiversidad, generando efectos a una mayor escala espacial.

Bax et al. (2003) indican que las especies invasoras y/o exóticas alcanzan densidades de 1000 s m⁻² (la cantidad de organismos que llegan por segundo en un metro cuadrado) llegando a dominar la flora y fauna nativa, como ha ocurrido en la bahía de San Francisco, EEUU. Así, los casos y ejemplos que describen los impactos de especies invasoras transportadas por ADL son variados. El ctenóforo *Mnemiopsis leidyi* produce fuertes impactos ecológicos afectando directamente las cadenas tróficas, ya que se alimenta masivamente del zooplancton nativo (González & Salamanca 2013). Muchas especies invasoras transportadas vía ADL muestran gran habilidad competitiva, desplazando y pudiendo extinguir localmente a especies nativas. Por ejemplo, algunos moluscos invasores como *Crepidula fornicata*, *Rapana venosa* y *Maoricolpus roseus* son considerados como excelentes competidores y con alta capacidad de dispersión, ocupando así el hábitat de especies nativas y desplazándolas competitivamente (Godwin 2003, Bax et al. 2003). La estrella de mar *Asterias amurensis*, invasora de la bahía de Port Philip en Australia, una vez establecida alcanzó un tamaño poblacional de más de 100 millones de individuos, cubriendo 1.500 km² de costa y desplazando especies nativas de la bahía (González & Salamanca 2013). Los crustáceos invasores *Cercopagis pengoi*, *Plagusia chabrus*, *Rhitropanopeus harrisi*, *Charybdi japonica* y *Carcinus maenas* son excelentes competidores, agresivos y con gran voracidad, lo que ha provocado la disminución de otros cangrejos y bivalvos autóctonos en los sitios invadidos (Bailey et al. 2003, Coutts & Dodgshun 2007, Briski et al. 2012). En particular, *C. maenas* produjo un colapso en la extracción y comercialización de especies de bivalvos en la costa este de América del Norte. Además, se ha reportado que es capaz de transportar dinoflagelados tóxicos enquistados o adosados en su caparazón (Bax et al. 2003).

Dentro del grupo de vertebrados, los peces invasores transportados por el ADL como *Neogobius melanostomus* han alterado la comunidad betónica y la dinámica de las especies nativas del mar Báltico y al Este de Europa (Nunes & Markanday 2008, Godwin 2003, Briski et al. 2011, 2012).

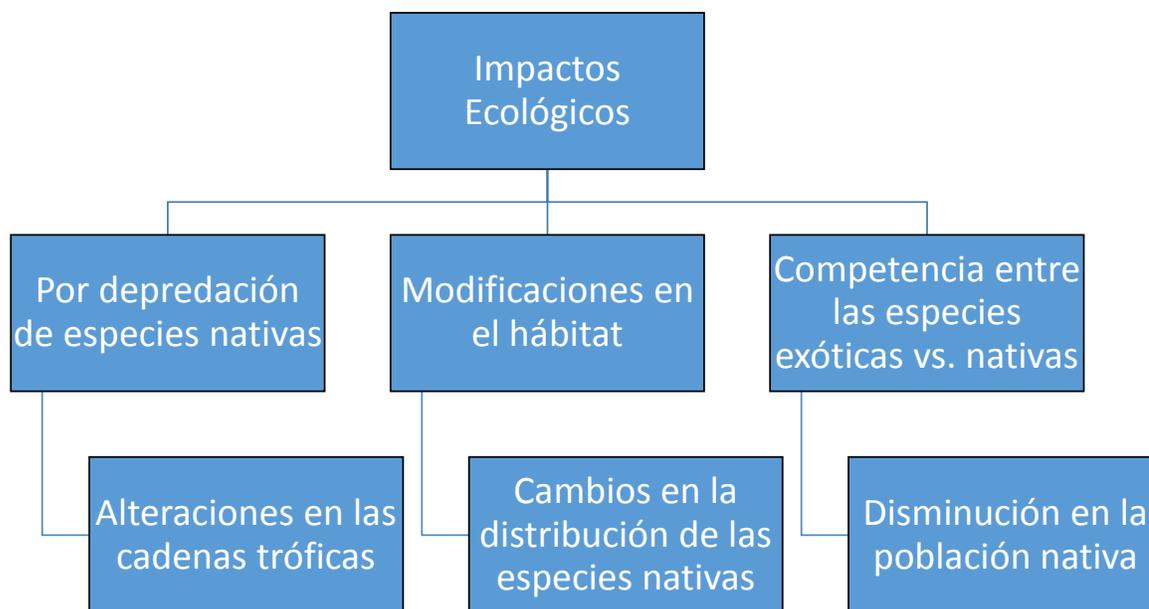


Figura 12. Esquema que resume los impactos ecológicos más importantes asociados a especies exóticas invasoras.

Impactos en la salud humana

Los microorganismos como virus, bacterias y dinoflagelados son predominantes en el mar así como en ríos y lagos (David et al. 2007). Estos pueden ser propagados o transportados por medio del ADL o en forma de quiste en los sedimentos de las naves (Dickman & Zhang 1999, Drake et al. 2002, David et al. 2007, Drake et al. 2007, Flagella et al. 2007). Al momento de llegar a un nuevo hábitat en el puerto de destino, y encontrando condiciones ambientales favorables, logran multiplicarse exponencialmente causando alteraciones e impactos en la salud humana (OMI 2011). Ejemplo de ello son las bacterias *Vibrio cholerae*, *Escherichia coli* y *Clostridium perfringens* que han sido transportadas desde el Golfo de México vía ADL a países como Italia, EEUU, Brasil, Colombia, Puerto Rico y Chile, infectando las aguas y sedimentos locales (Takahasi et al. 2007, Nunes & Markandy 2008, Gob & Pollet 2016).

Por otra parte, dinoflagelados como *Pfiesteria piscicida* y especies de los géneros *Gymnodinium* y *Alexandrium*, producen toxinas que podrían llegar a ser letales para el ser humano (Hallegraf 1998). Por ejemplo, *Gymnisinium aureolum* y *Alexandrium catenella* son dos de los varios responsables de los fenómenos de floraciones algales, conocidos comúnmente como “mareas rojas” en Chile (Avaria et al.1997). A través del transporte por ADL desde la costa occidental de

Suecia, estas dos especies de dinoflagelados han invadido la costa oriental de Estados Unidos así como las costas del Mar del Norte, Australia y Nueva Zelanda, produciendo floraciones microalgales en las zonas de introducción (González & Salamanca 2013).

En Chile, las floraciones de dinoflagelados pueden generar mortalidades masivas de peces en los cultivos, asfixiándolos por obturación mecánica de sus branquias o por reducción drástica del oxígeno disuelto en el agua (Avaria et al. 1999; Dickman & Zhang 1999). Además, a los organismos acuáticos filtradores que se alimentan de estas microalgas, incluyendo especies tan comunes como *Aulacomya atra*, *Mytilus chilensis*, *Choromitilus chorus*, *Ostrea chilensis*, *Crassostrea gigas*, *Argopecten purpuratus* y *Venus antiqua*, pueden bioacumular las toxinas y generar intoxicaciones en humanos a través de la ingesta de ejemplares contaminados con ellas (Avaria et al. 1999). Sus efectos sobre la salud humana pueden ir desde una simple molestia gastrointestinal hasta causar la muerte en pocos minutos dependiendo del tipo y concentración de toxinas consumidas (Figura 13). Si bien las floraciones de dinoflagelados son fenómenos naturales que pueden ser gatillados por una combinación de factores ambientales, el transporte de estas microalgas a través del agua y sedimento del lastre de las naves contribuye a la propagación de sustancias nocivas y tóxicas a nivel global, aumentando tanto la frecuencia, intensidad y distribución geográfica de las floraciones, como sus impactos ecológicos, económicos (acuicultura), y en la salud humana (Casas-Monroy et al. 2011).

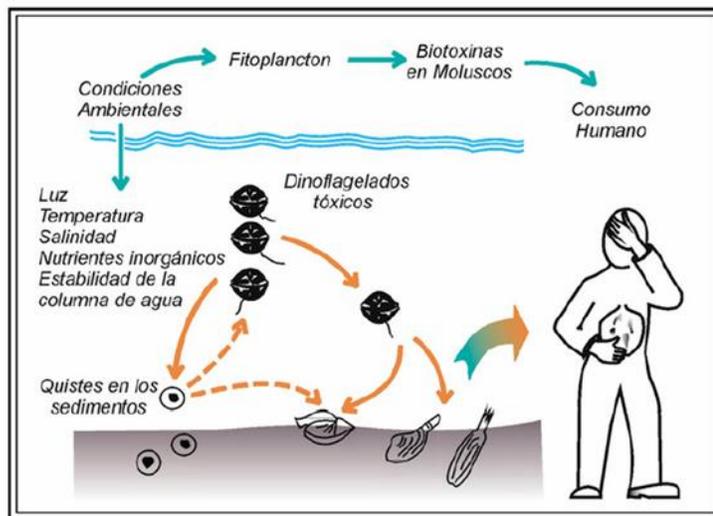


Figura 13. Procesos asociados a la Intoxicación derivada de floraciones de dinoflagelados filtrados por moluscos (extraído de Avaria et al. 1999).

Impactos socio-económicos

Las especies exóticas invasoras se consideran en general perjudiciales para la economía del país donde llegan a establecerse, pudiendo producir impactos negativos sobre las distintas actividades que se desarrollan en estos sistemas, tales como la acuicultura, pesca y turismo. Estimaciones realizadas por Pimentel et al. (2001) para 5 países, incluido EE.UU., y considerando todas las especies exóticas que los han invadido, indican un costo del impacto de aproximadamente US\$ 314.000 millones por año, en los cuales se incluyen los impactos directos sobre la actividad productiva y los costos en su manejo y erradicación. Al considerar solo especies acuáticas, la estimación para EEUU alcanza US\$ 1.000 millones anuales por efectos de peces introducidos, US\$ 2.130 millones anuales por artrópodos y US\$ 1.300 millones por moluscos invasores (Pimentel et al. 2001)

Entre las especies invasoras importantes a nivel mundial, que demostradamente fueron introducidas por el transporte en ADL, está el mitílido cebra *Dreissena polymorpha*. Esta especie es originaria del Mar Caspio y fue introducida a los Grandes Lagos en EEUU por medio del ADL. Su gran potencial reproductivo y capacidad de colonización han permitido su rápida expansión, afectando plantas de poder y de tratamiento de aguas, y generando fuertes impactos en las infraestructuras asociadas a las actividades de acuicultura, portuarias y recreativas (Lovell et al. 2006). Reportes del US Fisheries and Wildlife Service estiman un impacto económico de

aproximadamente US\$ 5.000 millones en un periodo de 10 años (1990-2000), los cuales también incluyen los costos para implementar medidas de manejo y erradicación de esta especie (Lovell et al. 2006). En este mismo contexto, la jaiba verde *Carcinus maenas* nativa de la zona noreste del océano Atlántico y el mar Báltico, ha invadido extensas zonas costeras del mundo a través del transporte por ADL, así como por otras vías. Algunas estimaciones de costo del impacto de esta especie en EEUU indican un valor aproximado de US \$ 44 millones (Licking 1999).

Otro ejemplo documentado es el ctenóforo *Mnemiopsis leidyi*, el cual arribó al Mar Negro a inicios de los 80 transportado en ADL de naves provenientes de la costa atlántica de Norte América (González & Salamanca 2013). Este organismo depreda fuertemente sobre el plancton en las zonas de invasión, contribuyendo al derrumbe de la industria pesquera local. Estimaciones indican que entre la década de los 80 y principios de los 90 se perdieron aproximadamente US\$ 1.000 millones en ingresos pesqueros debido al efecto de esta especie, presentando consecuencias económicas enormes para el sector de la alimentación (Godwin 2003). De la misma forma, la estrella de mar *Asterias amurensis* nativa de la costa norte de China, Corea, Rusia y Japón, fue introducida a través del ADL en el mar de Bering y Tasmania, causando pérdidas cercanas a los 370 millones de dólares en la industria de mitílidos y bivalvos en general, debido a la intensa depredación que ejerce sobre estos recursos (Nunes & Markandya 2008).

Otra variedad de problemas se asocia a los organismos patógenos o parásitos que pueden llegar a través del ADL transportados en sus huéspedes (e.g. peces), como es el caso del parasito *Myxobolus cerebralis* (Bouyssou 2011). No hay estimaciones directas del perjuicio económico de la invasión de esta especie, pero su introducción en cultivos de peces puede producir grandes daños en la industria de los salmones y truchas, impactando drásticamente la venta y comercialización de estos recursos (Torchin et al. 2002).

Las especies de algas exóticas también reportan grandes perjuicios económicos a los países invadidos. Por ejemplo especies de algas invasoras provenientes desde Asia como *Caulerpa taxifolia*, *Posidonia oceanica* y *Laminaria asiatica* producen impactos ecológicos y económicos negativos en las áreas de introducción, invadiendo sectores de alimentación de peces así como zonas e infraestructura destinada a la acuicultura, generando un gran costo económico en su manejo y erradicación (Garcias & Delgado 2009).

Sin embargo, también es necesario indicar que en algunos casos la introducción de una determinada especie puede traer beneficios económicos para la economía local. El caso más común es el de la introducción intencionada de especies para acuicultura. En cuanto a especies

introducidas involuntariamente por medio de aguas y sedimentos de lastre, también se cuentan algunos casos. Por ejemplo, la macroalga *Undaria pinnatifida* puede llegar a producir impactos positivos en los países invadidos, ya que es utilizada con fines cosméticos y/o para el consumo gastronómico (Flagella et al. 2007). Sin embargo, no es claro si los beneficios producidos en estos casos podrían compensar los costos que conlleva a mediano y largo plazo la introducción e invasión de una especie exótica.

SÍNTESIS DE LA INFORMACIÓN SOBRE ENFOQUES Y METODOLOGÍAS

Introducción de especies vía agua de lastre (ADL)

La introducción de especies es el desplazamiento de una especie o propágulo fuera de su rango natural (actual o pasado) de distribución geográfica, provocado por el ser humano (UICN 2009). La introducción puede ocurrir en forma activa (intencional) o pasiva (no intencional) (Bañón 2012), y potencialmente puede causar diversos impactos negativos sobre la biodiversidad a nivel de genes, especies o ecosistemas (e.g., Grosholz 2002, Breithaupt 2003).

Si bien en los ambientes terrestres la introducción activa ha sido un fenómeno común a través de la historia, en los ambientes marinos la introducción pasiva asociada a la navegación comercial en épocas más recientes ha adquirido una importancia crucial (Jaksic & Castro 2014), representando cerca del 80 % de los casos documentados (Molnar et al. 2008), donde el agua de lastre, los cascos de las naves y la acuicultura son los vectores más importantes (Thresher & Kuris 2004).

El agua de lastre (en adelante ADL) es agua cargada directamente por las naves desde un cuerpo acuático (usualmente oceánico, pero también puede ser fluvial o estuarino), que es almacenada en un sistema de estanques para controlar su asiento, escora, calado, estabilidad y esfuerzos (OMI 2004). Debido a su fácil obtención, el ADL ha reemplazado al lastre sólido que era utilizado hasta mediados del siglo 20, y actualmente las naves mercantes manejan grandes cantidades de ADL a bordo, que pueden albergar numerosas especies transportadas de manera pasiva a grandes distancias (Seebens et al. 2013). De hecho en algunos casos el ADL transportado puede alcanzar un peso mayor a 130.000 toneladas (Ruiz et al. 1997), y se estima que cada año las naves transfieren entre 3 y 5 millones de toneladas de ADL en todo el mundo, pudiendo trasladar cerca de 10.000 especies por día, de las cuales un 3 % podría llegar a establecerse en el lugar de destino (Carlton 1999).

En este contexto, debe considerarse que tanto en Chile como a nivel mundial cerca del 90 % del intercambio comercial se realiza por vía marítima (MOPTT 2005), por lo cual el fuerte crecimiento de la flota mercante mundial se asocia a un aumento en el número de naves que recalán en los puertos, y con ello, al aumento potencial en el número de especies exóticas que podrían invadir (Bax et al. 2003). Dado que la descarga de ADL en los puertos se constituye en el mayor vector de introducción marina en el mundo, la manera más efectiva de abordar las invasiones es prevenirlas en lugar de manejarlas una vez que han ocurrido (Rilov & Crooks 2009). En consecuencia se han propuesto diversos métodos para minimizar la introducción de especies,

comenzando por evaluar el grado de amenaza al que se exponen los puertos (Anil et al. 2004) para posteriormente aplicar planes de monitoreo y fiscalización adecuados (Alexandrov et al. 2004).

A través del “Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y sedimentos de las naves” promovido por la Organización Marítima Internacional (OMI), se establecieron las bases protocolares que pueden adoptar los países para minimizar el riesgo de introducción de especies exóticas vía ADL (OMI 2004). Sin embargo, algunos países como Colombia y Australia han generado sus propias normativas para minimizar el riesgo de introducción, basándose en las características particulares del tráfico marítimo presente en sus puertos (Martínez et al. 2015, DAWR 2017).

Antes de generar medidas que regulen la introducción de especies vía ADL, la OMI propone evaluar el riesgo al que están expuestas las costas de recibir especies exóticas y potencialmente invasoras, identificando a los puertos como “puertas de ingreso” (Clarke et al. 2004). En este marco, la OMI identifica algunos elementos necesarios para evaluar el riesgo de introducción al que está expuesto un puerto, tales como la frecuencia de llegada de naves, la cantidad de ADL que se descarga, el número de especies invasoras registradas en el área geográfica donde se ubica el último puerto de zarpe de cada nave, y la similitud ambiental entre el puerto receptor y el puerto donante (Clarke et al. 2004, Mallman & Asmus 2006).

Dado que el volumen de ADL a descargar es función del tamaño y las características de los naves, la actividad comercial predominante en puertos específicos es uno de los principales factores que determinan el tipo y el origen geográfico de los naves que recalán en ellos (Verling et al. 2005, MOP 2009, Umaña 2015). También se ha descrito que a medida que aumenta el tiempo de permanencia del agua en los tanques de ADL, disminuye la probabilidad de sobrevivencia de los organismos transportados (Clarke et al. 2003, Henríquez 2014). De lo anterior es posible inferir que el éxito de introducción de especies exóticas en los puertos depende de la interacción entre al menos los siguientes factores: (i) frecuencia de arribo de naves, (ii) tipo de naves, (iii) volumen de ADL descargado, (iv) ubicación geográfica del lugar donde fue cargada el ADL, y (v) tiempo de residencia del ADL en los estanques.

En este marco, los enfoques metodológicos aplicados históricamente para abordar el riesgo de la introducción en las costas han sido variados, y en algunos casos incluso divergentes. Una perspectiva tradicional que ha sido predominante en el pasado es enfocarse en especies particulares, considerando la evaluación de dos grandes grupos de factores ecológicos que

umentan la probabilidad de éxito de la introducción: (i) que la especie posea rasgos biológicos favorables tales como alta habilidad competitiva, alta fecundidad, rápida reproducción, corto tiempo generacional, o gran amplitud de nicho; y (ii) que el ambiente receptor posea características favorables para el potencial invasor, como parámetros abióticos compatibles, ausencia de enemigos naturales, presencia de facilitadores, o disponibilidad de hábitats apropiados (Carlton 1996, 2001, Hutchings et al. 2002, Stachowicz et al. 2002, Colautti & MacIsaac 2004, Jaksic & Castro 2014). Si bien este enfoque es apropiado en evaluaciones de riesgo centradas en una o pocas especies, requiere analizar un alto número de variables cuya evaluación es compleja y demanda gran cantidad de tiempo, esfuerzo y recursos. Por ello, pese a su importancia teórica un enfoque especie-específico resulta impracticable si el análisis de riesgo debe involucrar simultáneamente una gran cantidad de especies, lugares o vectores (Williams et al. 2013, Jaksic & Castro 2014).

Además, el enfoque especie-específico tampoco considera otro factor clave como es la presión de propágulos (Simberloff 2009). En el ambiente marino, el ADL es uno de los principales factores en la presión de propágulos, que es función de la tasa de llegada de propágulos (asociada a la frecuencia de llegada de naves), y la intensidad de la exposición en cada evento de llegada, la cual se asocia a su vez a la abundancia de organismos liberados en el cuerpo de agua receptor (Lockwood et al. 2005, Johnston et al. 2009). Sin embargo la evaluación empírica de estos dos componentes es compleja y exhaustiva, y en la mayoría de los casos sólo puede ser abordada indirectamente y en forma limitada (Williams et al. 2013).

Por otra parte, la estrategia a adoptar depende en gran medida del tipo de ambiente, y debe considerarse que en general las islas oceánicas y hábitats insulares han demostrado ser los ambientes más vulnerables (Davis et al. 2011, Jaksic & Castro 2014), y ameritan una preocupación especial. Es probable que en algunas islas oceánicas el enfoque especie-específico pueda ser apropiado si la frecuencia y el origen geográfico del tráfico naviero son acotados, pero en la actualidad el enfoque multi-específico parece ser el más indicado en el caso de los ambientes marinos y particularmente en los puertos.

Metodologías para evaluar el riesgo de introducción

En los últimos 15 años se han propuesto nuevos enfoques y metodologías de análisis para evaluar el grado de amenaza al que está expuesto un puerto, considerando conjuntos de variables que pueden determinar el éxito de introducción (Clarke et al. 2004, Carlton 1996, Lookwood et al.

2005). Estos métodos pueden clasificarse en cuatro categorías principales (Anil et al. 2004, Awad et al. 2004):

- (1) Cualitativos: un ejemplo de estos métodos son los aplicados en varios países nórdicos, los que se basan en la correspondencia ambiental entre las localidades donantes y las localidades fuentes, además de considerar listados de especies con algún grado de peligrosidad, lo cual permite identificar las rutas que constituyen un alto riesgo para una localidad (Gollasch & Leppakoski 1999).
- (2) Cuantitativos: estos métodos se aplican actualmente en países como Australia y Noruega. Uno de ellos se basa en modelos cuyo objetivo es identificar rutas de bajo riesgo, y que reconocen cuatro etapas en el proceso de invasión biológica: (i) fuente de infección, (ii) infección por naves, (iii) supervivencia al viaje, y (iv) supervivencia en el puerto receptor luego de ser introducido (Hewitt & Martin 1996). Otro método utiliza un enfoque similar al australiano, pero incorpora un análisis de similitud ambiental entre localidades donantes y receptoras (Behrens et al. 2002, Haugom et al. 2002).
- (3) Semi cuantitativos: a esta categoría pertenecen los modelos derivados del programa GloBallast (Global Ballast Water Management Programme) desarrollado por la OMI (GBWMP 2003). Esta metodología requiere identificar los últimos puertos de zarpe de las naves como donantes de ADL para un puerto receptor, las especies que habitan en las bio-regiones marinas (definidas en una clasificación biogeográfica propuesta por Kelleher et al. 1995) donde se localizan los últimos puertos de zarpe, el grado de similitud ambiental entre el puerto donante y el puerto receptor a través de un análisis de similitud que utiliza 34 variables ambientales, y en la magnitud de la inoculación de organismos expresada en el número de estanques descargados y en los volúmenes deslastrados desde el puerto donante (Clarke et al. 2003, GBWMP 2003, Alexandrov et al. 2004, Anil et al. 2004, Awad et al. 2004).
- (4) Mixtos: más que un tipo diferente de modelos, esta cuarta categoría incluye posibles combinaciones de factores y variables considerados en las categorías anteriores.

Los modelos semi cuantitativos basados en las metodologías de GloBallast han cobrado mayor importancia en los años recientes (Alexandrov et al. 2003, GBWMP 2003), y si bien aplican un enfoque multi-específico, también se caracterizan por su enfoque vector-específico, centrado únicamente en el ADL. Por ello estos modelos son necesariamente incompletos al no considerar otros vectores relevantes, tales como el biofouling asociado a las superficies colonizables de las naves, que en otras regiones ha mostrado ser un facilitador incluso más efectivo (y por tanto más

riesgoso) que el ADL (Davidson et al. 2009, Williams et al. 2013). Sin embargo, los datos y recursos disponibles en Chile son aún insuficientes para considerar análisis que integren múltiples vectores (así como grandes conjuntos de especies).

Dado el marco vector-específico (ADL) requerido por las bases técnicas para el presente proyecto, se utilizó un modelo de evaluación de riesgo semi cuantitativo adaptado de las metodologías GloBallast, pero teniendo en cuenta que los eventuales resultados serán inevitablemente parciales, y constituirán un insumo necesario pero no suficiente para una estrategia de alta efectividad en la prevención de la introducción de especies exóticas y/o perjudiciales.

El modelo GloBallast

El modelo base de GloBallast (GBWMP 2003, Alexandrov et al. 2003) se enfoca en el cálculo de un coeficiente de riesgo global relativo (ROR: Relative Overall Risk), el cual debe ser estimado para cada uno de los puertos que donan ADL a un puerto receptor en función de un conjunto de coeficientes parciales C y R (todos con valor mínimo = 0 y máximo = 1). Este modelo adopta la siguiente forma:

$$\text{ROR} = [C1 + (C2 * R1) + C3 + (C4 * R2)] / 4$$

Los coeficientes C son factores que inciden directamente en el riesgo de introducción de especies vía ADL y buscan representar los componentes de la presión de propágulos a la que está sometido el puerto receptor (Lockwood et al. 2005, Johnston et al. 2009, Simberloff 2009), mientras los coeficientes R son factores que reducen el riesgo. El ROR representa la contribución de un puerto donante particular a un puerto receptor, enfocada en los estanques de ADL de las naves y no en las naves mismas.

En este contexto, conceptualmente los coeficientes C son *proxís* que intentan estimar la frecuencia de las inoculaciones de organismos (C1), el tamaño de dichas inoculaciones (C2), la probabilidad de sobrevivencia de los organismos inoculados (C3), y el grado relativo de amenaza biológica representada por los organismos en cada inoculación (C4).

Por su parte los coeficientes R describen el efecto tanto del volumen de ADL descargado (R1) como del tiempo de almacenamiento del ADL en los estanques (R2) sobre la probabilidad de sobrevivencia de los organismos (Anil et al. 2004, Awad et al. 2004). Las definiciones cualitativas y cuantitativas de cada uno de estos coeficientes, la forma en que se articulan en el modelo para

generar el ROR, y los criterios cualitativos y cuantitativos involucrados en la aplicación del ROR, se describen en detalle en la sección Metodología del presente Informe.

Para adecuar el enfoque GloBallast al contexto nacional, se consideraron modificaciones al modelo tanto de carácter práctico (para aumentar su aplicabilidad) como teórico (para fortalecer su base científica-biológica), incluyendo: (i) la identificación e incorporación al modelo de los lugares reales de carga de ADL que luego es descargada efectivamente en los puertos, en lugar de utilizar los últimos puertos de zarpe de las naves donde con frecuencia no se carga ADL; (ii) la vinculación de cada lugar de carga a una ecorregión marina, usando la clasificación biogeográfica MEOW de Spalding et al. (2007) en lugar de la clasificación original de bio-regiones originales (poco accesible y no actualizada); (iii) la identificación e incorporación al modelo de todas las especies riesgosas (con impactos negativos documentados) encontradas en cada ecorregión marina desde donde se cargó ADL que fue descargada en Chile, a partir de una base de datos internacional (Molnar et al. 2008) adaptada y complementada por el proyecto; y (iv) la aplicación de un análisis de similitud puerto donante - puerto receptor basada en una selección de 7 variables ambientales de alta incidencia biológica en la supervivencia de los organismos inoculados, en lugar de las 34 variables indicadas por GloBallast (pertinentes pero de difícil obtención).

Estas modificaciones conservan la conceptualización y los procedimientos básicos del modelo GloBallast, pero además lo enfocan exclusivamente en especies que representan un riesgo real para las costas de Chile. Considerando que ningún modelo puede incluir a todas las especies del planeta que podrían constituir amenazas potenciales, el enfoque adoptado necesariamente tiene limitaciones, pero provee una base sólida tanto para evaluar por primera vez el riesgo potencial de introducción vía ADL, como para optimizar el desarrollo de este tipo de evaluaciones a futuro.

MUESTREO PILOTO DE AGUA Y SEDIMENTOS DE LASTRE

EQUIPO DE TRABAJO

Se realizó el muestreo piloto en los puertos de Valparaíso, San Vicente y Pto. Montt-Calbuco. Para ello se contó con equipos de muestreo en terreno que estuvo formado siempre por tres profesionales Biólogos Marinos, que contaron con capacitación pertinente de seguridad (código I.S.P.S.), desempeño en los recintos portuarios, y abordaje de naves (Curso básico de seguridad en faenas portuarias - 60 horas, Concepción; actividades específicas de inducción requeridas por la Capitanía de Puerto de San Vicente, el Puerto de San Vicente, y las terminales TCVAL y TPS en el Puerto de Valparaíso).

Tanto el número como la formación profesional de los integrantes del equipo respondieron a la necesidad de cubrir adecuadamente las funciones y tareas demandadas por el muestreo a bordo y por el procesamiento y manejo posterior de las muestras, y de contar con las capacidades pertinentes para abordar las eventuales decisiones y contingencias de tipo metodológico o científico que pudieran surgir en el desarrollo de las actividades.

En todos los casos el muestreo de una nave procedió únicamente después de que el personal de la Armada gestionara y recibiera una autorización formal de la agencia naviera para efectuarlo. Además, el equipo de muestreadores del proyecto fue acompañado por personal designado de la respectiva Gobernación Marítima o Capitanía de Puerto (incluyendo generalmente al Encargado de Medio Ambiente), con la función de gestionar el ingreso a los terminales portuarios y a bordo de las naves, representar a la Autoridad Marítima y acompañar al equipo de muestreo en sus labores.

Los procedimientos y la logística para ejecutar cada muestreo, desde la selección de la nave, pasando por todas las fases del muestreo mismo, hasta el despacho y almacenamiento de las muestras obtenidas, fueron consignados en una serie de protocolos los que fueron seguidos paso a paso por el equipo de muestreo del proyecto. El protocolo general seguido en cada muestreo se indica en la Tabla 13, por lo cual las secciones siguientes omiten algunos detalles específicos que pueden ser consultados en la tabla.

Tabla 13.
Protocolos para el muestreo.

Programación del muestreo

1. Contactar al Encargado de Medio Ambiente (DIRECTEMAR) de la Gobernación Marítima o Capitanía de Puerto para solicitar el calendario de arribo de naves al puerto.
2. Proponer al Encargado de Medio Ambiente un programa con el día y hora de cada muestreo, y solicitar su gestión para coordinar las autorizaciones respectivas con las agencias navieras que corresponda.
3. Identificar el terminal de arribo de la nave, y determinar si su ubicación (distancia) respecto del lugar de acceso al puerto permite el desplazamiento a pie, o requiere disponer de vehículo para movilizarse dentro del recinto portuario (vehículo particular disponiendo de baliza o vehículo de la Capitanía de Puerto).
4. Confirmar la realización del muestreo con el Encargado de Medio Ambiente.

Preparación del muestreo

1. Reunir los materiales y equipos para el muestreo y verificar su disponibilidad usando una lista de chequeo.
2. Organizar la distribución y transporte de los materiales/equipos de muestreo en los medios o contenedores correspondientes.
3. Retirar en el laboratorio de análisis los contenedores esterilizados (frascos para agua y bolsas para sedimento) donde se coleccionarán las muestras para análisis microbiológico.
4. Ratificar la realización del muestreo con el Encargado de Medio Ambiente de la Capitanía de Puerto.
5. Coordinar la disponibilidad de un vehículo para movilizarse (i) entre la universidad, la Capitanía de Puerto y el acceso al puerto (según corresponda en cada puerto), y (ii) dentro del recinto portuario cuando se requiera.

Ejecución del muestreo

1. El equipo de muestreadores se presenta en la Capitanía de Puerto portando cédula de identidad y pase portuario, así como vestimenta de seguridad estándar.
2. Una vez en el lugar se contacta al Encargado de Medio Ambiente, quien notifica a la Capitanía de Puerto que se accederá a la nave al cual se otorgó permiso para abordar, y designa al personal que acompañará al equipo en la realización del muestreo.
3. El equipo del proyecto (junto a los representantes de la Autoridad Marítima) se dirige a la entrada del puerto, se registra si la guardia del puerto así lo requiere, y se dirige al sitio en que esté atracado la nave.
4. El equipo aborda la nave a través de la escalera real, registra sus datos personales y afiliación institucional, y luego solicita hablar con el capitán o con el encargado de la nave en ese momento (generalmente el segundo o tercer oficial).
5. El equipo explica los objetivos de la investigación y las actividades a desarrollar al encargado de la nave, y solicita su autorización para ejecutar el muestreo.
6. Una vez otorgado el permiso, el equipo solicita acceso a los informes y plan de manejo de ADL de la nave para evaluar los estanques de ADL pertinentes para muestrear, y define una opción en función de lo que indique el encargado de la nave.

7. Una vez definido el estanque de ADL, el equipo consulta por los accesos disponibles y plantea como primera opción la apertura de la escotilla. En caso de que el acceso no sea autorizado o no sea factible, se solicitar acceder mediante el tubo de sondeo.

Obtención de ADL

1. En función del tipo de acceso autorizado para la obtención del ADL, el equipo determina el equipamiento a usar y los accesorios de seguridad que correspondan. En todos los casos los muestreadores se equipan con doble guante de látex y cubre calzado para prevenir una eventual contaminación procedente del ADL. En caso de riesgo por gases se utiliza máscara para gases 3M 6200 con filtro para partículas 3M 2097, u otros accesorios según requerimiento (e.g., sensor de oxígeno).
2. El equipo procede a obtener ADL usando el equipamiento y los procedimientos que correspondan en función del tipo y condiciones de acceso al estanque.
3. El equipo colecta las muestras para análisis microbiológico de acuerdo a los protocolos establecidos (véase más abajo).
4. En paralelo a la obtención de muestras de ADL el equipo separa un volumen conocido de agua, mide los parámetros físico-químicos requeridos con una sonda multiparamétrica (pH, potencial redox, salinidad, temperatura, oxígeno disuelto), y registrar los valores en la planilla de muestreo. a introducir el instrumento por la entrada del estanque y a sacar el agua del interior de este.
5. Al completar la obtención de las muestras el equipo notifica al encargado de la nave la finalización del muestreo.

Protocolo para muestras microbiológicas (*E. coli*, enterococos, *Vibrio cholerae*)

1. Utilizar envases autoclavados (frascos estándar para agua y bolsas para sedimento) entregados previamente por el laboratorio de análisis y mantenidos en lugar fresco y seco antes de su transporte.
2. Trasladar los envases estériles en contenedor térmico (cooler), y al momento del muestreo destaparlos solo para introducir la muestra sin ceparlos, sin llenarlos a tope (dejando espacios para homogeneizar la muestra), y evitando tocar el gollete y la tapa.
3. Tapar los envases, rotularlos y guardarlos en contenedor térmico inmediatamente después de agregar la muestra, manteniéndolos luego a 4 °C.
4. Entregar las muestras al laboratorio antes de 24 horas desde su colecta.

Protocolo para la obtención de las muestras de plancton

1. Obtener un mínimo de 20 litros de ADL para su procesamiento en el lugar que corresponda (recinto portuario, Laboratorio 17 Facultad de Ciencias UCSC u otro).
2. Para obtener la muestra de zooplancton, filtrar 10 litros de ADL en un tamiz de 45 μ , y luego concentrar los restos sólidos que queden en el tamiz en 100 ml de agua de mar.
3. Repetir punto 2.
4. Obtener 2 muestras concentradas de 100 ml cada una, y aplicarles la tinción de Rojo Neutro (agregar 1 ml de Rojo Neutro, y luego de 1 hora agregar 1 ml de formalina).
5. Para obtener la muestra de fitoplancton, utilizar los mismos 20 litros ya filtrados para filtrarlos en un tamiz de 25 μ m.
6. Obtener 3 muestras de 100 ml, fijar 2 de ellas con Lugol (agregando 5 ml) y cubrirlas con papel aluminio, y aplicar a la tercera la tinción de Rojo Neutro

ACCESO AL ADL Y EQUIPAMIENTO DE MUESTREO

Los accesos al ADL almacenada en los estanques de las naves son muy restringidos, y hay dos alternativas que son las más comunes, o con frecuencia las únicas disponibles.

La primera opción, y la óptima para colectar todo el volumen requerido en el menor tiempo posible, es ingresar al estanque a través de una escotilla que está fuertemente asegurada, usualmente por un sistema de pernos. Sin embargo la apertura de la escotilla no siempre es autorizada porque (i) compromete el tiempo de la tripulación, (ii) puede interferir en las faenas realizadas en cubierta, y (iii) además puede implicar diversos riesgos de seguridad para quienes ingresan (e.g., acumulación de gases tóxicos o inflamables, baja concentración de oxígeno, estructuras peligrosas). Si se autoriza la apertura, dependiendo de los riesgos, el diseño de cada estanque y el espacio de maniobra en su interior, los muestreadores pueden ya sea llegar directamente hasta el ADL, o muestrear desde la cubierta usando bombas o haciendo descender dispositivos de muestreo (botellas, redes de plancton, etc.).

La segunda opción, claramente sub-óptima, consiste en colectar ADL a través de un tubo de sondeo de lastre (“sounding pipe”) conectado al estanque, cuya apertura se ubica en la cubierta. El diámetro de este tubo varía entre las naves pero es muy reducido (con un lumen que normalmente oscila entre 2,5 y 4,5 cm, rara vez superando los 5-6 cm), por lo cual los dispositivos de muestreo tienen diámetros pequeños y suelen ser de dos tipos: (i) botellas de muestreo tubulares (alargadas para maximizar el volumen a colectar), que en algunas naves no logran descender hasta el ADL porque el tubo de sondeo pueden tener curvaturas en sus secciones inferiores; (ii) bombas manuales con mangueras que deben resistir altas presiones, ya que el ADL dentro del estanque puede estar a gran profundidad (en ocasiones cerca de 30 m o más). Por lo anterior, al usar estos dispositivos la obtención del volumen requerido de ADL puede tomar un tiempo considerable.

Adicionalmente, el equipamiento de muestreo debe considerar los parámetros de seguridad exigidos por el puerto, e idealmente sus partes y componentes deben minimizar los riesgos de producir estática o chispas al momento de utilizarlos.

Para efectos de este proyecto, dada la necesidad de contar con materiales adecuados para colectar ADL (no disponibles comercialmente), se diseñaron y confeccionaron dispositivos de muestreo *ad hoc* a fin de poder enfrentar las distintas opciones encontradas en las naves (se

fabricaron varias unidades a fin de mantener siempre 3 sets completos a los que se agregaban reposiciones a través del tiempo). Estos equipos fueron (Figura 14):

- bombas manuales fabricadas con PVC, de 29.8 cm de largo, 10 cm de diámetro y 2340 cm³ de capacidad, conectadas a mangueras de 25 m de largo y 1,6 cm de diámetro máximo (1,3 cm de lumen), para obtener ADL a través del tubo de sondeo.
- botellas de muestreo fabricadas con PVC y de distintas dimensiones: (i) 2.5 cm de diámetro y 70.6 cm de largo, con 346 cm³ de capacidad; (ii) 4 cm de diámetro y 70,6 cm de largo, con 887 cm³ de capacidad; (iii) 5.1 cm de diámetro y 70.6 cm de largo, con 1444 cm³ de capacidad. El extremo anterior de cada botella incluyó un sistema de cierre para retener el agua al que se adicionó una protección contra golpes, y al extremo posterior se fijó un gancho para conectar una cuerda de 20 metros y graduada en metros para estimar la profundidad de muestreo.
- redes de plancton de 100 cm de largo, 30 cm de diámetro, y malla de 25 µm, diseñadas originalmente para el caso en que se brindara acceso al proyecto a la sala de bombas de la nave y poder muestrear grandes volúmenes de agua a través de un *bypass*; adicionalmente se fabricaron tamices de 25 µm y 45 µm para el trabajo con muestras de fitoplancton y zooplancton.

Este equipamiento fue transportado por el equipo del proyecto en cada muestreo, junto con otros medios comunes de colecta o almacenamiento de agua (bidones, baldes) y una caja de herramientas, a fin de estar preparado ante eventualidades.



Figura 14. Bomba manual A1 y A2, manguera A3, botellas de diferentes tamaños B1, sistemas de cierre asociados a las botellas B2, B3 y B4.

MUESTREO EN EL PUERTO

Para la toma de muestras de la columna de agua de cada puerto muestreado, se utilizó una embarcación dispuesta por la armada (zodiac o lancha), la cual trasladó al personal de terreno por mar hasta el lugar más cercano, donde recalán las naves y/o donde realizan frecuentemente las descargas de ADL.

Desde la embarcación, se lanzó una draga Ekman de volumen total 36884 cm³ para extraer sedimento del fondo marino del puerto (solo se utiliza en fondos blandos), la cual variaba en profundidad dependiendo del puerto de muestreo. La muestra de sedimento fue depositada en bolsas autoclavadas las cuales fueron entregadas por el laboratorio CESMEC. Luego, se extrajo agua entre los 0,5-1 metro de profundidad, la que fue almacenada en envases autoclavados para la realización de los análisis microbiológicos. Al agua de mar se le realizaron mediciones de multiparámetros físico-químicos mediante equipo especializado.

Posteriormente, se retiró el personal técnico y se movilizó hasta el laboratorio certificado para dejar los envases con las muestras para análisis microbiológico. Finalmente, en las instalaciones correspondientes (puerto o laboratorios de universidad) se realizó el filtrado del agua del bidón y se aplicaron los mismos procedimientos de filtrado que para el caso de las muestras de naves (ver en la sección siguiente).

MUESTREO EN LAS NAVES

Cada muestreo se realizó en una nave recalada en el puerto, accediendo a ella por medio de su escalera real con objeto de que el equipo de muestreo (portando todo el equipamiento) pudiera abordarla en condiciones apropiadas de seguridad. Una vez a bordo se procedió a efectuar el muestreo en función del tipo y condiciones de acceso al ADL encontradas en cada nave particular, siguiendo los protocolos indicados en la Tabla 13 y obteniendo las muestras de acuerdo a las modalidades indicadas en la sección anterior.

Siguiendo el protocolo indicado en la Tabla 13, se registraron los siguientes parámetros físico-químicos usando sondas multiparamétrica: temperatura, potencial redox, pH, salinidad, conductividad y oxígeno disuelto. En algunas ocasiones se utilizó una sonda (HANNA HI98195) disponible en la Capitanía de Puerto respectiva para estos efectos y operada por el Encargado de Medio Ambiente, y en otras, o en forma complementaria, se utilizaron sondas portadas por el equipo del proyecto (HANNA, modelos HI98193, HI98191 y HI98195).

Las muestras de ADL para análisis microbiológicos incluyeron 5 réplicas (en envases esterilizados de 1 litro) destinadas a la detección de *Vibrio cholerae*, y 5 réplicas (envases esterilizados de 0,5 litros) a la detección y recuento de enterococos, *Escherichia coli* y bacterias totales, limitando la exposición de los envases para no contaminar las muestras (véase también Tabla 13)

Las primeras muestras obtenidas fueron enviadas para análisis al centro CREA-UCSC, pero debido a que su laboratorio no estaba certificado para detectar *Vibrio cholerae*, en adelante todas las muestras posteriores fueron enviadas al laboratorio certificado CESMEC.

Las muestras de ADL filtradas para el examen de organismos planctónicos (de acuerdo a lo indicado en la Tabla 13) fueron analizadas en la Facultad de Ciencias UCSC, para determinar la abundancia y composición taxonómica de los organismos encontrados.

ANÁLISIS DE ORGANISMOS PLANCTÓNICOS

La identificación taxonómica de los organismos fitoplanctónicos se realizó en 12 muestras provenientes de estanques de ADL de 12 naves de los tres puertos de estudio, además de 4 muestras correspondientes a los distintos puertos (Valparaíso, San Vicente, Calbuco y Puerto Montt). Dichas muestras incluyen todas las que han sido analizadas completamente hasta la fecha, existiendo algunas muestras adicionales cuyos resultados serán incorporados en el informe final del proyecto.

Para el análisis se utilizó el método de Utermohl (Villafañe & Reid 1995), que consiste en la fijación de las muestras con el reactivo Lugol, cuyo objetivo es darle peso a las células al estar compuesto principalmente de yodo. Se aplicaron aproximadamente 20 gotas.

Luego se utilizó una cámara de sedimentación de 50 ml con el objetivo de facilitar la decantación de las células, dejándose sedimentar por al menos 15 horas. Pasado este tiempo se procedió a revisar la muestra en un microscopio invertido Nikon Eclipse T5100. La identificación se basó en Cupp (1943), Avaria (1965), Tomas (1997), Vivanco & Seguel (2009) y Algaebase (2018) y los organismos fueron determinados al nivel taxonómico más bajo posible.

Para determinar indirectamente la viabilidad de los organismos encontrados en las muestras de naves, se utilizó la Técnica de Rojo Neutro, que consiste en aplicar a las muestras un colorante que afecta diferencialmente a los organismos, tiñendo de color rojo a aquellos que estaban vivos al momento de tomar la muestra, y dejando a los organismos muertos sin coloración (Zetsche & Meysman 2012). En este caso se utilizó una concentración de Rojo Neutro de 0.05%, agregando

1 ml de tinción a 100 ml de muestra, para luego de 1 hora fijar la muestra con 1 ml de formalina al 10% neutralizada con Borax (Fleming & Coughlan 1978), lo que permitió revisar las muestras varios días después de ser obtenida. Las observaciones se realizaron utilizando un microscopio óptico MOTIC BA310.

La abundancia del fitoplancton se expresó como células por mililitro (cél ml⁻¹), como indica el protocolo D2 de la OMI (IMO 2004). El cálculo se realizó multiplicando por 20 el número de los individuos de cada taxón, para expresar la abundancia por litro (dado que la cámara es de 50 ml). Los valores en cél L⁻¹, fueron divididos por 1000 para transformarlo a cél ml⁻¹. Se construyó un dendograma utilizando el Programa PAST mediante la aproximación de Paired group (UPGMA) como método de agrupación, y con el índice de Jaccard como medida de distancia o índice de similitud. Este dendograma construyó a partir de una matriz de datos de presencia-ausencia de fitoplancton, de 11 naves y 4 puertos. No se consideró la nave Milky Way II, debido a que presentó organismos.

El análisis taxonómico del zooplancton se realizó a partir de 12 muestras de ADL correspondientes a 12 naves muestreados en los tres puertos de estudio, cada muestra con un volumen de 100 ml, además de 4 muestras correspondientes al cuerpo de agua receptor de los distintos puertos estudiados.

Los individuos fueron examinados en un microscopio estereoscópico Japan Cs-XTL-2310 y en un microscopio óptico Motic BA310, y se determinaron al nivel taxonómico más bajo posible basándose en caracteres primarios y secundarios, con el apoyo de claves taxonómicas, siguiendo a Boltovskoy (1981), Suárez-Morales & Gasca (2000), Rosenberg & Palma (2003), Park et al. (2004), Razouls et al. (2005), Vives & Shmeleva (2007, 2010), Suárez-Morales et al. (2009), y Palma et al. (2014).

En paralelo se estimó el número de individuos por taxón presentes en cada muestra. La abundancia se estimó en individuos por metro cúbico (ind m⁻³) como lo indica la directriz D2 de la OMI (IMO 2004) y este resultado se obtuvo multiplicando el número de individuos presentes en 6.5 L (volumen de donde proviene la muestra concentrada de 100 ml) por 1000 L (equivalente a 1 m³). De este modo el resultado quedó expresado en ind m⁻³.

Al igual que en las muestras de fitoplancton, para determinar indirectamente la viabilidad de los organismos encontrados en las muestras de naves, se utilizó la Técnica de Rojo Neutro y se

consideraron vivos a aquellos teñidos de un color rojo y muertos a aquellos que carecían de coloración (Fleming & Coughlan 1978, Zetsche & Meysman 2012).

RESULTADOS DEL MODELO Y PLANES DE VIGILANCIA

Esta sección da cuenta en particular del Resultado esperado 6.2 definido en las bases técnicas: *“Modelo de análisis de riesgo y planes de vigilancia adaptados a la realidad nacional, con un enfoque asociado a especies invasoras o especies organismos perjudiciales y patógenos que podrían constituirse como plaga o de importancia en salud pública”*. La sección se dividió en dos subsecciones que abordan específicamente (i) los resultados cuantitativos del modelo, y (ii) la propuesta final de plan de vigilancia, que derivó de la aplicación de un plan simplificado (consignado en el Informe de Avance) a través del cual se detectaron brechas y aspectos operativos a considerar en la propuesta en conexión con los resultados del modelo.

RESULTADOS CUANTITATIVOS DEL MODELO

Aspectos generales

Como se indicó anteriormente en la metodología, los informes de ADL de las naves no fueron obtenidos con facilidad, y finalmente para los tres puertos evaluados se logró contar con un total de 975 informes completos o suficientemente completos respecto de los datos de ADL, que fueron ingresados a la base de datos. De estos informes, solo 409 contuvieron algún tipo de información respecto a carga, tratamiento y descarga del ADL, y solo 81 incluyeron toda la información requerida (Tabla 14).

Tabla 14.

Número de informes conteniendo datos sobre la carga, intercambio y descarga de ADL por las naves que recalaron en cada puerto de estudio.

| Puerto | Sin información | Con información | Carga (C) | Descarga (D) | Intercambio (I) | C-D | C-I-D |
|--------------------|-----------------|-----------------|------------|--------------|-----------------|------------|-----------|
| Calbuco | 2 | 30 | 30 | 19 | 22 | 19 | 19 |
| Puerto Montt | 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Calbuco-Pto. Montt | 26 | 30 | 30 | 19 | 22 | 19 | 19 |
| San Vicente | 248 | 276 | 274 | 48 | 65 | 45 | 28 |
| Valparaíso | 292 | 103 | 101 | 44 | 64 | 44 | 34 |
| Total | 566 | 409 | 405 | 111 | 151 | 108 | 81 |

Adicionalmente, solo 195 informes incluyeron información sobre algún tipo de tratamiento aplicado al ADL transportada, de los cuales 46 declararon como tratamiento a las maniobras anti escora que mueven el ADL entre estanques (las que no constituyen un tratamiento), y 20 declararon que no se requería tratamiento porque la nave prestaba servicios de cabotaje (Tabla 15 y Tabla 16). Este último dato evidencia que no hay una conciencia clara respecto de los riesgos asociados al transporte y descarga de ADL dentro de la costa chilena, en especial cuando se atraviesan barreras biogeográficas y/o se traslada ADL desde zonas con incidencia de plagas (e.g., virus, floraciones algales nocivas). Por ello este resultado será fundamental para revisar las exigencias al transporte naviero intra-costa en Chile.

Tabla 15.

Información sobre el tipo de tratamiento aplicado al ADL a bordo, declarada por las naves que arribaron a los puertos evaluados.

| Puerto | Intercambio | Hipoclorito de calcio | Cloración (no indica el hipoclorito) | Cloración o Intercambio | Sin tratamiento |
|--------------------|--------------------|------------------------------|---|--------------------------------|------------------------|
| Calbuco | 22 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Puerto Montt | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Calbuco-Pto. Montt | 22 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| San Vicente | 65 | 14 | 1 | 6 | 171 |
| Valparaíso | 64 | 10 | 2 | 9 | 150 |
| Total | 151 | 26 | 3 | 15 | 321 |

Tabla 16.

Información conflictiva declarada por las naves en relación al manejo del ADL a bordo (anti escora), o a la razón de ausencia de manejo (cabotaje).

| Puerto | Anti escora | Servicio de cabotaje | Sin información |
|--------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------|
| Calbuco | 0 | 0 | 8 |
| Puerto Montt | 0 | 0 | 24 |
| Calbuco-Pto. Montt | 0 | 0 | 32 |
| San Vicente | 21 | 12 | 234 |
| Valparaíso | 25 | 8 | 127 |
| Total | 46 | 20 | 393 |

Por otra parte, y en función de su tamaño y estructura, las naves que arribaron a los puertos evaluados varían ampliamente tanto en su capacidad total de carga de ADL como en el volumen transportado (Tabla 17). En particular el volumen de ADL a bordo en las naves madereras (en el extremo superior) fue -en promedio- más de 37 veces mayor que en las naves pesqueras y de pasajeros (en el extremo inferior, cercanas a las naves de investigación). Si bien la dispersión alrededor del promedio suele ser alta o muy alta, en las naves con mayor capacidad (madereras y petroleras) es comparativamente baja (i.e. usualmente transportan grandes volúmenes), indicando que en general las naves de mayor tamaño y mayor capacidad usualmente involucran un mayor nivel de riesgo potencial, aunque en ningún caso debe desestimarse el riesgo de las naves más pequeñas o con menor capacidad. Por lo tanto el tipo de nave es un factor relevante de considerar al momento de ejecutar el plan de vigilancia, como se discute más adelante.

Tabla 17.

Tamaño (TRG), volumen de ADL a bordo y capacidad máxima de ADL (m³) de cada tipo de nave de los informes ingresados.

| Tipo de nave | Tamaño (TRG) | | ADL a bordo (m ³) | | Capacidad máxima de ADL (m ³) | |
|---------------|--------------|---------------------|-------------------------------|---------------------|---|---------------------|
| | Promedio | Desviación estándar | Promedio | Desviación estándar | Promedio | Desviación estándar |
| Carga General | 17068,250 | 3578,347 | 6002,700 | 4493,416 | 9282,325 | 6088,876 |
| Carga Pesada | 15136,667 | 6827,501 | 5367,600 | 2201,645 | 8057,433 | 4271,698 |
| Contenedor | 50331,011 | 18315,708 | 5833,195 | 6520,764 | 15254,712 | 5034,418 |
| Frigorífico | 14663,333 | 1637,092 | 1510,256 | 1164,501 | 3751,121 | 1391,830 |
| Gasero | 45898,143 | 18683,942 | 9623,733 | 7055,753 | 23433,271 | 9589,837 |
| Granel | 27467,789 | 13371,582 | 5187,333 | 1914,010 | 20046,899 | 11214,224 |
| Investigación | 9021,333 | 3017,383 | 1500,120 | 1027,399 | 4430,643 | 3217,331 |
| Maderero | 46136,489 | 16509,175 | 20276,076 | 6831,063 | 28079,373 | 7581,992 |
| Pasajeros | 65250,615 | 10787,111 | 553,643 | 119,244 | 2678,062 | 1131,926 |
| Pesquero | 10574,440 | 7068,823 | 539,667 | 187,513 | 4121,850 | 2313,419 |
| Petro-quím | 21904,647 | 5206,822 | 4042,456 | 1061,428 | 8799,575 | 4932,704 |
| Petrolero | 35390,249 | 18385,639 | 14995,660 | 9071,930 | 26923,590 | 5052,784 |
| Químico | 21604,125 | 11682,077 | 2426,342 | 831,765 | 13238,366 | 6196,872 |
| Rodado | 51396,406 | 11403,346 | 4162,418 | 1042,909 | 7187,564 | 2080,337 |

Con respecto a la proveniencia geográfica del tráfico naviero recibido en los puertos evaluados, la Tabla 18 indica los orígenes más frecuentes, destacando el predominio de puertos nacionales en general, pero notando que Perú ocupa el primer lugar en Valparaíso, y el hecho de que un puerto de escaso tráfico como Calbuco tiene una frecuencia importante de visitas desde puertos asiáticos, recordando sin embargo que los datos de Calbuco incluyen sesgos importantes debido al bajo número de informes de ADL disponibles. No obstante, estos resultados destacan la importancia

de considerar las grandes diferencias entre los puertos en cuanto a la composición geográfica de su tráfico, y la necesidad crucial de contar con información completa para futuros análisis de riesgo.

Tabla 18.

Principales puertos de origen de las naves que arribaron a los puertos evaluados, indicando para cada uno los cinco puertos de origen más frecuentes.

| Puerto evaluado | Puerto de origen | Porcentaje |
|------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| San Vicente (373 naves) | San Antonio/Chile | 33,1 |
| | Quintero/Chile | 16,4 |
| | Valparaíso/Chile | 13,3 |
| | San Vicente/Chile | 4,6 |
| | Guarello/Chile | 4,4 |
| Valparaíso (245 naves) | Callao/Perú | 19,1 |
| | Coquimbo/Chile | 13,4 |
| | Iquique/Chile | 10,5 |
| | Angamos/Chile | 7,5 |
| | Coronel/Chile | 5,2 |
| Calbuco – Pto. Montt (26 naves) | Valparaíso/Chile | 15,3 |
| | Punta Arenas/Chile | 8,5 |
| | Rizhao/China | 8,5 |
| | Mishima/Japon | 6,8 |
| | Coronel/Chile | 5,1 |

Resultados del modelo de riesgo adaptado

A continuación se presentan los resultados del modelo obtenidos separadamente para los puertos de Valparaíso (Tabla 19), San Vicente (Tabla 20) y Calbuco (Tabla 21). En este caso Puerto Montt no fue considerado ya que en la práctica los datos obtenidos en la X Región correspondieron

básicamente al puerto de Calbuco, y la finalidad de estos resultados es conectarlos con los muestreos piloto, que no pudieron efectuarse en Puerto Montt donde no hubo naves disponibles.

Cada tabla indica los valores estimados de los coeficientes parciales (C y R) y globales (ROR y S-ROR) para cada lugar donante de ADL, incluyendo la ubicación geográfica de los lugares y la ecorregión a la cual pertenecen. Estos lugares no se designan por nombre ya que como se indicó anteriormente, la carga de ADL por las naves con frecuencia se realiza en mar abierto o en áreas oceánicas sin denominación, por lo cual se usaron las coordenadas de cada lugar.

Tabla 19.

Puerto de Valparaíso. Estimación del riesgo de introducción de especies perjudiciales para cada lugar que donó ADL al puerto desde distintas ecorregiones, indicando los valores obtenidos para los coeficientes del modelo adaptado (se indica el tipo de riesgo asociado): C1: proporción de estanques que descargaron ADL; C2: proporción del volumen de ADL descargado; C3: similitud ambiental donante-receptor; C4: nivel de amenaza de las especies en la ecorregión respectiva; R1 y R2: factores de reducción de riesgo (constantes predefinidas); ROR: riesgo global relativo; S-ROR: riesgo global relativo estandarizado.

| Ecorregión | Latitud | Longitud | C1 | C2 | C3 | C4 | R1 | R2 | ROR | S-ROR |
|--------------------------------|---------|----------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|--------|--------|
| Greater Antilles | 18,78 | -77,27 | 0,0108 | 0,0100 | 0,0050 | 0,1042 | 0,6 | 0,8 | 0,0263 | 0,0010 |
| Bahamian | 22,38 | -76,70 | 0,0108 | 0,0094 | 0,6165 | 0,0131 | 0,6 | 0,8 | 0,1608 | 0,4498 |
| Tropical Northwestern Atlantic | 22,25 | -74,73 | 0,0108 | 0,0142 | 0,6169 | 0,0050 | 0,8 | 1 | 0,1610 | 0,4504 |
| Revillagigedos | 18,27 | -108,43 | 0,0108 | 0,0083 | 0,6310 | 0,0086 | 0,6 | 0,6 | 0,1630 | 0,4569 |
| Bahamian | 24,37 | -74,62 | 0,0108 | 0,0050 | 0,6340 | 0,0131 | 0,6 | 1 | 0,1652 | 0,4644 |
| Southwestern Caribbean | 9,15 | -80,15 | 0,0108 | 0,0050 | 0,5984 | 0,1249 | 0,6 | 0,8 | 0,1780 | 0,5072 |
| Southwestern Caribbean | 14,58 | -79,42 | 0,0215 | 0,0150 | 0,6078 | 0,1249 | 0,8 | 0,6 | 0,1791 | 0,5107 |
| Greater Antilles | 16,83 | -76,18 | 0,0108 | 0,0109 | 0,6005 | 0,1042 | 0,6 | 1 | 0,1805 | 0,5156 |
| Greater Antilles | 18,35 | -77,22 | 0,0215 | 0,0081 | 0,5938 | 0,1042 | 0,6 | 1 | 0,1811 | 0,5176 |
| Panama Bight | 8,27 | -80,53 | 0,0108 | 0,0500 | 0,6104 | 0,0681 | 1 | 0,8 | 0,1814 | 0,5185 |
| Panama Bight | 2,38 | -78,95 | 0,0215 | 0,0230 | 0,6449 | 0,0681 | 0,8 | 0,6 | 0,1814 | 0,5186 |
| Southwestern Caribbean | 10,67 | -79,23 | 0,0215 | 0,0143 | 0,5895 | 0,1249 | 0,8 | 1 | 0,1868 | 0,5367 |
| Panama Bight | 1,60 | -79,65 | 0,0108 | 0,0490 | 0,6395 | 0,0681 | 1 | 0,8 | 0,1884 | 0,5420 |
| Central Peru | -11,23 | -79,68 | 0,0108 | 0,0292 | 0,7850 | 0,0050 | 1 | 1 | 0,2075 | 0,6058 |
| Central Peru | -14,50 | -78,70 | 0,0108 | 0,0193 | 0,8039 | 0,0050 | 0,8 | 1 | 0,2088 | 0,6100 |
| Central Peru | -7,83 | -80,87 | 0,0108 | 0,0301 | 0,7928 | 0,0050 | 1 | 1 | 0,2097 | 0,6130 |
| Central Peru | -8,32 | -80,70 | 0,0215 | 0,0368 | 0,7827 | 0,0050 | 1 | 1 | 0,2115 | 0,6192 |

| Ecorregión | Latitud | Longitud | C1 | C2 | C3 | C4 | R1 | R2 | ROR | S-ROR |
|----------------------------------|---------|----------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|--------|--------|
| Central Peru | -10,60 | -79,90 | 0,0108 | 0,0301 | 0,8036 | 0,0050 | 1 | 1 | 0,2124 | 0,6221 |
| Central Peru | -9,58 | -80,28 | 0,0215 | 0,0350 | 0,7985 | 0,0050 | 1 | 1 | 0,2150 | 0,6309 |
| Central Peru | -10,25 | -80,33 | 0,0215 | 0,0365 | 0,7988 | 0,0050 | 1 | 1 | 0,2155 | 0,6324 |
| Central Peru | -8,77 | -80,55 | 0,0215 | 0,0482 | 0,7897 | 0,0050 | 1 | 1 | 0,2161 | 0,6346 |
| Central Peru | -9,15 | -80,42 | 0,0108 | 0,0197 | 0,8367 | 0,0050 | 0,8 | 1 | 0,2171 | 0,6377 |
| Carolinian | 34,87 | -72,52 | 0,0108 | 0,0167 | 0,7339 | 0,1404 | 0,8 | 0,8 | 0,2176 | 0,6395 |
| Juan Fernandez, Desventuradas | -25,80 | -77,33 | 0,0215 | 0,0100 | 0,8622 | 0,0129 | 0,6 | 1 | 0,2256 | 0,6664 |
| Humboldtian | -15,63 | -77,80 | 0,0215 | 0,0057 | 0,8415 | 0,0789 | 0,6 | 1 | 0,2363 | 0,7022 |
| Central Chile | -27,65 | -71,28 | 0,0108 | 0,0081 | 0,8696 | 0,0703 | 0,6 | 1 | 0,2389 | 0,7107 |
| Humboldtian | -13,53 | -78,88 | 0,0215 | 0,0447 | 0,8124 | 0,0789 | 1 | 1 | 0,2394 | 0,7123 |
| Humboldtian | -23,10 | -70,43 | 0,0323 | 0,0220 | 0,9065 | 0,0789 | 0,8 | 0,6 | 0,2509 | 0,7510 |
| Central Chile | -26,10 | -71,20 | 0,0108 | 0,0250 | 0,9010 | 0,0703 | 1 | 1 | 0,2518 | 0,7538 |
| Central Chile | -27,35 | -71,18 | 0,0108 | 0,0039 | 0,9285 | 0,0703 | 0,6 | 1 | 0,2530 | 0,7578 |
| Central Chile | -27,68 | -73,75 | 0,0108 | 0,0042 | 0,9285 | 0,0703 | 0,6 | 1 | 0,2530 | 0,7579 |
| Central Chile | -32,55 | -71,65 | 0,0108 | 0,0057 | 0,9287 | 0,0703 | 0,6 | 1 | 0,2533 | 0,7589 |
| Central Chile | -26,10 | -71,47 | 0,0108 | 0,0126 | 0,9230 | 0,0703 | 0,8 | 1 | 0,2535 | 0,7597 |
| Humboldtian | -23,63 | -70,40 | 0,0215 | 0,0159 | 0,9125 | 0,0789 | 0,8 | 1 | 0,2564 | 0,7693 |
| Central Chile | -27,98 | -71,40 | 0,0108 | 0,0062 | 0,9526 | 0,0703 | 0,6 | 1 | 0,2593 | 0,7790 |
| Central Chile | -31,35 | -71,77 | 0,0108 | 0,0074 | 0,9520 | 0,0703 | 0,6 | 1 | 0,2594 | 0,7792 |
| Araucanian | 40,22 | -74,42 | 0,0108 | 0,0050 | 0,7029 | 0,3847 | 0,6 | 1 | 0,2753 | 0,8326 |
| Araucanian | 38,45 | -74,35 | 0,0108 | 0,0044 | 0,8651 | 0,3847 | 0,6 | 1 | 0,3158 | 0,9678 |
| Araucanian | 36,15 | -73,52 | 0,0215 | 0,0091 | 0,8650 | 0,3847 | 0,6 | 1 | 0,3192 | 0,9791 |
| Araucanian | 37,82 | -74,33 | 0,0108 | 0,0021 | 0,8962 | 0,3847 | 0,4 | 1 | 0,3231 | 0,9923 |
| Araucanian | 39,97 | -74,42 | 0,0108 | 0,0083 | 0,9013 | 0,3847 | 0,6 | 1 | 0,3254 | 1,0000 |

Tabla 20.

Puerto de San Vicente. Estimación del riesgo de introducción de especies perjudiciales para cada lugar que donó ADL al puerto desde distintas ecorregiones, indicando los valores obtenidos para los coeficientes del modelo adaptado (se indica el tipo de riesgo asociado): C1: proporción de estanques que descargaron ADL; C2: proporción del volumen de ADL descargado; C3: similitud ambiental donante-receptor; C4: nivel de amenaza de las especies en la ecorregión respectiva; R1 y R2: factores de reducción de riesgo (constantes predefinidas); ROR: riesgo global relativo; S-ROR: riesgo global relativo estandarizado.

| Ecorregión | Latitud | Longitud | C1 | C2 | C3 | C4 | R1 | R2 | ROR | S-ROR |
|--|---------|----------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|--------|--------|
| Phoenix/Tokelau/ Northern Cook Islands | -8,50 | -164,18 | 0,0050 | 0,0027 | 0,0001 | 0,0050 | 1 | 0,6 | 0,0027 | 0,0010 |
| Phoenix/Tokelau/ Northern Cook Islands | -10,52 | -161,68 | 0,0050 | 0,0031 | 0,0363 | 0,0050 | 1 | 0,6 | 0,0118 | 0,0378 |
| Panama Bight | 1,60 | -79,65 | 0,0100 | 0,0093 | 0,1838 | 0,0354 | 1 | 0,6 | 0,0561 | 0,2200 |
| Northern Gulf of Mexico | 26,00 | -90,42 | 0,0050 | 0,0015 | 0,1940 | 0,1343 | 0,8 | 0,4 | 0,0635 | 0,2505 |
| Ogasawara Island | 29,83 | 142,50 | 0,0050 | 0,0067 | 0,2911 | 0,0050 | 1 | 0,4 | 0,0762 | 0,3029 |
| Ogasawara Island | 27,25 | 144,40 | 0,0050 | 0,0028 | 0,3774 | 0,0050 | 1 | 0,4 | 0,0968 | 0,3879 |
| Hawaii | 29,25 | -176,23 | 0,0050 | 0,0045 | 0,3979 | 0,3131 | 1 | 0,4 | 0,1331 | 0,5376 |
| Hawaii | 19,45 | -169,28 | 0,0050 | 0,0045 | 0,4447 | 0,3131 | 1 | 0,4 | 0,1448 | 0,5857 |
| Hawaii | 28,18 | -178,33 | 0,0050 | 0,0049 | 0,4618 | 0,3131 | 1 | 0,4 | 0,1492 | 0,6038 |
| Hawaii | 25,95 | -177,93 | 0,0050 | 0,0089 | 0,4616 | 0,3131 | 1 | 0,4 | 0,1502 | 0,6078 |
| Hawaii | 24,85 | -175,90 | 0,0050 | 0,0038 | 0,4752 | 0,3131 | 1 | 0,4 | 0,1523 | 0,6164 |
| Hawaii | 18,50 | -171,60 | 0,0050 | 0,0029 | 0,4811 | 0,3131 | 1 | 0,4 | 0,1536 | 0,6217 |
| Hawaii | 14,55 | -170,65 | 0,0050 | 0,0035 | 0,4811 | 0,3131 | 1 | 0,4 | 0,1537 | 0,6222 |
| Humboldtian | -24,48 | -71,00 | 0,0100 | 0,0062 | 0,5946 | 0,0121 | 1 | 0,6 | 0,1545 | 0,6256 |
| Humboldtian | -24,43 | -71,33 | 0,0100 | 0,0019 | 0,6228 | 0,0121 | 0,8 | 0,8 | 0,1610 | 0,6523 |
| Hawaii | 18,75 | -170,43 | 0,0050 | 0,0030 | 0,5204 | 0,3131 | 1 | 0,4 | 0,1634 | 0,6622 |
| Humboldtian | -23,10 | -70,43 | 0,0199 | 0,0147 | 0,6530 | 0,0121 | 1 | 1 | 0,1749 | 0,7097 |
| Humboldtian | -17,97 | -74,13 | 0,0100 | 0,0004 | 0,7117 | 0,0121 | 1 | 1 | 0,1835 | 0,7452 |
| Humboldtian | -18,47 | -70,32 | 0,0100 | 0,0003 | 0,7330 | 0,0121 | 1 | 1 | 0,1889 | 0,7671 |
| Chile Central | -33,10 | -72,20 | 0,0100 | 0,0026 | 0,7384 | 0,0050 | 1 | 1 | 0,1890 | 0,7676 |
| Chile Central | -26,22 | -71,38 | 0,0199 | 0,0012 | 0,7384 | 0,0050 | 0,8 | 1 | 0,1910 | 0,7761 |
| Channels and Fjords of Southern Chile | -53,60 | -70,10 | 0,0050 | 0,0038 | 0,7293 | 0,0697 | 1 | 0,6 | 0,1950 | 0,7924 |
| Chile central | -26,53 | -71,38 | 0,0050 | 0,0003 | 0,7789 | 0,0050 | 0,6 | 0,8 | 0,1970 | 0,8007 |
| Chile central | -25,67 | -71,10 | 0,0050 | 0,0003 | 0,7789 | 0,0050 | 0,6 | 1 | 0,1973 | 0,8017 |
| Chile central | -32,75 | -71,50 | 0,0100 | 0,0024 | 0,7778 | 0,0050 | 1 | 0,8 | 0,1985 | 0,8069 |
| Humboldtian | -20,20 | -70,15 | 0,0498 | 0,0073 | 0,7303 | 0,0121 | 1 | 0,8 | 0,1993 | 0,8100 |

| Ecorregión | Latitud | Longitud | C1 | C2 | C3 | C4 | R1 | R2 | ROR | S-ROR |
|---------------------------------------|---------|----------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|--------|--------|
| Chile Central | -26,10 | -71,20 | 0,0149 | 0,0009 | 0,7789 | 0,0050 | 0,6 | 1 | 0,1998 | 0,8123 |
| Chile central | -26,22 | -71,33 | 0,0100 | 0,0006 | 0,7871 | 0,0050 | 0,6 | 1 | 0,2006 | 0,8155 |
| Chile Central | -25,73 | -71,25 | 0,0199 | 0,0009 | 0,7789 | 0,0050 | 0,6 | 1 | 0,2011 | 0,8175 |
| Humboldtian | -23,63 | -70,40 | 0,0796 | 0,0136 | 0,7433 | 0,0121 | 1 | 0,8 | 0,2115 | 0,8605 |
| Channels and Fjords of Southern Chile | -53,10 | -70,85 | 0,0100 | 0,0083 | 0,8083 | 0,0697 | 1 | 0,8 | 0,2206 | 0,8979 |
| Line Island | -3,72 | -153,57 | 0,0100 | 0,0045 | 0,8605 | 0,0163 | 1 | 0,6 | 0,2212 | 0,9002 |
| Araucanian | -33,65 | -72,33 | 0,0050 | 0,0074 | 0,9143 | 0,0050 | 1 | 1 | 0,2329 | 0,9486 |
| Araucanian | -33,59 | -71,62 | 0,0050 | 0,0010 | 0,9370 | 0,0050 | 0,6 | 1 | 0,2369 | 0,9650 |
| Chile central | -25,30 | -71,17 | 0,0348 | 0,0170 | 0,9123 | 0,0050 | 1 | 1 | 0,2423 | 0,9872 |
| Virginian | 41,77 | -73,13 | 0,0299 | 0,0240 | 0,7601 | 0,4190 | 1 | 0,4 | 0,2454 | 1,0000 |

Tabla 21.

Puerto de Calbuco. Estimación del riesgo de introducción de especies perjudiciales para cada lugar que donó ADL al puerto desde distintas ecorregiones, indicando los valores obtenidos para los coeficientes del modelo adaptado (se indica el tipo de riesgo asociado): C1: proporción de estanques que descargaron ADL; C2: proporción del volumen de ADL descargado; C3: similitud ambiental donante-receptor; C4: nivel de amenaza de las especies en la ecorregión respectiva; R1 y R2: factores de reducción de riesgo (constantes predefinidas); ROR: riesgo global relativo; S-ROR: riesgo global relativo estandarizado.

| Ecorregión | Latitud | Longitud | C1 | C2 | C3 | C4 | R1 | R2 | ROR | S-ROR |
|--|---------|----------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|--------|--------|
| Aleutian Island | 49,47 | 174,37 | 0,017 | 0,002 | 0,005 | 0,005 | 0,8 | 1 | 0,0071 | 0,0010 |
| Gilbert/Ellis Island | -2,60 | 168,17 | 0,008 | 0,002 | 0,610 | 0,005 | 0,8 | 0,4 | 0,1556 | 0,5063 |
| Gilbert/Ellis Island | -0,90 | 163,53 | 0,008 | 0,005 | 0,616 | 0,005 | 1 | 0,4 | 0,1577 | 0,5136 |
| Marshall Islands | 14,70 | 165,78 | 0,008 | 0,004 | 0,618 | 0,005 | 1 | 0,4 | 0,1581 | 0,5147 |
| Gilbert/Ellis Island | -0,67 | 164,67 | 0,008 | 0,004 | 0,697 | 0,005 | 1 | 0,4 | 0,1778 | 0,5820 |
| Gilbert/Ellis Island | -0,78 | 165,92 | 0,008 | 0,005 | 0,697 | 0,005 | 1 | 0,4 | 0,1782 | 0,5833 |
| Gilbert/Ellis Island | -1,62 | 166,87 | 0,008 | 0,004 | 0,700 | 0,005 | 1 | 0,4 | 0,1787 | 0,5850 |
| Phoenix /Tokelau/ Northern Cook Island | -11,47 | -159,93 | 0,008 | 0,003 | 0,709 | 0,005 | 1 | 0,4 | 0,1808 | 0,5923 |
| Gilbert/Ellis Island | -2,33 | 167,72 | 0,008 | 0,005 | 0,709 | 0,005 | 1 | 0,4 | 0,1812 | 0,5937 |
| Southern Cook/ Austral Islands | -22,97 | -144,73 | 0,008 | 0,005 | 0,655 | 0,103 | 1 | 0,6 | 0,1826 | 0,5983 |
| Marshall Islands | 15,18 | 165,83 | 0,008 | 0,008 | 0,722 | 0,005 | 1 | 0,4 | 0,1850 | 0,6066 |
| Gilbert/Ellis Island | -2,73 | 168,17 | 0,008 | 0,002 | 0,730 | 0,005 | 1 | 0,4 | 0,1857 | 0,6090 |
| Marshall Islands | 7,87 | 161,93 | 0,008 | 0,036 | 0,707 | 0,005 | 1 | 0,4 | 0,1883 | 0,6177 |
| Ogasawara Island | 24,80 | 155,83 | 0,008 | 0,005 | 0,750 | 0,005 | 1 | 0,4 | 0,1914 | 0,6282 |
| Marshall Islands | 10,50 | 171,85 | 0,008 | 0,036 | 0,725 | 0,005 | 1 | 0,4 | 0,1929 | 0,6334 |
| Ogasawara Island | 22,38 | 156,38 | 0,008 | 0,036 | 0,735 | 0,005 | 1 | 0,4 | 0,1954 | 0,6421 |
| Ogasawara Island | 26,98 | 152,33 | 0,008 | 0,002 | 0,778 | 0,005 | 0,8 | 0,4 | 0,1976 | 0,6495 |
| Ogasawara Island | 27,97 | 145,45 | 0,008 | 0,005 | 0,777 | 0,005 | 1 | 0,4 | 0,1981 | 0,6513 |
| Tuamotus | -24,75 | -141,92 | 0,008 | 0,005 | 0,727 | 0,089 | 1 | 0,6 | 0,1984 | 0,6521 |
| Ogasawara Island | 25,35 | 154,23 | 0,008 | 0,032 | 0,751 | 0,005 | 1 | 0,4 | 0,1985 | 0,6525 |
| Ogasawara Island | 28,42 | 143,72 | 0,008 | 0,005 | 0,779 | 0,005 | 1 | 0,4 | 0,1985 | 0,6526 |
| Vanuatu | -11,35 | 164,42 | 0,008 | 0,041 | 0,706 | 0,103 | 1 | 0,4 | 0,1990 | 0,6542 |
| Ogasawara Island | 28,85 | 142,50 | 0,008 | 0,004 | 0,786 | 0,005 | 1 | 0,4 | 0,2002 | 0,6583 |
| Ogasawara Island | 31,33 | 142,83 | 0,008 | 0,004 | 0,801 | 0,005 | 1 | 0,4 | 0,2040 | 0,6712 |
| Sea of Japan/ East Sea | 45,78 | 139,92 | 0,008 | 0,032 | 0,704 | 0,247 | 1 | 0,4 | 0,2109 | 0,6948 |
| South Kuroshio | 26,47 | 132,55 | 0,008 | 0,002 | 0,791 | 0,39 | 1 | 0,4 | 0,2395 | 0,7922 |
| Araucanian | -41,37 | -74,33 | 0,008 | 0,035 | 0,907 | 0,627 | 1 | 0,4 | 0,3004 | 1 |

Estos resultados muestran que las regiones geográficas distantes contribuyen en forma importante al riesgo de introducción en los tres puertos evaluados, pero los lugares con mayor riesgo se concentran en áreas diferentes. Mientras la gran mayoría de los donantes de alto riesgo para Valparaíso y San Vicente se ubica en Chile, en Calbuco virtualmente todos se ubican en el Asia-Pacífico y el Pacífico Sudoeste, con excepción de 1 lugar en la ecorregión Araucana que representó el máximo riesgo.

Los resultados para Calbuco son importantes porque demuestran que los patrones geográficos de riesgo pueden contrastar fuertemente entre los puertos nacionales, y sugieren que el tamaño o nivel de tráfico de un puerto no son determinantes claras del riesgo de introducción.

APLICACIÓN DEL MODELO

RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE ADL

Dentro de las posibilidades del proyecto, la constatación del riesgo de las naves derivó del análisis de las muestras biológicas y de los parámetros físicos y químicos evaluados.

De las 13 naves muestreadas en los puertos: Valparaíso, San Vicente y Puerto Montt-Calbuco (Tabla 22), se analizaron 12 muestras para fitoplancton y 12 para zooplancton. Dada la dificultad de contar con los informes de ADL, en dos de las naves no se logró obtener información sobre el lugar de carga del ADL. Según lo informado por los capitanes, sólo la nave MSC Chloe aplicó tratamiento al ADL, del tipo Ultravioleta.

Los informes de ADL mostraron que los puntos de carga de las distintas naves corresponden a diferentes ecorregiones, tanto de las costas chilenas (Araucana y Humboldtiana), como de otras áreas del mundo, (e.g. la ecorregión Sur del Mar Rojo) (Tabla 22). El tiempo de residencia del ADL en los estanques varió entre 2 y 169 días. El muestreo de sedimento fue altamente complejo debido a limitaciones técnicas, de accesibilidad y de seguridad, por lo que tan solo en la nave Du An Cheng se pudo obtener muestras.

Cada muestra de ADL fue caracterizada de acuerdo a parámetros físico-químicos, microbiológicos y biológicos; las dos últimas fueron comparadas con la norma D2 sugerida por la Organización Marítima Internacional (OMI) para el manejo del ADL. Para la muestra de sedimento solo se midieron los parámetros microbiológicos.

Tabla 22.

Naves muestreadas en los tres puertos estudiados. Además, se presentan las fechas de muestreo y carga de ADL, tiempo de residencia del ADL y ecorregión de origen del ADL. La última columna indica la existencia de mecanismos abordaje para el tratamiento del ADL.

| PUERTO | NAVE | IMO | FECHA DE MUESTREO | ORIGEN ADL | ECORREGION DE CARGA ADL | FECHA DE CARGA ADL | TIEMPO RESIDENCIA ADL | TRATAMIENTO DEL ADL |
|-------------|-----------------|---------|-------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|
| VALPARAISO | CMA CGM Niagara | 9722675 | 28-09-17 | 19° 10' S / 73° 23' W | Humboldtiana | 24-09-17 | 4 | No |
| | Mary | 9635664 | 27-09-17 | 18° 23' N / 39° 50' E | Sur del Mar Rojo | 11-05-17 | 169 | No |
| | MSC Chloe | 9720483 | 13-10-17 | 33° 41,9' S / 072° 08,9' W | Araucana | 13-10-17 | - | Sí (Ultravioleta) |
| | Santa Clara | 9444716 | 11-12-17 | 15° 09,8' N / 156° 10,1' E | Oceano Pacífico | 23-10-17 | 49 | No |
| | Du An Cheng | 9484039 | 14-12-17 | - | - | - | - | No |
| | NYK Libra | 9229324 | 11-10-17 | 10° 25,5' N / 96° 27,7' W | Oceano Pacífico | 01-10-17 | 10 | No |
| SAN VICENTE | SC Mara | 9302578 | 27-09-17 | - | - | - | - | No |
| | Milky Way II | 9405447 | 27-09-17 | 30° 26,6' N / 158° 1,5' E | Oceano Pacífico | 30-08-17 | 28 | No |
| | Alpine | 9715270 | 07-12-17 | Pto. San Vicente | Araucana | 05-12-17 | 2 | No |
| | Ultratronador | 9205615 | 20-12-17 | Pto. San Vicente | Araucana | - | - | No |
| | Aotea | 9166778 | 25-07-2017 | 6°54' N / 81° 01' W | Nicoya | 12-10-2017 | 168 | No |
| CALBUCO | Forestal Reina | 9272979 | 15-11-17 | 04° 0,1' N / 103° 1,4' W | Oceano Pacífico | 28-10-17 | 18 | No |
| | Medan Express | 9554743 | 13-12-17 | 14° 54,9' N / 152° 33,8' E | Oceano Pacífico | 11-12-17 | 2 | No |

Parámetros físico-químicos

En cada estanque muestreado se obtuvieron mediciones de parámetros físico-químicos de pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, ORP (Potencial Óxido-Reducción) y salinidad (Tabla 23). Además, se realizaron mediciones similares en muestras de agua de los tres puertos analizados. La temperatura fue el parámetro que más variación evidenció en los estanques muestreados, superando los 20°C en algunas naves (Tabla 23). De la misma forma, los valores de pH oscilaron entre niveles altamente básicos, (e.g. la nave Forestal Reina con pH de 8,6) y altamente ácidos como el registrado en la nave Santa Clara con pH de 6,3 (Tabla 23). El oxígeno disuelto presentó valores que oscilaron entre 4,87 y 9,08, siendo estos valores suficientes para permitir la subsistencia de organismos aeróbicos tales como invertebrados adultos, larvas y propágulos. En la mayoría de los casos la salinidad del ADL se encontró por debajo del rango observado para la ecorregión de carga del ADL informado (Tabla 23). En el caso particular de la nave Medan Express, la salinidad del ADL mostró niveles significativamente bajos en comparación a la salinidad observada en la ecorregión de carga del ADL declarada, siendo más bien comparable a los observados en aguas costeras de la zona de su recalado (Pto. Montt-Calbuco) (Tabla 23). Esto sugiere que existe una alta probabilidad de que la carga de ADL se haya realizado en las proximidades al puerto de recalado y no en el área declarada en el informe de ADL.

Tabla 23.

Parámetros físico-químicos medidos en el ADL de las distintas naves muestreadas y en la columna de agua de los puertos muestreados. Además se presentan los niveles de salinidad de las ecorregiones de origen de la carga del ADL para las distintas naves. Estos valores de salinidad se obtuvieron del World Ocean Atlas versión 2013 de la NOAA-USA (<https://www.nodc.noaa.gov/OC5/woa13/>). ORP = Potencial Óxido-Reducción. Las variables que no cuentan con información son aquellas que la sonda no midió y se designan con un guion (-).

| Nave/ Puerto | pH | Temperatura (°C) | Conductividad ($\mu\text{s cm}^{-1}$) | Oxígeno disuelto (mg L^{-1}) | ORP (mV) | Salinidad (PSU) | Salinidad (PSU) de Ecorregión de carga ADL |
|---------------------|------------|---------------------|--|---|----------------|--------------------|--|
| CMA CGM Niagara | 8,1 | 18,9 | 42680 | 4,87 | 104,6 | 33,9 | 35,4 |
| Mary | 8,0 | 14,3 | 52644 | 5,98 | 124,3 | 34,9 | 38,3 |
| MSC Chloe | 8,3 | 12,4 | 49127 | 6,34 | 103,6 | 32,0 | 34,2 |
| Santa Clara | 6,3 | 21,0 | - | 9,11 | -72,8 | 32,2 | 34,4 |
| Du An Cheng | 7,7 | 21,4 | - | 9,08 | -52,8 | 33,1 | - |
| NYK Libra | 8,1 | 15,2 | 50844 | 6,73 | 105,1 | 33,4 | 34,2 |
| Valparaiso 1 | 8,1 | 11,2 | - | 2,38 | 108,2 | 35,3 | - |
| Valparaiso 2 | 8,0 | 11,2 | - | 1,9 | 103,7 | 35,4 | - |
| Mara | 7,7 | 12,7 | 50109 | 7,75 | 84,2 | - | - |
| Milky Way II | 8,1 | 22,0 | 50592 | 5,39 | 79,3 | 32,4 | 34,6 |
| Alpine | 8,0 | 14,2 | 50847 | 6,63 | 104,1 | 33,26 | 33,0 |
| Ultratronador | 7,4 | 14,7 | - | 6,48 | 119,6 | 31,0 | 33,0 |
| Aotea | - | - | - | - | - | - | 31,9 |
| San Vicente | 7,9 | 14,0 | 51754 | 9,38 | 100,1 | - | - |
| Forestal Reina | 8,6 | 15,2 | 39920 | 5,96 | 82,4 | 32,1 | 34,1 |
| Medan Express | 8,4 | 22,9 | 40370 | 6,81 | 40,4 | 25,8 | 35,2 |
| Puerto Montt | 8,4 | 13,8 | 25060 | 11,18 | -1296,2 | 28,8 | - |
| Calbuco | 8,5 | 18,2 | 27040 | 12,23 | -1319,1 | 29,0 | - |

Parámetros microbiológicos

Para cada muestra de ADL se midieron parámetros microbiológicos de acuerdo a lo establecido por la norma D2: enterococos, *Escherichia coli* y *Vibrio cholerae*. Además, se realizó un recuento de bacterias totales. Estos mismos análisis se realizaron para las muestras de agua de los puertos. En la mayoría de las muestras de ADL no se evidenció la presencia de patógenos (Tabla 24). Sin embargo, en las naves, Ultratronador y Alpine, se detectó la presencia de enterococos y *E. coli* pero en baja concentración, y bajo el límite de la norma D2 (*E. coli* < 250 ufc/100 ml; enterococos < 100 ufc/100 ml) (Tabla 24). En este caso particular, y de acuerdo a lo informado, la nave presentaba ADL cargada en el mismo puerto de recalado, Pto. San Vicente, el cual también fue el único puerto que evidenció la presencia de estos patógenos en bajas concentraciones. En el caso de la nave Du An Cheng, la única en la que se pudo obtener una muestra de sedimento, este reveló la presencia de estreptococos fecales y de *E. coli*, pero en magnitudes muy bajo la norma D2 (Tabla 25). Es importante destacar que en ninguno de los casos se detectó la presencia de *V. cholerae*.

Tabla 24.

Parámetros microbiológicos medidos en el ADL de las distintas naves y en agua de los puertos muestreados. Se muestra el promedio (\pm DE) estimado sobre 5 muestras de ADL para las naves y 3 muestras de agua para los puertos. Las variables que no cuentan con información se designan con “-”.

| Nave/ Puerto | <i>Enterococci intestinal</i> (ufc 100ml ⁻¹) | <i>Escherichia coli</i> (ufc 100ml ⁻¹) | <i>Vibrio cholerae</i> | Recuento bacterias totales a 35°C (ufc ml ⁻¹) |
|---------------------|---|--|------------------------|--|
| CMA CGM Niagara | 0 | 0 | Ausente | 0,034 (\pm 0,007) |
| Mary | 0 | 0 | Ausente | 38,4 (\pm 39,5) |
| MSC Chloe | 0 | 0 | Ausente | 71,2 (\pm 40,3) |
| Santa Clara | 0 | 0 | Ausente | 46,8 (\pm 44,7) |
| NYK Libra | - | - | - | - |
| Du An Cheng | 0 | 0 | Ausente | 39,6 (\pm 40,8) |
| Valparaiso | 0 | 0 | Ausente | 0,02 (\pm0,009) |
| Mara | - | - | - | - |
| Milky Way II | 0 | 0 | Ausente | 16 (\pm 13,7) |
| Alpine | 18,6 (\pm 16,9) | 23,3 (\pm 24,6) | - | 0,003 (\pm 0,003) |
| Ultratronador | 3,0 (\pm 1,7) | 10,0 (\pm 3,4) | Ausente | 56,8 (\pm 6,6) |
| Aotea | 0 | < 1,8 | - | 2 |
| San Vicente | 4,3 (\pm2,1) | 32,6 (\pm4,9) | Ausente | 39,6 (\pm8,3) |
| Forestal Reina | 0 | 0 | Ausente | 0,01 (\pm 0,007) |
| Medan Express | - | - | - | - |
| Puerto montt | 0 | 0 | Ausente | 35,0 (\pm30,5) |
| Calbuco | 0 | 0 | Ausente | 11,6 (\pm13,8) |

Tabla 25.

Parámetros microbiológicos medidos en el sedimento de ADL (n = 1 nave) y en el sedimento del puerto de recalado.

| Nave/ Puerto | <i>Estreptococos fecales</i> (ufc 100ml ⁻¹) | <i>Escherichia coli</i> (ufc 100ml ⁻¹) | <i>Vibrio cholerae</i> | Recuento Aerobios Mesófilos |
|-------------------|--|---|------------------------|--|
| Du An Cheng | 15,7 (\pm 17,9) | < 18 | Ausente | 0,00047 (\pm 0,00017) |
| Valparaíso | 5,4 (\pm3,2) | < 18 | Ausente | 0,00049 (\pm0,00011) |

Parámetros biológicos

Organismos planctónicos de rango de tamaño 10-50 µm

El análisis de fitoplancton de las muestras de ADL mostró la presencia de varios grupos taxonómicos, en los que se cuentan diatomeas, dinoflagelados y silicoflagelados, así como otros organismos planctónicos de pequeño tamaño como foraminíferos y tintinidos (Tabla 26).

En referencia a la norma D2 que establece un límite de 10 individuos ml⁻¹ de organismos planctónicos de tamaño entre 10-50 µm, cinco naves superaron dicho límite en su ADL: dos naves en puerto Valparaíso, una en Pto. Calbuco y dos en Pto. San Vicente (Tabla 26; Figura 15). Las naves que presentaron mayor abundancia de fitoplancton total en sus ADL fueron el Alpine y el Ultratronador, ambos muestreados en el puerto de San Vicente y con ADL proveniente del mismo puerto, alcanzando abundancias entre ~495 a 785 cél ml⁻¹, respectivamente. Luego les siguen el Mary, recalado en Valparaíso, y la nave Medan Express recalada en el puerto de Calbuco, con abundancias de ~113,18 y 15 cél ml⁻¹, respectivamente.

Las especies de fitoplancton identificadas con mayores abundancias fueron *Asterionellopsis sp.*, *Chaetoceros sp.*, *Detonula sp.*, *Lauderia sp.*, *Nitzschia sp.*, *Scrippsiella sp.*, *Skeletonema sp.* y *Thalassiosira sp.*, las cuales variaron entre ~10 y 346 cél ml⁻¹. Destacan también, pero en bajas abundancias, *Pseudo-nitzschia delicatissima* (~0,02 a 4 cél ml⁻¹) y *Dinophysis acuminata* (~0,04 a 3 cél ml⁻¹) por ser especies generadoras de toxinas.

El análisis de las aguas provenientes de los tres puertos evidenció abundancias totales variables de fitoplancton, oscilando entre ~189,18 y 796,08 cél ml⁻¹ (Tabla 26; Figura 15). De la misma forma, la composición de especies y sus abundancias también mostró variaciones importantes, observándose valores entre ~0,04 y 394 cél ml⁻¹ por especie. Al construir un dendrograma en base al índice de similitud de Jaccard, se observa que las naves Alpine y Ultratronador, y el Puerto de San Vicente presentan una similitud mayor al 80%, lo cual es coincidente con el hecho de que ambas naves cargaron su ADL en el puerto de San Vicente (Figura 16). Las naves Santa Clara y Medan Express presentaron una similitud cercana al 55%; ambas naves tomaron ADL en el Pacífico noroeste, la primera cerca de las Islas Marshall y la segunda cerca de las Islas Marianas (Figura 16). Las naves Libra y Forestal Reina presentaron 50% de similitud, donde ambas cargaron ADL en el Pacífico Este Ecuatorial (Figura 16).

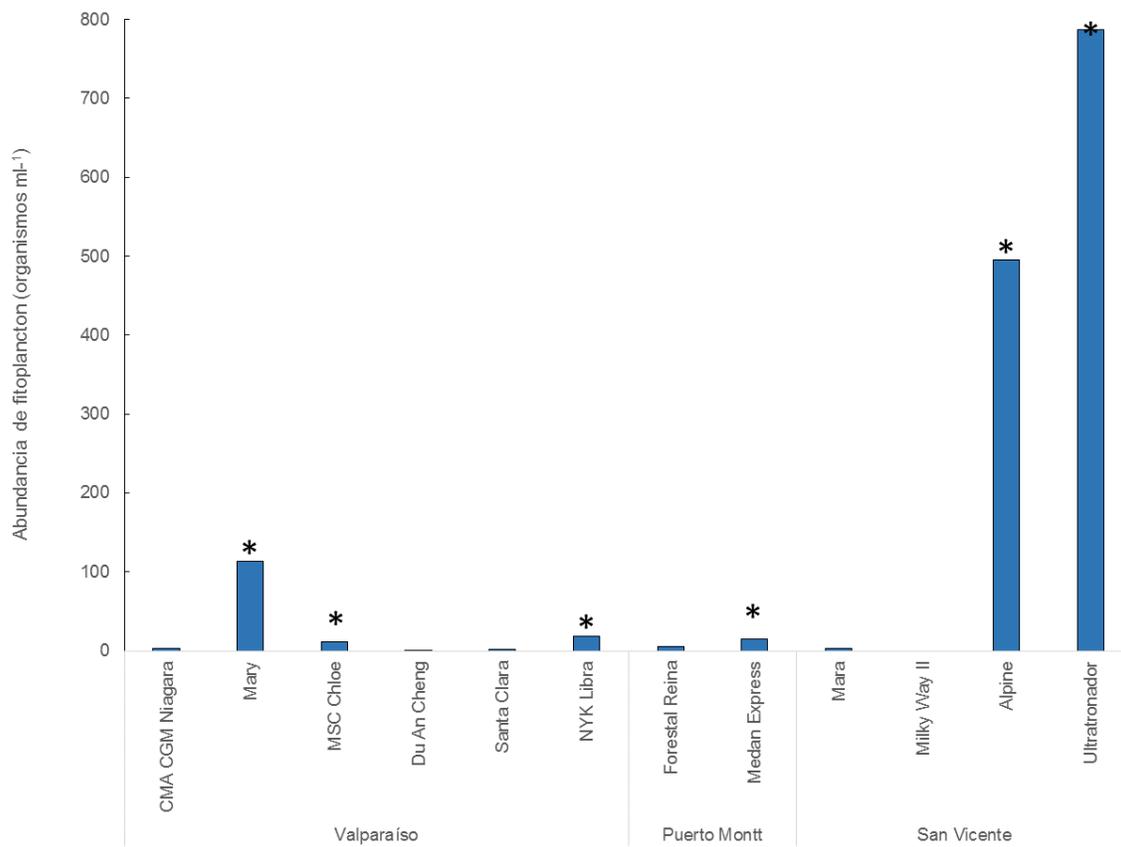


Figura 15. Abundancia total fitoplanctónica y de organismos menores a 50 μm en las muestras de ADL de las distintas naves. El * indica las naves que superan la norma D2 para organismos planctónicos de tamaño entre 10-50 μm (< 10 organismos ml⁻¹).

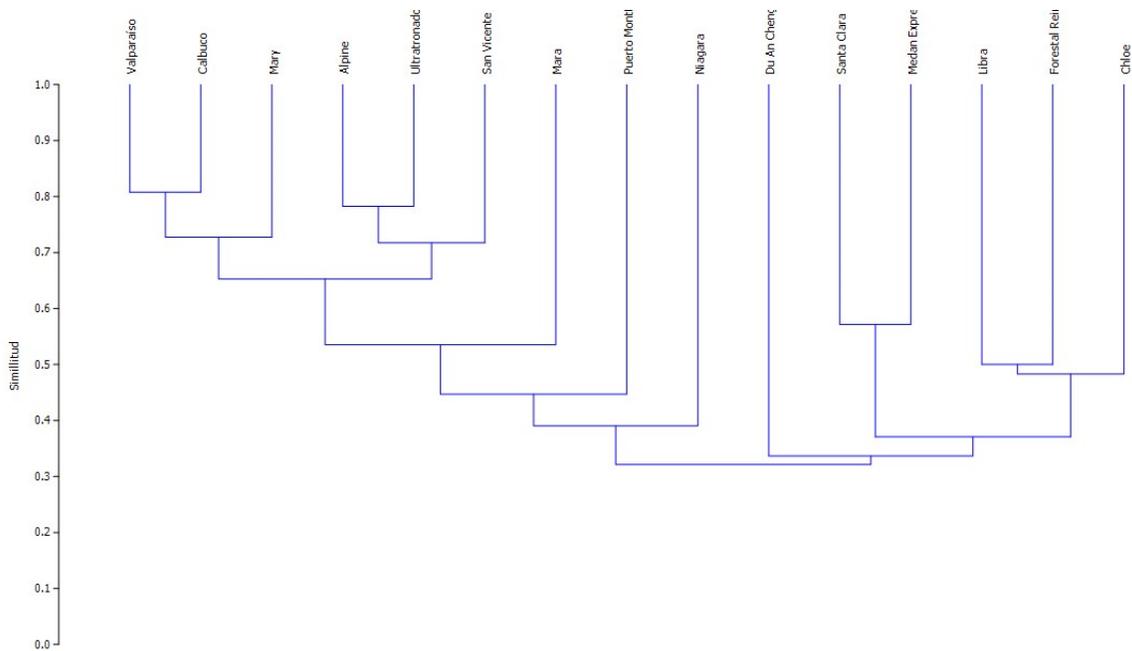


Figura 16. Dendrograma construido a través del método Paired group (UPGMA), utilizando el índice de similitud de Jaccard, de las comunidades fitoplanctónicas de organismos menores a 50 μm muestreados en el ADL de las diferentes naves y en la columna de agua de los puertos. No se consideró la nave Milky Way II debido a que no presentó organismos en su ADL.

Las muestras de fitoplancton a las cuales se les aplicó la técnica del Rojo Neutro correspondieron a las naves NYK Libra, MSC Chloe, Santa Clara y Du An Cheng del puerto de Valparaíso, Milky Way II, Mara, Alpine y Ultratronador del puerto de San Vicente y Forestal Reina de Calbuco. Este análisis sólo evidenció 13 organismos vivos del género *Thalassiosira* (con coloración rojo) en la nave Alpine, del puerto de San Vicente, lo que podría significar que pueden haber sido los únicos organismos vivos de todas las muestras analizadas. Otra posibilidad es que la concentración del Rojo Neutro no fue suficiente para visualizar resultados, o que la tinción fue lixiviada de las células poco tiempo después de realizar la tinción. Reynolds et al. 1978 describieron que el Rojo Neutro es tomado por las células vivas dentro de los 5 minutos luego de la adición; después de este tiempo la tinción se comienza a filtrar y a los 30 minutos no revela de forma confiable la sobrevivencia de los organismos.

Tabla 26.

Análisis de las comunidades fitoplanctónicas y de organismos menores a 50 µm de las muestras de ADL de las naves y de la columna de agua de los puertos. De todos las naves autorizadas para ingresar, solo en la nave Aotea no se pudo tener estimación de plancton menor. Continúa en la página siguiente.

| Puerto TAXA (nº ind ml ⁻¹) | Valparaíso | | | | | | | San Vicente | | | | | Calbuco | | | | |
|--|--------------------|------|-----------|-------------|-------------|-----------|--------------|--------------|------|--------------|--------|---------------|-------------|----------------|---------------|-----------------|---------|
| | CMA CGM Niagara | Mary | MSC Chloe | Du An Cheng | Santa Clara | NYK Libra | VALPARAÍSO 1 | VALPARAÍSO 2 | Mara | Milky Way II | Alpine | Ultratronador | SAN VICENTE | Forestal Reina | Medan Express | PUERTO MONTT | CALBUCO |
| Diatomeas | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Amphiprora sp.</i> | 0 | 0,3 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Asterionellopsis sp.</i> | 0 | 0,14 | 0,06 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0,96 | 0 | 0 | 2 | 11 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0,16 |
| <i>Biddulphia sp.</i> | 0,02 | 0,02 | 0 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,08 | 0,04 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Chaetoceros sp.</i> | 0,12 | 0,08 | 1 | 0 | 0,14 | 2 | 42 | 14 | 0,04 | 0 | 9 | 10 | 314 | 0,08 | 0,24 | 0,12 | 35 |
| <i>Cocconeis sp.</i> | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Corethron sp.</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,14 | 3 | 0,92 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,16 |
| <i>Coscinodiscus sp.</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Cylindrotheca sp.</i> | 0,04 | 0,42 | 0 | 0,02 | 0 | 0,12 | 0,2 | 0,12 | 0,02 | 0 | 0,04 | 0,44 | 0,24 | 0 | 0 | 2 | 0,08 |
| <i>Detonula sp.</i> | 0,04 | 35 | 0 | 0 | 0,16 | 0 | 6 | 2 | 0,06 | 0 | 3 | 6 | 0,28 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Ditylum sp.</i> | 0 | 0,22 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0,26 | 0,24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,12 | 0 | 0 | 0,02 |
| Diatomea central 1 | 0,04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,04 | 0 | 0 | 0,04 | 0 | 19 | 0,16 |
| Diatomea pennada 1 | 0 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,04 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Diatomea pennada 2 | 0 | 0,08 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0,04 | 0 | 0 | 0 | 0,16 | 0,08 |
| Diatomea pennada 3 | 0,08 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,3 | 0,06 | 0,02 | 0 | 0,26 | 0,08 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,28 |
| Diatomea pennada 4 | 0,02 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0 | 0,02 | 0 | 0,26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,16 | 0,14 |
| <i>Eucampia sp.</i> | 0 | 0 | 0,08 | 0,02 | 0 | 0,52 | 99 | 27 | 0 | 0 | 3 | 3 | 10 | 0,02 | 0 | 7 | 12 |
| <i>Fragilaria sp.</i> | 0,08 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Fragilariopsis sp.</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Grammatophora sp.</i> | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0,08 | 0 |
| <i>Lauderia sp.</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Leptocylindrus sp.</i> | 0 | 0,42 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0,54 | 1 | 15 | 0 | 0 | 15 | 19 |
| <i>Licmophora sp.</i> | 0 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,18 | 0,06 | 0,02 | 0 | 0,02 | 0,12 | 0,28 | 0 | 0 | 0 | 0,02 |
| <i>Melosira sp.</i> | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Nitzschia sp.</i> | 0 | 0,5 | 0,16 | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 2 | 1 | 0,26 | 0 | 40 | 3 | 16 | 0,18 | 0,04 | 0,08 | 3 |

| Puerto | Valparaíso | | | | | | | | San Vicente | | | | | Calbuco | | | |
|---|--------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|-----------------|---------------|
| | CMA CGM Niagara | Mary | MSC Chloe | Du An Cheng | Santa Clara | NYK Libra | VALPARAÍSO 1 | VALPARAÍSO 2 | Mara | Milky Way II | Alpine | Ultratronador | SAN VICENTE | Forestal Reina | Medan Express | PUERTO MONTT | CALBUCO |
| TAXA (n° ind ml ⁻¹) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Planktoniella sp.</i> | 0,08 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Pleurosigma sp.</i> | 0,04 | 0,02 | 0 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,04 | 0,04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,02 |
| <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> | 0,08 | 0,26 | 0,02 | 0 | 0 | 0,02 | 4 | 0,74 | 0,16 | 0 | 1 | 1 | 5 | 0 | 0 | 0,56 | 2 |
| <i>Rhizosolenia sp.</i> | 0 | 0 | 0 | 0,06 | 0 | 0,02 | 0,08 | 0,04 | 0,02 | 0 | 0,02 | 0,56 | 0,44 | 0,06 | 0 | 0 | 0,08 |
| <i>Stephanopyxis sp.</i> | 0 | 0,04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,28 |
| <i>Skeletonema sp.</i> | 0,68 | 65 | 6 | 0,04 | 1 | 1 | 71 | 18 | 0,78 | 0 | 247 | 173 | 138 | 3 | 0,42 | 6 | 8 |
| <i>Thalassiosira sp.</i> | 0,76 | 2 | 3 | 0,82 | 1 | 15 | 394 | 120 | 0,88 | 0 | 157 | 346 | 234 | 0,96 | 14 | 17 | 267 |
| <i>Thalassiothrix sp.</i> | 0,16 | 8 | 0,32 | 0 | 0 | 0,1 | 6 | 2 | 0,08 | 0 | 0,2 | 1 | 0,76 | 0,58 | 0 | 0 | 0 |
| Dinoflagelados | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Dinophysis acuminata</i> | 0,06 | 0,06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 |
| <i>Diplopsalis sp.</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 |
| <i>Ceratium furca</i> | 0,06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Scrippsiella sp.</i> | 0 | 0,02 | 0 | 0,08 | 0 | 0 | 0,18 | 0 | 0 | 0 | 13 | 32 | 42 | 0,04 | 0,08 | 340 | 1 |
| <i>Prorocentrum sp.</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,8 | 0 |
| <i>Protoperidinium sp.</i> | 0 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,4 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0,32 | 1 | 0 | 0 | 22 | 0,04 |
| Silicoflagelados | 0,08 | 0,06 | 0,02 | 0,06 | 0,04 | 0 | 0,06 | 0,02 | 0,5 | 0 | 0 | 0,04 | 0 | 0 | 0 | 0,14 | 0,2 |
| Foraminíferos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quistes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,06 | 0 | 0 | 192 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tintinidos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,74 | 0 | 0 | 0 | 0,4 | 0 | 0 |
| TOTAL | 2,64 | 113,5 | 11,18 | 1,24 | 2,46 | 18,98 | 637,76 | 189,18 | 2,98 | 0 | 495,16 | 786,72 | 796,08 | 5,08 | 15,18 | 441,1 | 349,72 |

Organismos planctónicos de tamaño > 50 µm

Los análisis de zooplancton en los ADL de las naves analizadas evidenciaron en general presencia de varios grupos de invertebrados marinos, tales como copépodos, sifonóforos, poliquetos, entre otros, siendo los más abundantes las especies de copépodos como *Paracalanus cf. indicus*, *Oithona* sp. y *Tigriopus* sp. (Tabla 27). También se observa la presencia de larvas de diferentes taxa, siendo las más abundantes larvas nauplius, cipris y larvas de poliquetos (Tabla 27).

La prueba de Rojo Neutro permitió evaluar la sobrevivencia del zooplancton transportado de las naves NYK Libra, MSC Chloe, Santa Clara y Du An Cheng del puerto de Valparaíso, Milky Way II, Mara, Alpine y Ultratronador del puerto de San Vicente y Forestal Reina y Medan Express de Calbuco. En la mayoría de los casos se observó una alta sobrevivencia (> 90%) (Tabla 27). Solo en las naves Du An Cheng y Forestal Reina se registró 0% de sobrevivencia. El porcentaje de sobrevivencia del zooplancton no mostró una relación significativa con el tiempo de residencia del ADL (Correlación Spearman: $R = 0,2$; $p > 0,05$); tanto tiempos de residencia bajos como altos mostraron valores de sobrevivencia del 100% (Figura 18). El ADL de las naves Milky Way II y Medan Express fueron las únicas en las que no se observó transporte de organismos planctónicos vivos o muertos.

Teniendo en consideración la norma D2 para organismo planctónicos > 50 µm, la abundancia total de plancton vivo en el ADL analizado superó la norma D2 en ocho de las once naves muestreadas, oscilando entre 300 y 12.000 organismos m^{-3} (Tabla 27; Figura 17). Las naves con los mayores valores fueron Mary y Mara con abundancias de ~12.000 individuos m^{-3} para ambos casos.

La única nave que declaró aplicar tratamiento al ADL a bordo fue MSC Chloe, que si bien presentó valores comparativamente bajos de abundancia de plancton, superó la norma D2 para organismos pequeños y de mayor tamaño (Tabla 26 y Tabla 27).

| PUERTO | VALPARAÍSO | | | | | | | | | | | SAN VICENTE | | | | | | | | PTO. MONTT/CALBUCO | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|------------|----------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|----------|-------------------|--------------|------------|----------|----------|--------------|----------|--------------|------------|--------------------|----------|-------------|----------|----------------|-------------------|-------------------|---|------------|---------|
| | CMA CGM Niagara | | Mary | | MSC Chloe | | Santa Clara | | Du An Cheng | | NYK Libra | | VALPARAÍSO | Mara | | Milky Way II | | Alpine | | Ultratronador | | SAN VICENTE | | Forestal Reina | | Medan Express | | PTO. MONTT | CALBUCO |
| | Número organismos | Número organismos | VIVO | MUERTO | VIVO | MUERTO | VIVO | MUERTO | VIVO | MUERTO | Número organismos | VIVO | MUERTO | VIVO | MUERTO | VIVO | MUERTO | VIVO | MUERTO | Número organismos | VIVO | MUERTO | VIVO | MUERTO | Número organismos | Número organismos | | | |
| <i>Mormonilla phasma</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| <i>Conaea sp.</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 231 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| <i>Micreosetella norvergica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 700 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Gelata | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 43300 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1800 | |
| Sifonoforo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Familia Diphyidae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 200 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Poliquetos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Poliqueto indeterminado | 0 | 700 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 700 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Meroplancton | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Larva cypis | 0 | 2200 | 0 | 0 | 0 | 200 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2200 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 300 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Larvas poliqueto | 0 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 900 | 0 | 0 | 0 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4800 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Larva ctenoforo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Larva bryozoa | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| TOTAL | 7400 | 12000 | 300 | 0 | 2800 | 200 | 0 | 1000 | 500 | 0 | 800 | 12000 | 267 | 0 | 0 | 93100 | 0 | 17300 | 200 | 400 | 0 | 100 | 0 | 0 | 400 | 2100 | | | |

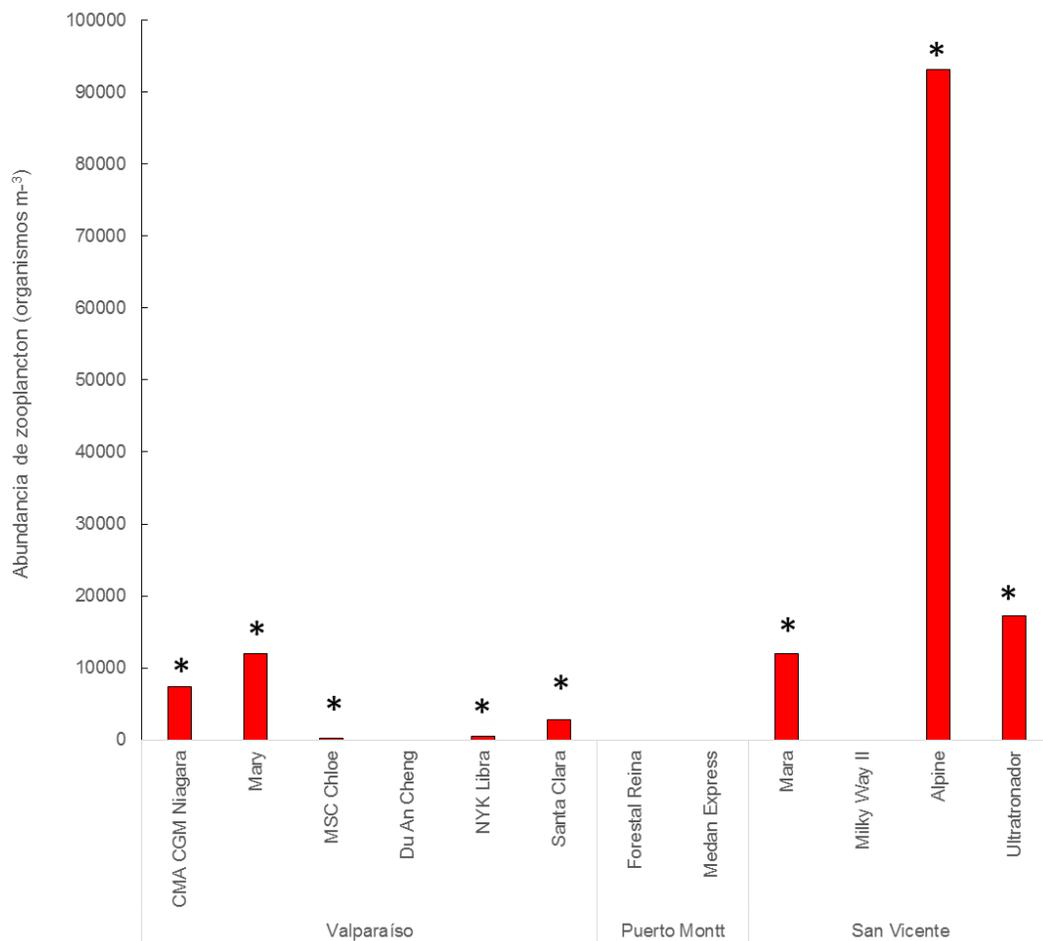


Figura 17. Abundancia total de organismos vivos mayores a 50 μm en las muestras de ADL de las distintas naves. El * indica las naves que superan la norma D2 para organismos planctónicos de tamaño $> 50 \mu\text{m}$ (< 10 individuos m^{-3}).

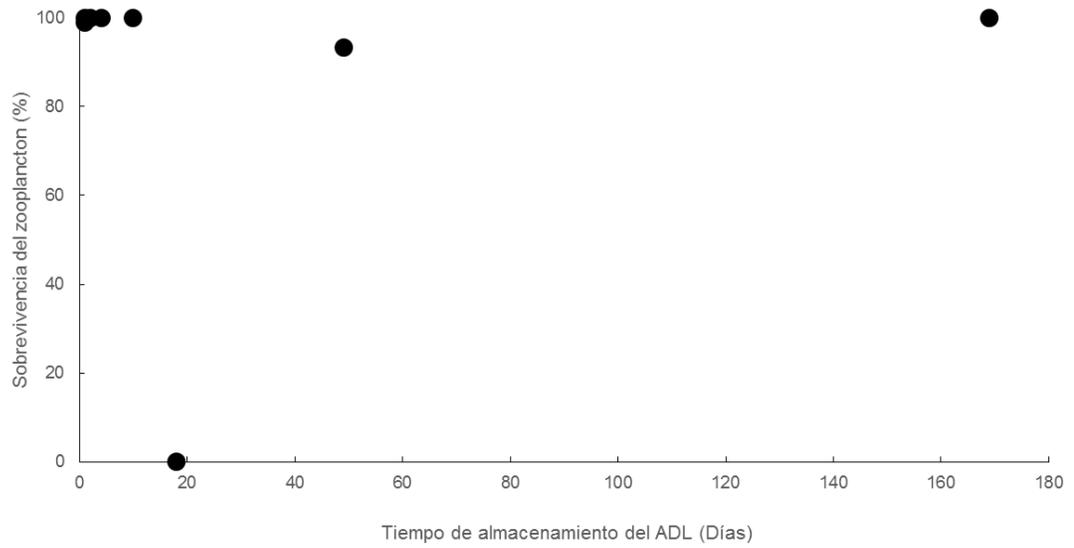


Figura 18. Relación entre el tiempo de almacenamiento del ADL y sobrevivencia del zooplancton (%) medido a través de la técnica de Rojo Neutro. Correlación Spearman: $R = 0,2$; $p < 0,05$.

BRECHAS, COSTOS Y LINEAMIENTOS

BRECHAS

A partir de las actividades ejecutadas por el proyecto, particularmente en el desarrollo del modelo de riesgo y de los muestreo piloto, se detectó una serie de situaciones identificadas como brechas para la adecuada aplicación futura de un plan de vigilancia en los puertos chilenos. Estas brechas fueron categorizadas en dos grupos, normativas y logísticas, y se indican a continuación.

Normativas

- Ausencia formal de fiscalización y sanciones asociadas a la introducción de especies perjudiciales.
- Inexistencia de un pronunciamiento obligatorio (autorización) otorgado por un órgano estatal competente en la protección de la biodiversidad.
- Poca claridad en la fiscalización de naves establecida en las normas nacionales actualmente vigentes, las que solo definen la verificación de datos declarados en los informes de ADL y no consideran protocolos formales para constatar la calidad de ADL.
- Problemas en la ejecución de la circular A51/002 en cuanto a solicitar los informes de ADL ya sea a las naves o a las agencias navieras.

Logísticas

- Problemas en la recepción, procesamiento, control y/o almacenamiento de informes de ADL.
- Entrega poco oportuna de los informes de ADL por parte de las naves o agencias navieras para fines de efectuar muestreos de calidad del ADL.
- Insuficiente dotación de personal de la Armada (principalmente DIRECTEMAR-DIRINMAR) para monitorear y fiscalizar naves.
- Carencia de un sistema de alerta temprana para adoptar rápidas medidas de control.
- Insuficiente número de expertos en la identificación de especies perjudiciales o plagas, y/o en la identificación de especies encontradas fuera de Chile.
- Carencia de equipamiento adecuado para muestrear ADL y sedimentos de lastre.
- Carencia de certificación por los laboratorios de análisis existentes para la identificación de plancton, y la detección de microorganismos específicos (*V. cholerae*, *E. coli*, enterococos) en agua de mar.

- Falta de laboratorios de análisis certificados en las distintas regiones administrativas del país.
- Falta de servicios de reparto/entrega que aseguren la llegada oportuna de muestras biológicas (dentro de los plazos críticos para efectuar análisis viables) a los laboratorios.

PROPUESTA DE PLAN DE VIGILANCIA

Atendiendo al Convenio Internacional para el Control y la Gestión del Agua de lastre y los Sedimentos de las Naves (en adelante, "Convenio"), esta sección presenta una propuesta de Plan de Vigilancia (PV) enfocada en la supervisión de la adecuada gestión del ADL en naves y puertos por parte de la institucionalidad pública, con los objetivos de:

- minimizar el riesgo de introducción de organismos perjudiciales (especies exóticas invasoras, patógenos, plagas) a través de la evaluación tanto de la presencia de dichos organismos como de parámetros físicos y químicos en el ADL de las naves extranjeras y nacionales que utilizan los puertos de Chile.
- entregar orientaciones técnicas y prácticas sobre el muestreo y el análisis del ADL, para determinar si una nave cumple con las normas exigidas a nivel internacional.

Este PV no aborda prescripciones de orden jurídico, y contempla procedimientos técnicos para el muestreo de ADL en el marco de las directrices D2 (IMO 2009), que si bien son más complejas y costosas que las directrices D1 (referidas a análisis indicativos), se han estimado necesarias para ejercer un control efectivo. No obstante, las definiciones y los protocolos de muestreo y análisis han sido ajustados para lograr una aproximación a la aplicación de D2 que sea técnicamente adecuada el marco del Convenio, y a la vez factible de implementar considerando la realidad operacional y jurídica de Chile.

En los procedimientos de muestreo, los funcionarios encargados y autorizados por la institucionalidad pública responsable de aplicar el PV deberán utilizar métodos y protocolos que sean: (i) seguros, tanto para la nave como para los inspectores, la tripulación y los armadores; (ii) simples, prácticos y aplicables; y (iii) rápidos a fin de no retrasar innecesariamente las operaciones, la salida o los desplazamientos de la nave.

Definiciones generales

Las definiciones establecidas en el Convenio (véase Anexo 2 del Convenio; IMO 2004) constituyen el marco general de referencia para los términos y conceptos utilizados en esta propuesta de PV. A continuación se presentan solo algunas definiciones específicas que han sido adaptadas al contexto del PV, o que son esenciales para interpretar aspectos particulares del mismo:

- a. *Agua de lastre (ADL)*: agua cargada a bordo de una nave (con las materias en suspensión que contenga) para controlar el asiento, la escora, el calado, la estabilidad y los esfuerzos de la nave.
- b. *Análisis de riesgo*: ejecución de un modelo semi-cuantitativo que provee una estimación del riesgo relativo de introducción de especies perjudiciales para cada lugar donante de ADL a un puerto receptor. La evaluación considera un intervalo de tiempo representativo del patrón contemporáneo de comercio de un puerto focal, y sus resultados solo tienen validez para dicho puerto.
- c. *Análisis pormenorizado*: prueba de cumplimiento de la norma D2 (véase IMO 2009), que considera: (i) la extracción *in situ* de muestras de ADL representativas, y suficientes en calidad y cantidad, para obtener estimaciones precisas de la composición y cantidad de los organismos de interés; (ii) la determinación de la concentración de organismos (número de organismos viables por unidad de volumen) de los tipos y categorías de tamaño especificados por la norma D2, usando métodos con límites de detección adecuados para cada tipo de organismo; y (iii) la comparación directa de los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles definidos por la norma D2 para cada tipo de organismo.
- d. *Nave*: embarcación de cualquier tipo que opera en medios acuáticos, incluidos los sumergibles, artefactos flotantes, plataformas flotantes, unidades flotantes de almacenamiento, y unidades flotantes de producción, almacenaje y descarga.
- e. *Gestión del agua de lastre* : procedimientos mecánicos, físicos, químicos o biológicos, utilizados ya sea individualmente o en combinación, destinados a extraer o neutralizar los organismos acuáticos perjudiciales y/o agentes patógenos presentes en el ADL y los sedimentos, o a evitar la toma o la descarga de los mismos.
- f. *Plancton*: organismos vegetales (fitoplancton; e.g., diatomeas, dinoflagelados) y animales (zooplancton; e.g., larvas, copépodos) que habitan en un cuerpo de agua y que no son capaces de nadar contra una corriente. El plancton incluye especies que desarrollan todo su ciclo de vida en la columna de agua, así como estados tempranos o fases particulares del ciclo de vida de especies que pueden habitar en otros tipos de ambientes.
- g. *Sedimentos de lastre*: materia resuspendida o contenida originalmente en el ADL cargada por una nave, que luego se deposita en los estanques de ADL.

Sobre las autoridades responsables del Plan de Vigilancia

La presente propuesta ratifica la noción de que la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (DIRECTEMAR) de la Armada de Chile, a través de su dirección técnica denominada Dirección de Intereses Marítimos y Medio Ambiente (DIRINMAR), debiera ser la responsable de coordinar el monitoreo y la fiscalización de las naves según define el PV, considerando que la misión de la DIRECTEMAR es “... *cautelar el cumplimiento de las leyes y acuerdos internacionales vigentes, para dar seguridad a la navegación, proteger la vida humana en el mar, preservar el medio ambiente acuático, los recursos naturales marinos y fiscalizar las actividades que se desarrollan en el ámbito marítimo de su jurisdicción, con el propósito de contribuir al desarrollo marítimo de la nación*” (<https://www.directemar.cl/>).

En este contexto, la ejecución del PV descansaría en el Departamento de Intereses Marítimos y Preservación del Medio Ambiente Acuático de las Gobernaciones Marítimas y las Capitanías de Puerto respectivas, atendiendo a que una de las funciones de las Gobernaciones Marítimas es la supervisión y coordinación de las actividades de fiscalización, registro y control que ejecuten sus Capitanías de Puerto para la protección del medio ambiente acuático (<https://www.directemar.cl/>).

Sin perjuicio de lo anterior, ante la naturaleza compleja de los riesgos biológicos asociados al ADL es necesario reconocer además las competencias de las autoridades sanitarias y pesqueras, y por lo tanto la pertinencia de una coordinación intersectorial, la cual se describe en la sección siguiente de este Informe referida a lineamientos sectoriales.

Frecuencia de muestreo de naves

El muestreo de naves se enfocará en aquellas que informen a las capitanías de puerto respectivas que durante su estadía deslastrarán al menos un estanque de ADL. Sin embargo, a fin de alimentar el desarrollo de los modelos de riesgo, y de retroalimentar su aplicación a futuro, se enfatiza la necesidad crucial de coleccionar los informes de ADL de todas las naves que usen un puerto, incluyendo aquellas que no serán muestreadas o que no van a deslastrar.

Debido a la baja disponibilidad y confiabilidad de datos referidos al transporte, carga y descarga de ADL en los años precedentes, se propone aplicar el Principio Precautorio y muestrear el máximo número de naves que deslastrarán, teniendo en cuenta el nivel de tráfico en cada puerto. Es decir, los puertos con bajo flujo debieran muestrear idealmente todas las naves que deslastren, y los puertos con mayor flujo debieran seleccionar el mayor número posible de naves de acuerdo a sus

capacidades operativas y en función del análisis de riesgo efectuado (seleccionando aquellas con mayor riesgo). Por igual razón el PV ha privilegiado el análisis pormenorizado D2 en lugar de considerar muestreos indicativos.

Además, considerando la eventual aplicación regular del PV en puertos con alto flujo de naves, y el tiempo requerido para ejecutar completamente un muestreo de ADL, habrá una baja probabilidad de que puedan muestrearse todas las naves de alto riesgo, o todos los estanques de ADL de alto riesgo en una misma nave. Por ello en tales casos se recomienda seleccionar al menos un estanque (priorizado por su nivel de riesgo) en cada nave a muestrear.

Escenarios alternativos para la ejecución de los muestreos

La evaluación económica vinculada al PV ha considerado dos escenarios (desarrollados más adelante) que inciden tanto en la definición de los encargados de realizar los muestreos y análisis, como en los costos asociados.

Con el propósito de independizar a la autoridad marítima de la obtención de la información que se usará en la toma de decisiones sobre las naves, y de evitar que dicha autoridad deba aumentar su dotación de personal para estos efectos, se definió un escenario denominado “**Óptimo**” que propone externalizar todas las etapas del muestreo y la medición de parámetros *in situ*, que en tal caso serían asignadas a laboratorios y/o empresas que cuenten con las capacidades y certificaciones correspondientes.

Alternativamente se definió un escenario denominado “**Subóptimo**” que mantiene parcialmente las condiciones actuales, asignando parte de las responsabilidades y costos a la autoridad marítima, pero que implicaría aumentar su dotación de personal capacitado para estas labores.

En los párrafos siguientes, algunos aspectos pueden variar dependiendo del escenario adoptado.

Debe considerarse que la decisión de externalizar los muestreos idealmente debiera ir asociada al desarrollo de capacidades instaladas que actualmente son insuficientes o inexistentes para cubrir las nuevas necesidades en las distintas Regiones Administrativas, particularmente en relación a las experticias requeridas para la identificación de organismos exóticos.

Sobre la toma de muestras a bordo de las naves

El muestreo de ADL deberá considerar equipamiento específico y recomendado para tal efecto (incluyendo redes de plancton y bombas), utilizando procedimientos adecuados para el método analítico que se quiera aplicar y realizados con las debidas precauciones (e.g., evitando la entrada de luz), y procurando que la toma de muestras desde los estanques de lastre integre varias profundidades buscando su representatividad (véase IMO 2009).

Cuando se utilicen redes de plancton del tamaño recomendado por el Convenio (i.e. 50 μm), se deberán bajar hasta la máxima profundidad accesible dentro del tanque de lastre y subirse a una velocidad aproximada de 0,5 m s^{-1} , si es necesario realizando múltiples lances verticales hasta alcanzar el volumen prescrito para la muestra. En caso de utilización de bombas, la tubería de succión de la bomba deberá coleccionar ADL en la parte superior, media e inferior de la columna de agua para obtener una muestra heterogénea (integrada), y el volumen de agua de las muestras podrá medirse volumétricamente en recipientes estándar. Las bombas usadas deben ser aquellas que no contribuyan a la mortalidad de los organismos y que tengan características seguras para la nave (considerando por ejemplo la presencia de atmósferas explosivas).

Identificación de las muestras de ADL

Velando por la calidad y confiabilidad del procedimiento de análisis y basándose en la norma D2, en cada muestreo y/o para cada tipo de muestra deberá usarse una ficha de caracterización que contenga un conjunto mínimo de ítems que permita asegurar la trazabilidad de la muestra (a los cuales podrán o deberán agregarse otros ítems que se estimen pertinentes o necesarios en función de los protocolos a seguir por parte de las entidades o laboratorios responsables). Para ello se recomienda considerar al menos los siguientes:

| | |
|---|--|
| Fecha de muestreo | |
| DATOS DE LA NAVE | |
| Nombre | |
| Señal de llamada | |
| Número IMO | |
| Fecha de construcción | |
| | |
| DATOS DEL ESTANQUE MUESTREADO * | |
| Identificación | |
| Tipo y emplazamiento | |
| Capacidad máxima de ADL | |
| Volumen de ADL cargado | |
| Tipo de gestión realizada al ADL | |
| Fecha de la gestión realizada al ADL | |
| | |
| DATOS DE LA MUESTRA ** | |
| Código de identificación | |
| Tipo de muestra | |
| Técnica de muestreo utilizada red de plancton (profundidades, tamaño de abertura de red, tamaño de la red), bombas (profundidades de muestreo y capacidad de bombeo en L min ⁻¹), botella (profundidades de muestreo y capacidad de la botella en L) | |
| Hora de inicio del muestreo | |
| Hora de finalización del muestreo | |
| Origen del ADL muestreada (latitud y longitud) | |
| Tipo de acceso usado para obtener la muestra | |
| Volumen de ADL tomado para la muestra | |
| Otros datos: - conservante utilizado (cuando proceda) - recipiente de refrigeración - condiciones de almacenamiento - traslado al laboratorio - etc. | |

* Si se muestrea más de un estanque, esta sección debe replicarse para cada estanque.

** En cada estanque muestreado, esta sección debe replicarse para cada tipo de muestra obtenida (i.e. especies de plancton mayores o menores, microorganismos).

De la seguridad del personal muestreador

Por principios de la normativa internacional, la salud y la seguridad de los trabajadores deben ser la mayor prioridad durante los procedimientos de muestreo de ADL, considerando que las naves y puertos son entornos de trabajo peligrosos. Previo al procedimiento de muestreo se deben revisar los riesgos específicos del agua muestreada. Toda vez que sea necesario, se deberá utilizar el equipo de protección personal apropiado y seguir las recomendaciones del personal a cargo de la actividad.

Los procedimientos para tomar muestras de ADL exigen la capacitación necesaria para trabajar en espacios cerrados. Además, la autoridad marítima chilena exige el Curso Básico de Seguridad y Familiarización a Bordo (o equivalente) al personal que muestreará a bordo. Las orientaciones del Convenio indican que, en caso de que el muestreo requiera la entrada en espacios restringidos, deberán consultar las recomendaciones relativas a la entrada en espacios cerrados a bordo de las naves (IMO 2006). En caso de utilizar equipamiento eléctrico para el muestreo se deberá consultar al Capitán de la nave o a un miembro del personal encargado de la electricidad de la compañía portuaria.

Sobre el procedimiento de comunicación de la aplicación del PV

El PV se activa una vez que la Capitanía de Puerto respectiva recibe la información relativa a la planificación naviera semanal, y al menos con 2 días de antelación se debe recibir el informe de ADL de la nave, a fin de conocer si deslastará durante su estadía en el puerto. En principio las naves que no deslastren no serán seleccionadas para aplicar el PV. Sin embargo, con objeto de alimentar y actualizar el modelo de riesgo **el informe de ADL deberá ser solicitado a todas las naves que usen el puerto**, independientemente de que deslastren o no, o de que hayan aplicado algún tipo de manejo al ADL.

En caso de las naves que deslastren, la Capitanía de Puerto respectiva evaluará la selección de la nave y de el o los estanques a muestrear, luego de lo cual procederá a informar su decisión al Capitán de la nave y solicitará las facilidades necesarias para el muestreo (D2).

La autoridad marítima se comunicará con el laboratorio respectivo para la entrega de las muestras, según el procedimiento que asegure la cadena de custodia. Para el caso de muestras destinadas a establecer la calidad sanitaria del ADL (presencia y/o abundancia de patógenos), el laboratorio

deberá estar acreditado por la autoridad sanitaria o bien derivar las muestras a laboratorios debidamente certificados para tal efecto.

Estándares exigidos por la norma D2 al ADL desdargado

De acuerdo a la norma D2 para naves que transporten ADL, sus descargas de organismos de tipo planctónico no deben exceder los siguientes estándares:

- menos de 10 organismos viables por metro cúbico, en el caso de organismos de tamaño mínimo igual o superior a 50 µm.
- menos de 10 organismos viables por mililitro, en el caso de organismos de tamaño inferior a 50 µm pero igual o superior a 10 µm.

Similarmente, en cuanto a estándares de salud humana las descargas de microorganismos indicadores no deben exceder los siguientes límites:

- *Vibrio cholerae* toxicogénico (cepas/biotipos clínicamente más relevantes O1 y O139): menos de 1 unidad formadora de colonias (ufc) por 100 mililitros, o menos de 1 ufc por gramo (peso húmedo) de muestra de zooplancton.
- *Escherichia coli*: menos de 250 ufc por 100 mililitros.
- Enterococos intestinales: menos de 100 ufc por 100 mililitros.

Debe notarse que la norma D2 no define la forma de evaluar la viabilidad del plancton o los microorganismos, y tampoco existen normas o métodos estandarizados internacionalmente. Por lo tanto los laboratorios que participen en el PV deberán disponer de protocolos con certificación internacional y atenerse a las normas vigentes que sean pertinentes en este contexto.

Del muestreo de parámetros físicos químicos del ADL y sedimentos

Los parámetros fisicoquímicos del ADL que se deberán registrar para cada muestra son temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, turbidez y potencial redox. Para el caso de los sedimentos los parámetros físicos y químicos que se deberán medir *in situ* son temperatura, pH y potencial redox.

Si estas mediciones son externalizadas, debe considerarse que no existen normas estandarizadas internacionalmente, y se recomienda que el laboratorio acreditado mantenga el equipamiento

debidamente calibrado de acuerdo a las normas del fabricante y acreditado ante el organismo certificado pertinente para estos fines.

Si estas mediciones no son externalizadas, la Autoridad Marítima a través de sus respectivas Capitanías de Puerto debe mantener una sonda multiparámetro debidamente calibrada y los insumos propios para la evaluación de las variables físico químicas, que estará a cargo de personal debidamente capacitado en el uso y manejo de la sonda y las metodologías de muestreo.

Registro de la trazabilidad de las muestras

Con el propósito de asegurar la confiabilidad y calidad de las muestras obtenidas, así como su almacenamiento y transporte, es indispensable mantener un adecuado registro que permita su trazabilidad. Además de los datos incluidos en la ficha de identificación de muestras definida anteriormente, debiesen proporcionarse antecedentes completos de las personas que han manipulado las muestras desde el momento del muestreo hasta la generación de los informes emanados del laboratorio certificado.

Si el muestreo es externalizado, los laboratorios responsables de los análisis deberán demostrar su capacidad de implementar protocolos de muestreo con las debidas cartas de custodia que permitan asegurar la trazabilidad de la muestra y la cadena de responsabilidad respectiva.

De los reportes de informes y/o certificados

Cada informe de laboratorio debe incluir, como mínimo, la siguiente información:

- Título
- Nombre y dirección del laboratorio o del lugar donde se realizaron los ensayos
- Identificación única del informe de ensayo (código del número de serie) y número de página
- Nombre y dirección del solicitante
- Identificación del método de análisis utilizado
- Descripción, condición e identificación inequívoca de el o los ítems sometidos a ensayos
- Fecha de recepción de el o los ítems sometidos a ensayo, cuando esta sea crítica para la validez y la aplicación de los resultados, y fecha de ejecución del ensayo
- Referencia al plan y procedimiento de muestreo utilizado en el laboratorio
- Resultados de los ensayos con sus unidades de medidas y límites de detección
- Nombre del responsable

- Identificación del estanque y nave de origen de la muestra
- Tipo de muestra
- Comparación de los resultados con la norma D2

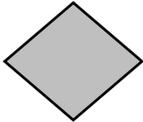
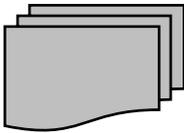
De los laboratorio certificados

Los laboratorios que puedan aplicar el muestreo a bordo deberán estar certificados con la norma vigente para Chile (e.g. para una situación ideal véase norma UNE-EN ISO/IEC 17025) que corresponde a la acreditación de laboratorios de ensayo y/o calibración. El objetivo de esta exigencia es garantizar la competencia técnica y la fiabilidad de los resultados analíticos de los ensayos. La norma contiene tanto requisitos de gestión como requisitos técnicos que inciden sobre la mejora de la calidad del trabajo realizado en los laboratorios.

Los laboratorios que solo efectúen análisis deben poseer al menos ensayos físico-químicos, ensayos microbiológicos, y capacidades para la identificación taxonómica de organismos planctónicos u otros que pudieran encontrarse en las muestras de ADL.

Diagrama de flujo del Plan de Vigilancia

Los aspectos centrales del PV, y en particular los asociados a la toma de decisiones sobre las naves, se han sintetizado en un diagrama de flujo usando la siguiente simbología que representa operaciones, datos, direcciones de flujo y recursos:

| Símbolo | Significado | Símbolo | Significado |
|---|---|--|--|
|  | Terminal: indica el inicio o término del flujo del proceso. |  | Actividad: actividad del proceso. |
|  | Decisión: punto del flujo en que se produce una bifurcación del tipo "Sí" – "No". |  | Documento: documento utilizado en el proceso o generado en el mismo. |
|  | Procedimiento Predefinido: procedimiento que ya ha sido establecido y es considerado en el proceso. |  | Multidocumento: conjunto de documentos relacionados. |
|  | Línea de flujo: indica el sentido de flujo del proceso. | | |

La Figura 19 muestra un diagrama de flujo que describe el proceso general que conduce a decisiones respecto a (i) muestrear o no una nave individual, y (ii) determinar su cumplimiento de la norma D2 para adoptar las medidas correspondientes.

En la eventual aplicación regular del PV, el diagrama representa un proceso iterativo aplicado a cada uno de las naves que arriban a un puerto, y se inicia con la entrega de información clave a la Capitanía de Puerto por parte de la agencia naviera (planificación de arribo de naves y datos de las naves) y de la nave (informe de ADL).

La decisión de seleccionar una nave para evaluar D2 es tomada por la Capitanía aplicando los resultados cuantitativos y/o cualitativos derivados del modelo de riesgo, considerando tanto la ubicación del último puerto de zarpe como el origen geográfico de ADL en el o los estanques que serán deslastrados. Si se decide evaluar D2, la ejecución el muestreo es responsabilidad de quien corresponda según el escenario económico adoptado (óptimo vs. sub óptimo).

El incumplimiento de D2 implica un procedimiento sancionatorio (actualmente inexistente) cuya definición e implicancias (e.g., multas) deben ser establecidas por los organismos públicos que corresponda. Sin embargo, debe notarse que el tiempo requerido para disponer de los resultados de análisis biológicos puede exceder el tiempo de permanencia de la nave en el puerto. Por lo tanto la notificación de eventuales sanciones podría ocurrir después que la nave haya zarpado, a menos que la Autoridad Marítima esté facultada para impedir el deslastre y/o el zarpe hasta contar con todos los insumos para su decisión.

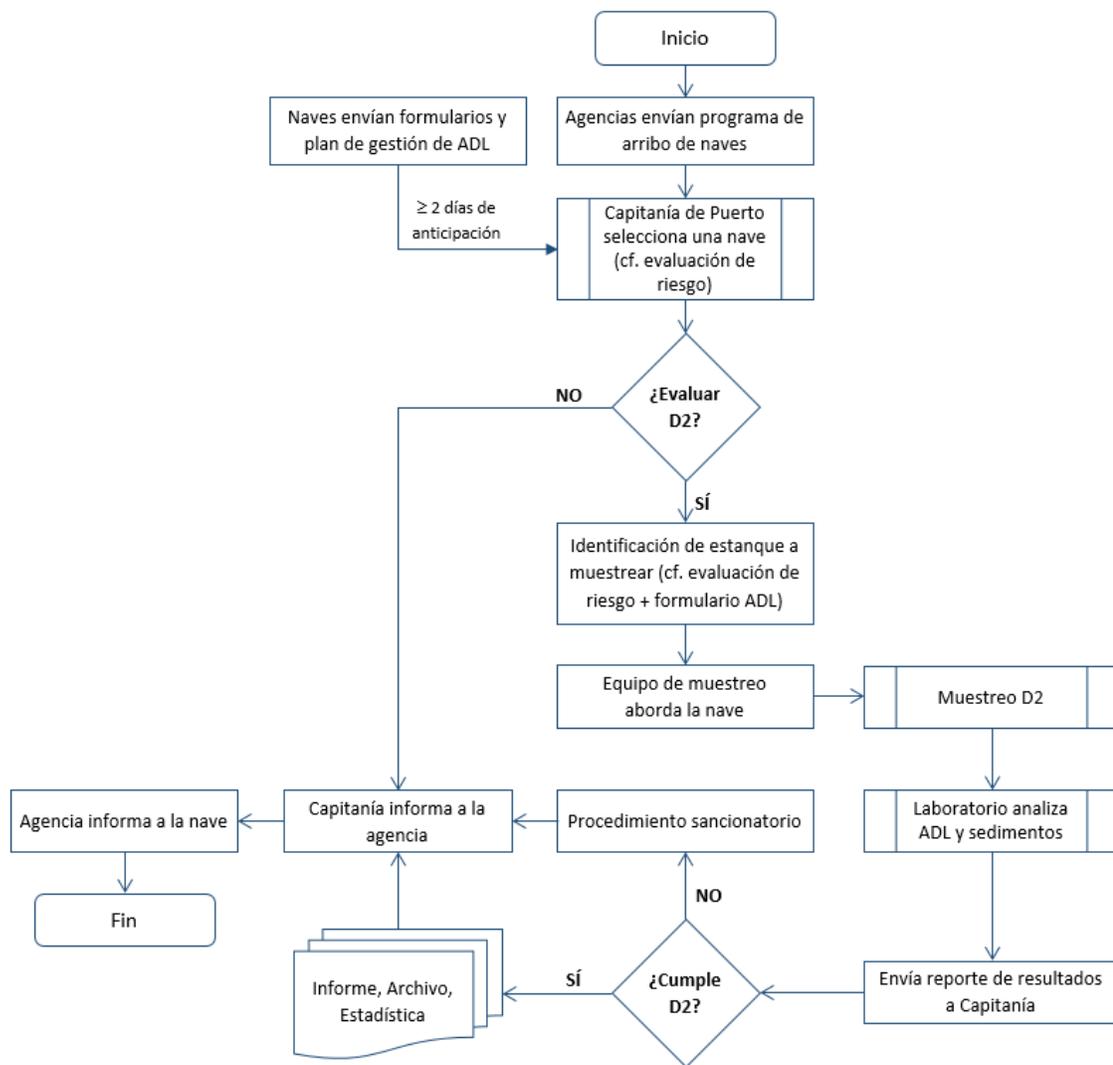


Figura 19. Diagrama de flujo del plan de vigilancia para la decisión de muestrear una nave, determinar su cumplimiento de la norma D2, y adoptar las medidas correspondientes.

La situación anterior denota vacíos normativos que debieran ser subsanados, pero en cualquier caso se recomienda que las eventuales sanciones a considerar sean de magnitud suficiente para que este proceso cumpla de manera efectiva un rol disuasivo de las malas prácticas.

VALORIZACIÓN ECONÓMICA DEL PLAN DE VIGILANCIA: CASO PUERTO DE SAN VICENTE

La evaluación económica del Plan de Vigilancia (PV) siguió tres lineamientos principales:

- i. consideró que los costos serán necesariamente distintos dependiendo de las características específicas de cada puerto en que se aplique el PV, por lo cual para efectos del presente Informe se adoptaron referentes operacionales (e.g., definiendo cada terminal de carga de cada puerto como una unidad de costo) a partir de los cuales pueden extrapolarse costos globales para puertos con distintas características;
- ii. utilizó como modelo referencial de costos al Puerto San Vicente (VIII Región), considerando que presenta características intermedias entre los puertos nacionales en términos de tamaño, número de terminales, nivel de tráfico y actividad internacional;
- iii. definió dos escenarios de costo denominados *Óptimo* y *Subóptimo* (descritos en detalle más adelante), considerando que existe una brecha importante entre lo que es posible implementar con las capacidades instaladas actuales de la autoridad marítima nacional, y lo que demandaría una implementación orientada a alcanzar los máximos estándares visualizados en el Convenio.

En este contexto, para la evaluación económica se identificaron los principales recursos y ejecutores asociados a cada etapa en cada escenario, y se definieron costos de ejecución sin asignarlos *a priori* al sector público (e.g., autoridad marítima) o privado (e.g., agencia naviera), ya que tales decisiones deberán ser tomadas en su momento por las autoridades pertinentes.

A continuación se detallan las condiciones y supuestos bajo los cuales se efectuó la evaluación económica, y posteriormente se describen las condiciones particulares de los dos escenarios de costo considerados.

Condiciones generales establecidas para cualquier escenario de costo

- i. La Gobernación Marítima es la entidad que gestionará el PV, a través de la o las Capitanías de Puerto que estén a cargo de su ejecución.
- ii. La autoridad marítima externalizará a una empresa (en adelante Laboratorio de Análisis) el servicio de análisis biológico de muestras de agua y sedimentos (análisis microbiológicos y de plancton).
- iii. La autoridad sanitaria mantendrá un listado de Laboratorios de Análisis autorizados para efectuar los análisis biológicos (microorganismos, plancton u otros).

- iv. Un organismo público, idealmente el Ministerio de Medio Ambiente (MMA), deberá asignar fondos para fortalecer líneas de investigación relacionadas con la identificación de especies invasoras transportadas a través del ADL.
- v. La evaluación considera un promedio de 50 naves deslastrando en un puerto en cada año, tomando como referencia la información disponible para el Puerto San Vicente.
- vi. La evaluación considera un horizonte de 5 años (atendiendo a la recomendación define copstos , pero diferencia el año de inicio (con mayor costo asociado) de los cuatro años subsecuentes (con igual costo).

A. Escenario Óptimo

El Escenario Óptimo define como responsable y coordinador del PV a la autoridad marítima correspondiente, mientras que su ejecución (muestreo y análisis) se asigna a una entidad privada externa contratada como servicio. Además, considera una intensidad de muestreo mayor para el seguimiento ambiental del puerto y sus terminales.

Marco general

Condiciones:

- i. El personal pertinente del Departamento del Medio Ambiente de la respectiva Capitanía de Puerto y/o Gobernación Marítima recibe una capacitación de carácter teórico sobre los contenidos y alcances del PV, los procedimientos y mecanismos para su adecuada aplicación, y la necesidad de facilitar y promover sus recomendaciones, incluyendo la recepción, análisis y control de los informes de ADL recibidos en la Capitanía de Puerto. Al final de esta sección se presentan los aspectos principales del proceso de capacitación.
- ii. La autoridad marítima externaliza el servicio de muestreo de agua y sedimentos en naves y puertos (que incluye la toma de muestras y la caracterización físico-química *in situ*) a una empresa (en adelante Laboratorio de Muestreo), la cual debe contar con las certificaciones correspondientes y el personal calificado para tales efectos. La empresa que actúe como Laboratorio de Muestreo podrá o no ser la misma que actúe como Laboratorio de Análisis responsable de los análisis biológicos, lo cual dependerá de la oferta de servicios externos disponible para la autoridad marítima a nivel local o regional de los datos.

- iii. La autoridad marítima es la responsable de asegurar la realización de 12 muestreos anuales (1 muestreo mensual) en cada uno de los terminales de un puerto focal (4 terminales en el caso del Puerto San Vicente), a través de empresas externas (Laboratorio de Muestreo y Laboratorio de Análisis). Cada muestreo mensual debe incluir la columna de agua y los sedimentos asociados a cada terminal del puerto, y los análisis biológicos respectivos.

A continuación, en la Tabla 28 se describen los ítems considerados en la evaluación económica del Escenario Óptimo.

Tabla 28.

Descripción de ítems considerados en la evaluación económica, Escenario Óptimo.

| Núm. | Ítem | Descripción |
|--|---|--|
| Inversiones de la Capitanía de Puerto | | |
| 1 | Notebook para análisis de riesgo | Equipo utilizado para desarrollar el análisis de riesgo y la toma de decisión. Se considera como inversión para cada Capitanía de Puerto. |
| Capacitación de personal de la Capitanía de Puerto | | |
| 2 | Capacitación teórica a personal de la Capitanía | Se considera un curso teórico anual relacionado a la aplicación del PV y el análisis del riesgo para 5 personas de la Capitanía de Puerto. Este curso debiera impartirse en instalaciones de la Gobernación Marítima y contempla una fase teórica con una duración total de 40 horas. |
| Muestreos realizados por el Laboratorio de Muestreo | | |
| 3 | Muestreo y caracterización de variables físico-químicas <i>in situ</i> de agua del puerto | Se considera una muestra mensual de agua y una de sedimento por cada terminal de puerto. En el caso del Puerto San Vicente (4 terminales) corresponde a 48 muestras de agua y 48 muestras de sedimentos por año. Cada muestra de agua corresponde a la columna de agua integrada (superficie, mitad y fondo de la columna). Estos ítems se consideran en la normativa D-2. Sus procedimientos de muestreo se indican en el PV. La toma de muestra y el análisis de las variables físico-químicas se externalizan a laboratorios certificados (laboratorios de muestreo). |
| 4 | Muestreo y caracterización de variables físico-químicas <i>in situ</i> de sedimento del puerto | |
| 5 | Muestreo y caracterización de variables físico-químicas <i>in situ</i> de agua de lastre (naves) | Para cada nave, se considera muestrear en 1 estanque de lastre, con 1 muestra de agua integrada (superficie, medio y fondo) y 3 muestras de sedimentos. En el Puerto San Vicente (recalada de 50 naves anuales aprox.) corresponden 50 muestras de agua (ADL) y 150 muestras de sedimentos. Estos ítems se consideran en la normativa D-2. Sus procedimientos de muestreos se indican en el PV. La toma de muestra y el análisis de variables físico-químicas se externalizan a laboratorios certificados (laboratorios de muestreo). |
| 6 | Muestreo y caracterización de variables físico-químicas <i>in situ</i> de sedimento de lastre (naves) | |
| 7 | Insumos para envío de muestras al Laboratorio de Análisis | En el caso que el laboratorio de muestreo y el de análisis sean dos entidades diferentes, el laboratorio de muestreo es el encargado de entregar las muestras al laboratorio de análisis en los tiempos y condiciones de transporte indicados en el PV. En el caso del Puerto San Vicente se consideran 12 envíos de muestras de puerto y 50 envíos de muestras de naves. |

| Núm. | Ítem | Descripción |
|--|--|---|
| | | Los insumos para envío de muestras incluyen frascos, cajas herméticas, entre otros, y los costos de encomienda. |
| Análisis de muestras por el Laboratorio de Análisis | | |
| 8 | Recuento de organismos vivos del plancton > 50 µm de tamaño en muestras de agua | Los tipos de análisis y sus costos dependen del tipo de muestra (sedimento y agua). En el caso del Puerto San Vicente, corresponde analizar 98 muestras anuales de agua (48 de puerto y 50 de naves) y 198 muestras anuales de sedimento (48 de puerto y 150 de naves). |
| 9 | Recuento de organismos vivos del plancton entre 10-50 µm de tamaño en muestras de agua | El análisis microbiológico y de plancton se externaliza a laboratorios certificados (laboratorios de análisis). |
| 10 | Recuento de bacterias totales en muestras de agua | |
| 11 | <i>Vibrio cholerae</i> en muestras de agua | |
| 12 | Enterococos intestinales en muestras de agua | |
| 13 | <i>Escherichia coli</i> en muestras de agua | |
| 14 | Recuento de bacterias totales en muestras de sedimento | |
| 15 | <i>Vibrio cholerae</i> en muestras de sedimento | |
| 16 | Enterococos intestinales en muestras de sedimento | |
| 17 | <i>Escherichia coli</i> en muestras de sedimento | |

Valorización Escenario Óptimo

| Núm. Ítem | Ítem | Cantidad | Valor Unitario (UF) | Total (UF) | Fuente |
|--|---|----------|---------------------|--------------|-----------|
| En la Capitanía de Puerto | | | | | |
| Inversiones | | | | | |
| 1 | Notebook para análisis de riesgo (inversión año 1) | 1 | 33,0 | 33,0 | PCFACTORY |
| Capacitación de personal | | | | | |
| 2 | Capacitación teórica a personal de la Capitanía (inversión año 1) | 1 | 125,0 | 125,0 | UCSC |
| Subtotal 1: Gastos de la Capitanía de Puerto | | | | 158,0 | |
| En el Laboratorio de Muestreo | | | | | |
| Muestreos del Puerto San Vicente (12 muestreos anuales en 4 terminales) | | | | | |
| 3 | Muestreo y caracterización de variables físico-químicas <i>in situ</i> (T, salinidad, pH, OD, turbidez, conductividad) de agua del puerto | 48 | 1,4 | 67,2 | |
| 4 | Muestreo y caracterización de variables físico-químicas <i>in situ</i> (T, salinidad, pH, OD, turbidez, conductividad) de sedimento del puerto | 48 | 2,2 | 105,6 | |
| Muestreos de naves (50 muestreos anuales) | | | | | |
| 5 | Muestreo y caracterización de variables físico-químicas <i>in situ</i> (T, salinidad, pH, OD, turbidez, conductividad) de agua de lastre | 50 | 1,5 | 75,0 | |
| 6 | Muestreo y caracterización de variables físico-químicas <i>in situ</i> (T, salinidad, pH, OD, turbidez, conductividad) de sedimento de lastre, con 3 réplicas | 150 | 1,3 | 195,0 | |
| Insumos de envío de muestras (12 envíos para puerto y 50 envíos para naves, anuales) | | | | | |
| 7 | Insumos para envío de muestras al Laboratorio de Análisis | 62 | 1,0 | 62,0 | |
| Subtotal 2: Gastos del Laboratorio de Muestreo | | | | 504,8 | |

| Núm. Ítem | Ítem | Cantidad | Valor Unitario (UF) | Total (UF) | Fuente |
|---|--|----------|---------------------|----------------|-----------|
| En el Laboratorio de Análisis | | | | | |
| Análisis de muestras de agua (puerto y nave) (48 muestras de puerto y 50 muestras de naves anuales) | | | | | |
| 8 | Recuento de organismos vivos del plancton > 50 µm de tamaño en muestras de agua | 98 | 0,5 | 49,0 | CREA-UCSC |
| 9 | Recuento de organismos vivos del plancton entre 10-50 µm de tamaño en muestras de agua | 98 | 0,5 | 49,0 | CREA-UCSC |
| 10 | Recuento de bacterias totales en muestras de agua | 98 | 0,4 | 39,2 | CESMEC |
| 11 | <i>Vibrio cholerae</i> en muestras de agua | 98 | 0,8 | 78,4 | CESMEC |
| 12 | Enterococos intestinalis en muestras de agua | 98 | 0,6 | 58,8 | CESMEC |
| 13 | <i>Escherichia coli</i> en muestras de agua | 98 | 0,6 | 58,8 | CESMEC |
| Análisis de muestras de sedimento (puerto y nave) (48 muestras de puerto y 150 muestras de naves anuales) | | | | | |
| 14 | Recuento de bacterias totales en muestras de sedimento | 198 | 0,8 | 158,4 | CESMEC |
| 15 | <i>Vibrio cholerae</i> en muestras de sedimento | 198 | 0,8 | 158,4 | CESMEC |
| 16 | Enterococos intestinalis en muestras de sedimento | 198 | 0,9 | 178,2 | CESMEC |
| 17 | <i>Escherichia coli</i> en muestras de sedimento | 198 | 0,8 | 158,4 | CESMEC |
| Subtotal 3: Gastos del Laboratorio de Análisis | | | | 986,6 | |
| Total año 1 (subtotal 1 + 2 + 3) | | | | 1.649,4 | |
| Total por año para años 2 a 5 (subtotal 1 + 2 + 3) | | | | 1.491,4 | |
| Total periodo (5 años) | | | | 7.615,0 | |

* Los valores indicados no incluyen el IVA.

B. Escenario Subóptimo

El Escenario subóptimo considera como responsable, coordinador y ejecutor del PV a la autoridad marítima correspondiente, y por igual razón considera una intensidad de muestreo menor para el seguimiento ambiental del puerto y sus terminales. Solo se externaliza a una entidad privada los análisis biológicos debido a la necesidad de certificación.

Marco general

Condiciones:

- i. El personal pertinente del Departamento del Medio Ambiente de la respectiva Capitanía de Puerto y/o Gobernación Marítima recibe una capacitación de carácter tanto teórico como práctico, que incluye los contenidos y alcances del PV así como la toma de muestras en puertos y naves y la medición de parámetros físico-químicos *in situ*. En la parte final de esta sección se entregan los detalles relativos a las capacitaciones.
- ii. La autoridad marítima es la encargada de realizar el muestreo de agua y sedimentos en naves y puertos, lo cual incluye la toma de muestras y la caracterización físico-química *in situ*. Tanto el personal de muestreo como los equipos deben contar con las certificaciones correspondientes para asegurar aspectos de seguridad y confiabilidad de los datos.
- iii. La autoridad marítima es la encargada de realizar 6 muestreos anuales (1 muestreo bimensual) en cada uno de los terminales de un puerto focal (4 terminales en el caso del Puerto San Vicente), y la responsable de asegurar la realización de los respectivos análisis biológicos a través de una empresa externa (Laboratorio de Análisis). Cada muestreo bimensual debe incluir la columna de agua y los sedimentos asociados a cada terminal del puerto, y los análisis biológicos respectivos.

A continuación, en la Tabla 29 se describen los ítems considerados en la evaluación económica del Escenario Subóptimo.

Tabla 29.

Descripción de ítems considerados en la evaluación económica, Escenario Subóptimo.

| Núm. | Ítem | Descripción |
|---|---|---|
| Inversiones de la Capitanía de Puerto | | |
| 1 | Sonda multiparámetro con cable de 30 m | Instrumento utilizado para caracterizar los parámetros físico-químicos del agua de lastre y los puertos. Se considera como inversión para cada Capitanía de Puerto. |
| 2 | Notebook para análisis de riesgo y trabajo de terreno | Equipo utilizado para desarrollar el análisis de riesgo y la toma de decisión así como en el trabajo de terreno para el registro de las variables físico-químicas del agua de mar <i>in situ</i> . Se considera como inversión para cada Capitanía de Puerto. |
| Capacitación de personal de la Capitanía de Puerto | | |
| 3 | Capacitación teórica-práctica a personal de la Capitanía | Considera un curso teórico-práctico anual para 5 personas de la Capitanía de Puerto o Gobernación Marítima. Este curso será impartido en las instalaciones de la Gobernación Marítima y contempla (i) una fase teórica relacionada con la aplicación del PV y el análisis del riesgo y (ii) una fase práctica relacionada con la toma de muestra y la caracterización de parámetros físico-químicos <i>in situ</i> . La duración total de la capacitación es de 80 hrs. |
| Muestreo por la Capitanía de Puerto | | |
| 4 | Equipamiento de muestreo de agua y sedimento en puerto y naves | Incluye los distintos equipamientos de terreno para el muestreo de agua y sedimentos en naves y puertos: bombas, botellas, mangueras, tamices, frascos de recepción de muestra, bidones, pisetas, embudos, etiquetas, marcadores, balde, implementos para extracción de sedimentos, etc. La Capitanía de Puerto provee el equipo de seguridad del muestreador: casco, guantes, zapatos, overol, fonos protectores, antiparras, linterna frontal, guantes de látex, máscaras con filtro. |
| 5 | Insumos de caracterización de parámetros físico-químicos <i>in situ</i> | Considera las distintas soluciones de calibración de la sonda multiparámetro (temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, turbidez, conductividad) y kit de mantenimiento de los sensores. |
| 6 | Insumos para envío de muestras al Laboratorio de Análisis | Se consideran en el caso del Puerto San Vicente 12 envíos de muestras de puerto y 50 envíos de muestras de naves (62 envíos totales). Los insumos para envío de muestras incluyen frascos, cajas herméticas, entre otros, y los costos de encomienda. El personal de la Capitanía de Puerto es el encargado de entregar las muestras al laboratorio de |

| Núm. | Ítem | Descripción |
|--|--|---|
| | | análisis en los tiempos y condiciones de transporte indicados en el PV. |
| Análisis de muestras por el Laboratorio de Análisis | | |
| 7 | Recuento de organismos vivos del plancton > 50 µm de tamaño en muestras de agua | Los tipos de análisis y sus costos dependen del tipo de muestra (sedimento y agua). En el caso del Puerto San Vicente, corresponde analizar 74 muestras anuales de agua (24 de puerto y 50 de naves) y 174 muestras anuales de sedimento (24 de puerto y 150 de naves). |
| 8 | Recuento de organismos vivos del plancton entre 10-50 µm de tamaño en muestras de agua | El análisis microbiológico y de plancton se externaliza a laboratorios certificados (laboratorios de análisis). |
| 9 | Recuento de bacterias totales en muestras de agua | |
| 10 | <i>Vibrio cholerae</i> en muestras de agua | |
| 11 | Enterococos intestinales en muestras de agua | |
| 12 | <i>Escherichia coli</i> en muestras de agua | |
| 13 | Recuento de bacterias totales en muestras de sedimento | |
| 14 | <i>Vibrio cholerae</i> en muestras de sedimento | |
| 15 | Enterococos intestinales en muestras de sedimento | |
| 16 | <i>Escherichia coli</i> en muestras de sedimento | |

Valorización Escenario Subóptimo

| Núm. Ítem | Ítem | Cantidad | Valor Unitario (UF) | Total (UF) | Fuente |
|--|--|----------|---------------------|--------------|--------------|
| En la Capitanía de Puerto | | | | | |
| Inversiones de la Capitanía de Puerto | | | | | |
| 1 | Sonda multiparámetro (inversión año 1) | 1 | 181,0 | 181,0 | HANNA INSTR. |
| 2 | Notebook para análisis de riesgo y trabajo de terreno (inversión año 1) | 1 | 33,0 | 33,0 | PCFACTORY |
| Capacitación de personal | | | | | |
| 3 | Capacitación teórica-práctica a personal de la Capitanía (inversión año 1) | 1 | 250,0 | 250,0 | UCSC |
| Subtotal 1: Gastos de la Capitanía de Puerto | | | | 464,0 | |
| Muestreo por la Capitanía de Puerto | | | | | |
| 4 | Equipamiento de muestreo de agua y sedimento en puerto y naves | 1 | 76,0 | 76,0 | |
| 5 | Insumos de caracterización de parámetros físico-químicos in situ | 1 | 104,0 | 104,0 | |
| 6 | Insumos para envío de muestras al Laboratorio de análisis | 62 | 1,0 | 62,0 | |
| Subtotal 2: Gastos de muestreo por la Capitanía | | | | 242,0 | |
| Análisis de muestras por el Laboratorio de Análisis | | | | | |
| Análisis de muestras de agua (puerto y nave) | | | | | |
| (24 muestras de puerto y 50 muestras de naves anuales) | | | | | |
| 7 | Recuento de organismos vivos zooplancton en muestras de agua | 74 | 0,5 | 37,0 | CREA-UCSC |
| 8 | Recuento de organismos vivos fitoplancton en muestras de agua | 74 | 0,5 | 37,0 | CREA-UCSC |
| 9 | Recuento de bacterias totales en muestras de agua | 74 | 0,4 | 29,6 | CESMEC |
| 10 | <i>Vibrio cholerae</i> en muestras de agua | 74 | 0,8 | 59,2 | CESMEC |
| 11 | Enterococos intestinalis en muestras de agua | 74 | 0,6 | 44,4 | CESMEC |
| 12 | <i>Escherichia coli</i> en muestras de agua | 74 | 0,6 | 44,4 | CESMEC |

| Núm. Ítem | Ítem | Cantidad | Valor Unitario (UF) | Total (UF) | Fuente |
|--|--|----------|---------------------|----------------|--------|
| Análisis de muestras de sedimento (puerto y nave) (24 muestras de puerto y 150 muestras de nave anuales) | | | | | |
| 13 | Recuento de bacterias totales en muestras de sedimento | 174 | 0,8 | 139,2 | CESMEC |
| 14 | <i>Vibrio cholerae</i> en muestras de sedimento | 174 | 0,8 | 139,2 | CESMEC |
| 15 | Enterococos intestinalis en muestras de sedimento | 174 | 0,9 | 156,6 | CESMEC |
| 16 | <i>Escherichia coli</i> en muestras de sedimento | 174 | 0,8 | 139,2 | CESMEC |
| Subtotal 3: Gastos del Laboratorio de Análisis | | | | 825,8 | |
| Total año 1 (subtotal 1 + 2 + 3) | | | | 1.531,8 | |
| Total por año para años 2 a 5 (subtotal 1 + 2 + 3) | | | | 1.068,0 | |
| Total periodo (5 años) | | | | 5.803,0 | |

* Los valores indicados no incluyen el IVA.

Capacitación en el Plan de Vigilancia

El personal encargado de la aplicación y gestión del PV deberá recibir una capacitación técnica adecuada. La capacitación será de una frecuencia tal, que considere la movilidad laboral del personal de la Autoridad Marítima (transbordos), y permita asegurar que el personal a cargo contará con la capacitación necesaria. El proceso de capacitación estará organizado por la autoridad marítima y deberá ser impartido por profesionales que cuenten con las calificaciones técnicas relacionadas con las temáticas.

Dicha capacitación deberá abarcar los aspectos indicados a continuación para cada escenario:

Escenario Óptimo: Capacitación teórica de 40 horas:

- i. Objetivos y alcances del Convenio sobre ADL y sedimentos
- ii. Plan de Gestión del ADL de una nave
- iii. Objetivos del Plan de Vigilancia
- iv. Riesgos para el medio ambiente y la salud de los seres humanos
- v. Riesgos relacionados con la manipulación del ADL
- vi. Seguridad
- vii. Características del equipamiento utilizado para el muestreo de ADL
- viii. Características de las naves que utilicen el ADL y sus limitaciones operacionales para la ejecución del muestreo
- ix. Procedimientos de comunicación puerto-nave-laboratorios certificados

Escenario Subóptimo: Capacitación teórica-práctica de 80 horas:

- i. Objetivos y alcances del Convenio de ADL
- ii. Plan de Gestión de ADL de una nave
- iii. Objetivo del Plan de Vigilancia
- iv. Riesgos para el medio ambiente y la salud de los seres humanos
- v. Riesgos relacionados con la manipulación del ADL
- vi. Seguridad
- vii. Características del equipamiento utilizado para el muestreo de ADL
- viii. Características de las naves que utilicen el ADL y sus limitaciones operacionales para la ejecución del muestreo

- ix. Procedimientos de comunicación puerto-nave-laboratorios certificados
- x. Toma de muestras de agua y sedimentos en puerto: teoría y práctica
- xi. Toma de muestras de agua y sedimentos en naves: teoría y práctica
- xii. Caracterización físico-química *in situ*: teoría y práctica

LINEAMIENTOS PARA EL DESARROLLO DE LOS RESPECTIVOS PLANES DE ACCIÓN SECTORIALES PARA LAS INSTITUCIONES CON COMPETENCIA EN LA MATERIA

Marco general

Tanto la revisión documental realizada por el proyecto sobre aspectos normativos asociados al agua de lastre (ADL), como el ejercicio de ensayar un plan de vigilancia evaluando directamente el ADL transportada por las naves, permitieron constatar que Chile se encuentra en buen pie para abordar la problemática de la introducción de especies perjudiciales vía ADL y sedimentos de lastre en los ambientes marinos nacionales, si bien existen brechas con distintos grados de importancia que impiden una efectividad inmediata. En este marco, el desarrollo creciente de la institucionalidad ambiental en Chile en las últimas dos décadas se ha visto retroalimentado significativamente por grandes acuerdos internacionales, en particular el Convenio Internacional para el Control y Gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de las Naves (IMO 2004), y previamente el Convenio de Diversidad Biológica (CDB), que a través de su Estrategia Regional para la Biodiversidad define la obligación de impedir la introducción de especies que constituyan amenazas, pero también la de controlar o erradicar aquellas especies que superan con éxito los filtros antrópicos o ambientales que pueden frenar su introducción.

Con miras a la implementación efectiva de un plan nacional de gestión del ADL, por lo tanto, la ejecución local de cualquier medida por parte de la autoridad marítima pertinente puede y debe enmarcarse dentro de una política nacional multisectorial, que permita coordinar los esfuerzos de los organismos estatales competentes tanto en el ámbito de las especies exóticas invasoras (EEIs) como en los aspectos sanitarios y de manejo de plagas.

Los requisitos básicos para concretar esta expectativa ya se encuentran delineados en tres instancias: (i) el desarrollo de la Estrategia Nacional de Biodiversidad (ENB) por la Comisión Nacional de Medio Ambiente de Chile (CONAMA) el año 2003; (ii) la conformación de un Comité Operativo para la Prevención, el Control y la Erradicación de las Especies Exóticas Invasoras (COCEI) en el año 2005, respondiendo a la necesidad de contar con un programa encargado de coordinar acciones con el sector público (incluyendo la prevención de la introducción de EEIs); y (iii) la creación formal del COCEI en el año 2013, como instancia presidida por un representante del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) e integrada además por 13 organismos públicos, y con la misión de proponer acciones, programas, planes y proyectos en todo aspecto relativo a las EEIs,

y de servir como instancia consultiva en tales ámbitos sin comprometer las competencias sectoriales de los servicios públicos que lo integran (MMA, Res. Ex. 684, 2013).

A partir del accionar del COCEI, en el año 2005 los aspectos relativos a las EEIs contenidos en el Plan de Acción Nacional de la ENB fueron incluidos en el Plan de Acción de la Política Nacional para la Protección de Especies Amenazadas, y en el año 2014 se generó la Estrategia Nacional Integrada para la Prevención, Control y/o Erradicación de las Especies Exóticas Invasoras (ENEEl), que junto con el Plan de Acción conforman el Programa para el Control de Especies Exóticas. Sin embargo el proceso conducente a la implementación de la ENEEl ha tenido un claro énfasis en las especies perjudiciales en ambientes terrestres y de agua dulce (e.g., véase CAPP 2014), y sería tanto deseable como necesario fortalecer la inclusión de amenazas para los ambientes marinos.

En este contexto, por lo tanto, resulta particularmente importante la propuesta de una Estrategia Nacional para el Control y Gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques en Chile (DIRECTEMAR 2011), dado que se enfoca exclusivamente en el territorio marítimo nacional y en el ADL como vector. Si bien esta estrategia consigna explícitamente a las EEIs, considera los organismos acuáticos perjudiciales en general (incluyendo agentes patógenos), y tiene como objetivo central el minimizar el riesgo de su introducción a través de la prevención de su ingreso, considerando su detección e identificación tempranas a fin de permitir una respuesta rápida para su control y contención. Sin embargo, y como la misma propuesta reconoce, esta estrategia es necesariamente incompleta ya que no aborda el problema de los organismos incrustantes transportados en las estructuras sumergidas de las naves, que es también un vector crucial de introducción de especies perjudiciales.

Contexto normativo institucional

Como señala un estudio reciente (CAPP 2014), históricamente a nivel nacional el tratamiento normativo e institucional de las EEIs se ha enfocado más bien en las plagas que afectan la productividad de los recursos naturales, por lo cual el sistema jurídico-institucional ha tendido a resguardar a los sectores productivos, dejando la protección de la biodiversidad como un aspecto marginal. Por otra parte, las normativas pertinentes se encuentran repartidas en diferentes cuerpos legales que entregan competencias a distintos organismos gubernamentales segregados por sector productivo, generando superposición de funciones y otros problemas (CAPP 2014).

En comparación, la problemática particular del ADL -más reciente y menos difundida que la de las EEIs- se asocia de forma más clara a entidades y cuerpos normativos específicos sin haber tenido una orientación tan fuerte hacia los sectores productivos, por lo cual con los debidos resguardos sería factible evitar que sufra de una alta dispersión normativa y superposición de funciones.

No obstante, las brechas consignadas en este Informe para el caso del ADL también se enmarcan (o debieran enmarcarse) en los problemas generales que enfrenta el tratamiento de las EEIs, como se desprende de los lineamientos estratégicos enunciados para la ENEEI:

- Fortalecer los marcos legales e institucionales
- Fortalecer la capacidad de gestión público-privada
- Preparar planes de control, contención y erradicación
- Definir líneas de investigación y fortalecer la capacidad de investigación
- Fortalecer los sistemas preventivos y de alerta temprana
- Crear conciencia en la ciudadanía y compromiso público.

Así mismo, existen áreas problemáticas comunes identificadas para la eventual implementación de la ENEEI, tales como la necesidad -entre otros aspectos- de una descentralización técnico-administrativa para la gestión, de perfeccionar el marco jurídico-institucional, de establecer esquemas de coordinación inter-institucionales e inter-regionales, de fortalecer los recursos humanos, técnicos y financieros asignados, o de fortalecer las capacidades técnicas institucionales en las regiones (véase CAPP 2014).

Necesidad de coordinación inter-institucional

El problema de la introducción de especies perjudiciales vía ADL requiere sin duda un enfoque multisectorial y la conformación de equipos interdisciplinarios, a fin de aumentar la coordinación inter-institucional de las competencias asignadas a distintos servicios.

Pese a los avances logrados por el COCEI a través de la conformación del Grupo de Tarea Nacional liderado por el Departamento de Asuntos Marítimos del Ministerio de Relaciones Exteriores, aún se requiere de una entidad con potestad para coordinar efectivamente los servicios, un rol que tal vez podría asumir el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas en la medida que tenga la tutela sobre la política medioambiental respecto de las EEIs.

Para el caso de las especies perjudiciales transportadas en el ADL, puede considerarse la creación de un grupo de trabajo que permita coordinar a las siguientes instituciones atendiendo a las áreas de competencia y responsabilidad establecidas en sus respectivos cuerpos legales:

- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (COCEI- Plan de Acción Nacional)
- DIRECTEMAR (Ley de Navegación, Reglamento para el Control de la Contaminación Acuática, Circular A51/002)
- SERNAPESCA (Programas asociados al Reglamento de Plagas)
- SUBPESCA (D.S. N° 345-2005 Reglamento sobre Plagas Hidrobiológicas)
- MINISTERIO DE SALUD (Decreto 144 /2008 SEGPRES Norma de calidad primaria para la protección de las aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo).

Dicho grupo de trabajo podría asumir las tareas de (i) definir las políticas, normas y reglamentos pertinentes para la aplicación efectiva de la normativa internacional sobre control y fiscalización del ADL, y (ii) generar protocolos de actuación concretos y vinculantes que permitan una gestión eficiente y eficaz de los servicios públicos involucrados.

Además sería deseable que cada una de las instituciones participantes en el grupo designe encargados y/o representantes nacionales y regionales, como una forma de establecer y mantener las coordinaciones necesarias para ejecutar las fiscalizaciones (toma de muestras, análisis, informes) de acuerdo a las respectivas competencias sectoriales, a fin de garantizar la ejecución oportuna de acciones (e.g., multas) en caso de verificarse incumplimientos.

En su defecto, sin embargo, el COCEI continúa siendo un articulador potencial relevante de los mecanismos de gestión y órganos sectoriales competentes con respecto a la introducción de especies perjudiciales vía ADL. No obstante, cualquier instancia que asuma finalmente este rol debiera considerar la integración de propuestas como la Estrategia Nacional para el Control y Gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques en Chile (DIRECTEMAR 2011) en un marco multisectorial predefinido, al que también debieran integrarse ámbitos complementarios cruciales como los relativos a los organismos incrustantes.

VII. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El muestreo y análisis de agua de lastre (ADL) realizado en 13 naves recaladas en tres puertos de la zona centro y centro-sur de Chile permitió evidenciar varios aspectos relevantes para considerar frente al manejo del ADL y la potencial implementación de un plan de vigilancia por parte de las autoridades chilenas: (1) Existe gran dificultad administrativa y logística para acceder a los estanques de lastre de las naves y realizar los muestreos; (2) Se detecta falta de rigurosidad y cumplimiento en la provisión de información a través de los formularios de ADL por parte de las naves; (3) El número de laboratorios certificados y eficientes que puedan realizar los análisis requeridos es reducido, y se concentra mayoritariamente en la Región Metropolitana; (4) Faltan especialistas para el reconocimiento taxonómico de organismos exóticos y potencialmente invasores; (5) El grado de incumplimiento de la norma D2 por parte de las naves es alto, principalmente respecto de la abundancia de plancton; (6) Presencia de microalgas productoras de toxinas en el ADL que pudiesen ser transportadas y gatillar FAN en las zonas de introducción; (7) Los mecanismos de tratamiento del ADL en las naves, tales como el uso de radiación ultravioleta, no aseguran un buen manejo del ADL; (8) La resistencia de los organismos transportados en el ADL es alta, lo que a su vez posibilita altos niveles de sobrevivencia en condiciones ambientales extremas y en periodos prolongados de tiempo.

El programa de muestreo que se implementó como parte del presente proyecto reveló importantes barreras administrativas, de coordinación y logísticas que no facilitaron su ejecución. Dado que actualmente la fiscalización de ADL no es una tarea de primera prioridad entre las múltiples obligaciones de la autoridad marítima, la realización de los muestreos se dificultó al no contar siempre con la disponibilidad y coordinación necesaria del personal asignado por las capitanías de puerto a esta tarea. Las contingencias que comprometían al personal o vehículos de la armada fueron un factor clave ya que en varias ocasiones obligaron a cancelar las actividades de muestreo momentos antes del abordaje de la nave. Por lo tanto en una fiscalización futura será de extrema importancia la disponibilidad permanente de un equipo técnico calificado y entrenado en maniobras en puertos y naves de gran calado, así como en la logística y el manejo de los riesgos que involucra la toma de muestras en estanques de ADL. En este contexto, el material digital adjunto al presente Informe incluye una carpeta denominada “Difusión”, dentro de la cual una subcarpeta llamada “Fotos actividades del proyecto” contiene material gráfico que ilustra las condiciones de trabajo encontradas en cada una de las naves muestreadas por el proyecto.

Una segunda barrera identificada fue que la reglamentación vigente no obliga a las navieras y naves a someterse a la fiscalización de sus estanques de ADL, y con frecuencia la presencia a bordo de los muestreadores del proyecto fue considerada por la tripulación como una acción fiscalizadora que podría generar acciones posteriores pecuniarias contra la nave. De esta forma, algunos capitanes de naves no autorizaron el abordaje o el muestreo de sus estanques de ADL aun cuando se les explicó el objetivo del proyecto. Estas dificultades explican en gran parte el limitado número de naves efectivamente muestreadas, a pesar de realizar numerosos intentos. La implementación de una nueva reglamentación para asegurar las buenas prácticas del manejo del ADL, sin duda facilitará el acceso a las naves y la realización de los muestreos. Sin embargo, a nivel de la autoridad marítima, es necesario generar una estructura de soporte estable, con personal calificado y de dedicación preferencial para la realización de muestreos y fiscalización de ADL. Ambas consideraciones fueron incluidas en la sección de identificación de brechas del presente informe, así como en la propuesta del plan de vigilancia.

La entrega del informe de ADL es una obligación de cada nave que recalca en los puertos de Chile, y es el insumo esencial para un plan de vigilancia de ADL. Sin embargo, en dos naves (Du An Cheng y Mara) no se logró obtener el formulario, y en un eventual programa futuro de vigilancia la falta de esta información no permitiría conocer el origen del ADL ni su gestión, imposibilitando la estimación del riesgo y dificultando la toma de decisión. Además, en un caso (Medan Express) se detectó la existencia de posible información errónea en cuanto al origen declarado del ADL, ya que la salinidad medida en el ADL de la nave fue coincidente con la salinidad del puerto de recalado, y no así con la salinidad de la zona oceánica de toma de ADL declarada por la nave, sugiriendo que el lastrado ocurrió en una zona costera. De esta forma, el muestreo piloto realizado mostró que la evaluación de variables físico-químicas podría ser una forma rápida y sencilla para detectar situaciones de este tipo.

Una condición base para ejecutar un plan de vigilancia para el manejo de ADL es contar con capacidad instalada y certificada para la realización de los análisis de laboratorio que requiere la norma D2. Por un lado, es necesario disponer de laboratorios certificados que puedan realizar análisis microbiológicos de los organismos patógenos Enterococci intestinal, Escherichia coli y Vibrio cholerae. En Chile existen pocos laboratorios con la certificación correspondiente que puedan realizar dichos análisis, y la mayoría de ellos están radicados en la Región Metropolitana. Por otro lado, existen protocolos rigurosos de trazabilidad y tiempos de transporte que complican la logística en puertos lejanos a estos laboratorios, y las restricciones de los horarios y días de funcionamiento (solo de lunes a viernes en horario de oficina) dificultan aún más su

implementación. Sumado a estas complicaciones, la falta de expertos taxónomos de plancton que permitan la identificación de organismos exóticos y/o perjudiciales es un problema que será difícil de abordar a corto plazo, ya que se necesita un programa de entrenamiento continuo de especialización. Estos aspectos fueron incluidos también en la sección de identificación de brechas del presente informe.

Un aspecto preocupante que reveló el muestreo piloto es el alto número de naves que incumplen los estándares fijados por la norma D2. Solo 2 de las 12 naves de las cuales se pudo obtener ADL cumplían la norma a pesar de que todas declararon un manejo adecuado del ADL. En algunos casos, los valores de plancton superaron por varios órdenes de magnitud el límite recomendado. Solo los parámetros microbiológicos se encontraron dentro de la norma en todos los casos. En cuanto a la composición comunitaria del plancton del ADL, si bien la identificación taxonómica permite llegar en varios casos solo a un nivel de grupo biológico (p.ej. “poliquetos” o “larvas cipris”), se registró un nivel importante de diversidad que considera desde dinoflagelados y diatomeas, hasta larvas de invertebrados y organismos gelatinosos. La alta diversidad taxonómica, sumado al hecho del limitado conocimiento de la diversidad marina chilena, dificultó determinar la presencia de potenciales especies exóticas en el ADL muestreado.

El alto porcentaje de organismos vivos revelado por la prueba de Rojo Neutro mostró que los valores extremos registrados en parámetros físico-químicos (como temperatura y pH) en el ADL de algunas naves no son impedimento para el transporte de especies exóticas o perjudiciales, las cuales potencialmente pueden mantener niveles de viabilidad suficientes para permitir su introducción e invasión posterior. El tiempo de residencia del ADL en los estanques tampoco fue un factor determinante para la viabilidad de los organismos, ya que incluso los estanques conteniendo ADL con más de 4 meses de residencia mostraron altos niveles de sobrevivencia del plancton. Todo lo anterior sugiere que el ADL no solo permite el transporte de la biota, sino su reproducción e incremento en abundancia mientras reside en los estanques. Esto se hace aún más preocupante cuando cuatro de las naves que registraron rangos superiores a la norma D2 mostraron niveles Altos o Muy Altos de riesgo según el modelo de riesgo implementado en el proyecto.

Es cada vez más frecuente que las naves de última generación presenten sistemas y tecnologías a bordo para el tratamiento y buen manejo del ADL, tales como radiación UV, electrólisis, electroclorinación, cavitación, etc. (Lloyd’s Register 2016). Pese a ello, el muestreo piloto evidenció que la única nave que declaró haber aplicado un tratamiento de radiación UV al ADL a bordo (MSC

Chloe), también mostró incumplimiento de normas de plancton, aun con niveles comparativamente menores de abundancia, lo cual deja al menos tres posibles explicaciones: (i) el tratamiento aplicado al ADL no es efectivo, (ii) el plan de mantención del equipamiento a bordo no es el adecuado, o (iii) el tratamiento realmente no fue ejecutado por la tripulación. Estos resultados sugieren que las naves con tecnologías para el manejo del ADL a bordo también pueden constituir vectores de riesgo para la introducción de especies perjudiciales, y deben ser consideradas en un plan de vigilancia de ADL.

Las Floraciones Algales Nocivas (FAN) son otra problemática de gran importancia para las costas de Chile tanto en términos sanitarios como económicos, especialmente en las zonas más australes del país. Las FAN pueden ser generadas por algunas especies del fitoplancton cuando las condiciones ambientales son favorables (Rodríguez 1985). Algunas como *Scrippsiella trochoidea* (dinoflagelado) producen floraciones no tóxicas, aunque bajo condiciones excepcionales en bahías poco profundas, la floración se vuelve tan densa que puede provocar mortalidad en peces e invertebrados por las bajas de oxígeno en la columna de agua. También especies del género *Chaetoceros* pueden producir floraciones dañinas no tóxicas, bloqueando las branquias de ciertos peces (UNESCO 2004). Por otra parte, se encuentran las especies que producen toxinas dañinas, tales como el Veneno Paralizante de Moluscos (VPM), el Veneno Diarreico de Moluscos (VDM) producido por especies como *Dinophysis acuminata* (dinoflagelado), el Veneno Amnésico de Moluscos (VAM) producido por *Pseudo-nitzschia delicatissima* (diatomea), el Veneno Neurotóxico de Moluscos, el Veneno Tóxico de Cianobacterias y la Ciguatera producida por especies de *Prorocentrum* (dinoflagelado) (UNESCO 2004).

Todas las especies mencionadas anteriormente con el potencial de producir FAN, fueron identificadas dentro de las muestras analizadas de ADL. Una especie del género *Scrippsiella* fue encontrada en cinco naves y en muestras de agua de los tres puertos analizados. Una especie del género *Chaetoceros* se encontró en 10 naves, y la especie de dinoflagelado *Dinophysis acuminata* se encontró en el ADL de dos naves y en muestras de agua de los puertos Valparaíso y Puerto Montt. La diatomea productora de VAM *Pseudo-nitzschia delicatissima* estuvo presente en siete naves, pero no así en los puertos muestreados. Una especie de dinoflagelado del género *Prorocentrum* se encontró en las muestras de Puerto Montt. Cabe mencionar que todas estas especies presentaron abundancias relativamente bajas y habían sido registradas anteriormente para las costas de Chile (Avaria 1965; Gonzáles et al. 1987). Sin embargo, el hecho de que estas especies productoras de FAN estén ya presentes en Chile no reduce las implicancias de su presencia en el ADL, y una de las potenciales consecuencias es la posibilidad de su inoculación

entre puertos chilenos, en el caso que la nave recale en más de un puerto en su trayectoria. Esto podría introducir y gatillar FAN en diferentes bahías a lo largo de las costas de Chile, agudizando aún más potenciales eventos masivos de floración.

Los resultados obtenidos a partir del muestreo piloto del ADL en el marco del presente proyecto, permitieron detectar importantes brechas para la correcta implementación de un futuro plan de vigilancia. Por otro lado, gran parte de las naves evidenciaron el incumplimiento de los estándares propuestos por la OMI, lo que pone una alerta respecto a potenciales eventos de introducción de especies exóticas, así como el gatillo de eventos sanitarios asociados a FAN u otro tipo de microorganismos. Es importante implementar a nivel país las capacidades técnicas y normas regulatorias que permitan reducir las probabilidades de introducción e invasión de especies no nativas, así como la potencial propagación de eventos FAN a lo largo de la costa de Chile producto del mal manejo del ADL.

Todos los hallazgos realizados durante la ejecución del plan piloto fueron incorporados o considerados en la sección de reconocimiento de brechas del presente informe, así como en la propuesta del plan de vigilancia de ADL.

Así mismo, todos los aspectos anteriores fueron informados y discutidos con los asistentes a un Taller de Difusión de Resultados realizado en Valparaíso que constituyó la actividad final del proyecto. El **ANEXO 6** del presente Informe contiene el programa de dicho taller, y sintetiza los aspectos analizados con representantes de las entidades públicas pertinentes para la ejecución futura de un plan nacional de gestión del ADL. Durante este taller no hubo observaciones significativas que implicaran modificaciones o ajustes relevantes en alguno de los resultados o propuestas centrales del proyecto.

Adicionalmente, los resultados y conclusiones obtenidos fueron difundidos tanto en el ámbito público como académico, con el fin de sensibilizar a la opinión pública y a la comunidad científica respecto de las problemáticas del proyecto. Por una parte, el **ANEXO 7** del presente Informe contiene los datos y resúmenes de trabajos con resultados del proyecto presentados en congresos: (i) dos trabajos en la XXIV Reunión Anual de la Sociedad de Ecología y la LX Reunión de la Sociedad de Biología durante 2017; (ii) cuatro trabajos en el XXXVIII Congreso de Ciencias del Mar en 2018, que conformaron un simposio especial para el proyecto titulado "Presión de propágulos y riesgo de invasión en puertos chilenos: el rol del agua de lastre". Por otra parte, en la carpeta denominada "Difusión" -adscrita al material digital adjunto al presente Informe- se incluye la subcarpeta "Noticias sobre el proyecto", conteniendo noticias que fueron publicadas en

diversos medios de prensa comunicando diferentes aspectos de los objetivos y resultados del proyecto.

VIII. CONCLUSIONES

A través del presente Informe se ha indicado una serie de conclusiones sobre aspectos específicos, las cuales se integran en las siguientes conclusiones generales enfocadas en dos grandes áreas.

En el ámbito sanitario y ecológico:

- Los microorganismos patógenos fueron detectados en una baja proporción de las muestras ambientales y de estanques de agua de lastre (ADL), y en la única obtenida de sedimentos de lastre, pero en ningún caso superaron el límite de la norma D2. El Puerto de San Vicente fue el único que evidenció la presencia de enterococos y *Escherichia coli*, y los mismos patógenos se detectaron en solo dos naves recaladas también en San Vicente, que paradójicamente cargaron ADL desde el mismo puerto. Lo anterior refuerza la necesidad de monitorear las condiciones sanitarias de los puertos nacionales, y muestra que el riesgo microbiológico no debe asociarse solo a las naves extranjeras.
- La alta abundancia de plancton registrada en el ADL de las naves (i) muestra que los organismos transportados tienen una alta capacidad para sobrevivir en condiciones ambientales extremas durante periodos prolongados de tiempo, y (ii) revela un alto nivel de incumplimiento de la norma D2, indicando que los sistemas de tratamiento del ADL a bordo (incluyendo UV) no garantizan la eliminación del riesgo biológico.
- Pese a que el análisis taxonómico del ADL involucró un universo pequeño de naves, condujo a la rápida detección de cinco especies plaga (microalgas generadoras de floraciones, tres de ellas tóxicas). Esto indica que el riesgo potencial de introducción de especies tanto *hacia* como *entre* los puertos chilenos es muy alto, y justifica los esfuerzos futuros para implementar un sistema nacional de vigilancia más exhaustivo.

En el ámbito metodológico, logístico y normativo:

- La disponibilidad y confiabilidad de los datos referidos al transporte y gestión de ADL en los años precedentes es insuficiente para permitir el óptimo desarrollo y aplicación de modelos de riesgo para los puertos nacionales. Por lo tanto la adecuada alimentación, actualización y funcionamiento de dichos modelos dependerá de contar con sistemas eficientes de obtención, almacenamiento y distribución de los informes de ADL de las naves.

- Las capacidades instaladas para realizar los análisis biológicos que requiere un plan de vigilancia del ADL a nivel nacional son insuficientes y/o poco eficientes, ya que las entidades o laboratorios con certificación pertinente son muy pocos, se concentran mayoritariamente en la Región Metropolitana, y en general no disponen de especialistas en el reconocimiento taxonómico de organismos no nativos potencialmente invasores.
- La documentación científica y técnica sobre la problemática del ADL (incluyendo la generada por la OMI) exhibe un fuerte déficit en el conocimiento y muestreo de los sedimentos de lastre, debido en parte a las dificultades para acceder al interior de los estanques. Dado que los sedimentos de lastre revisten un alto riesgo potencial, en la aplicación de planes de vigilancia se debe enfatizar su obtención toda vez que sea posible.
- Atendiendo al carácter interdisciplinario e intersectorial de la problemática del ADL, que involucra a múltiples entidades públicas con competencias en aspectos específicos, y a las brechas identificadas a nivel de gestión y coordinación, la constitución de un grupo de trabajo intersectorial para la coordinación de las respectivas tareas debiera considerarse un paso necesario para implementar un sistema efectivo de control del ADL.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alexandrov B, Bashtanny R, Clarke C, Hayes T, Hilliard R, Polglaze J, Rabotnyov V, Raaymakers S (2004) Ballast Water Risk Assessment, port of Odessa, Ukraine, October 2003: Final report. GloBallast Monograph Series No. 10. IMO London. 135 pp.

Algaebase (2018) Listing the world's algae. URL: <http://www.algaebase.org/> (accedido 26 de enero de 2018).

Avaria S (1965) Diatomeas y Silicoflagelados de la Bahía de Valparaíso. Revista de Biología Marina XII: 61-119.

Bates SS (1998) Ecophysiology and metabolism of ASP toxin production. In: Anderson D.M., Cembella A., Hallagraeff G.M. (Eds). Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms. Springer-Verlag, Heidelberg: 405-426.

Bioiojan C & Takai A (1988) Inhibitory effect of a marine-sponge toxic, okadaic acid, on protein phosphatases. Specificity and Kinetics. Biochemical Journal 256: 283-290.

Boltovskoy D (1981) Atlas del zooplankton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero. Mar del Plata, Argentina.

Bravo I, Fernández ML, Ramilo I & Martínez A (2001) Toxin composition of the toxic dinoflagellate *Prorocentrum lima* isolated from different locations along the Galician coast (NW Spain). Toxicon 39 (10): 1537-1545.

CAPP (2014) Implementación de la Estrategia Nacional Integrada para la prevención, el control y/o erradicación de las Especies Exóticas Invasoras. Informe Técnico, Centro de Análisis de Políticas Públicas, Universidad de Chile, Santiago. 108 pp.

Carlton (1999) The scale and ecological consequences of biological invasions in the world's oceans. En: Sandlund O, Schei P, Viken A (eds.) Invasive species and biodiversity management. Kluwer, The Netherlands. 195-212.

Carlton JT (2001) Introduced species in US coastal water: Environmental impacts and management priorities. Pew Oceans Commission Arlington, VA.

Caroppo C, Congestri R, Bracchini L & Abertano P (2005) On the presence of *Pseudo-nitzschia calliantha* Lundholm, Moestrup at Hasle and *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Cleve) Heiden in the Southern Adriatic Sea (Mediterranean sea, Italy). *Journal of Plankton Research* 27 (8): 763-734.

Cassis D, Muñoz P & Avaria S (2002) Variación Temporal del Fitoplancton entre 1993 y 1998 en una estación fija del Seno Aysén, Chile (45° 26' S 73° 00' W) *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 37(1): 43-65.

Clarke C, Hilliard R, Junqueira A de OR, Neto A de CL, Polglaze J & Raaymakers S (2004). Ballast Water Risk Assessment, Port of Sepetiba, Federal Republic of Brazil, December 2003: Final Report. *GloBallast Monograph Series* 14. IMO, London. 131 pp.

Clarke C, Hilliard R, Liuy Y, Polglaze J, Zhao D, Xu X, Raaymakers S (2004) Ballast Water Risk Assessment, port of Dalian, People's Republic of China, November 2003: Final Report. *GloBallast Monograph Series* No. 12. IMO, London. 137 pp.

Cupp E (1943) Marine Plankton Diatoms of the west Coast of North America. *Bulletin of Scripps Institution of Oceanography of the University of California* 5(1): 1-238.

DIRECTEMAR (2011) Informe técnico, Estrategia nacional para el control y gestión del agua de lastre y sedimentos de los buques. Valparaíso, 41 pp.

Fehling J, Davidson K & Bates SS (2005) Growth dynamics of non-toxic *Pseudo-nitzschia delicatissima* and toxic *P. seriata* (Bacillariophyceae) under simulated spring and summer photoperiods. *Harmful Algae* 4: 763-769.

Fleming J M & Coughlan J (1978) Preservation of Vially Stained Zooplankton for Live/ Dead Sorting. *Estuaries* 1(2): 135-137.

GBWMP (2003) Ballast water risk assessment user guide for the BWRA database/GIS System. IMO Publishing, London. 89 pp.

GloBallast (2017) The GloBallast Story: Reflections from a global family. GloBallast Monograph Series No. 25, London.

Gonzalez H, Bernal P & Ahumada R (1987) Desarrollo de dominancia local en la taxocenosis de fitoplancton de bahía de Concepción, Chile, durante un evento de surgencia. *Revista Chilena de Historia Natural* 60: 19-35.

Hallegraeff GM, Anderson DM, Cembella AD, Enevoldsen HO (eds) (2004) Manual on Harmful Marine Microalgae. Second edition. UNESCO publishing, Landais, France.

IMO (2004) Ballast Water Management Conventions, International Maritime Organization. IMO Publishing, London.

IMO (2006) International Maritime Organization: Guidelines on Ship Recycling. IMO Publishing, London.

IMO (2009) Ballast Water Management Convention and the guidelines for it's implementation. IMO Publishing, London.

IUCN/SCC (2014). International Union for the Conservation of Nature, Invasive Species Specialist Group. <http://www.issg.org/UNCTAD/RMT/2015>. Review of maritime transport. United Nations Conference on Trade and Development, Genève. <http://unctad.org/en/pages/PublicationWebflyer.aspx?publicationid=1374>

Jaksic FM, Castro SA (eds.) (2014). Invasiones biológicas en Chile: Causas globales e impactos locales. Ediciones Universidad Católica, Santiago.

Johnston EL, RF Piola & GF Clark (2009). The role of propagule pressure in invasion success. En: Rilov G & JA Crooks (eds) *Biological Invasions in Marine Ecosystems*. Ecological Studies 204, Springer-Verlag, Berlin.

Kelleher G, Bleakley C, Wells S (eds) (1995) A global representative system of marine protected areas: South Pacific, Northeast Pacific, Northwest Pacific, Southeast Pacific and Australia/New Zealand. Volume II. The Great Barrier Reef Marine Park Authority / The World Bank/ IUCN, Washington D.C., EE.UU.

Lee J-S, Igarashi T, Fraga S, Dahl E, Hovgaard P & Yasumoto T (1989) Determination of diarrhetic shellfish toxins in various dinoflagellates species. *Journal of Applied Phycology* 1 (2): 147-152.

Lloyd's Register (2016) Understanding ballast water management. Guidance for shipowners and operators. Third edition. Lloyd's Register Group Limited. London.

Lockwood J, Cassey P, Blackburn T (2005) The role of propagule pressure explaining species invasions. *Trends in Ecology and Evolution* 20 (5): 223-228.

Mack RN, Simberloff D, Lonsdale WM, Evans L, Clout M, Bazzaz F (2000). Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences and control. *Issues in Ecology* 5: 1-25.

Mallmann D, Asmus M (2006) Implementación de un modelo de evaluación de riesgo del agua de lastre en el puerto de Río Grande, Brasil. *Investigaciones marinas* 34: 205-210.

McKinney ML, Lockwood JL (1999). Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction. *Trends in Ecology & Evolution* 14: 450-453.

Molnar J, Gamboa R, Revenga C, Spalding M (2008) Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. *Frontier in Ecology and the Environment* 6 (9): 485-492.

NISC (2006). Invasive species definition clarification and Guidance White Paper. National Invasive Species Council (NISC), USA. <https://www.invasivespeciesinfo.gov/docs/council/isacdef.pdf>

Olden JD, Poff NL (2004). Ecological processes driving biotic homogenization: testing a mechanistic model using fish faunas. *Ecology* 85: 1867-1875.

Olden JD, Poff NL, Douglas MR, Douglas ME, Fausch KD (2004). Ecological and evolutionary consequences of biotic homogenization. *Trends in Ecology & Evolution* 19: 18-24.

Palma S, Córdova P, Silva N & Silva C (2014) Biodiversity and spatial distribution of medusae in the Magellan Region (Southern Patagonian Zone). *Latin American Journal of Aquatic Research*. 42 (5): 1175-1188.

Park T (1983) Calanoid Copepods of Some Scolecithricid Genera from Antarctic and Subantarctic Waters. En: Kornicker LS (ed) *Biology of the Antarctic Seas XIII*. American Geophysical Union, Washington DC.

Park W, Sturdevant M, Orsi J, Wertheimer A, Fergusson E, Heard W & Shirley T (2004) Interannual abundance patterns of copepods during an ENSO event ICY Strait, southeastern Alaska. *ICES Journal of Marine Science* 61 (4): 464-477.

Razouls C, de Bovée F, Kouwenberg J & Desreumaux N (2005-2017) Diversité et repartition géographique chez les Copépodes planctoniques marins. URL: <http://copepods.obs-banyuls.fr> (accedido 23 de Enero 2018).

Rodriguez L. 1985. Revisión del Fenómeno de Marea Roja en Chile. *Revista de Biología Marina* 21(1): 173-197.

Rosenberg P & Palma S (2003) Cladóseros de los fiordos y canales patagónicos localizados entre el golfo de Penas y el estrecho de Magallanes. *Investigaciones marinas* 31(1): 15-24.

RSPH (2005). Reglamento Sobre Plagas Hidrobiológicas. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, Subsecretaría de Pesca. D.S. 345, Gobierno de Chile.

Scholin CA, Gullard F & Doucette GJ (2000) Mortality of sea lions along the central California coast linked to a toxic diatom bloom. *Nature* 403: 80-84.

Simberloff D (2009). The role of propagule pressure in biological invasions. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 40: 81–102.

Simoes E, Campos R, Scramm M, Ferraz D, Portinha V, Mirella Da Silva P & Barracco M (2014) Impact of harmful algal blooms (*Dinophysis acuminata*) on the immune system of oysters and mussels from Santa Catarina, Brazil. *Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom*: 1-9.

Spalding M, Fox H, Allen G, Davidson N, Ferdana Z, Finlayson X, Martin K (2007) Marine ecoregions of the world: a bioregionalization of coastal and shelf areas. *Bio Science* 7: 573-583.

Suárez-Morales E & Gasca R (2000) The planktonic copepod community at Mahahual reef, Western Caribbean. *Bulletin of Marine Science* 66: 255-267.

Suárez-Morales E, Fleeger JW & Montagna PA (2009) Free-living Copepoda (Crustacea) of the Gulf of Mexico. En: Felder DL & Camp DK (eds). *Gulf of Mexico. Origin, Waters and Biota* 1: 841-869.

Tomas C (1997) *Identifying Marine Phytoplankton*. In: Tomas C (ed). Academic Press, San Diego, USA.

Villafañe V & Reid F (1995) *Métodos de Microscopía para la Cuantificación del Fitoplancton*. En: Alveal K., M. Ferrario, E. Olivera y E. Sar (eds). *Manual de Métodos Ficológicos*. Universidad de Concepción, Concepción.

Vivanco X & Seguel M (2009) *Manual técnico, curso teórico práctico para el muestreo, identificación y enumeración de *Alexandrium catenella* y otros taxa nocivos*. Instituto de Fomento Pesquero. 60pp.

Vives F & Shmelava AA (2007) Crustacea, Copépodos marinos I. Calanoida. En: *Fauna Iberica* 29. Ramos MA et al. (eds). Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC Madrid.

Vives F & Shmeleva A (2010) Crustacea, Copépodos marino II. Non Clanoidea. En: *Fauna Iberica* 33. Ramos MA et al. (eds). Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC Madrid.

Vives F (1982) Sur les copépodes de la région CINECA (parties nord et centrale). En: Hempel G, ed, The Canary Current: studies of an upwelling system. Rapports et Procès-verbaux des Réunions. Conseil International pour l'Exploration de la Mer 180: 289-296.

WOA13 (2013) World Ocean Atlas 2013 version 2, National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA, USA. URL: <https://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD13/> (Acceso: 20/05/2017).

Work TM, Beale AM & Fritz L (1993) Domoic acid intoxication of brown pelicans and cormorants in Santa Cruz, California. In Smayda T.J. and Y. Shimizu (eds), Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea. Elsevier, Amsterdam.

Yasumoto T, Oshima Y & Yamaguchi M (1978) Occurrence of a new type of shellfish poisoning in Tohoku District. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 44: 1249-1255.

Yusumoto T, Murata M, Oshima Y & Sano M (1985) Diarrhetic Shellfish Toxins. Tetrahedron 41 (6): 1019-1025.

Zetsche E-M & Meysman FJR (2012) Dead or alive? Viability assessment of micro- and mesoplankton. Journal of Plankton Research 34(6): 493-509.

ANEXOS

ANEXO 1.

Referencias bibliográficas de la síntesis de información sobre normativas asociadas al control de la introducción de especies exóticas vía agua de lastre. Continúa en la página siguiente.

| DOCUMENTOS PRIMARIOS | | |
|--|--------------------|---|
| Referencia | Tipo del documento | Link |
| Alexandrov B, Bashtanny R, Clarke C, Hayes T, Hilliard R, Polglaze J, Rabotnyov V, Raaymakers S (2004) Ballast water risk assessment, port of odessa, Ukraine, october 2003: Final report. GloBallast monograph series No. 10. IMO London. 135 pp. | Monografía | http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/globallast.imo.org/wp-content/uploads/2014/11/Mono10.pdf |
| Anil A, Clarke C, Hayes T, Hilliard R, Joshi G, Krishnamurthy V, Polglaze J, Sawant S, Raaymakers S (2004) Ballast water risk assessment, ports of Mumbai and Jawaharlal Nehru, India, october 2003: Final report. GloBallast monograph series No. 11. IMO London. 131 pp. | Monografía | http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/globallast.imo.org/wp-content/uploads/2014/11/Mono11.pdf |
| Awad A, Clarke C, Greyling L, Hilliard R, Polglaze J, Raaymakers S (2004) Ballast water risk assessment, port of saldanha bay, Republic of South Africa, november 2003: Final report. GloBallast monograph series No. 13. IMO London. 131 pp. | Monografía | http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/globallast.imo.org/wp-content/uploads/2014/11/Mono13.pdf |
| Clarke C, Hayes T, Hilliard R, Kayvanrad N, Taymourtash H, Parhizi A, Yavari V, Raaymakers S (2003) Ballast water risk assessment, port of Khark island, Islamic Republic of Iran, august 2003: Final report. GloBallast monograph series No. 8. IMO London. 116 pp. | Monografía | http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/globallast.imo.org/wp-content/uploads/2015/01/Mono8.pdf |
| Clarke C, Hilliard R, Junqueira A, Neto O, Polglaze J, Raaymakers S (2004) Ballast water risk assessment, port of Sepetiba, Federal Republic of Brazil, december 2003: Final report. GloBallast monograph series No. 14. IMO London. 131 pp. | Monografía | http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/globallast.imo.org/wp-content/uploads/2014/11/Mono14.pdf |
| Clarke C, Hilliard R, Liuy Y, Polglaze J, Zhao D, Xu X, Raaymakers S (2004) Ballast water risk assessment, port of Dalian, peopleís republic of China, november 2003: Final Report. GloBallast monograph series No. 12. IMO London. 137 pp. | Monografía | http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/globallast.imo.org/wp-content/uploads/2014/11/Mono12.pdf |
| David, M (2013) Ballast water sampling for compliance monitoring - ratification of the ballast water management convention. Final report of research study for WWF International. Project number 10000675 - PO1368. 66 p. | Informe | https://www.researchgate.net/publication/236149208_Ballast_water_sampling_for_compliance_monitoring_-_ratification_of_the_Ballast_Water_Management_Convention_Final_report_of_research_study_for_WWF_International_Project_number_10000675_-_PO1368 |

| DOCUMENTOS PRIMARIOS | | |
|---|---------------------|---|
| Referencia | Tipo del documento | Link |
| DIRECTEMAR (2012) Circular de la dirección general del territorio marítimo y de marina mercante ordinario a-51/002. Dirección general del territorio marítimo y marina mercante, Valparaíso. 9 pp. | Normativa | https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170130/asocfile/20170130104923/a51_002.pdf |
| FMAM, PNUD, OMI Asociaciones GloBallast y el IIO (2009) Directrices para la evaluación de la Condición Jurídica y Social Nacional del Agua de lastre. Monografía GloBallast No. 17. IMO, London. 37 pp. | Monografía | http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/globallast.imo.org/wp-content/uploads/2014/11/Mono17_Spanish.pdf |
| GloBallast (2010) III Reunión del grupo regional de tarea GloBallast para la gestión del agua de lastre en el pacífico sudeste y argentina. Organización marítima internacional. GloBallast, Colombia. 85 pp. | Informe | No se encuentra disponible online |
| González P, Salamanca A (2013) Contaminación biológica del mar por el agua de lastre de los buques y medios para evitarla. Colegio oficial de ingenieros navales y oceánicos, Madrid. 70 pp. | Libro | http://www.ingenierosnavales.com/drupal/sites/default/files/AGUA%20LASTRE.pdf |
| Haag A, Anil F, Abdulla AC (2014) Guidance on port biological baseline surveys. GEF-UNDP-IMO GloBallast Partnerships, London, UK. GloBallast monograph No. 22. IMO, London. 57 pp. | Monografía | http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/globallast.imo.org/wp-content/uploads/2015/11/Mono-22-Spanish.pdf |
| Hewit CL (2003) Marine biosecurity issues in the world oceans: Global activities and Australian directions. Ocean yearbook online 17: 193-212. | Artículo científico | http://www.academia.edu/1226101/Marine_Biosecurity_Issues_in_the_World_Oceans_Global_activities_and_Australian_directions |
| IMO (1973) International convention for the prevention of pollution from Ship, MARPOL 73/78. International maritime organization. IMO sales No. 520. 47 pp. | Normativa | http://documents.worldbank.org/curated/en/860841468330898141/pdf/816070BR10Infr00Box379840B00PUBLIC0.pdf |
| Mallmann D, Asmus M (2006) Implementación de un modelo de evaluación de riesgo del agua de lastre en el puerto de Río Grande, Brasil. Invest mar 34: 205-210. | Artículo científico | http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-71782006000200022&script=sci_arttext |
| Martínez A, Cañón M, Jiménez J (2015) Estrategia nacional para control y gestión del agua de lastre y sedimentos de los buques y plan de acción 2016-2020. Dirección general marítima, Colombia. 27 pp. | Informe | https://www.cioh.org.co/aguasdelastre/images/Documentos/ENALYPLAN_DE_ACCI%C3%93N_2016-2020.pdf |
| McConnell, M (2002) GloBallast legislative review - final report. GloBallast monograph series No. 1. IMO. London. 150 pp. | Monografía | http://projects.inweh.unu.edu/inweh/display.php?ID=3419 |
| MEPC (2012) Report of the marine environment protection committee on its sixty third session. MEPC, Marine environment protection committee. OMI. 186 pp. | Normativa | http://www.crs.hr/Portals/0/MEPC%2063-23.pdf |
| Miranda L (2016) Propuesta de un plan de implementación para el cumplimiento del convenio BWM autoridad marítima nacional. Tesis de magíster, Universidad Austral de Chile, Valdivia. 19P. | Tesis | No se encuentra disponible online |
| OMI (2004) Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques. Organización Marítima Internacional. OMI. 40 pp. | Normativa | http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Control-and-Management-of-Ships'-Ballast-Water-and-Sediments-(BWM).aspx |
| OMI (2007) Directrices para la evaluación de la condición jurídica y social nacional del agua de | Directriz | No se encuentra disponible online |

| DOCUMENTOS PRIMARIOS | | |
|--|--------------------|---|
| Referencia | Tipo del documento | Link |
| lastre. Monografía GloBallast No. 17, Organización Marítima Internacional, OMI. 33 pp. | | |
| OMI (2009) II Informe de la reunión sureste pacífico y Argentina. Organización marítima internacional. CPPS, Argentina. 34 pp. | Informe -reunión | No se encuentra disponible online |
| Raaymakers S (Ed.) (2003) 1st International ballast water treatment R&D symposium, IMO London 26-27 March 2001: symposium proceedings. GloBallast monograph series No. 5. IMO, London. 210 pp. | Monografía | http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/globallast.imo.org/wp-content/uploads/2014/11/Mono5.pdf |
| Soto J (2011) Análisis de la legislación internacional y chilena sobre gestión de las aguas de lastre y propuesta de modificación. Valparaíso. 44 pp. | Informe | No se encuentra disponible online |
| Soto J (2011) Borrador de legislación Nacional sobre gestión de las aguas de lastre. Valparaíso. 44 pp. | Informe | No se encuentra disponible online |
| SUBPESCA (2005) Reglamento sobre plagas hidrobiológicas. Subsecretaría de pesca. Subsecretaría de pesca y acuicultura. Chile 16 pp. | Normativa | http://www.subpesca.cl/normativa/605/w3-article-4166.html |
| Tamelander J, Riddering L, Haag F, Matheickal J (2010) Procedimientos para el desarrollo de la estrategia nacional para control y gestión del agua de lastre y sedimentos de los buques. GEF-UNDP-IMO GloBallast, London, UK y IUCN, Gland, Switzerland. GloBallast Monographs No. 18. IMO, London. 73 pp. | Monografía | https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2010-003-Es.pdf |
| Ubilla R (2011) Problemática sobre el intercambio de aguas de lastre y nuevas tecnologías para los tratamientos de esta. Tesis Ingeniera Naval, Universidad Austral de Chile, Valdivia. 97P. | Tesis | http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2011/bmfciu.15p/doc/bmfciu.15p.pdf |
| UN (1993) Report of the United Nations conference on environment and development, Rio de Janeiro, 3-14 June 1992. United Nations. New York. 492 pp. | Libro | https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N92/836/55/PDF/N9283655.pdf?OpenElement |
| Vousden D, Okamura B, (2003) GloBallast Project Independent Mid Term Evaluation (MTE): Final Report. IMO London. 84 pp. | Informe | http://archive.iwlearn.net/old.globallast.imo.org/MTE%20report.pdf |
| Zambrano R (2016) Guía de buenas prácticas para la mantención a flote de los sistemas anti-incrustantes de naves en puertos nacionales. Tesis de magister, Universidad de Valparaíso, Chile, 209 pp. | Tesis | No se encuentra disponible online |

| DOCUMENTOS SECUNDARIOS | | |
|---|--------------------|-----------------------------------|
| Referencia | Tipo del documento | Link |
| Andrade H, Andrade C, Guitiérrez (2010) Plan de acción GloBallast Chile evaluación nacional del estado de las aguas de lastre. Dirección de intereses marítimos y de marina mercante, Chile. 169 pp. | Informe | No se encuentra disponible online |
| Cañón M, López R, Arregoces L (2010) Informe valoración rápida. Componente técnico para la gestión del agua de lastre en Colombia. Dirección general del territorio marítimo y marina mercante de Colombia, Colombia. 115 pp. | Informe | No se encuentra disponible online |

| DOCUMENTOS SECUNDARIOS | | |
|---|--------------------|---|
| Referencia | Tipo del documento | Link |
| Chávez C (2015) Directrices de reformas políticas, legales e institucionales a nivel nacional para la aplicación del convenio internacional para el control y la gestión de agua de lastre y sedimentos de buques. Comisión permanente del Pacífico Sur. CPPS, Guayaquil. 105 pp. | Informe | No se encuentra disponible online |
| CPPS (2012) IV Reunión del grupo regional de tarea GloBallast para la gestión de las aguas de lastre para el pacífico sudeste y Argentina. Comisión permanente del Pacífico Sur. CPPS, Chile. 35 pp. | Informe | http://cpps.dyndns.info/cpps-docs-web/planaccion/docs2012/julio/informe_iv_grupo_tarea_GloBallast_2012.pdf |
| CPPS (2014) Proceso de elaboración de un plan de acción municipal en Colombia. Comisión permanente del Pacífico Sur. CPPS, Boogota. 94 pp. | Informe | No se encuentra disponible online |
| CPPS (2014) V Reunión del grupo regional de tarea GloBallast para la gestión de las aguas de lastre para el pacífico sudeste y Argentina GRT-PSEA. Comisión permanente del Pacífico Sur. CPSS, Bogota. 23 pp. | Informe | http://cpps.dyndns.info/cpps-docs-web/planaccion/docs2014/OCTUBRE/GloBallast/Informe_V_GTR_GloBallast_2014_final.pdf |
| Félix F (2015) Estrategia nacional de aguas de lastre e implementación de la normativa. Comisión permanente del Pacífico Sur. CPPS, Guayaquil. 24 pp. | Seminario | http://cpps.dyndns.info/cpps-docs-web/planaccion/docs2015/GloBallast/PRESENTACION_COLOMBIA_NORMATIVA.pdf |
| MOP (2009) Infraestructura portuaria y costera Chile. Ministerio de obras públicas. MOP, Chile. 82 pp. | Informe | http://www.dop.cl/acercadeladireccion/Documents/Infraestructura%20Portuaria%20y%20Costera%20Chile%202020.pdf |
| Mrugalski O (2015) Desafíos para una visión integradora del sector marítimo y portuario. DIRECTEMAR, Chile. 29 pp. | Seminario | http://www.campport.cl/sitio/pdf/CA-OTTO-MRUGALSKI-Expo-CAMPORT.pdf |
| SPTMF (2004) Introducción al convenio internacional sobre la gestión del agua de lastre y sedimentos de los buques. Subsecretaria de puertos y transporte marítimo y fluvial de Ecuador. SPTMF, Guayaquil 69 pp. | Informe | No se encuentra disponible online |

ANEXO 2.

Referencias bibliográficas de la síntesis de información sobre impactos de la introducción de especies vía agua de lastre. Continúa en la página siguiente.

| DOCUMENTOS PRIMARIOS | | | |
|---|---------------------|--------------------------------------|---|
| Nombre del documento | Tipo de documento | Tipo de Impacto | Links de descarga |
| Avaria S, Cáceres M, Muñoz P, Palma S, Vera P (1999) Plan nacional sobre floración de algas nocivas en Chile. Gobierno de Chile. | Documento | Ecológico - Económico - Salud humana | http://www.cona.cl/descargas/planfan.pdf |
| Azmi F, Primo C, Hewitt CL, Campbell ML (2014) Assessing marine biosecurity risks when data are limited: bioregion pathway and species-based exposure analyses. ICE J Mar Sci 72: 1078-1091. | Artículo científico | Ecológico | https://academic.oup.com/icesjms/article/72/3/1078/702518 |
| Bailey SA, Duggan IC, Van Overdijk CD, Jenkins PT, MacIsaac HJ (2003) Viability of invertebrate diapausing eggs collected from residual ballast sediment. Limnol Oceanogr 48: 1701-1710. | Artículo científico | Ecológico | http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.4319/lo.2003.48.4.1701/pdf |
| Bax M, Williamson A, Aguero M, Gonzalez E, Geeves W (2003) Marine invasive alien species: a threat to global biodiversity. Mar Policy 27: 313-323. | Artículo científico | Ecológico | http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308597X03000411 |
| Bouyssou A (2011) The introduction of alien aquatic species by ships in the Arctic: the role of the Polar code and other international. Tesis de magister, World Maritime University, Suecia. | Tesis de Magister | Ecológico | http://commons.wmu.se/cgi/viewcontent.cgi?article=1299&context=all_dissertations |
| Briski E, Ghabolli S, Bailey SA, MacIsaac HJ (2012) Invasion risk posed by macroinvertebrates transported in ships' ballast tanks. Biol Invasions 14:1843-1850. | Artículo científico | Ecológico | https://link.springer.com/article/10.1007/s10530-012-0194-0 |
| Briski E, Bailey SA, MacIsaac HJ (2011) Invertebrates and their dormant eggs transported in ballast sediments of ships arriving to the Canadian coasts and the Laurentian Great Lakes. Limnol Oceanogr 56: 1929-1939. | Artículo científico | Ecológico - Económico | http://eprints.uni-kiel.de/25395/1/1929.pdf |
| Camus C (2005) Introducción de especies en ambientes marinos chilenos: no solo exóticas, no siempre evidentes. Rev Chil Hist Nat 78: 155-159. | Artículo científico | Ecológico | http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0716-078X2005000100011&script=sci_arttext |
| Carton JT, Geller JB (1993) Ecological roulette: the global transport of nonindigenous marine organisms. Chem Phys Lett 261: 78-82. | Artículo Científico | Ecológico | https://www.researchgate.net/profile/Jonathan_Geller/publication/6088926_Ecological_Roulette_The_Global_Transport_of_Nonindigenous_Marine_Organisms/links/0c960529e272aab726000000.pdf |

| DOCUMENTOS PRIMARIOS | | | |
|--|----------------------|--------------------------------------|---|
| Nombre del documento | Tipo de documento | Tipo de Impacto | Links de descarga |
| Casa-Monroy O, Roy S, Rochon A (2011) Ballast sediment-mediated transport of non-indigenous species of dinoflagellates on the East Coast of Canada. <i>Aquat invasions</i> 6: 231-248 | Artículo científico | Ecológico | https://www.researchgate.net/profile/Oscar_Casas-Monroy/publication/259031416_Ballast_sediment-mediated_transport_of_non-indigenous_species_of_dinoflagellates_on_the_East_Coast_of_Canada/links/00b49529c8d9cd7723000000.pdf |
| Castilla J & Neill P (2009) Marine bioinvasions in the Southeastern Pacific: status, ecology, economic impacts, conservation and management. <i>Biol invasions in marine ecosys.</i> Springer Berlin Heidelberg 439-457 | Artículo Científicos | Ecológico - Económico - Salud humana | http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.739.7620&rep=rep1&type=pdf |
| Castilla JC, Uribe M, Bahamonde N, Clarke M, Desqueyroux-Faúndez et al. (2005). Down under the southeastern Pacific: marine non-indigenous species in Chile. <i>Biol Invasions</i> 7(2): 213-232. | Artículo Científico | Ecológico | https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10530-004-0198-5.pdf |
| Coutts AD, Dodgshun TJ (2007) The nature and extent of organisms in vessel sea-chests: A protected mechanism for marine bioinvasions. <i>Mar Pollut Bull</i> 54: 875-886. | Artículo científico | Ecológico y Salud humana | http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.364.6452&rep=rep1&type=pdf |
| David M, Gollasch S, Cabrini M, Perkovic M, Bosnjak D, Virgilio D (2007) Results from the first ballast water sampling study in the Mediterranean Sea– the Port of Koper study. <i>Mar Pollut Bull</i> 54: 53-65. | Artículo Científico | Ecológico | http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X06003547 |
| Dickman MD, Zhang FZ (1999) Mid-ocean exchange of container vessel ballast water. 2: Effects of vessel type in the transport of diatoms and dinoflagellates from Manzanillo, México, to Hong Kong, China. <i>Mar Ecol Prog Ser</i> 176: 253-262. | Artículo científico | Ecológico - Económico | https://www.researchgate.net/profile/Fangzhu_Zhang/publication/250216815_Mid-ocean_exchange_of_container_vessel_ballast_water_2_Effects_of_vessel_type_in_the_transport_of_diatoms_and_dinoflagellates_from_Manzanillo_Mexico_to_Hong_Kong_China/links/54d49c110cf2970e4e63550d.pdf |
| Drake LA, Doblin MA, Dobbs FC (2007) Potential microbial bioinvasions via ships' ballast water, sediment, and biofilm. <i>Mar Pollut Bull</i> 55: 333-341 | Artículo científico | Ecológico - Salud humana | http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X06004942 |
| Drake JM, Lodge DM (2004) Global hot spots of biological invasions: evaluating options for ballast-water management. <i>Proc R Soc Lond B</i> 271: 575-580. | Artículo Científico | Ecológico | https://www.nceas.ucsb.edu/~drake/hotspots.pdf |
| Drake LA, Ruiz GM, Galil BS, Mullady TL, Friedmann D, Dobbs FC (2002) Microbial ecology of ballast water during a transoceanic voyage and the effects of open-ocean exchange. <i>Mar Eco-Pro Ser</i> 233: 13-20 | Artículo científico | Ecológico | https://digitalcommons.odu.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=1047&context=oecas_fac_pubs |

| DOCUMENTOS PRIMARIOS | | | |
|---|--------------------------|--------------------------------------|---|
| Nombre del documento | Tipo de documento | Tipo de Impacto | Links de descarga |
| Elton C (1958) The ecology of invasion by animals and plants. Methuen, London. | Libro | Ecológico | https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=4DBDiFeavyUC&oi=fnd&pg=PR7&dq=Elton,+C.S.+ (1958)+The+Ecology+of+Invasions+by+Animals+and+Plants.+Methuen,+London.&ots=IWJTgy5y6H&sig=vLoLxdUPvHI7O6P5MyRvKG-e_0w#v=onepage&q&f=false |
| Flagella MM, Verlaque M, Soria A, Buia MC (2007) Macroalgal survival in ballast water tanks. Mar Pollut Bull 54: 1395-1401. | Artículo científico | Ecológico - Económico | http://www.academia.edu/24603197/Macroalgal_survival_in_ballast_water_tanks |
| Gajardi G & Laikre L (2003) Chilean aquaculture boom is based on exotic salmon resources: a conservation paradox. Conserv Biol 17: 1173-1174. | Artículo Científicos | Ecológico | No se encuentra disponible |
| Godwin LS (2003) Hull fouling of maritime vessels as a pathway for marine species invasions to the Hawaiian Islands. Biofouling 123-131. | Artículo científico | Ecológico - Económico | http://stoppinginvasives.org/dotAsset/5ee928bc-03e8-47e6-a9d0-efa920cf4153.pdf |
| Gollasch S, Rosenthal H, Botnen H, Hamer J, et al. (2000) Fluctuations of zooplankton taxa in ballast water during short-term and long-term ocean-going voyages. Int Rev Hydrobiol 85: 597-608. | Artículo Científicos | Ecológicos | http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/1522-2632(200011)85:5/6%3C597::AID-IROH597%3E3.0.CO;2-4/epdf |
| González P, Salamanca A (2013) Contaminación biológica del mar por el agua de lastre de los buques y medios para evitarla. Colegio oficial de ingenieros navales y oceánicos, Madrid. 70 pp. | Informe | Ecológico - Económico - Salud humana | https://www.ingenierosnavales.com/drupal/sites/default/files/AGUA%20LASTRE.pdf |
| Grob C, Pollet BG (2016) Regrowth in ship's ballast water tanks: Think again! Mar Pollut Bull 109: 46-48 | Artículo científico | Ecológico | http://www.brunogpollet.com/wp-content/uploads/2013/09/Regrowth-in-ships-ballast-water-tanks.pdf |
| Hallegraef GM (1998) Transport of toxic dinoflagellates via ships' ballast water: bioeconomic risk assessment and efficacy of possible ballast water management strategies. Mar Ecol Prog Ser 168: 297-309. | Artículo Científico | Salud humana | http://www.int-res.com/articles/meps/168/m168p297.pdf |
| Heniquez M (2014) Ruta naviera. ¿Conexión o invasión?: El efecto del tiempo de almacenamiento del agua de lastre en la supervivencia de la comunidad zoopláctónica. Tesis de Biología Marina, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile. | Tesis de Biología Marina | Ecológico | No se encuentra disponible |
| McCarthy SA, Khambaty FM (1994) International dissemination of epidemic <i>Vibrio cholerae</i> by cargo ship ballast and other nonpotable waters. Appl Environ Microb 60: 2597-2601. | Artículo Científico | Salud humana | http://aem.asm.org/content/60/7/2597.full.pdf |
| Nunes PA, Markandya A (2008) Economic value of damage caused by marine bio-invasions: lessons from two European case studies. ICES J Mar Sci 65 (5): 775-780. | Artículo científico | Económico - Salud humana | https://academic.oup.com/icesjms/article/65/5/775/714681 |

| DOCUMENTOS PRIMARIOS | | | |
|---|--------------------------|-----------------------|---|
| Nombre del documento | Tipo de documento | Tipo de Impacto | Links de descarga |
| Pimentel D, McNair S, Janecka J, Wightman J, Simmonds C, O'connell C et al (2001) Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. <i>Agri Ecosys and Environm</i> 84: 1-20 | Artículo científico | Ecológico | https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5528223/ |
| Pinochet J (2016) Casco de los buques como vectores para la introduccion de especies marinas no-indígenas en el puerto de Talcahuano, Chile. Tesis de magister, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile. | Tesis de Magister | Ecológico | No se encuentra disponible |
| Quiroz C, Pauchard A, Cavieres L, Anderson C (2009) Análisis cuantitativo de la investigación en invasiones biológicas en Chile: tendencias y desafíos. <i>Rev Chil Hist Nat</i> 82: 497-505. | Artículo científico | Ecológico | http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0716-078X2009000400005&script=sci_arttext&tlng=en |
| Ruiz GM, Rawlings TK, Dobbs FC, Drake LA, et. al (2000) Global spread of microorganisms by ships. <i>Nature</i> 408: 49-50 | Artículo científico | Ecológico | https://www.researchgate.net/publication/12245288_Global_spread_of_microorganisms_by_ships |
| Shigesada N, Kawasaki K (1997) <i>Biological invasions: theory and practice</i> . Oxford University Press, Reino Unido. 206 pp | Libro | Ecológico - Económico | https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=Rihle_zdpsC&oi=fnd&pg=PA1&dq=shigesada+kawasaki+1997+&ots=Zi3aRm1aar&sig=aJje2HXr6DR12nlh6HsEmTvrERI&redir_esc=y#v=onepage&q=shigesada%20kawasaki%201997&f=false |
| Takahashi CK, Lourenco NG, Lopes TF, Rall VL, Lopes CA (2008) Ballast water: a review of the impact on the world public health. <i>J Venom Anim Toxins Trop Dis</i> 14: 393-408. | Artículo Científico | Salud humana | http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-91992008000300002&script=sci_arttext&tlng=es |
| Torchin M, Lafferty K, McKenzie V & Kuris A (2002) Parasites and marine invasions. <i>Parasitology</i> 124: S137-S151. | Artículo Científico | Económico | http://homes.msi.ucsb.edu/~lafferty/PDFs/Invasives/TLK%20parasitol%2002.pdf |
| Umaña L (2016) Relaión de los patrones de tráfico marítimo y trasporte de agua de lastre con el potencial de introducción de especies exóticas en puertos chilenos. Tesis de Biología Marina, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile. | Tesis de Biología Marina | Ecológico | No se encuentra disponible |
| Villaseñor C, Pauchard A, Macaya E (2017) Ecología de invasiones marinas en Chile continental: ¿Qué sabemos y que nos falta por saber? <i>Rev biol mar</i> 52: 1-17. | Artículo científico | Ecológico | http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-19572017000100001&script=sci_arttext&tlng=en |
| Williams RJ, Griffiths FB, Van der Wal EJ, Kelly J (1988) Cargo vessel ballast water as a vector for the transport of non-indigenous marine species. <i>Estuar Coast Shelf Sci</i> 26: 409-420. | Artículo Científico | Ecológico | http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0272771488900212 |

| DOCUMENTOS PRIMARIOS | | | |
|--|---------------------|-----------------|---|
| Nombre del documento | Tipo de documento | Tipo de Impacto | Links de descarga |
| Bailey SA, Duggan IC, Jenkins PT, MacIsaac HJ (2005) Invertebrate resting stages in residual ballast sediment of transoceanic ships. <i>Can J Fish Aquat Sci</i> 62: 1090-1103 | Artículo científico | Ecológico | https://www.researchgate.net/profile/Sarah_Bailey8/publication/229090765_Invertebrate_resting_stages_in_residual_ballast_sediment_of_transoceanic_ships/links/552299640cf2a2d9e145782e.pdf |
| Bailey SA, Nadakumar K, Duggan IC, Van Overdijk CD, Johengen TH, Reid DF, MacIsaac HJ (2005) In situ hatching of invertebrate diapausing eggs from ships' ballast sediment. <i>Diversity Distrib</i> 11: 453-460 | Artículo científico | Ecológico | https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/72804/j.1366-9516.2005.00150.x.pdf?sequence=1&isAllowed=y |
| Bailey SA, Duggan IC, Van Overdijk CD, Jenkins PT, MacIsaac HJ (2003) Viability of invertebrate diapausing eggs collected from residual ballast sediment. <i>Limnol Oceanogr</i> 48: 1701-1710 | Artículo científico | Ecológico | http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.4319/lo.2003.48.4.1701/pdf |
| Boltovdijko D, Correa N, Cataldo D, Sylvester F (2006) Dispersión and ecológica impact of the invasive freshwater bivalve <i>Limnoperna fortunei</i> in the Río de la Plata watershed and beyond. <i>Biol Invasions</i> 8: 947-963 | Artículo científico | Ecológico | https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Sylvester2/publication/225629441_Dispersión_y_Ecológico_Impacto_of_the_Invasive_Freshwater_Bivalve_Limnoperna_fortunei_in_the_Rio_de_la_Plata_Watershed_and_Beyond/links/00b4952e7892ec8f53000000.pdf |
| Davidson IC, Simkanin C (2012) The biology of ballast water 25 years later. <i>Biol Invasions</i> 14: 9-13 | Artículo científico | Ecológico | http://izt.ciens.ucv.ve/ecologia/Archivos/ECO_POB%202012/ECOPO4_2012/Davidson%20y%20Simkanin%202012.pdf |
| DiBacco C, Humphrey DB, Nasmith LE, Levings CD (2011) Ballast water transport of non-indigenous zooplankton to Canadian ports. <i>ICE J Mar Sci</i> 69: 483-491 | Artículo científico | Ecológico | https://academic.oup.com/icesjms/article/69/3/483/597336/Ballast-water-transport-of-non-indigenous |
| Duggan IC, Van Overdijk CD, Bailey SA, Jenkins PT, Limén H, MacIsaac HJ (2005) Invertebrates associated with residual ballast water and sediments of cargo-carrying ships entering the Great Lakes. <i>Can J Fish Aquat Sci</i> 62: 2463-2474 | Artículo científico | Ecológico | http://s3.amazonaws.com/academia.edu/documents/46267238/Invertebrates_associated_with_residual_b20160605-6782-k2cy2f.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1484919414&Signature=8ffusRBZTU1eIESmxzfzrMdOf2s%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DInvertebrates_associated_with_residual_b.pdf |
| Flagella MM, Abdulla AA (2005) Ship ballast water as a main vector of marine introductions in the mediterranean sea. <i>WMU J Marit Affairs</i> 4: 95-104 | Artículo científico | Ecológico | http://www.uicnmed.org/web2007/documentos/ship_ballast.pdf |
| Garcías M, Delgado CF (2009) Suelta de agua de lastre en el bajo Guadalquivir al Parque Nacional de Doñana. "La introducción por mar de especies exóticas invasoras a través del agua de lastre de los barcos. El caso de Doñana", Córdoba. 111 pp | Informe | Ecológico | No se encuentra disponible |

| DOCUMENTOS PRIMARIOS | | | |
|---|---------------------|-----------------------|---|
| Nombre del documento | Tipo de documento | Tipo de Impacto | Links de descarga |
| Keller RP, Drake JM, Drew MB, Lodge DM (2011) Linking environmental conditions and ship movements to estimate invasive species transport across the global shipping network. <i>Diversity Distrib</i> 17: 93-102 | Artículo científico | Ecológico | http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1472-4642.2010.00696.x/full |
| Lovell SJ, Stone SF, Fernandez L (2006) The economic impacts of aquatic invasive species: a review of the literature. 35: 195 | Artículo científico | Ecológico | https://cybercemetery.unt.edu/archive/nisic/20110630013119/http://yosemite.epa.gov/EE/epa/eed.nsf/ffb05b5f4a2cf40985256d2d00740681/0ad7644c390503e385256f8900633987/\$FILE/2005-02.pdf |
| McGee S, Piorkowski R, Ruiz G (2006) Analysis of recent vessel arrivals and ballast water discharge in Alaska: Toward assessing ship-mediated invasion risk. <i>Mar Pollut Bull</i> 52: 1634-1645 | Artículo científico | Ecológico | Solo se encuentra disponible el Abstract http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X06002499 |
| Molnar JL, Gamboa RL, Revenga C, Spalding MD (2008) Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. <i>Front Ecol Environ</i> 6: 485-492 | Artículo científico | Ecológico - Económico | http://ballast-outreach-ucsgep.ucdavis.edu/files/136965.pdf |
| Radziejewska T, Gruszka P, Rokicka-Praxmayer J (2006) A home away from home: a meiobenthic assemblage in a ship's ballast water tank sediment. <i>Oceanologia</i> 48 | Artículo científico | Ecológico | Se puede descargar el PDF desde el siguiente link http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.agro-article-37e15c45-18b3-49c6-b5fd-ee1f1628f92c |
| Lavoie DM, Smith LD, Ruiz GM (1999) The potential for intracoastal transfer of non-indigenous species in the ballast water of ships. <i>Estuar Coast Mar Sci</i> 48: 551-564 | Artículo científico | Ecológico | Solo se encuentra disponible el Abstract http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771499904675 |
| Olenina I, Wasmund N, Hajdu S, Jurgensone I, Gramisz A, Kownacka J, Toming K, et. al (2010) Assessing impacts of invasive phytoplankton: The Baltic Sea case. <i>Mar Pollut Bull</i> 60: 1691-1700 | Artículo científico | Ecológico | https://www.researchgate.net/profile/Irina_Olenina/publication/45286010_Assessing_impacts_of_invasive_phytoplankton_The_Baltic_Sea_case/links/09e41501f6f6dbf239000000/Assessing-impacts-of-invasive-phytoplankton-The-Baltic-Sea-case.pdf |
| Pimentel D, McNair S, Janecka J, Wightman J, Simmonds C, O'connell C et al (2001) Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. <i>Agriculture, Ecosystems and Environment</i> 84: 1-20 | Artículo científico | Ecológico | https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5528223/ |
| Ricciardi A, MacIsaac HJ (2000) Recent mass invasion of the North American Great Lakes by Ponto-Caspian species. <i>Trends Ecol Evol</i> 15: 62-65 | Artículo científico | Ecológico | https://www.researchgate.net/profile/Hugh_Macisaac2/publication/250923455_Recent_mass_invasion_of_the_North_American_Great_Lake_by_Ponto-Caspian_species/links/00b495338d26ea08b4000000.pdf |

| DOCUMENTOS PRIMARIOS | | | |
|--|---------------------|-----------------------|---|
| Nombre del documento | Tipo de documento | Tipo de Impacto | Links de descarga |
| Ruiz GM, Fofonoff PW, Ashton G, Minton MS, Miller AW (2013) Geographic variation in marine invasions among large estuaries: effects of ships and time. Ecol Appl 23: 311-320 | Artículo científico | Ecológico | https://www.researchgate.net/profile/Mark_Minton/publication/236601163_Geographic_variation_in_marine_invasions_among_large_estuaries_Effects_of_ships_and_time/links/5537e5ad0cf2239f4e796620.pdf |
| Ruiz GM, Murphy KR, Verling E, Smith G, Chaves S, Hines AH (2004) "Ballast Water Exchange: Efficacy of treating ships' ballast water to reduce marine species transfers and invasion success?" U.S. Fish & Wildlife Service, Maryland. 17 pp | Informe | Ecologico - Economico | https://pdfs.semanticscholar.org/98c3/e8a717e1c24e8bec6c753503944f425ec4c8.pdf |
| Simkanin C, Davidson I, Falkner M, Sytsma M, Ruiz G (2008) Intra-coastal ballast water flux and the potential for secondary spread of non-native species on the US West Coast. Mar Pollut Bull 58: 366-374 | Artículo científico | Ecológico | http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/44339709/1852.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOYGGZ2Y53UL3A&Expires=1498093311&Signature=0gHc%2FKYICwawOi%2BKPRIsKGuqqO4%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DIntra-coastal_ballast_water_flux_and_the.pdf |
| Seebens H, Gastner MT, Blasius B (2013) The risk of marine bioinvasion caused by global shipping. Ecol Lett 16: 782-790 | Artículo científico | Ecológico | https://www.researchgate.net/profile/Hanno_Seebens/publication/236275304_The_risk_of_marine_bioinvasion_caused_by_global_shipping/links/571897b808aed8a339e5bf41.pdf |
| Williams SL, Davidson IC, Pasari JR, Aston GV, Carlton JT, Crafton RE, et. al (2012) Managing multiple vectors for marine invasions in an increasingly connected world. BioScience 63: 952-966 | Artículo científico | Ecológico | https://oup.silverchair-cdn.com/oup/backfile/Content_public/Journal/bioscience/63/12/10.1525_bio.2013.63.12.8/1/63-12-952.pdf?Expires=1498182938&Signature=XhS2mBT~73Fb24QviHjk6dTNu0AIXSW7RRt5sV~iHrGmiexz~0Rr7elraKjqF8zpchpfnTJ3qlyl~VH7IJTkK0EsLuzXk9LMQx3LnmSIT0rBIN2D0w~l0zclDDmZk6TgYVdy6HWQWF8g56o3~NzINfJFLdMbjY3C1WdAcSonK6TRazHkUmMGZNRkfuXmf2i5ddy5h5wBrlaAfG4zlkFjvUI2-IYZUz2F4Fwi7yRs3A4fcDs7e7rDF7y~eMo7m29HRy6ieP9IVE1pcli12h7BmMK02AGm9ydVNQIcgeSKnXpfDUBf0zDjYLS9M1xYceQGVA~wrTsANP8WfgsnUGC-g_&Key-Pair-Id=APKAIUCZBIA4LVPVW3Q |

| DOCUMENTOS SECUNDARIOS | | | |
|--|---------------------|-----------------|---|
| Nombre del documento | Tipo de documento | Tipo de Impacto | Links de descarga |
| Bailey SA, Duggan IC, Jenkins PT, Maclsaac HJ (2005) Invertebrate resting stages in residual ballast sediment of transoceanic ships. <i>Can J Fish Aquat Sci</i> 62: 1090-1103 | Artículo científico | Ecológico | https://www.researchgate.net/profile/Sarah_Bailey8/publication/229090765_Invertebrate_resting_stages_in_residual_ballast_sediment_of_transoceanic_ships/links/552299640cf2a2d9e145782e.pdf |
| Bailey SA, Nadakumar K, Duggan IC, Van Overdijk CD, Johengen TH, Reid DF, Maclsaac HJ (2005) In situ hatching of invertebrate diapausing eggs from ships' ballast sediment. <i>Diversity Distrib</i> 11: 453-460 | Artículo científico | Ecológico | https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/72804/j.1366-9516.2005.00150.x.pdf?sequence=1&isAllowed=y |
| Bailey SA, Duggan IC, Van Overdijk CD, Jenkins PT, Maclsaac HJ (2003) Viability of invertebrate diapausing eggs collected from residual ballast sediment. <i>Limnol Oceanogr</i> 48:1701-1710 | Artículo científico | Ecológico | http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.4319/lo.2003.48.4.1701/pdf |
| Boltovdijko D, Correa N, Cataldo D, Sylvester F (2006) Dispersión and ecológica impact of the invasive freshwater bivalve <i>Limnoperna fortunei</i> in the Río de la Plata watershed and beyond. <i>Biol Invasions</i> 8: 947-963 | Artículo científico | Ecológico | https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Sylvester2/publication/225629441_Dispersión_and_Ecological_Impact_of_the_Invasive_Freshwater_Bivalve_Limnoperna_fortunei_in_the_Río_de_la_Plata_Watershed_and_Beyond/links/00b4952e7892ec8f53000000.pdf |
| Davidson IC, Simkanin C (2012) The biology of ballast water 25 years later. <i>Biol Invasions</i> 14: 9-13 | Artículo científico | Ecológico | http://izt.ciens.ucv.ve/ecologia/Archivos/ECO_POB%202012/ECOPO4_2012/Davidson%20y%20Simkanin%202012.pdf |
| DiBacco C, Humphrey DB, Nasmith LE, Levings CD (2011) Ballast water transport of non-indigenous zooplankton to Canadian ports. <i>ICE J Mar Sci</i> 69: 483-491 | Artículo científico | Ecológico | https://academic.oup.com/icesjms/article/69/3/483/597336/Ballast-water-transport-of-non-indigenous |
| Duggan IC, Van Overdijk CD, Bailey SA, Jenkins PT, Limén H, Masclsaac HJ (2005) Invertebrates associated with residual ballast water and sediments of cargo-carrying ships entering the Great Lakes. <i>Can J Fish Aquat Sci</i> 62: 2463-2474 | Artículo científico | Ecológico | http://s3.amazonaws.com/academia.edu/documents/46267238/invertebrates_associated_with_residual_b20160605-6782-k2cy2f.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1484919414&Signature=8ffusRBZTU1eIESmxzfzrMdOf2s%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DInvertebrates_associated_with_residual_b.pdf |
| Flagella MM, Abdulla AA (2005) Ship ballast water as a main vector of marine introductions in the mediterranean sea. <i>WMU J Marit Affairs</i> 4: 95-104 | Artículo científico | Ecológico | http://www.uicnmed.org/web2007/documentos/ship_ballast.pdf |
| Garcías M, Delgado CF (2009) Suelta de agua de lastre en el bajo Guadalquivir al Parque Nacional de Doñana. "La introducción por mar de especies exóticas invasoras a través del agua de lastre de los barcos. El caso de Doñana", Córdoba. 111 pp | Informe | Ecológico | No se encuentra disponible |

| DOCUMENTOS SECUNDARIOS | | | |
|---|---------------------|-----------------------|---|
| Nombre del documento | Tipo de documento | Tipo de Impacto | Links de descarga |
| Keller RP, Drake JM, Drew MB, Lodge DM (2011) Linking environmental conditions and ship movements to estimate invasive species transport across the global shipping network. <i>Diversity Distrib</i> 17: 93-102 | Artículo científico | Ecológico | http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1472-4642.2010.00696.x/full |
| Lovell SJ, Stone SF, Fernandez L (2006) The economic impacts of aquatic invasive species: a review of the literature. 35: 195 | Artículo científico | Ecológico | https://cybercemetery.unt.edu/archive/nisic/20110630013119/http://yosemite.epa.gov/EE/epa/eed.nsf/ffb05b5f4a2cf40985256d2d00740681/0ad7644c390503e385256f8900633987/\$FILE/2005-02.pdf |
| McGee S, Piorkowski R, Ruiz G (2006) Analysis of recent vessel arrivals and ballast water discharge in Alaska: Toward assessing ship-mediated invasion risk. <i>Mar Pollut Bull</i> 52: 1634-1645 | Artículo científico | Ecológico | Solo se encuentra disponible el Abstract http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X06002499 |
| Molnar JL, Gamboa RL, Revenga C, Spalding MD (2008) Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. <i>Front Ecol Environ</i> 6: 485-492 | Artículo científico | Ecológico - Económico | http://ballast-outreach-ucsgep.ucdavis.edu/files/136965.pdf |
| Radziejewska T, Gruszka P, Rokicka-Praxmajer J (2006) A home away from home: a meiobenthic assemblage in a ship's ballast water tank sediment. <i>Oceanologia</i> 48 | Artículo científico | Ecológico | Se puede descargar el PDF desde el siguiente link http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.agro-article-37e15c45-18b3-49c6-b5fd-ee1f1628f92c |
| Lavoie DM, Smith LD, Ruiz GM (1999) The potential for intracoastal transfer of non-indigenous species in the ballast water of ships. <i>Estuar Coast Mar Sci</i> 48: 551-564 | Artículo científico | Ecológico | Solo se encuentra disponible el Abstract http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771499904675 |
| Olenina I, Wasmund N, Hajdu S, Jurgensone I, Gramisz A, Kownacka J, Toming K, et. al (2010) Assessing impacts of invasive phytoplankton: The Baltic Sea case. <i>Mar Pollut Bull</i> 60: 1691-1700 | Artículo científico | Ecológico | https://www.researchgate.net/profile/Irina_Olenina/publication/45286010_Assessing_impacts_of_invasive_phytoplankton_The_Baltic_Sea_case/links/09e41501f6f6dbf239000000/Assessing-impacts-of-invasive-phytoplankton-The-Baltic-Sea-case.pdf |
| Pimentel D, McNair S, Janecka J, Wightman J, Simmonds C, O'connell C et al (2001) Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. <i>Agriculture, Ecosystems and Environment</i> 84: 1-20 | Artículo científico | Ecológico | https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5528223/ |
| Ricciardi A, MacIsaac HJ (2000) Recent mass invasion of the North American Great Lakes by Ponto-Caspian species. <i>Trends Ecol Evol</i> 15: 62-65 | Artículo científico | Ecológico | https://www.researchgate.net/profile/Hugh_Macisaac2/publication/250923455_Recent_mass_invasion_of_the_North_American_Great_Lake_by_Ponto-Caspian_species/links/00b495338d26ea08b4000000.pdf |

| DOCUMENTOS SECUNDARIOS | | | |
|--|---------------------|-----------------------|---|
| Nombre del documento | Tipo de documento | Tipo de Impacto | Links de descarga |
| Ruiz GM, Fofonoff PW, Ashton G, Minton MS, Miller AW (2013) Geographic variation in marine invasions among large estuaries: effects of ships and time. Ecol Appl 23: 311-320 | Artículo científico | Ecológico | https://www.researchgate.net/profile/Mark_Minton/publication/236601163_Geographic_variation_in_marine_invasions_among_large_estuaries_Effects_of_ships_and_time/links/5537e5ad0cf2239f4e796620.pdf |
| Ruiz GM, Murphy KR, Verling E, Smith G, Chaves S, Hines AH (2004) "Ballast Water Exchange: Efficacy of treating ships' ballast water to reduce marine species transfers and invasion success?" U.S. Fish & Wildlife Service, Maryland. 17 pp | Informe | Ecologico - Economico | https://pdfs.semanticscholar.org/98c3/e8a717e1c24e8bec6c753503944f425ec4c8.pdf |
| Simkanin C, Davidson I, Falkner M, Sytsma M, Ruiz G (2008) Intra-coastal ballast water flux and the potential for secondary spread of non-native species on the US West Coast. Mar Pollut Bull 58: 366-374 | Artículo científico | Ecológico | http://s3.amazonaws.com/academia.edu/documents/44339709/1852.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1498093311&Signature=0gHc%2FKYICwawOi%2BKPRIsKGuqqO4%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DIntra-coastal_ballast_water_flux_and_the.pdf |
| Seebens H, Gastner MT, Blasius B (2013) The risk of marine bioinvasion caused by global shipping. Ecol Lett 16: 782-790 | Artículo científico | Ecológico | https://www.researchgate.net/profile/Hanno_Seebens/publication/236275304_The_risk_of_marine_bioinvasion_caused_by_global_shipping/links/571897b808aed8a339e5bf41.pdf |
| Williams SL, Davidson IC, Pasari JR, Aston GV, Carlton JT, Crafton RE, et. al (2012) Managing multiple vectors for marine invasions in an increasingly connected world. BioScience 63: 952-966 | Artículo científico | Ecológico | https://oup.silverchair-cdn.com/oup/backfile/Content_public/Journal/bioscience/63/12/10.1525_bio.2013.63.12.8/1/63-12-952.pdf?Expires=1498182938&Signature=XhS2mBT~73Fb24QviHjk6dTNu0AIXSW7RRt5sV~iHrGmiexz~0Rr7elraKjqF8zpchpfnTJ3qlyl~VH7IJTkK0EsLuzXk9LMQx3LNmSIT0rBIN2D0w~l0zclDDmZk6TgYVdy6HWQWF8g56o3~NzINfJFLdMbjY3C1WdAcSonK6TRazHkUmMGZNRkfuXmf2i5ddy5h5wBrlaAfG4zlkFjvUI2-IYZUz2F4Fwi7yRs3A4fcDs7e7rDF7y~eMo7m29HRy6ieP9IVE1pcli12h7BmMK02AGm9ydVNQIcgeSKnXpfDUBf0zDjYLS9M1xYceQGVA~wrTsANP8WfgsnUGC-g__&Key-Pair-Id=APKAIUCZBIA4LVPVW3Q |

ANEXO 3.

Referencias bibliográficas de la síntesis de información sobre enfoques y metodologías.

| DOCUMENTOS PRIMARIOS | | |
|---|---------------------|---|
| Referencia | Tipo de documento | Link |
| Alexandrov B, Bashtanny R, Clarke C, Hayes T, Hilliard R, Polglaze J, Rabotnyov V, Raaymakers S (2004) Ballast water risk assessment, port of urope, Ukraine, uropea 2003: Final report. GloBallast monograph series No. 10. IMO London. 135 pp. | Monografía | http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/globallast.imo.org/wp-content/uploads/2014/11/Mono10.pdf |
| Anil A, Clarke C, Hayes T, Hilliard R, Joshi G, Krishnamurthy V, Polglaze J, Sawant S, Raaymakers S (2004) Ballast water risk assessment, ports of Mumbai and Jawaharlal Nehru, India, uropea 2003: Final report. GloBallast monograph series No. 11. IMO London. 131 pp. | Monografía | http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/globallast.imo.org/wp-content/uploads/2014/11/Mono11.pdf |
| Awad A, Clarke C, Greyling L, Hilliard R, Polglaze J, Raaymakers S (2004) Ballast water risk assessment, port of saldanha bay, Republic of South Africa, uropean 2003: Final report. GloBallast monograph series No. 13. IMO London. 131 pp | Monografía | http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/globallast.imo.org/wp-content/uploads/2014/11/Mono13.pdf |
| Bañón R (2012) Introducción al estudio de las especies exóticas marinas en Galicia. Rev Gal Rec Mar, Galicia. 27 pp. | Monografía | http://www.recmar-galicia.org/pdf/RGRM_Monografía3_Ba non_2012.pdf |
| Barry S, Hayes K, Hewitt C, Behrens H, Dragsund E, Bakke S (2008) Ballast water risk assessment: Principles, processes and methods. ICES J Mar Sci 65: 121-131. | Artículo científico | https://www.researchgate.net/profile/Chad_Hewitt/publication/215908913_Ballast_water_risk_assessment_Principles_processes_and_methods/links/0deec5264aefa517e1000000/Ballast-water-risk-assessment-Principles-processes-and-methods.pdf |
| Bax N, Williamson A, Aguero M, Gonzalez E, Geeves W (2003) Marine invasive alien species: a threat to global biodiversity. Mar Policy 27: 313-323. | Artículo científico | http://ac.els-cdn.com/S0308597X03000411/1-s2.0-S0308597X03000411-main.pdf?_tid=70e7dda6-e24e-11e6-8140-00000aab0f02&acdnat=1485273901_d358180c4198991881b3539fc7cec96 |
| Breithaupt H (2003) Aliens on the shores. EMBO Reports 4: 547-550. | Artículo científico | https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1319213/pdf/4-embor877.pdf |
| Carlton J (1996) Biological invasions and cryptogenic species. Ecology 77(6): 1653-1655. | Artículo científico | Solo se puede acceder al artículo pagando. |
| Carlton J (1999) The scale and ecological consequences of biological invasions in the world's oceans. En: Sandlund O, Schei P, Viken A (eds.). Invasive Species and Biodiversity Management. Kluwer Academic, Connecticut. 195-212 pp. | Capítulo de libro | Link para comprar el libro donde se encuentra el capítulo. http://www.springer.com/gp/book/9780792368762 |
| Carlton JT (2001). Introduced species in US coastal waters. Environmental impacts and management priorities. Pew Oceans Commission Arlington, VA. | Artículo científico | https://www.iatp.org/sites/default/files/Introduced_Species_in_US_Coastal_Waters_Enviro.htm |

| DOCUMENTOS PRIMARIOS | | |
|--|-------------------------|---|
| Referencia | Tipo de documento | Link |
| Clarke C, Hayes T, Hilliard R, Kayvanrad N, Taymourtash H, Parhizi A, Yavari V, Raaymakers S (2003) Ballast water risk assessment, port of Khark island, Islamic Republic of Iran, august 2003: Final report. GloBallast monograph series No. 8. IMO London. 116 pp. | Monografía | http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/globallast.imo.org/wp-content/uploads/2015/01/Mono8.pdf |
| Clarke C, Hilliard R, Junqueira A, Neto O, Polglaze J, Raaymakers S (2004) Ballast water risk assessment, port of Sepetiba, Federal Republic of Brazil, uropean 2003: Final report. GloBallast monograph series No. 14. IMO London. 131 pp. | Monografía | http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/globallast.imo.org/wp-content/uploads/2014/11/Mono14.pdf |
| Clarke C, Hilliard R, Liuy Y, Polglaze J, Zhao D, Xu X, Raaymakers S (2004) Ballast water risk assessment, port of Dalian, peopleís republic of China, uropean 2003: Final Report. GloBallast monograph series No. 12. IMO London. 137 pp. | Monografía | http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/globallast.imo.org/wp-content/uploads/2014/11/Mono12.pdf |
| Cordell J, Lawrence D, Fern N, Tear L, Smith S, Herwig R (2009) Factors influencing densities of non-indigenous species in the ballast water of ships arriving at ports in Puget Sound, Washington, United States. Aquatic Conserv: Mar Freshw Ecosyst 19: 322-343. | Artículo científico | http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/aqc.986/epdf |
| DAWR (2017) Departament of Agriculture and Water Resources, Australian Bllast Water Management Requirements, version 7. Australian Goverment. 34 pp. | Documento gubernamental | http://www.agriculture.gov.au/SiteCollectionDocuments/biosecurity/avm/vessels/ballast/australian-ballast-water-management-requirements.pdf |
| GEF-UNDP-IMO GloBallast Partnerships Programme and WMU (2013) Identifying and managing risks from organisms carried in ships' ballast water. London, UK and WMU, Malmö, Sweden. 100 pp | Monografía | http://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/globallast.imo.org/wp-content/uploads/2014/11/Mono21_english.pdf |
| Genovesi P, Scalera R (2013) Aliens: The invasive species bulletin. Newsletter of the IUCN/SSC, 52 pp. | Informe | http://www.issg.org/pdf/aliens_newsletters/A33.pdf |
| Gollasch S, Leppäkoski E (eds) (1999) Initial risk assessment of alien species in Nordic coastal waters. Nordic Council of Ministers, Copenhagen. 244 pp. | Libro | http://www.gollaschconsulting.de/download/Nordic_RA_005_244.PDF |
| GBWMP (2003) Ballast water risk assessment user guide for the BWRA database/GIS System. IMO Publishing. 89 pp. | Guía del usuario | Solo disponible con cuenta en la página web de la OMI: https://vp.imo.org/Login.aspx?ReturnUrl=%2fDefault.aspx |
| Grosholz E (2002) Ecological and evolutionary consequences of coastal invasions. Trends Ecol Evol 17: 22-27. | Artículo científico | http://ac.els-cdn.com/S0169534701023588/1-s2.0-S0169534701023588-main.pdf?_tid=096dff60-4a28-11e7-9aa6-00000aab0f01&acdnat=1496692327_9cb064f8eb2c6a6c8fcb9dd7759c87b9 |
| Haugom G, Behrens H, Andersen A (2002) Risk based methodology to assess invasive aquatic species in ballast water. In invasive aquatic species of Europe. Distribution, impacts and management. Springer, Netherlands. 67-476 pp. | Capitulo libro | Se encuentra disponible el Link del capítulo del libro seleccionado: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-015-9956-6_46 |
| Hayes K, Hewitt C (2000) Quantitative biological risk assessment of the ballast water vector: An Australian approach. Mar Biodiv 2: 370-386. | Artículo científico | https://massbay.mit.edu/publications/marinebioinvasions/mbi1_proceedings.pdf |

| DOCUMENTOS PRIMARIOS | | |
|--|---------------------|---|
| Referencia | Tipo de documento | Link |
| Hewitt C (2003) Marine biosecurity issues in the world oceans: global activities and Australian directions. Ocean Yearbook Online 17: 193-212. | Artículo científico | http://www.academia.edu/1226101/Marine_Biosecurity_Issues_in_the_World_Oceans_Global_activities_and_Australian_directions |
| Hewitt C, Hayes K (2002) Risk assessment of marine biological invasions. In invasive aquatic species of Europe. Distribution, impacts and management. Springer, Netherlands. 456-466 pp. | Capítulo libro | ftp://ftp.marine.csiro.au/pub/hayes/Ballast%20water%20references/Hewitt%20and%20Hayes%20Leppakoski%20Book1.pdf |
| Hewitt C, Martin R (1996) Port surveys for introduced marine species: Background considerations and sampling protocols. CSIRO Division of Fisheries, Hobart. 40 pp. | Libro | http://acquire.cqu.edu.au:8080/vital/access/services/Download/cqu:9500/ATTACHMENT01?open=true |
| Hewitt C, Martin R (2001) Revised protocols for baseline port surveys for introduced marine species: Survey design, sampling protocols and specimen handling. Centre for Research on Introduced Marine Pests. Technical Report No. 22. CSIRO Marine Research, Hobart. 46 pp. | Informe | https://www.researchgate.net/publication/250404137_Revised_protocols_for_baseline_port_surveys_for_introduced_marine_species_survey_design_sampling_protocols_and_specimen_handling |
| Hilliard R (2005) Best practice for the management of introduced marine pests – A Review. Publisher GISP, Australia. 171 pp. | Libro | http://www.issg.org/pdf/publications/GISP/Guidelines_Toolkits_BestPractice/Hilliard_2005.pdf |
| Hutchings PA, Hilliard RW, Coles SL (2002). Species introductions and potential for marine pest invasions into tropical marine communities, with special reference to the Indo-Pacific. Pacific Science 56: 223-233. | Artículo científico | Solo abstract disponible gratis: https://muse.jhu.edu/article/28527/pdf |
| UICN (2009) Amenaza marina: especies exóticas invasoras en el entorno marino. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. 32 pp. | Informe | https://www.iucn.org/es/node/3881 |
| Jaksic FM, Castro SA (2016) Invasiones biológicas en Chile. Causas globales e impactos locales. Ediciones UC, Santiago. 528pp. | Libro | Solo se puede descargar pagando en el siguiente link: https://www.jstor.org/stable/j.ctt15hvv78 |
| Joint SCC/SCFA (2005) Report of the taskforce. The joint standing committee on conservation / standing committee on fisheries and aquaculture. Australia. 62 pp. | Informe-reporte | https://www.environment.gov.au/system/files/resources/cda9d0b7-24f1-4ff2-9eb4-d842229bc67c/files/report.pdf |
| Kelleher G, Bleakley C, Wells S (1995) A Global Representative System of Marine Protected Areas. The World Bank, Washington DC, USA 212 pp. | Artículo científico | http://documents.worldbank.org/curated/en/936381468780944183/pdf/multi0page.pdf |
| Kim E, Oh J, Lee S (2014) Port risk assessment for ballast water managements in the Republic of Korea. NISCAIR-CSIR 43: 2013-2023. | Artículo científico | http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/34570/1/IJMS%2043%2811%29%202013-2023.pdf |
| Lee II H, Reusser D, Olden J, Smith S, Graham J, Burkett V. et al. (2008) Integrated monitoring and information systems for managing aquatic invasive species in a changing climate. Conserv Biol 22: 575-584. | Artículo científico | http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1523-1739.2008.00955.x/epdf |
| Leppäkoski E, Gollasch S, Olenin S (2002) Invasive aquatic species of Europe: Distribution, impacts and management. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 547 pp. | Libro | Solo disponible abstract: https://www.researchgate.net/publication/236150959_Invasive_Aquatic_Species_of_Europe_Distribution_Impacts_and_Management |
| Mallmann D, Asmus M (2006) Implementación de un modelo de evaluación de riesgo del agua de lastre en el puerto de Río Grande, Brasil. Invest mar 34: 205-210. | Artículo científico | http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-71782006000200022&script=sci_arttext |

| DOCUMENTOS PRIMARIOS | | |
|---|---------------------|---|
| Referencia | Tipo de documento | Link |
| Martínez A, Cañón M, Jiménez J (2015) Estrategia nacional para control y gestión del agua de lastre y sedimentos de los buques y plan de acción 2016-2020. Dirección general marítima, Colombia. 27 pp. | Informe | https://www.cioh.org.co/aguasdelastre/images/Documents/ENALYPLAN_DE_ACCI%C3%93N_2016-2020.pdf |
| Molnar J, Gamboa R, Revenga C, Spalding M (2008) Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. <i>Front Ecol Environ</i> 6: 485-492. | Artículo científico | https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Marine/Documents/Molnar-et-al-2008-Global-Marine-Invasions-Frontiers.pdf |
| MOP (2009) Infraestructura portuaria y costera Chile 2020. Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. 84 pp. | Informe | http://www.dop.cl/acercadeladireccion/Documents/Infraestructura%20Portuaria%20y%20Costera%20Chile%202020.pdf |
| MOPTT (2005) Sistema portuario de Chile. Ministerio de Obras Públicas, Dirección Nacional de Obras Portuarias, Gobierno de Chile. 135 pp. | Informe | http://www.mop.cl/CentrodeDocumentacion/Documents/Puertos%20y%20Aeropuertos/EI_Sistema_Portuario_de_Chile_2005.pdf |
| Olenin S, Elliott M, Bysveen I, Culverhouse P, Daunys D, Dubelaar G, et al. (2011) Recommendations on methods for the detection and control of biological pollution in marine coastal waters. <i>Mar Poll Bull</i> 62: 2598-2604. | Artículo científico | http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X11004334 |
| OMI (2004) Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques. Organización Marítima Internacional. OMI. 40 pp. | Normativa | No se encuentra disponible online |
| Ruiz G, Carlton J, Grosholz E, Hines A (1997) Global invasions of marine and estuarine habitats by non-indigenous species: Mechanisms, extent, and consequences. <i>Amer Zool</i> 37: 621-632. | Artículo científico | https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/17816/serc_Ruiz_et_al_1997_AmZool_37_621_632.pdf?sequence=1&isAllowed=y |
| Russel B, Neil K & Hilliard K (2003) Ashmore reef national nature reserve and cartier island marine reserve: Marine and terrestrial introduced species prevention and management strategy. | Página online | http://www.environment.gov.au/resource/ashmore-reef-national-nature-reserve-and-cartier-island-marine-reserve-marine-and |
| Seebens H, Gastner M, Blasius B (2013) The risk of marine bioinvasion caused by global shipping. <i>Ecology Letters</i> 6: 782-790. | Artículo científico | http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ele.12111/epdf |
| Simon C, Hayes K, Hewitt C, Behrens H, Dragsund E, Bakke S (2008) Ballast water risk assessment: principles, processes, and methods. <i>ICES J Mar Sci</i> 65: 121-131. | Artículo científico | https://academic.oup.com/icesjms/article/65/2/121/735809/Ballast-water-risk-assessment-principles-processes |
| Stachowicz JJ, Fried H, Osman Rw, Whitlatch RB (2002). Biodiversity, invasion resistance, and marine ecosystem function: reconciling pattern and process. <i>Ecology</i> 83: 2575-2590. | Artículo científico | http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/0012-9658(2002)083[2575:BIRAME]2.0.CO;2/full |
| Simberloff D (2009). The role of propagule pressure in biological invasions. <i>Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.</i> 40: 81–102. | Artículo científico | http://ecology-climate.org/files/lockwood_et_al__propagule_pressure_2005.pdf |
| Spalding M, Fox H, Allen G, Davidson N, Ferdana Z, Finlayson X, MartinK (2007) Marine ecoregions of the world: a bioregionalization of coastal and shelf areas. <i>Bio Science</i> 7: 573-583. | Artículo científico | http://www.bioone.org/doi/pdf/10.1641/B570707 |

| DOCUMENTOS PRIMARIOS | | |
|---|---------------------|---|
| Referencia | Tipo de documento | Link |
| Tamelander J, Riddering L, Haag F, Matheickal J (2010) Procedimientos para el desarrollo de la estrategia nacional para control y gestión del agua de lastre y sedimentos de los buques. GEF-UNDP-IMO GloBallast, London, UK y IUCN, Gland, Switzerland. GloBallast Monographs No. 18, IMO London. 73 pp. | Monografía | https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2010-003-Es.pdf |
| Thresher R, Kuris A (2004) Options for managing invasive marine species. <i>Biological Invasions</i> 6 (3): 295-300. | Artículo científico | http://reviverestore.org/wp-content/uploads/2015/03/ThresherKuris.pdf |
| Umaña L (2015) Relación de los patrones de tráfico marítimo y transporte de agua de lastre con el potencial de introducción de especies exóticas en puertos chilenos. Tesis de Biología Marina. Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, Chile. 41 pp. | Tesis | No se encuentra disponible online. |
| Verling E, Ruiz GM, Smith L, Galil B, Miller AW, Murphy K (2005) Supply-side invasion ecology: characterizing propagule pressure in coastal ecosystems. <i>Biol Sci</i> 272: 1249-1257. | Artículo científico | https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1564104/pdf/rsbp20053090.pdf |
| Williams SL, IC Davidson, JR Pasari, GV Ashton, JT Carlton et al (2013). Managing multiple vectors for marine invasions in an increasingly connected world. <i>BioScience</i> 63: 952–966. | Artículo científico | https://academic.oup.com/bioscience/article/63/12/952/2365200 |
| Wittenberg R, Cock MJ (eds) (2001) Invasive alien species: A toolkit of best prevention and management practices. CAB International, Wallingford. 228 pp. | Libro | https://www.cbd.int/doc/pa/tools/Invasive%20Alien%20Species%20Toolkit.pdf |

| DOCUMENTOS SECUNDARIOS | | |
|---|---------------------|---|
| Referencia | Tipo de documento | Link |
| Carlton J (1985) Transoceanic and interoceanic dispersal of coastal marine organisms: the biology of ballast water. <i>Oceanogr mar uro</i> 23: 313-371. | Artículo científico | No se encuentra disponible online |
| Colautti RI, MacIsaac HJ (2004). A neutral terminology to define 'invasive' species. <i>Diversity and Distributions</i> 10: 135-141. | Artículo científico | http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1366-9516.2004.00061.x/full |
| Davis MA, MK Chew, RJ Jobs, AE Lugo, JJ Ewel et al (2011). Don't judge species on their origins. <i>Nature</i> 474: 153-154. | Artículo científico | https://www.researchgate.net/publication/51202855_Don%27t_judge_species_on_their_origins |
| Harvey M, Gilbert M, Gauthier D, Reid D M (1999) A preliminary assessment of risks for the ballast water-mediated introduction of nonindigenous marine organisms in the estuary and gulf of St. Lawrence. <i>Can Tech Rep Fish Aquat Sci/Rapp Tech Can Sci Halieut Aquat.</i> 2268: 66. | Artículo científico | http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/235996.pdf |
| Henríquez M (2014) Rutas Navieras, ¿Conexión o invasión?: Efecto del tiempo de almacenamiento del agua de lastre en la supervivencia de la comunidad zooplanctónica. Tesis de Biología Marina, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, Chile. 55 pp. | Tesis | No se encuentra disponible online. |

| DOCUMENTOS SECUNDARIOS | | |
|---|---------------------|---|
| Referencia | Tipo de documento | Link |
| Johnston EL, RF Piola & GF Clark (2009). The role of propagule pressure in invasion success. En: Rilov G & JA Crooks (eds) Biological Invasions in Marine Ecosystems. Ecological Studies 204, Springer-Verlag, Berlin. | Capítulo de libro | Para obtener el libro se debe pagar. |
| Katsanevakis S, Bogucarskis K, Gatto F, Vandekerkhove J, Deriu I, Cardoso A C (2012) Building the European alien species information network (EASIN): A novel approach for the exploration of distributed alien species data. BiolInvasions Rec 1: 235-245. | Artículo científico | http://www.reabic.net/journals/bir/2012/4/BIR_2012_4_Katsanevakis_et_al.pdf |
| Kelly J (1993) Ballast water and sediments as mechanisms for unwanted species introductions into Washington State. J. Shellfish Res 12: 142. | Artículo científico | Solo se encuentra disponible Abstract: https://www.tib.eu/en/search/id/BLSE%3AEN015676668/Ballast-water-and-sediments-as-mechanisms-for-unwanted/ |
| Lee I, Reusser D, Olden J, Smith S, Graham J, Burkett V. et al (2008) Integrated monitoring and information systems for managing aquatic invasive species in a changing climate. Conserv Biol 22: 575-584. | Artículo científico | Solo se encuentra disponible Abstract: http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1523-1739.2008.00955.x/abstract |
| Locke A, Reid D M, Van Leeuwen H, Sprules W, Carlton J (1993) Ballast water exchange as a means of controlling dispersal of freshwater organisms by Ships. Can J Fish Aquat Sci 50: 2086-2093. | Artículo científico | https://www.researchgate.net/profile/Andrea_Locke/publication/237184242_Ballast_Water_Exchange_as_a_Means_of_Controlling_Dispersal_of_Freshwater_Organisms_by_Ships/links/55f9a18908ae07629decb624/Ballast-Water-Exchange-as-a-Means-of-Controlling-Dispersal-of-Freshwater-Organisms-by-Ships.pdf |
| Lockwood J, Cassey P, Blackburn T (2005) The role of propagule pressure explaining species invasions. TRENDS in Ecol and Evol 20 (5): 223-228. | Artículo científico | https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169534705000327 |
| MacIsaac H, Robbins T, Lewis M (2002) Modeling ships' ballast water as invasion threats to the Great Lakes. Can J Fish Aquat Sci 59: 1245-1256. | Artículo científico | https://era.library.ualberta.ca/files/4t64gp05w/CJFAS_2002_59.pdf |
| Morais P, Teodósio MA (2016) The transatlantic introduction of weakfish <i>Cynoscion regalis</i> (Bloch & Schneider, 1801) (Sciaenidae, Pisces) into Europe. Bio Invasions Rec (5) 4: 259-265. | Artículo científico | http://www.reabic.net/journals/bir/2016/4/BIR_2016_Morais_Teodosio.pdf |
| Niimi A J (2000) Influence of vessel transit patterns on developing a ballast water treatment strategy for exotic species. Mar Pollut Bull 40: 253-256. | Artículo científico | Solo se encuentra disponible Abstract: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X99002088 |
| Rilov G, Crooks J (2009) Marine Bioinvasions: Conservation hazards and vehicles for ecological understanding. En: Rilov G, Crooks J (eds) Biological Invasions in Marine Ecosystems: 3-11. Springer, Heidelberg, Alemania. | Libro | Para obtener el libro, se debe pagar. |

ANEXO 4.

Resumen de situaciones que afectaron la ejecución de muestreos piloto

I. Fechas en las que no se pudo realizar muestreos pre-planificados

Puerto de San Vicente

Entre el 28 de septiembre y el 6 de octubre no hubo acceso al puerto debido a una huelga de los sindicatos portuarios 1 y 2, y entre el 16 y el 20 de octubre el personal de la armada relacionado al proyecto debió asistir a una capacitación fuera de la VIII Región.

Adicionalmente se solicitó la coordinación de muestreos en otras 10 naves entre el 15 de agosto y el 26 de noviembre, aunque estos no lograron concretarse con las respectivas agencias navieras. Las naves y fechas se detallan más adelante.

Puerto de Valparaíso

Los muestreos planificados entre el 11 y el 15 de septiembre fueron abortados porque la Capitanía de Puerto debió destinar su personal a actividades de limpieza de playas.

En la última quincena de septiembre y la primera de noviembre se efectuaron varios intentos de muestreo que no pudieron concretarse (véase sección II de este Anexo), y en otros el personal de Medio Ambiente se opuso a que el proyecto solicitara abrir la escotilla de los estanques de lastre (que es la opción óptima para facilitar el muestreo y minimizar el tiempo de trabajo en la nave). Más adelante se nos notificó que el Capitán de Puerto prohibía que nuestro equipo ingresara a los estanques de lastre, por lo cual se optó por suspender esta campaña ante la baja expectativa de éxito en los muestreos faltantes.

Para los muestreos planificados en el mes de noviembre se nos informó que el personal de la Capitanía de Puerto no podría prestar apoyo porque estaría involucrado en actividades internas y en otras campañas de muestreo (POAL).

Puertos de Calbuco y Puerto Montt

Los muestreos planificados para Septiembre no pudieron concretarse porque no se logró hacer contacto con el personal de Medio Ambiente. En Octubre se realizó el contacto, pero se nos

indicaron fechas que estaban fuera del rango de tiempo en que era posible ejecutar muestreos, o se sobreponían con las de muestreos planificados en Valparaíso y San Vicente.

Posteriormente se programaron naves del 6 al 17 de noviembre, y en dichas fechas la Gobernación Marítima se comprometió a priorizar los muestreos del proyecto sobre la ejecución del POAL. Sin embargo el POAL se ejecutó igualmente y el equipo del proyecto no pudo acceder a las naves.

Por otra parte, en Calbuco el equipo del proyecto no contó con la información de que las naves planificadas permanecían a la gira para atracar en un muelle en algún momento oportuno, lo cual no permitía coordinar días u horarios concretos para muestrear. Por tal razón se intentó muestrear en Puerto Montt, donde sin embargo recalaban mayoritariamente naves de pasajeros que no trasportaban ADL o no permanecían el tiempo suficiente para coordinar un muestreo, por lo que finalmente se optó por cancelar esta campaña.

Si bien se intentó una última campaña de muestreo del 16 al 18 de enero, la coordinación con las navieras no logró agendar fechas concretas con anticipación y la campaña debió ser cancelada.

II. Ejemplos específicos de situaciones que impidieron abordar o muestrear naves particulares

A continuación se presentan ejemplos representativos de situaciones que motivaron la suspensión de muestreos, en naves con las cuales ya se había gestionado la ejecución de esta actividad en una fecha programada (se indica el nombre de la nave y la fecha).

Puerto de San Vicente

- Gulf Bpadge (9/09/2017): el equipo abordó la nave con autorización del primer oficial para muestrear ADL, pero el Capitán ordenó la cancelación del muestreo y el retiro del equipo indicando que su nave “no era una universidad para realizar investigación”.
- Sendai Spirit (19/10/2017): el equipo acudió sin conocer que la nave atracó en un muelle (CAP) lejano del ingreso al puerto, y no tuvo acceso porque el vehículo de la Capitanía de Puerto no estaba disponible y no hubo opción de habilitar un vehículo propio (para desplazarse dentro de este recinto es obligatorio hacerlo en vehículo con accesorios especiales).
- Sun Master (26/10/2017): el primer oficial no permitió el muestreo argumentando que el agua que contenían los estanques de lastre era del mismo puerto.

- Stella Stream II (6/12/2017): el equipo del proyecto llegó a muestrear pero constató que la nave había zarpado un día antes de la fecha informada.
- Cornelius Maersk (6/12/2017): no se autorizó abordar la nave porque la Capitanía de Puerto no había realizado la gestión correspondiente con la agencia naviera.

Puerto de Calbuco

- Antofagasta (22/09/2017): el Capitán no permitió que el equipo del proyecto abordara la nave.

Puerto de Valparaíso

- Elizabeth River (22/09/2017): pese a contar con autorización para abordar la nave y realizar del muestreo, la Armada no pudo prestar el apoyo pertinente porque debió destinar su personal a cubrir un evento público (“Carnaval de los mil tambores”).
- Seaboard Peru (26/09/2017): al llegar al puerto el equipo del proyecto constató que la nave no recaló en la fecha programada.
- Antonio (11/10/2017): al llegar al puerto el equipo del proyecto constató que la agencia naviera negó la autorización para muestrear.
- Cartagena Express (12/10/2017): al llegar al puerto el equipo del proyecto constató que el armador no autorizó el muestreo.
- Seaboard America (13/10/2017): al llegar al puerto el equipo del proyecto constató que la nave no recaló en la fecha programada.
- Crown Ruby (12/12/2017): el capitán de la nave no autorizó el muestreo por faenas de embarque que mantenían ocupada a la tripulación.
- Mary (14/12/2017): el capitán no autorizó el muestreo porque la nave se encontraba en inspección por parte de su casa clasificadora.
- Cartagena Express (14/12/2017): La Agencia de la nave no autorizó el muestreo.
- Seaboard America (14/12/2017): la nave no recaló en la fecha programada.
- MSC Chloe (15/12/2017): la nave no recaló en el horario programado de muestreo.

III. Naves planificadas y además agendadas para muestreo, indicando los casos en que el muestreo debió ser abortado y aquellos en que pudo ser realizado

PUERTO SAN VICENTE

Muestreos agendados que debieron abortarse antes de llegar al puerto

Arteria (15/08/2017)
Soroe Maersk (21/08/2017)
Ocean Pegasus (31/08/2017)
Cordillera (25/09/2017)
Safmatine Nokwanda (26/09/2017)
Speedway (27/09/2017)
Global Hospital (12/10/2017)
Samsung (12/10/2017)
Alienda (30/10/2017)
Sun Maersk (26/11/2017)

Muestreos agendados que debieron abortarse dentro del puerto del puerto o a bordo de la nave

HK Challenger (10/07/2017)
Luna Maersk (24/07/2017)
Fores Venus (4/08/2017)
Sine Maersk (16/08/2017)
Pacific Action (16/08/2017)
Gulf Bpadge (9/09/2017)
Sendai Spirit (19/10/2017)
Sun Master (26/10/2017)
Stella Stream II (6/12/2017)
Cornelius Maersk (6/12/2017)

Muestreos realizados

Aotea Maersk (25/07/2017) incompleto, sin muestras de plancton y sin *V. cholerae*.

SC Mara (4/09/2017) incompleto, sin análisis microbiológicos.

Milky Way II (27/09/2017) completo.

Alpine (7/12/2017) incompleto, sin *V. cholerae*.

Ultratronador (20/12/2017) completo.

PUERTO VALPARAÍSO

Muestreos agendados que debieron abortarse antes de llegar al puerto

Elizabeth River (22/09/2017)

CROWN RUBY (12/12/2017)

Mary (14/12/2017)

Cartagena Express (14/12/2017)

Muestreos agendados que debieron abortarse dentro del puerto del puerto o a bordo de la nave

Seaboard Peru (26/09/2017)

Antonio (11/10/2017)

Cartagena Express (12/10/2017)

SEABORD AMERICA (13/10/2017)

Seaboard America (14/12/2017)

MSC Chloe (15/12/2017)

Muestreos realizados

CMA CGM Niagara (28/09/2017) completo, pero sin Rojo Neutro.

Mary (27/09/2017) completo, pero sin Rojo Neutro.

NYK Libra (11/10/2017) incompleto, sin análisis microbiológicos.

MSC Chloe (13/10/2017) completo.

Santa Clara (11/12/2017) completo.

Du An Cheng (14/12/2017) completo.

PUERTO MONTT – CALBUCO

Muestreos agendados que debieron abortarse antes de llegar al puerto

TBN (15-19/11/2017)

Corral (3-7/11/2017)

Reinhold Shulte (21-23/11/2017)

Rauli (09/01/2018)

African Kamilia (10/01/2018)

Cape Moreton (11/01/2018)

Muestreos agendados que debieron abortarse dentro del puerto del puerto o a bordo de la nave

Antofagasta (22/11/2017)

Muestreos realizados

Forestal Reina (13/11/2017) completo.

Medan Express (11/01/2018) incompleto, sin análisis microbiológicos.

ANEXO 5.

Personal participante por actividad.

Tabla A5.1

Nombre, cargo y función de los participantes

| Nombre | Cargo | Función |
|--------------------------------------|----------------------|--|
| Dr. Patricio A. Camus | Jefe de Proyecto | Dirección del Proyecto. Responsable de la recopilación y análisis de información bibliográfica, evaluación de modelos de riesgo y coordinación de todas las actividades del Proyecto. Responsable de elaboración de informes y organización de talleres. |
| Dr. Antonio Brante | Investigador | Recopilación de información, evaluación de modelos de riesgo y colaboración en la coordinación y ejecución de todas las actividades del Proyecto. Apoyo en la elaboración de informes y talleres. |
| Dra. Florence Tellier | Investigador | Apoyo en la recopilación de información, evaluación de modelos de riesgo y colaboración en la ejecución de todas las actividades del Proyecto. |
| Dr ^(c) . Javier Monsalves | Investigador | Consultor experto. Apoyo en el análisis de información bibliográfica, evaluación de modelos de riesgo. Identificación de brechas normativas y logísticas de la aplicación del modelo y planes de vigilancia. Colaboración en la ejecución de todas las actividades del Proyecto. |
| Mg. Christian Díaz | Investigador | Responsable de la evaluación económica de la implementación del modelo y los planes de vigilancia considerando personal, costos de laboratorio y logística. |
| Mg. Javier Pinochet | Profesional de apoyo | Hasta Agosto 2017. Tareas de coordinación en todos los ámbitos del Proyecto: aspectos administrativos, financieros, recopilación de información, colaboración en preparación de informes y coordinación de actividades. |
| Sr. Luis Umaña | Técnico | Apoyo en la recopilación, sistematización y digitalización de bases de datos para alimentar el modelo de riesgo y en la ejecución de actividades de terreno en muestreos pilotos en puertos de las tres regiones. |
| Srta. Constanza Cofré | Técnico | Apoyo en la recopilación, sistematización y digitalización de bases de datos para alimentar el modelo de riesgo y en la ejecución de actividades de terreno en muestreos pilotos en puertos de las tres regiones. |

| | | |
|----------------------|--|--|
| Srta. Linette Orozco | Tesista Biología Marina (hasta agosto 2017); Profesional de apoyo (desde septiembre 2017) | Apoyo en recopilación, sistematización y digitalización de bases de datos para el modelo de riesgo, ejecución de muestreos piloto en puertos de las tres regiones. Tareas de coordinación en todos los ámbitos del Proyecto. |
| Srta. Caroline Nova | Muestreador | Apoyo en la ejecución de los muestreos piloto en el Puerto de Valparaíso. |
| Sr. Jaime Díaz | Muestreador | Apoyo en la ejecución de los muestreos piloto en los puertos de Valparaíso, San Vicente y Puerto Montt-Calbuco. |

Tabla A5.2

Personal participante por actividad.

| Objetivo específico | Actividades | Participantes | Horas empleadas |
|---|---|---|-----------------|
| 4.1. Identificar y recopilar información bibliográfica que describa el impacto ambiental y en salud pública de las aguas de lastre y sedimentos en relación a organismos perjudiciales y patógenos. | 03/11/16. Reuniones ampliadas para la identificación y recopilación de la bibliografía. | Antonio Brante, Constanza Cofre, Florence Tellier, Javier Monsalves, Javier Pinochet, Luis Umaña, Patricio Camus. | 2 |
| | 20/12/16. Reuniones ampliadas para la organización de la identificación y recopilación de la bibliografía. | Antonio Brante, Constanza Cofre, Florence Tellier, Javier Monsalves, Javier Pinochet, Luis Umaña, Patricio Camus. | 2 |
| | 05/01/17. Reuniones ampliadas para la organización en la identificación y recopilación de la bibliografía. | Antonio Brante, Constanza Cofre, Florence Tellier, Javier Monsalves, Javier Pinochet, Luis Umaña, Patricio Camus. | 2 |
| | 17/01/17. Reuniones ampliadas para la organización en la identificación y recopilación de la bibliografía. | Antonio Brante, Constanza Cofre, Florence Tellier, Javier Monsalves, Javier Pinochet, Luis Umaña, Patricio Camus. | 2 |
| | 07/11/16. Reuniones específicas con personal técnico para la organización en la identificación y recopilación de la bibliografía. | Constanza Cofre, Javier Pinochet, Luis Umaña y Patricio Camus. | 1,5 |
| | 13/12/16. Reuniones específicas con personal técnico para la organización en la identificación y recopilación de la bibliografía. | Constanza Cofre, Javier Pinochet, Luis Umaña y Patricio Camus. | 1,5 |
| | 21/12/16. Reuniones específicas con personal técnico para la organización en la identificación y recopilación de la bibliografía. | Constanza Cofre, Javier Pinochet, Luis Umaña y Patricio Camus. | 1,5 |
| | 03/01/2017. Reuniones específicas con personal técnico para la organización en la identificación y recopilación de la bibliografía. | Constanza Cofre, Javier Pinochet, Luis Umaña y Patricio Camus. | 1,5 |

| Objetivo específico | Actividades | Participantes | Horas empleadas |
|---|--|---|-----------------|
| | 03/11/2016 – 03/01/2017. Realización de la revisión bibliográfica: se recopiló información sobre los impactos del agua de lastre y sedimentos, las normativas y de programas de vigilancia y manejo y los tipos y estrategias metodológicas asociadas al análisis de riesgo. | Antonio Brante, Constanza Cofre, Florence Tellier, Javier Monsalves, Javier Pinochet, Luis Umaña, Patricio Camus. | 1540 |
| 4.2. Desarrollar un modelo de análisis de riesgo de aguas de lastre y sedimentos, enfocado a especies que podrían constituir plagas hidrobiológicas, especies exóticas invasoras y agentes patógenos. | 16/05/2017. Reuniones ampliada para organizar la generación del modelo de análisis de riesgo y para organizar el taller de trabajo para presentación de resultados. | Antonio Brante, Constanza Cofre, Christian Díaz, Florence Tellier, Javier Monsalves, Javier Pinochet, Luis Umaña, Patricio Camus. | 2 |
| | 22/05/2017. Reuniones ampliada para organizar la generación del modelo de análisis de riesgo y para organizar el taller de trabajo para presentación de resultados. | Antonio Brante, Constanza Cofre, Christian Díaz, Florence Tellier, Javier Monsalves, Javier Pinochet, Luis Umaña, Patricio Camus. | 2 |
| | 29/05/2017. Reuniones ampliada para organizar la generación del modelo de análisis de riesgo y para organizar el taller de trabajo para presentación de resultados. | Antonio Brante, Constanza Cofre, Christian Díaz, Florence Tellier, Javier Monsalves, Javier Pinochet, Luis Umaña, Patricio Camus. | 2 |
| | 05/06/2017. Reuniones ampliada para organizar la generación del modelo de análisis de riesgo y para organizar el taller de trabajo para presentación de resultados. | Antonio Brante, Constanza Cofre, Christian Díaz, Florence Tellier, Javier Monsalves, Javier Pinochet, Luis Umaña, Patricio Camus. | 2 |
| | 13/06/2017. Reuniones ampliada para organizar la generación del modelo de análisis de riesgo y para organizar el taller de trabajo para presentación de resultados. | Antonio Brante, Constanza Cofre, Christian Díaz, Florence Tellier, Javier Monsalves, Javier Pinochet, Luis Umaña, Patricio Camus. | 2 |
| | 10/11/2016. Reuniones específicas de coordinación en Sub-Pesca, Valparaíso. | Antonio Brante, Patricio Camus. | 3 |
| | 11/01/2017. Reuniones específicas con Capitán de puerto de San Vicente solicitando reportes de agua de lastre. | Javier Monsalves, Javier Pinochet y Patricio Camus. | 2,5 |

| Objetivo específico | Actividades | Participantes | Horas empleadas |
|---------------------|---|--|-----------------|
| | 28/04/2017. Reuniones específicas de coordinación con Sub-pesca y entidades interesadas (Directemar y FIPA). | Antonio Brante, Javier Pinochet, Patricio Camus. | 1,5 |
| | 15/05/2017. Reuniones específicas con personal técnico para revisar la generación del modelo de análisis de riesgo. | Constanza Cofre, Javier Pinochet, Linette Orozco, Luis Umaña y Patricio Camus. | 1,5 |
| | 19/05/2017. Reuniones específicas con personal técnico para revisar la generación del modelo de análisis de riesgo. | Constanza Cofre, Javier Pinochet, Linette Orozco, Luis Umaña y Patricio Camus. | 1,5 |
| | 21/05/2017. Reuniones específicas con personal técnico para revisar la generación del modelo de análisis de riesgo. | Constanza Cofre, Javier Pinochet, Linette Orozco, Luis Umaña y Patricio Camus. | 1,5 |
| | 02/06/2017. Reuniones específicas con personal técnico para revisar la generación del modelo de análisis de riesgo. | Constanza Cofre, Javier Pinochet, Linette Orozco, Luis Umaña y Patricio Camus. | 1,5 |
| | 03/04/2017 - 23/06/2017. Realización de base de datos de especies invasoras y de variables ambiental para el análisis de riesgo. | Constanza Cofre, Javier Pinochet, Linette Orozco y Luis Umaña. | 100 |
| | 15/05/2017 - Realización de modelo de análisis de riesgo. | Antonio Brante, Constanza Cofre, Florence Tellier, Javier Monsalves, Javier Pinochet, Linette Orozco, Luis Umaña y Patricio Camus. | 480 |
| | 02/01/2017 - 03/04/2017. Realización de construcción de la base de datos a partir de los informes de agua de lastre de los puertos objetivos. | Constanza Cofre, Javier Pinochet y Luis Umaña. | 1080 |
| | 03/03/2017- 28/04/2017. Realización de filtro y análisis de datos de los reportes de agua de lastre. | Constanza Cofre, Javier Pinochet, Linette Orozco y Luis Umaña | 80 |
| | 11/12/2017: Discusión de los resultados del modelo. | Patricio Camus, Antonio Brante, Florence Tellier, Javier Monsalves | 4 |
| | 25/10/2017: Presentación de los primeros resultados del modelo. | Patricio Camus, Antonio Brante, Javier Monsalves, Christian Díaz, Linette Orozco, Luis Umaña. | 3 |

| Objetivo específico | Actividades | Participantes | Horas empleadas |
|--|--|--|-----------------|
| Desarrollar propuestas de planes de vigilancia de las aguas de lastre y sedimentos basadas en el modelo del análisis de riesgo resultante. | 24/04/2017-03/05/2017. Capacitaciones de personal técnico para muestreos pilotos del plan de vigilancia. Curso básico de seguridad en faenas portuarias. | Constanza Cofre, Linette Orozco y Luis Umaña. | 60 |
| | 15/06/2017. Capacitación realizada por Capitán de puerto de San Vicente. | Constanza Cofre, Javier Pinochet, Linette Orozco y Luis Umaña. | 5 |
| | 28/06/2017. Reunión ampliada para revisión de los dispositivos de muestreo. | Antonio Brante, Javier Monsalves, Javier Pinochet, Luis Umaña, Patricio Camus. | 2 |
| | 20/06/2017. Realización de: Taller de trabajo, Valparaíso. | Antonio Brante, Javier Monsalves, Patricio Camus. | 5,5 |
| | 25/01/2018: Revisión final del Plan de Vigilancia y los costos de implementación. | Patricio Camus, Antonio Brante, Florence Tellier, Linette Orozco | 8 |
| | 18/01/2018: Revisión y determinación del Plan de Vigilancia y de las brechas. | Patricio Camus, Antonio Brante, Florence Tellier, Javier Monsalves, Linette Orozco | 6 |
| | 10/01/2018: Revisión en conjunto del Plan de Vigilancia a proponer. | Patricio Camus, Antonio Brante, Florence Tellier, Javier Monsalves, Laura Latorre, Linette Orozco | 6 |
| | 27/12/2017: Revisión del primer borrador de propuesta del Plan de Vigilancia. | Patricio Camus, Javier Monsalves, Christian Díaz, Linette Orozco | 4 |
| | 02/12/2017 - 25/01/2018 Realización de la propuesta del plan de vigilancia | Patricio Camus, Antonio Brante, Florence Tellier, Javier Monsalves, Christian Díaz, Linette Orozco | 200 |
| Identificar brechas normativas y logísticas de la aplicación del modelo desarrollado y los planes de vigilancia propuestos. | 24/01/2018: Revisión de las brechas identificadas. | Patricio Camus, Linette Orozco | 10 |
| | 16/01/2018 Revisión de las brechas identificadas. | Patricio Camus, Linette Orozco | 10 |
| Cuantificar la implementación del modelo y los planes de vigilancia considerando personal, costos de laboratorio y logístico. | 23/01/2018: Revisión de la evaluación económica | Patricio Camus, Florence Tellier, Christian Díaz, Linette Orozco | 10 |
| | 15/01/2018: Ajustes de la evaluación económica | Patricio Camus, Christian Díaz, Linette Orozco | 4 |
| | 5/12/2017: Evaluación de los costos Laboratorio CESMEC | Christian Díaz, Linette Orozco. | 2 |
| | 1/11/2017: Coordinación de la evaluación económica | Patricio Camus, Christian Díaz, Linette Orozco | 10 |
| Evaluar en un piloto la aplicación del modelo desarrollado y los planes de vigilancia propuestos. | 6/11/2017: Planificación de muestreos en Puerto Montt | Constanza Cofre, Jaime Díaz, Luis Umaña | 3 |
| | 26/09/2017: Planificación de muestreos en el puerto de Valparaíso | Javier Pinochet, Linette Orozco. | 2 |

| Objetivo específico | Actividades | Participantes | Horas empleadas |
|---------------------|--|---|-----------------|
| | 11/09/2017: Programación de muestreos. | Patricio Camus, Javier Pinochet Linette Orozco, Luis Umaña, Constanza Cofré, Jaime Díaz, Caroline Nova | 25 |
| | 3-5/01/2018: Coordinación de los muestreos en Puerto Montt. | Linette Orozco | 8 |
| | 30/10-03/11/2017: Coordinación de los muestreos en Puerto Montt. | Linette Orozco | 8 |
| | 27/11-7/12/2017: Coordinación de los muestreos en el puerto Valparaíso. | Linette Orozco | 8 |
| | 10/10/2017: Coordinación de la inducción de seguridad en TCVAl para muestreador. | Linette Orozco | 4 |
| | 2-10/10/2017: Coordinación de los muestreos en Valparaíso. | Linette Orozco | 5 |
| | 28/09/2017: Coordinación de la inducción de seguridad del equipo de muestreo en TCVAl. | Javier Pinochet | 4 |
| | 11/01/2018: Muestreo del buque Medan Express en Calbuco. | Constanza Cofré, Jaime Díaz, Luis Umaña | 8 |
| | 14/12/2017: Muestreo del buque Du An Cheng en Valparaíso. | Caroline Nova, Linette Orozco, Jaime Díaz. | 8 |
| | 11/12/2017. Muestreo del buque Santa Clara en Valparaíso. | Caroline Nova, Linette Orozco, Jaime Díaz. | 8 |
| | 7/12/2017: Muestreo del buque Alpine en San Vicente. | Constanza Cofré, Jaime Díaz, Luis Umaña | 8 |
| | 13/11/2017: Muestreo de buque Forestal Reina en Calbuco. | Constanza Cofré, Jaime Díaz, Luis Umaña | 8 |
| | 13/10/2017: Muestreo de Buque MSC Chloe en Valparaíso. | Caroline Nova, Linette Orozco, Jaime Díaz. | 8 |
| | 11/10/2017: Muestreo de Buque NYK Libra en Valparaíso. | Caroline Nova, Linette Orozco, Jaime Díaz. | 8 |
| | 11/10/2017: Inducción de seguridad | Jaime Díaz | 3 |
| | 29/09/2017: Inducción de seguridad | Carolina Nova, Linette Orozco, Javier Pinochet | 2 |
| | 28/09/2017: Muestreo de Buque CMA CGM Niagara en Valparaíso | Caroline Nova, Linette Orozco, Javier Pinochet | 8 |
| | 27/09/2017: Muestreo de Buque Milky Way II en San Vicente | Constanza Cofré, Jaime Díaz, Luis Umaña | 8 |

| Objetivo específico | Actividades | Participantes | Horas empleadas |
|---------------------|--|---|-----------------|
| | 27/09/2017: Muestreo de Buque Mary en Valparaíso | Caroline Nova, Linette Orozco, Javier Pinochet. | 8 |
| | 4/09/2017: Muestreo de Buque SC Mara en San Vicente | Constanza Cofré, Jaime Díaz, Luis Umaña | 8 |
| | 25/07/2017: Muestreo del buque AOTEA en San Vicente. | Constanza Cofré, Luis Umaña, Linette Orozco, Javier Pinochet. | 8 |
| | 25/09/2017 - 29/09/2017: Muestreo en el puerto de Valparaíso | Caroline Nova, Linette Orozco, Javier Pinochet. | 50 |
| | 10/10/2017 - 13/10/2017: Muestreo en el puerto de Valparaíso | Caroline Nova, Linette Orozco, Jaime Díaz. | 40 |
| | 11/12/2017 - 15/12/2017: Muestreo en el puerto de Valparaíso | Caroline Nova, Linette Orozco, Jaime Díaz. | 40 |
| | 13/11/2017 - 24/11/2017: Muestreo en el puerto de Calbuco y Puerto Montt | Constanza Cofré, Jaime Díaz, Luis Umaña | 80 |
| | 08/01/2018 - 12/01/2018: Muestreo en el puerto de Calbuco y Puerto Montt | Constanza Cofré, Jaime Díaz, Luis Umaña | 40 |
| Otras actividades | 28/12/2017: Organizar pre-informe final. | Patricio Camus, Linette Orozco, Antonio Brante, Florence Tellier | 25 |
| | 20/01/2018: Preparación del pre-informe final. | Patricio Camus, Linette Orozco, Antonio Brante, Florence Tellier | 20 |
| | Evaluación de los resultados biológicos | Patricio Camus, Antonio Brante, Florence Tellier | 50 |
| | Revisión del pre-informe final | Patricio Camus | 80 |
| | 22/01/2018: Construcción pre-informe final. | Patricio Camus, Linette Orozco, Antonio Brante, Florence Tellier | 50 |
| | 26/01/2018: Últimas definiciones del pre-informe final. | Patricio Camus, Linette Orozco, Antonio Brante, Florence Tellier, Constanza Cofré, Luis Umaña | 20 |
| | 03/11/2016. Preparación y/o coordinación de la reunión específica de coordinación en Valparaíso Sub-Pesca. | Javier Pinochet | 1 |
| | 03/01/2017. Preparación y/o coordinación de la reunión específica con Capitán de puerto de San Vicente solicitando reportes de agua de lastre | Javier Pinochet | 1 |
| | 14/04/2017. Preparación y/o coordinación para la capacitación de personal técnico para muestreos pilotos del plan de vigilancia. Curso básico de seguridad en faenas portuarias. | Javier Pinochet | 2 |

| Objetivo específico | Actividades | Participantes | Horas empleadas |
|---------------------|--|---------------------------------|-----------------|
| | 07/06/2017. Preparación y/o coordinación para la capacitación realizada por Capitán de puerto de San Vicente para el personal técnico. | Javier Pinochet | 1 |
| | 12/06/2017. Preparación y/o coordinación de taller de trabajo para presentación de resultados | Javier Pinochet, Patricio Camus | 10 |

ANEXO 6.

Taller de difusión de resultados

El Taller de difusión de resultados del proyecto FIPA 2016-25 se efectuó en la ciudad de Valparaíso el día 16 de Marzo de 2018, y contó con una asistencia de 17 personas que representaron a 9 instituciones públicas. Al final de este Anexo se incluye (i) el programa del taller, detallando los participantes del proyecto y sus respectivas ponencias, y (ii) la lista de asistentes y sus firmas respectivas.

Durante el desarrollo del taller, las propuestas finales del proyecto sobre el modelo de riesgo y planes de vigilancia del agua de lastre (ADL) fueron validadas y acogidas positivamente por los asistentes, y en general no hubo observaciones críticas sobre los resultados mismos.

Sin embargo hubo sugerencias para optimizar o mejorar aspectos complementarios, destacando en particular las recomendaciones de IFOP respecto a revisar la aplicación y efectividad de la tinción “Rojo neutro” al estimar en forma indirecta la supervivencia de organismos plantónicos, y a maximizar la calidad de las condiciones de preservación de muestras de agua.

En un contexto más amplio, el diálogo con los asistentes abordó (i) la necesidad de que los laboratorios de análisis existentes en Chile mejoren sus capacidades y cuál debería ser el rol del estado en ese contexto, (ii) la falta de protocolos específicos para tratar con especies exóticas invasoras marinas, (iii) la efectividad de los tratamientos UV del ADL ante el hecho de que su efectividad para eliminar organismos no es siempre 100 %, o (iv) posibles protocolos de manejo del ADL si una nave porta lastre “sucio”, entre otros tópicos generales.

Por otra parte, este diálogo también abordó las posibles implicancias operacionales y administrativas para Chile en el caso de que el país decida ratificar el Convenio internacional sobre ADL. En este contexto, la ANA indicó que la entrada en vigor del convenio permite esperar que las agencias navieras prefieran implementar plantas de tratamiento en lugar de sólo gestionar el ADL mediante el recambio, y la DIRINMAR señaló que la ratificación del Convenio implica la obligatoriedad para naves de contar con planes aprobados de gestión de ADL. La DIRINMAR informó además que en enero 2018 se terminó la nueva Estrategia Nacional de Biodiversidad que ahora incluye temas relacionados al ADL, pero también se refiere en particular a las incrustaciones

(fouling), en consonancia con un nuevo convenio internacional propiciado por la OMI con relación al biofouling.

Por último, IFOP se refirió a eventuales deficiencias técnicas de la norma D2 definida por OMI-GloBallast, considerando que la evaluación de abundancia de organismos en el ADL: (i) se basa en rangos de tamaño corporal que pueden mezclar fitoplancton y zooplancton y dejan fuera a las pico-bacterias y nano-bacterias; y (ii) que los umbrales de abundancia serían demasiado bajos, por lo cual la mayoría de las muestras incumpliría la norma, teniendo en cuenta por ejemplo el caso del cabotaje en Chile que siempre es costero, por lo cual usaría ADL de la costa donde el plancton habitualmente se encuentra en altas concentraciones. En este marco, el proyecto recomienda que en una futura aplicación de los planes de vigilancia se solicite a la OMI una revisión de la norma D2, o si el Convenio lo permite, se adapte la norma en aquellos casos donde la abundancia natural de los organismos sea mayor que los umbrales definidos por la OMI.



UCSC



TALLER DE DIFUSIÓN

Proyecto FIPA 2016-25:

Estudio de evaluación de riesgo sobre la posible presencia de especies constitutivas de plagas hidrobiológicas en aguas de lastre y sedimentos en naves de transporte marítimo

Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura
Subsecretaría de Pesca

Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS)
Universidad Católica de la Santísima Concepción

PRESENTACIÓN

Debido al fuerte aumento del tráfico marítimo a nivel global, el riesgo de transportar y transferir especies perjudiciales a través del agua de lastre de las naves constituye actualmente una preocupación mundial, materializada en convenios internacionales que comprometen a los países a desarrollar sistemas de prevención y vigilancia.

En este marco, la misión asignada al proyecto FIPA 2016-25 consistió básicamente en (i) implementar una metodología para evaluar el riesgo de introducción de especies exóticas perjudiciales en los puertos de Chile, (ii) proponer una estrategia de monitoreo y fiscalización de las naves evaluándola a nivel piloto, y (iii) identificar las brechas existentes para la adecuada aplicación de dicha estrategia.

El presente taller está dirigido a una audiencia multisectorial pertinente con el doble objetivo de comunicar los principales resultados y recomendaciones originados de la investigación realizada, y recoger las observaciones de los participantes con el fin de optimizar una propuesta final de planes de vigilancia para controlar el riesgo de introducción de especies marinas perjudiciales a través del agua de lastre.



UCSC



PROGRAMA DEL TALLER

LUGAR: Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Valparaíso, Bellavista 168, Piso 19, Sala 2

FECHA Y HORARIO: viernes 16 de marzo de 2018, 11:00 – 17:10 horas

| Horario | Actividades y presentaciones | |
|--------------------|--|--|
| 11:00-11:15 | CAFÉ INICIAL | |
| 11:15-11:30 | Introducción: Marco y objetivos del proyecto | Dr(c). Javier Monsalves |
| 11:30-12:15 | Modelo de evaluación de riesgo y sus aplicaciones | Dr. Patricio A. Camus |
| 12:15-13:00 | Resultados y conclusiones del modelo de riesgo | Dr. Patricio A. Camus |
| 13:00-14:30 | PAUSA PARA ALMUERZO | |
| 14:30-15:15 | Metodología de evaluación biológica | Dra. Florence Tellier |
| 15:15-16:00 | Resultados y conclusiones de los análisis biológicos | Dra. Florence Tellier |
| 16:00-16:10 | CAFÉ | |
| 16:10-16:35 | Propuesta de plan de vigilancia y lineamientos sectoriales | DR(c). Javier Monsalves Dr. Patricio A. Camus |
| 16:35-17:05 | Discusión general | Moderador: Dr. Patricio Camus |
| 17:05-17:10 | CIERRE | |

Taller de difusión Proyecto FIPA 2016-25
 Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Valparaíso, 16 de marzo de 2018

LISTA DE ASISTENTES

| Nombre | Institución | Firma |
|----------------------|---------------------------------|-------|
| RICARDO SAEZ P | SERNAPESCA. D.N. | |
| Alejandro Bonniatos | Subpesca | |
| Paulina Vera | SERNAPESCA | |
| Gisella Jrelbano C. | Ministerio Medio Ambiente | |
| Anita Espinosa | SERNAPESCA D.N. | |
| ROSARIO SEGOVIA | ASAC. NAC. APICADORES | |
| Enrique Vargas | Directemar | |
| Ayelo Miranda O. | Directemar | |
| MICHAEL MANLEY | CAPITANIA PUERTO VALPARAISO | |
| Floriano Tellier | Univ. Católica SSma. Concepción | |
| Patricio Carrus | CIBAS-UCSC | |
| Gloria Gallegos Haro | SMA | |
| Paulina Aguilera | FIPA | |
| Daniel Segura V. | Subpesca | |
| OSCAR ESPINOSA G. | IFOP | |
| Javier Monsalves H | CIBAS UCSC | |
| Linette Orozco E | UCSC | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

ANEXO 7.

Resúmenes de trabajos presentados en congresos

Los resultados del proyecto fueron expuestos por los investigadores en: (i) dos trabajos presentados en la XXIV Reunión Anual de la Sociedad de Ecología y LX Reunión de la Sociedad de Biología, realizadas en Puerto Varas en noviembre de 2017, y (ii) en cuatro trabajos presentados en el XXXVIII Congreso de Ciencias del Mar, realizado en Valdivia en mayo de 2018, en un simposio organizado por el proyecto y titulado “Presión de propágulos y riesgo de invasión en puertos chilenos: el rol del agua de lastre”. A continuación se incluyen los datos y resúmenes completos de los seis trabajos.

Resumen 1:

Análisis del transporte y descarga de agua de lastre en puertos chilenos: una evaluación de riesgo de la introducción de especies exóticas

Analysis of the transport and discharge of ballast water in Chilean ports: A risk assessment of the introduction of exotic species

^{1,3}Luis Umaña, ^{1,3}Javier Pinochet, ^{1,3}Constanza Cofré, ^{1,3}Antonio Brante, ^{1,3}Florence Tellier, ³Javier Monsalves, ^{2,3}Christian Diaz, ^{1,3}Patricio A. Camus

¹Facultad de Ciencias, ²Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile
³Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS)

Este estudio analiza el potencial de introducción de especies marinas exóticas en tres puertos de Chile (Valparaíso, San Vicente, Calbuco), presentando el primer análisis de la presión de propágulos a través de las descargas de agua de lastre (ADL) efectuadas por un total de 503 barcos que recalaron en dichos puertos en el período 2010-2016. Este análisis estuvo acoplado a la implementación y adaptación de un modelo de evaluación del riesgo de introducción vía ADL propuesto por la Organización Marítima Internacional. Entre los resultados, se determinó que el volumen total y por barco (en paréntesis) de ADL descargado en el período evaluado fue de 469.860 (897) TM en San Vicente, 410.001 (104) TM en Valparaíso, y 485069 (8.662) TM en Calbuco. Estos volúmenes provinieron desde 109 lugares distintos ubicados en 34 ecorregiones diferentes, desde las cuales podrían haberse transportado 109 especies reconocidas como invasoras de alto riesgo. Al implementar el modelo se determinó un coeficiente de similitud ambiental (rango: 0-1) entre cada lugar donante de ADL y cada puerto receptor (> similitud > riesgo de introducción), y en promedio los valores fueron 0,77 en Valparaíso, 0,60 en San Vicente y 0,70 en Calbuco, sugiriendo un potencial de invasión medio-alto. En conjunto, los resultados del modelo indican que el riesgo global de cada puerto (expresado en un coeficiente con rango 0-1) es mayor en Valparaíso, seguido por San Vicente y Calbuco. Sin embargo, las distintas características de los puertos implican que cada uno esté sujeto a una alta probabilidad de introducción.

Financiado por proyecto FIPA 2016-25

Resumen 2:

Adaptación y aplicación de un modelo de análisis de riesgo (Organización Marítima Internacional) para prevenir la introducción de especies marinas exóticas vía agua de lastre en puertos chilenos

Adapting and testing a risk assesment model (International Maritime Organization) for preventing the introduction of marine exotic species via ballast water into Chilean ports

Orozco, Linette^{1.}, Camus, Patricio^{2,1.}

¹Facultad de Ciencias, Universidad Católica De La Santísima Concepción.²Facultad de Ciencias, Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS).

En septiembre 2017 entra en vigor un convenio internacional para prevenir la introducción de especies marinas exóticas vía agua de lastre (ADL), y Chile deberá contar con planes de monitoreo y fiscalización para sus puertos. Para ello la Organización Marítima Internacional (OMI) propone un modelo de evaluación de riesgo que considera como factores el volumen y frecuencia de descarga de ADL, la similitud ambiental entre puertos donantes y receptores de ADL, y el número de especies potencialmente transportadas desde otras regiones, entre otros. Este estudio evaluó por primera vez la aplicabilidad de dicho modelo en Chile, usando análisis teóricos y empíricos basados en informes de ADL entregados por >900 barcos en el período 2010-2016 en Valparaíso, San Vicente y Calbuco. Basados en este análisis, proponemos una versión optimizada del modelo OMI incorporando cambios que lo mejoran o favorecen su aplicación al contexto nacional (e.g., uso de sitios de carga del ADL en lugar de últimos puertos de zarpe, invasores potenciales identificados en lugar de especies posiblemente riesgosas). Estos resultados se aplicarán en el desarrollo de sistemas de vigilancia que el Estado deberá implementar a corto plazo.

Financiado por Proyecto FIPA 2016-25.

XXXVIII Congreso de Ciencias del Mar

Simposio: Presión de propágulos y riesgo de invasión en puertos chilenos: el rol del agua de lastre.

Resumen 1 del simposio:

Introducción de especies no-indígenas y agua de lastre: contexto internacional y nacional.

^{1,2}Linette Orozco, ^{1,2}Antonio Brante, ^{1,2}Florence Tellier, ^{1,2}Patricio A. Camus

¹Facultad de Ciencias, Universidad Católica De La Santísima Concepción. ²Facultad de Ciencias, Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS).

La Organización Marítima Internacional (OMI) creó el Comité de Protección del Medioambiente Marino con el objetivo de abordar aspectos relacionados con el control de las especies invasoras y sus impactos. Esta problemática ha sido destacada en la agenda internacional en el marco de la aprobación de las 17 Metas de Desarrollo Sustentable (MDSs) por la Asamblea General de la ONU en el año 2015. Una de las MDSs de particular importancia, es la relacionada con la protección del medio marino frente a los riesgos de introducción de especies no-indígenas a través del agua de lastre (ADL) producto del creciente tráfico marino. Una serie de herramientas globales han sido desarrolladas para apoyar reformas jurídicas, normativas e institucionales de forma de abordar las cuestiones relacionadas con el manejo del ADL. En particular, el programa GloBallast de la OMI promovió la aplicación de políticas y normativas internacionales por los distintos países para fomentar las buenas prácticas y el desarrollo de estrategias y planes de acción para la gestión del ADL. En este marco la OMI ha generado directrices específicas para evaluar los riesgos asociados al ADL, destacando la norma D2 que define estándares metodológicos y biológicos relativos a la presencia y abundancia de distintos tipos de organismos. Sin embargo, las estrategias de nivel nacional en relación al manejo del ADL pueden -y a veces deben- diferir entre sí en términos de contenido técnico y enfoque general, debido a las diferentes características, organización geopolítica y particularidades biogeográficas de los países. En el caso de Chile, actualmente existe una directriz vigente promulgada por la DGTM que regula aspectos puntuales de la gestión del ADL realizada por las naves, aunque ya se han dado los primeros pasos para desarrollar un plan de vigilancia que sea aplicable como sistema nacional de monitoreo y fiscalización del ADL. En el presente trabajo se contextualiza a nivel internacional y nacional la problemática del potencial de introducción de especies a través del ADL (presión de propágulos) y los efectos derivados de la invasión, así como las estrategias para el manejo del riesgo adoptadas por algunos países.

Financiamiento: FIPA 2016-25, Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS)

Resumen 2 del simposio:

Evaluación de riesgo de la introducción de especies perjudiciales en puertos chilenos vía agua de lastre: bases para un plan nacional de control y vigilancia.

^{1,2}Linette Orozco, ^{1,2}Antonio Brante, ^{1,2}Florence Tellier, ^{1,2}Patricio A. Camus

¹Facultad de Ciencias, Universidad Católica De La Santísima Concepción. ²Facultad de Ciencias, Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS).

Ante el fuerte aumento del tráfico naviero global, en 2017 entró en vigor un convenio gestado por la Organización Marítima Internacional (OMI), que exige a cada país implementar estrategias para prevenir la propagación de especies perjudiciales (exóticas invasoras, pestes, patógenos) transportadas en el agua de lastre (ADL) de las naves. En este marco, por mandato de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura y la autoridad marítima de Chile, desarrollamos un estudio para proponer los lineamientos de un plan nacional de vigilancia y control del ADL, basado en una primera evaluación del riesgo de introducción de especies perjudiciales en puertos nacionales, aplicada en Valparaíso, San Vicente y Calbuco. Para el análisis de riesgo adaptamos un modelo semi-cuantitativo propuesto por la OMI, cuyos componentes representan el grado de amenaza biológica y la presión de propágulos sobre un puerto focal, para un periodo representativo de su patrón contemporáneo de comercio. Para evaluar el riesgo global relativo de cada lugar que donó ADL a los puertos receptores: (i) analizamos los informes de ADL de 1361 naves para determinar los lugares de origen del ADL en los estanques de cada nave, así como el número de estanques que deslastraron en un puerto receptor y los volúmenes de ADL descargados, que representan la frecuencia y tamaño de las inoculaciones de organismos; (ii) estimamos el nivel de similitud ambiental entre un puerto receptor y cada uno de sus lugares donantes de ADL, relacionado a la probabilidad de sobrevivencia de los organismos inoculados; y (iii) estimamos el nivel de amenaza biológica de 109 lugares donantes de ADL ubicados en 34 ecorregiones marinas, determinando el riesgo asociado al conjunto de especies perjudiciales registradas en cada ecorregión, integrando los tipos y magnitudes de los impactos negativos de cada especie. Los resultados indican que los tres puertos presentan niveles altos de riesgo pero difieren fuertemente en la importancia y composición biogeográfica de su amenaza biológica, las que dependen principalmente del rubro comercial predominante, y no se relacionan directamente con el tamaño o importancia comercial del puerto, ni con la frecuencia o volumen de descarga de ADL en el mismo. Financiamiento: FIPA 2016-25, Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS)

Resumen 3 del simposio:

Evaluación de los riesgos biológicos y estándares de calidad del agua de lastre transportada hacia y entre puertos chilenos.

^{1,2}Linette Orozco, ^{1,2}Antonio Brante, ^{1,2}Florence Tellier, ^{1,2}Patricio A. Camus

¹Facultad de Ciencias, Universidad Católica De La Santísima Concepción. ²Facultad de Ciencias, Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS).

El agua de lastre (ADL) transportada por naves comerciales es uno de los principales vectores de introducción de especies exóticas, plagas o patógenos en los ambientes marinos, aunque su rol e importancia en los procesos de invasión biológica en Chile son virtualmente desconocidos. Como parte de un análisis de riesgo de la introducción de especies perjudiciales en puertos chilenos, presentamos una evaluación biológica del ADL de 13 naves muestreadas en Valparaíso, San Vicente y Calbuco (incluyendo muestras ambientales de agua y sedimentos), con el objetivo de determinar empíricamente: (i) su riesgo biológico en función de la presencia, abundancia y supervivencia de especies planctónicas y microorganismos, (ii) su cumplimiento de estándares de calidad (norma D2) definidos por la Organización Marítima Internacional, y (iii) la efectividad de los tratamientos aplicados al ADL en las naves. Los resultados mostraron la presencia de microorganismos patógenos en una baja proporción de muestras ambientales y de ADL, y en la única obtenida de sedimentos de lastre, aunque su abundancia no incumplió la norma D2. Enterococos intestinales y *Escherichia coli* se detectaron sólo en el ambiente de San Vicente, y sólo en dos naves recaladas también en San Vicente que cargaron ADL desde el mismo puerto, evidenciando que el riesgo microbiológico no se asocia solamente a naves extranjeras. Además registramos una alta abundancia de plancton en el ADL (principalmente dinoflagelados, silicoflagelados, diatomeas, foraminíferos, tintínidos, copépodos, sifonóforos y poliquetos), incluyendo cinco especies de microalgas generadoras de floraciones, tres de ellas tóxicas. Los organismos transportados fueron encontrados vivos en >80 % de las muestras, incluso después de permanecer 196 días en un estanque, demostrando su alta capacidad para sobrevivir en condiciones extremas durante periodos prolongados. Esto revela también un alto nivel de incumplimiento de la norma D2, indicando que los sistemas de tratamiento del ADL (incluyendo UV) no garantizan la eliminación del riesgo biológico. Todo lo anterior sugiere que el riesgo potencial de introducción de especies tanto hacia como entre los puertos chilenos es muy alto, y justifica los esfuerzos futuros para implementar un sistema nacional de vigilancia exhaustivo.

Financiamiento: FIPA 2016-25, Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS)

Resumen 4 del simposio:

Influencia del transporte marítimo internacional sobre la invasibilidad y la estructura de la comunidad incrustante en la Región del Biobío, Chile.

Jean-Charles Leclerc¹, Frédérique Viard², Elizabeth González Sepúlveda³, Christian Díaz⁴, José Neira Hinojosa⁵, Karla Pérez Araneda¹, Francisco Silva¹ & Antonio Brante¹

¹Universidad Católica de la Santísima Concepción. Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias. Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS), Casilla 297, Concepción, Chile

²Sorbonne Universités, UPMC, Univ Paris 06, CNRS, UMR 7144 AD2M, Station Biologique de Roscoff, Place Georges Teissier, 29680 Roscoff, France

³Departamento de Química Ambiental, Facultad de Ciencias, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, Chile.

⁴Departamento de Medio Ambiente y Energía, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, Chile.

⁵Facultad de Farmacia, Universidad de Concepción, Concepción, Chile

A nivel mundial, las invasiones biológicas pueden afectar dramáticamente a las poblaciones y comunidades nativas, así como a las funciones ecosistémicas. Fuertemente ligadas con la actividad humana, las invasiones biológicas favorecen la homogenización de los ecosistemas a gran escala espacial, alterando los bienes y servicios que ellos proveen a la población humana. En el ambiente marino, el establecimiento y propagación de las especies no-indígenas (ENI) están siendo facilitados por el cada vez mayor transporte marítimo. Para evaluar la influencia del tráfico marino internacional sobre la invasibilidad de organismos incrustantes a lo largo de 100 km de la costa Centro-Sur de Chile, en el presente estudio comparamos la comunidad incrustante de 3 puertos internacionales y 3 muelles nacionales, usando una combinación de paneles de asentamiento y la evaluación de comunidades establecidas sobre estructuras artificiales. Los resultados muestran que, a pesar de algunas diferencias en las condiciones ambientales de los sitios, no existe un claro efecto del tráfico internacional sobre la invasibilidad de organismos incrustantes. A lo largo del estudio (1,5 años), el reclutamiento de las ENI fue bajo y su contribución a la estructura comunitaria dependió del sitio más que de la presencia o ausencia de tráfico marítimo internacional. Los procesos sitio-específicos explicarían de mejor forma estos patrones, tales como factores ambientales, estructuras artificiales, transporte regional y la interacción de las ENI con las comunidades receptoras.

Financiamiento: Proyecto FIPA 2016-25, FONDECYT/POSTDOCTORADO/3160172, Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS)