EVALUACIÓN DE RIESGO DE LA CONTAMINACIÓN MARINO-COSTERA POR BIOINCRUSTACIONES ASOCIADAS AL TRÁFICO MARÍTIMO EN EL PUERTO DE CARTAGENA Y SU IMPLICACIÓN EN EL SISTEMA INSTITUCIONAL

LISETH JOHANA ARREGOCÉS SILVA

Bióloga Marina

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA

FACULTAD DE POSRGRADOS

MAESTRÍA EN MANEJO INTEGRADO COSTERO

2022

EVALUACIÓN DE RIESGO DE LA CONTAMINACIÓN MARINO-COSTERA POR BIOINCRSUTACIONES ASOCIADAS AL TRÁFICO MARÍTIMO EN EL PUERTO DE CARTAGENA Y SU IMPLICACIÓN EN EL SISTEMA INSTITUCIONAL

LISETH JOHANA ARREGOCÉS SILVA

Bióloga Marina

Trabajo presentado para aspirar al título de Magister en

Manejo Integrado Costero

Director

MARY LUZ CAÑÓN PÁEZ

Ph.D. Oceanografía costera



UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA

FACULTAD DE POSRGRADOS

MAESTRÍA EN MANEJO INTEGRADO COSTERO

2022

“Además las comunicaciones marítimas son muchísimo más flexibles, por eso la mar sigue uniendo los pueblos, y la tierra, con sus fronteras naturales y sus fronteras políticas, raciales y sociales,… la sigue desuniendo”



“La Estrategia de las Comunicaciones Marítimas”
-José Blanco Nuñez

A la memoria de mi padre,

un hombre noble y valiente.

Gratitud hasta la eternidad.

"…Ese día me quedé pensando que algunas personas jamás nos dejan, nunca se van por completo, aunque ya no estén… Su esencia queda, su voz se escucha, las sentimos sonreír…
Algunas personas jamás nos dejan…
Son eternas…"

- Ilani ribero

AGRADECIMIENTOS

A Dios porque en Él comienza todo.

A mi familia por trascender en la distancia. A mis padres y mis hermanas por la confianza y por estar pendientes siempre de mi progreso personal y profesional. A mi esposo, un ser maravilloso con el que comparto el interés por el mar. A mi hija, que a su corta edad se divierte con un microscopio de juguete y disfruta siendo científica para ver “bichitos y protegerlos” ¿Cómo no motivarse así?

A mi directora de Tesis por su orientación y compartir su experticia en el tema.

A la Dirección General Marítima, por permitirme participar en el proyecto de investigación “Producir información técnica-científica para la Protección del Medio Marino en Áreas Marinas y Zonas Portuarias”. A la Capitanía de Puerto de Cartagena y el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe -CIOH, en especial a los investigadores de la Sección de Protección del Medio Marino -componente biológico, su apoyo en campo y laboratorio fue indispensable para el levantamiento de información biológica.

“La única forma de hacer un gran trabajo,
es amar lo que haces”
-Steve Jobs-

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN **9**

ABSTRACT **10**

OBJETIVO GENERAL **11**

INTRODUCCIÓN **12**

CAPÍTULO 1: CARACTERIZACIÓN DE LAS COMUNIDADES INCRUSTANTES EN SUSTRATOS DUROS ARTIFICIALES Y ANÁLISIS DE PATRONES DE BUQUES DE TRÁFICO INTERNACIONAL: CASO DE ESTUDIO BAHÍA DE CARTAGENA **21**

Resumen 21

Marco conceptual 22

Metodología 26

Área de estudio 26

Fase de campo 29

Fase de laboratorio 31

Tratamiento de datos 31

Análisis de riesgo 32

Resultados y discusión 32

CAPÍTULO 2: SISTEMA INSTITUCIONAL DE INJERENCIA EN LA PREVENCIÓN DE INTRODUCCIÓN DE ESPECIES POR BIOINCRUSTACIÓN A TRAVÉS DEL TRÁFICO MARÍTIMO A PARTIR DE LA RESOLUCIÓN 645/14 DIMAR Y LINEAMIENTOS DE LA ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL **53**

Resumen 53

Marco teórico 53

Metodología 57

Resultados y discusión 57

CONCLUSIONES **82**

RECOMENDACIONES **86**

BIBLIOGRAFÍA **88**

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de ejecución y coordinación del manejo costero en el ámbito nacional. 19
Tabla 2. Organismos identificados asociados a incrustaciones de estructuras sumergidas (Caja de Mar 1; Casco 2) de buques de tráfico internacional con arribo a la bahía de Cartagena; incluye estatus como especies marinas invasoras (I=introducida; N=Nativa). Autor: (a) Yidi & Sarmiento (2011); (b) Becerra & Jiménez (1989) (c) Young & Campos, (1988); (d) Granadillo & Urosa (1984); (e) Sealifebase (2021) 43
Tabla 3. Información histórica motonaves muestreadas en la bahía de Cartagena 44
Tabla 4. Arribos internacionales a zonas portuarias colombianas 2018-2020..... 46
Tabla 5. Resumen de los acuerdos internacionales relevantes de especies exóticas invasoras 55
Tabla 6. Legislación en Colombia relacionada con especies exóticas 59
Tabla 7. Actores estatales en Colombia relacionados con la gestión de la contaminación biológica por casco..... 62
Tabla 8. Principales actores en Colombia con injerencia en la gestión y control de la contaminación transfronteriza en virtud de la Resolución MEPC. 207 (62)..... 70
Tabla 9. Principales actores en Colombia con injerencia en la gestión y control de la contaminación biológica por buques en virtud de la Resolución 645 de 2014 .. 76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de servicios ecosistémicos de las zonas costeras 12
Figura 2. Proyección del tráfico marítimo y bioinvasiones 14
Figura 3. Proceso de bioinvasiones y acciones de manejo. 15
Figura 4. Diferencias entre rutas marítimas a). Año 1750-1800; b) Rutas modernas 24
Figura 5. Principales razones para para el intercambio de información sobre especies y rutas de Introducción. 25
Figura 6. Mapa de la bahía de Cartagena y estaciones de muestreo 27
Figura 7. Niveles de reconocimiento biológico portuario de referencia 29
Figura 8. Categorías de riesgo a considerarse en relación con la bioincrustación asociado al tráfico marítimo 32
Figura 9. Frecuencia de ocurrencia (%) de los phylum encontrados en boyas de señalización en la bahía de Cartagena 33
Figura 10. Especies más abundantes por época climática. LS= época de lluvia estrato superficial; TS= Época de transición estrato superficial; TF= época de transición estrato fondo; SS= época seca estrato superficial; SF= época seca estrato fondo. 34
Figura 11. Abundancia de phylum por estación. a) Época de lluvia estrato superficial; b) Época de transición estrato superficial; c) Época de transición estrato fondo; d) Época seca estrato superficial; e) Época seca estrato fondo (SF) 35
Figura 12. Índices de riqueza específica (M'), diversidad (H' y D') y equitatividad (J') por período climático 39
Figura 13. Dendrograma del análisis de clasificación para los macroinvertebrados asociados a sustratos artificiales (boyas de señalización marítima) en la bahía de Cartagena, basado en el Índice de similaridad Bray-Curtis. (Índice cofenético = 0,92). LS= Época Lluvia estrato superficial; SS =Época Seca estrato superficial; SF= Época Seca estrato Fondo; TS= Época Transición estrato superficial; TF= Época Transición estrato Fondo 40
Figura 14. Porcentaje de arribos por tipo de buque a la zona portuaria de cartagena durante los años 2019 (Ene-Dic) y 2020 (Ene-Sep) 47
Figura 15. Ecosistema Marino del Gran Caribe (Caribbean Large Marine Ecosystem - CLME) 49
Figura 16.Potenciales riesgos relacionados con la bioincurstacion asociados al tráfico marítimo que pueden afectar a la bahía de Cartagena, a sus pobladores y a las actividades económicas de la zona. Elaboración propia 52
Figura 17. Roles del Estado de acuerdo al derecho internacional. 63

RESUMEN

Las zonas marino-costeras ofrecen diversos servicios ecosistémicos que favorecen el asentamiento y desarrollo de actividades antrópicas, sin embargo, se encuentran expuestas a constantes presiones y graves impactos, que en muchos casos suelen ser silenciosos. Dentro de estas, la introducción de especies por tráfico marítimo a través de vectores como el casco de buques es una forma de contaminación biológica, cuyas repercusiones (ambientales, sociales y económicas) se evidencian tiempo después de establecidas las especies en el nuevo ambiente, y su erradicación difícilmente se puede lograr. Con el fin de abordar la problemática de la contaminación biológica generada por tráfico marítimo desde un enfoque integrado de manejo costero, el presente documento evalúa el riesgo relacionado con la introducción de especies por bioincrustación en casco y estructuras bajo la línea de flotación de buques de tráfico internacional: Caso de Estudio Cartagena. La caracterización realizada de las comunidades incrustantantes en sustratos artificiales de la Bahía y buques de tráfico internacional, infiere que, estos sustratos son óptimos para el establecimiento y desarrollo de organismos incrustantes o asociados a estos, tales como artrópodos, moluscos y anélidos; además permitió evidenciar la presencia de cuatro especies consideradas como introducidas para Colombia: *Mytella Charruana*, *Perna viridis*, *Amphibalanus reticulatu*s y *A. amphitrite*. A partir de la caracterización del tráfico marítimo, se identificó mayor frecuencia de arribo de buques tipo portacontenedor y naves de recreo y deportivas, así como, alto número de buques mercantes procedentes de la misma bioregión del puerto destino, lo cual aumenta el riesgo de introducción de especies para la zona de estudio. Se realizó la identificación de seis tipos de riesgo con potencial de afectación a la bahía de Cartagena, a sus pobladores y a las actividades económicas de la zona; lo anterior estuvo basado en dos categorías de riegos: 1) relativos a la introducción de especies y 2) a la gestión de la contaminación biológica (a bordo- en tierra). Por otra parte, se presenta el análisis del sistema institucional de injerencia en la prevención de introducción de especies por bioincrustación, mediante la identificación de actores estatales en Colombia relacionados con la gestión de la contaminación biológica por casco, y su rol en virtud de la Resolución MEPC. 207 (62) de la OMI y la Resolución 645 de 2014 (MD-DIMAR-ASIMPO).

Palabras clave: Riesgo, bioincrustación, manejo integrado costero, tráfico marítimo

ABSTRACT

Marine-coastal areas offer various ecosystem services that favor the settlement and development of human activities, however, they are exposed to constant pressures and serious impacts, which in many cases are usually silent. Within these, the introduction of species by maritime traffic through vectors such as the hull of ships is a form of biological contamination, whose repercussions (environmental, social, and economic) are evident long after the establishment of the species in the new environment, and its eradication can hardly be achieved.Too address, the problem of biological contamination generated by maritime traffic from an integrated approach to coastal management, this document evaluates the risk related to the introduction of species by biofouling in the hull and structures below the waterline of traffic vessels International: Cartagena Case Study. The characterization of encrusting communities in artificial substrates of the Bay and international traffic vessels, infers that these substrates are optimal for the establishment and development of organisms encrusting or associated with them, such as arthropods, molluskse,lids; it also allowed to evidence the presence of four species considered as introduced to Colombia: *Mytella Charruana, Perna viridis*, *Amphibalanus reticulatus* and *A. amphitrite*. Based on the characterization of maritime traffic, a higher frequency of arrival of container-type vessels and recreational and sports vessels was identified, as well as a high number of merchant ships coming from the same bioregion as the port of destination, which increases the risk of introduction of species for the study area. The identification of six types of risk with the potential to affect the bay of Cartagena, its inhabitant,s and the economic activities of the area was carried out, above was based on two categories of risks 1) related to the introduction of species and 2) to the management of biological contamination (on onboardon land). On the other hand, the analysis of the institutional system of interference in the prevention of the introduction of species by biofouling is presented, through the identification of state actors in Colombia related to the management of biological contamination by hull,the and their role under Resolution MEPC. 207 (62) IMO and Resolution 645/2014 (MD-DIMAR-ASIMPO).

Keywords: Risk, biofouling, integrated coastal management, maritime traffic

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el riesgo de introducción de especies por bioincrustación asociadas al casco y estructuras bajo la línea de flotación de buques de tráfico internacional que arriban al puerto de Cartagena, para facilitar el proceso de toma de decisiones por parte de las instituciones competentes y minimizar la contaminación marino-costera por esta vía, así como sus efectos a nivel económico, social, sanitario y biológico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las comunidades incrustantes presentes en la bahía de Cartagena y en buques de tráfico internacional, con el fin de establecer el riesgo de introducción de especies mediante este vector.

- Analizar el sistema institucional de injerencia en la prevención de introducción de especies por bioincrustación a través del tráfico marítimo internacional a partir de la Resolución 645/14 DIMAR y los lineamientos de la Organización Marítima Internacional.

INTRODUCCIÓN

Cerca del 97% del agua contenida en el planeta, está distribuida en mares y océanos (incluidos lagos y aguas subterráneas salinas), en los que se desarrolla la vida marina (González-Diaz, 2015). A su vez, los diferentes ecosistemas marino-costeros ayudan a mantener y satisfacer la vida humana, a través de los múltiples beneficios obtenidos por las personas y la sociedad, mediante los bienes y servicios ambientales; definido esto como, servicios ecosistémicos (Figura 1) (Avendaño *et al*., 2019).

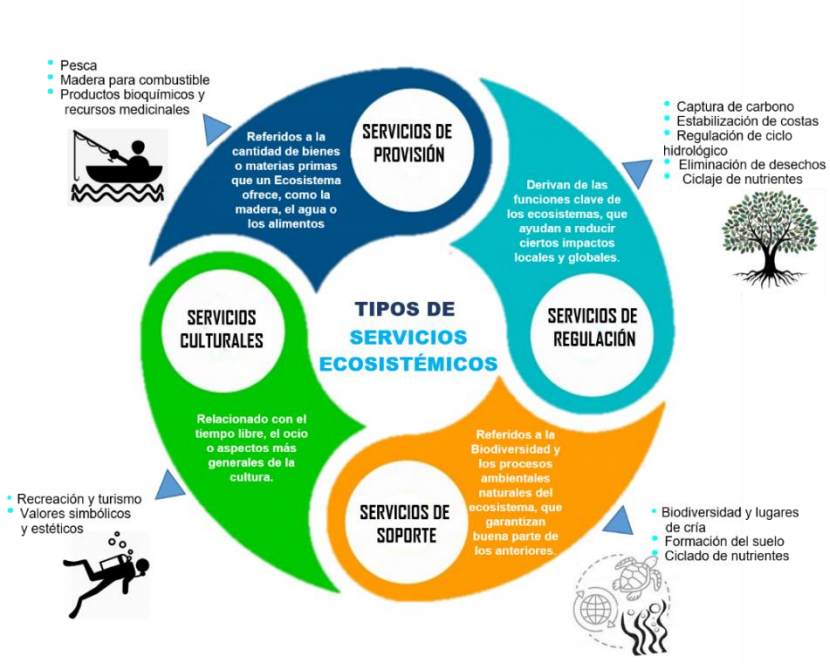


Figura 1. Tipos de servicios ecosistémicos de las zonas costeras. Elaboración propia.

Lo anterior, ha constituido un ámbito favorable para el asentamiento de la población en áreas litorales y su rápido crecimiento, lo cual resulta en una constante presión sobre las zonas costeras dado el uso y desarrollo de múltiples actividades para la subsistencias humana (Barragán & De Andrés, 2016). Dentro del patrón de actividades que aumentan las presiones se destacan las actividades portuarias y el transporte marítimo, que sin adecuada planificación puede generar impactos negativos sobre el ambiente (United Nations Environment Programme, 2006).

El transporte marítimo se considera un medio amigable con el ambiente en relación con otros medios para el movimiento de mercancías; sin embargo, generan impactos negativos directos e indirectos sobre los ecosistemas marinos y costeros producto de la descarga al mar de residuos de limpieza de tanques y otras sustancias nocivas sólidas y líquidas, aguas negras y basuras, vertidos de hidrocarburos, además de ruidos producidos por las hélices, emisiones de gases nocivos y la transferencia de especies acuáticas invasivas a través de agua de lastre y el casco de buques (Londoño, 2017).

Esta última, responsable de gran parte de las bioinvasiones marinas que han sido reconocidas como una amenaza potencial para la fauna y la flora, la vida humana, las actividades económicas y culturales de los Estados, en Convenios Internacionales como el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), el Convenio de Barcelona para la protección del mar Mediterráneo contra la contaminación, el foro de Cooperación Económica de Asia y el Pacífico (CEAP) y la Secretaría del Programa regional del medio ambiente para el Pacífico (SPREP) (OMI, 2020a).

Los factores que favorecen el movimiento de especies a nuevos hábitats, como la modernización del transporte, las vías de comunicación, la apertura de nuevas rutas comerciales y los cambios en el uso de suelo, han incrementado el movimiento especies exóticas (EE), así como, la vulnerabilidad de muchos hábitats a las invasiones (Born-Schmidt *et al*., 2017). Análisis del tráfico marítimo proyectan un incremento global de esta actividad entre un 240 y un 1209% para 2050, cifras que según Sardain *et al*. (2019) llevarán a un efecto mayor de las bioinvasiones, incluso por encima de los impactos provocados por el cambio climático (Figura 2). Al igual que la introducción de especies, las demás presiones ejercidas al medio ambiente por las actividades marítimas y portuarias serán más agudas si no se implementan acciones para prevenirlo o minimizarlo.

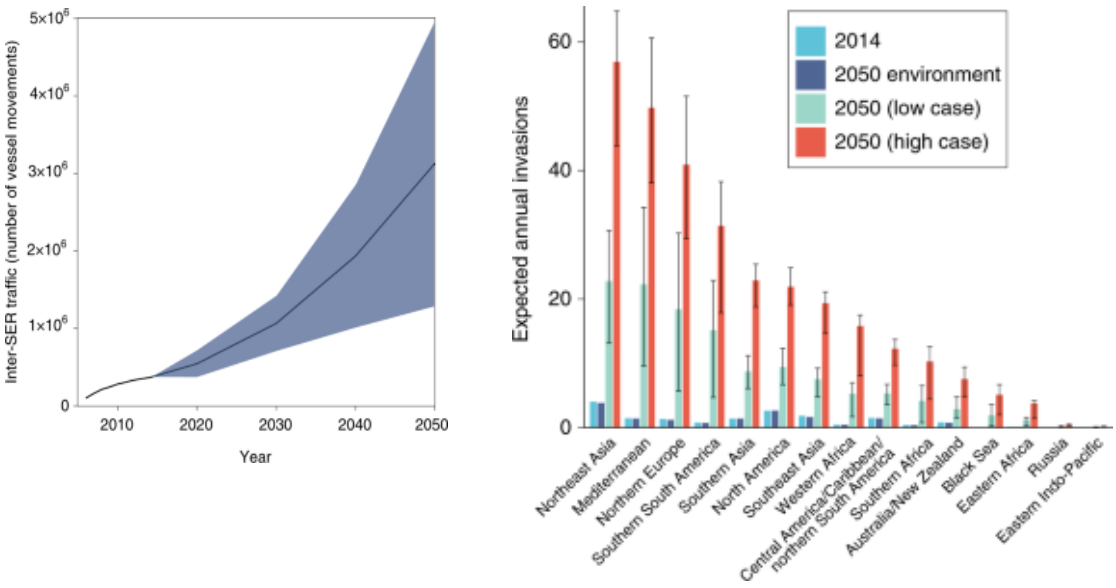


Figura 2. Proyección del tráfico marítimo y bioinvasiones (Sardain *et al*., 2019)

Es necesario conocer el proceso de las invasiones, con el fin de entender la problemática y prevenir o controlar los impactos. Este inicia con el traslado de una especie determinada de su ambiente nativo a nuevas áreas de distribución (Figura 3). Sin embargo, la mayoría de las especies no son transportadas de manera exitosa. La introducción y establecimiento de las especies en el nuevo ecosistema dependerá de su interacción con todos los elementes bióticos y abióticos, lo que determinará la dispersión de la especie (Kolar & Lodge, 2001). Algunas especies introducidas pueden dispersarse y convertirse en invasoras, mientras que otras se naturalizan (Capdevila-Argüelles *et al*., 2013).

Dentro de las condiciones para el establecimiento de los organismos acuáticos, se encuentra que estos deben estar relacionados con la vía de salida en el puerto donante, sobrevivir el viaje, colonizar el medio ambiente receptor, reproducirse y propagarse (Orr, 2003). Durante el proceso de introducción, se ha demostrado que generalmente existe una fase de reposo en el que las especies presentan una baja abundancia y los impactos son poco notables. Posteriormente, los impactos se vuelven evidentes tras el rápido incremento de la población (Fase explosión), que

alcanza la capacidad de carga del ambiente (Global Invasive Species Programme - GISP, 2011a).

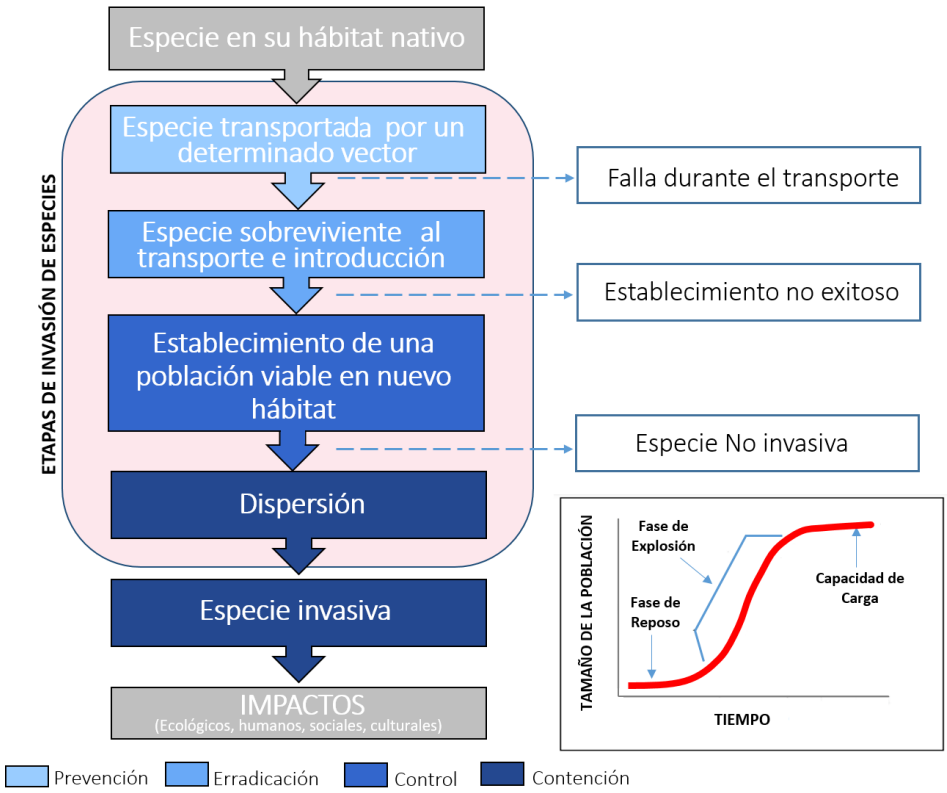


Figura 3. Proceso de bioinvasiones y acciones de manejo. Elaboración Propia

Algunos factores que favorecen las bioinvasiones son, las perturbaciones ambientales (naturales o antrópicas), la sobrepesca debido a que disminuye la presión sobre las especies presa; la contaminación química y eutrofización cuyas alteraciones propician ambientes óptimos para el establecimiento de nuevas especies; destrucción y fragmentación de hábitats que dan origen a nuevos sustratos; las invasiones mismas que favorecen el establecimiento de otras invasiones; y el cambio climático debido a la modificación en el rango de distribución de las especies (Casas, 2004; Fournier *et al*., 2019).

El establecimiento de estas especies en nuevos ambientes ha generado crecientes impactos negativos. Fuera de su área de distribución natural, las especies carecen de factores que controlen su desarrollo poblacional, lo que da lugar a la competencia

por los recursos disponibles con especies nativas y consecuente extinción de estas últimas, así como en daños a la biodiversidad (DIMAR-CIOH, 2009).

Los impactos económicos se encuentran principalmente relacionados con factores de inestabilidad de la actividad pesquera y obstrucción de infraestructura e industria de actividades de explotación costera; sin embargo, puede afectar el mismo transporte marítimo y la provisión de servicios ecosistémicos con repercusión en el ámbito social (disminución de empleo y actividades económicas) y culturales (DIMAR-CIOH, 2009; Cerda *et al*., 2017). Por otra parte, se requiere un alto costo para asumir los esfuerzos de erradicación de especies exóticas (Secretaría del Convenio sobre Diversidad Biológica, 2016).

Las consecuencias en la salud humana se derivan de la exposición directa a nuevas enfermedades o agentes patógenos y/o parásitos, o indirectamente en relación con los mecanismos para el control o erradicación de estas. Particularmente, los patógenos y parásitos pueden ser especies invasoras por si solas, aunque frecuentemente son introducidos por medio de otros organismos como moluscos y mamíferos no nativos (Hernández, 2018).

Si bien, las introducciones pueden ser no intencionales o intencionales; en cualquier caso, se deben llevar a cabo estudios detallados para determinar los riesgos asociados y evitar que esta nueva especie introducida intencionalmente, se convierta en una plaga, y genere grandes problemas económicos y sociales a la región (Valdés, 2009). Sin embargo, las especies invasoras marinas (EIM) pueden generar impactos positivos como nuevas actividades económicas y oportunidades de empleo en relación a proyectos y programas de gestión de EIM (DIMAR-CIOH, 2009).

Dentro del tema de riesgo y de la probabilidad de una invasión biológica, los mecanismos de introducción de las especies exóticas juegan un rol importante (Mendoza *et al*., 2014). Los procesos que permiten que una especie sea trasladada

de su ambiente nativo a un área fuera de su dispersión natural son conocidos como rutas o vías de introducción. Aun cuando el movimiento y colonización de organismos a nuevos ambientes ha ocurrido de manera natural a lo largo del tiempo, factores como deficiencia en la vigilancia de los sistemas fronterizos y la falta de medidas de prevención y control en éstos, han llevado a múltiples y variadas rutas de introducción sean naturales o artificiales (Born-Schmidt *et al*., 2017). El viento, corrientes u otros medios naturales para los que la especie ha desarrollado características morfológicas y de comportamiento, hacen parte de las rutas de introducción naturales, mientras las artificiales se dan como resultado directo de actividades humanas (Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras, 2010). Así mismo, existen mecanismos (medios, actividades o productos) a través de los cuales una especie puede ser transportada a un nuevo ambiente de manera intencional o accidental, los cuales se denominan vectores (Koike *et al*., 2006).

El análisis de las rutas de introducción y sus vectores es una de las principales herramientas en el diseño tanto de estrategias para prevenir invasiones, así como de medidas para el control de poblaciones invasoras basada en investigación científica, de análisis genético y del origen de los individuos introducidos (Lombaert *et al*., 2018). Debe incluir no solo la identificación de los mecanismos de transporte (la velocidad de los vectores, la frecuencia de los viajes) sino también, información de las especies que pueden ser transportadas (cantidad de individuos, el tipo de especies susceptibles de ser transportadas), y otros factores como la temporada del año y la similitud ambiental del área receptora con la región de origen.

Dada la globalidad de la introducción de especies invasoras se hace necesaria la generación de instrumentos de gestión basados no solo en el conocimiento producto de investigación científica, sino también, en la integración y participación trans-sectorial a nivel local, nacional e internacional (Brugnoli *et al*., 2009). Además, requiere la comprensión de la problemática desde el enfoque “el ser humano en la naturaleza", es decir, que involucre las interacciones entre el sistema social y el sistema natural (Berkes *et al*., 2003), así como, a partir del enfoque ecosistémico

que permita el análisis de la problemática a partir de aspectos ecológicos, sociales, económicos, políticos e institucionales (Caviedesa *et al*., 2014). Lo anterior, permitirá un adecuado entendimiento de la problemática y la generación de alternativas de manejo propicias.

De igual manera y en miras de aproximarse al desarrollo sostenible, los estudios de la zona costera deben estar acompañados de un enfoque integrado de manejo bajo la participación de los actores claves en el proceso, y de elementos de gobernabilidad y gobernanza a fin de facilitar la toma de decisiones (INVEMAR, 2013a). Los procesos de toma de decisiones relativos al medio ambiente que cuentan con técnicas participativas y de consulta, permiten la implementación de estrategias exitosas (Meadowcroft, 2003).

Con el fin de facilitar la toma de decisiones frente a la contaminación generado por tráfico marítimo en áreas marino costeras, es necesario considerar dimensiones de integración horizontal entre los sectores y las entidades de gobierno con intereses o funciones en el área costera de estudio y las comunidades locales; integración vertical (instituciones y niveles administrativos dentro del mismo sector); y otras como integración espacial, sistémica, funcional, política, entre la ciencia y el manejo, y de planificación (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010).

Identificar el sistema institucional de injerencia nacional en el ámbito permite aprovechar las plataformas y estructuras que pueden ser útiles en la gestión del riesgo de introducción de especies y en general del poder marítimo (Camelo, 2010), toda vez que estas actividades marítimas y portuarias repercuten en las zonas costeras y a diferentes niveles (ambiental, económico, social, entre otros). Por tanto, se hace necesario tener presenten los niveles de ejecución y coordinación de manejo costero (Tabla 1), con el fin de abordar la problemática de especies trasfronterizas desde una perspectiva de gobernanza de las zonas costeras, ya que

esto ayudará a analizar aspectos tales como las dimensiones socio-políticas e institucionales de manejo, el rol y competencias del Estado y de los otros actores (INVEMAR, 2013b).

Tabla 1. Niveles de ejecución y coordinación del manejo costero en el ámbito nacional.

ESCALAS GEOGRÁFICAS	NIVELES DE GESTIÓN	ENTIDADES RESPONSABLES	MECANISMOS DE INTEGRACIÓN Y COORDINACIÓN
Nacional	Políticas generales de alcance nacional (asesoría para la formulación) Planes de desarrollo y sectoriales Expedición de normas	Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo territorial Comisión Colombiana del Océano Dirección General Marítima –DIMAR Departamento Nacional de Planeación-DNP Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres-UNGRD Parques Nacionales Naturales de Colombia-PNN Servicio Geológico colombiano-SGC	Consejo Nacional de Política Economía y Social (CONPES) Comité Nacional de Manejo Integrado de los Espacios Oceánicos y Zonas Costeras Comisión Colombiana del Océano Comité Técnico Nacional de Especies Introducidas y/o Trasplantadas Invasoras Comité Técnico Nacional Gestión Integral del Territorio marino –costero
Regional	Planes de desarrollo departamental Planes de manejo integrado de zonas costeras Planes de acción trienales de las corporaciones autónomas regionales (CAR)	Gobernaciones Corporaciones autónomas regionales y de desarrollo sostenible –CAR'S	Corporaciones autónomas regionales y de desarrollo sostenible –CAR'S
Local	Planes de desarrollo municipales Planes de ordenamiento territorial	Alcaldías Municipales CAR'S Capitanías de Puerto de la DIMAR	Coordinación entre Municipios Comités locales de MIZC

A partir de lo anterior y con el fin de abordar la problemática de la contaminación biológica generada por tráfico marítimo desde un enfoque integrado de manejo costero, el presente documento evalúa el riesgo relacionado con la introducción de especies por bioincrustación asociadas al casco y estructuras bajo la línea de flotación de buques de tráfico internacional: Caso de Estudio Cartagena, a partir de la caracterización de las comunidades incrustantes en sustratos artificiales de la Bahía y buques de tráfico internacional (Capítulo 1); y además presenta el análisis del sistema institucional de injerencia en la prevención de introducción de especies

por bioincrustación de acuerdo a la Resolución 645/14 DIMAR y los lineamientos de la Organización Marítima Internacional (Capítulo 2).

CAPÍTULO 1: CARACTERIZACIÓN DE LAS COMUNIDADES INCRUSTANTES EN SUSTRATOS DUROS ARTIFICIALES Y ANÁLISIS DE PATRONES DE BUQUES DE TRÁFICO INTERNACIONAL: CASO DE ESTUDIO BAHÍA DE CARTAGENA

RESUMEN

La evaluación de riesgos (una de las etapas de la gestión de riesgos) es un proceso científico de análisis de riesgos; algunos modelos detallan entre sus etapas el análisis de la exposición y vulnerabilidad, que corresponden a “las condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad de una sociedad al impacto de amenazas" (ONU, 2016). En este sentido el presente apartado presenta los riesgos identificados, así como, el análisis de la exposición y vulnerabilidad de riesgo de introducción de especies para la bahía de Cartagena (Col.) principalmente en función de aspectos biológicos y de tráfico marítimo, como forzantes de dicho riesgo de contaminación biológica transfronteriza en el área de estudio. Dentro de los resultados relevantes se identificaron seis tipos de riesgos categorizados en dos grupos relativos a: 1) la introducción de especies y 2) la gestión de la contaminación biológica (a bordo- en tierra). Por otra parte, la caracterización biológica en boyas de señalización marítima infiere que, estos sustratos artificiales son óptimos para el establecimiento y desarrollo de organismos con potencial incrustante o asociados a estos (incluso organismos catalogados como introducidos), cuya distribución estacional y espacial, se encuentra influenciada para la zona de estudio por las perturbaciones antrópicas y/o el régimen climático. Dentro de la comunidad incrustante, se destacó la ocurrencia de artrópodos, moluscos y anélidos, y la presencia de cuatro especies consideradas como introducidas para Colombia: *Mytella Charruana*, *Perna viridis*, *Amphibalanus reticulatu*s y *A. amphitrite*; esta dos últimas registradas también en buques de tráfico internacional. En cuanto al tráfico marítimo, se encontró alta frecuencia de arribo de buques provenientes de puertos de la misma bioregión (Panamá, República Dominicana, Jamaica, Costa Rica y Venezuela), este aspecto

junto con el tipo de embarcación y el alto flujo marítimo, aumentan el riesgo de la introducción de especies para la zona de estudio.

MARCO CONCEPTUAL

Las invasiones biológicas provocadas por actividades antrópicas ocurren a través de diversos mecanismos, incluido el transporte marítimo (Godwin, 2003). Aun cuando estudios sugieren que la acumulación de organismos (microorganismos, plantas, algas y animales) sobre estructuras sumergidas de los buques (contaminación biológica), es un mecanismos de introducción de especies, posiblemente más significativo que el agua de lastre (Gollasch, 2002), la mayoría de las investigaciones se enfocan en este último (Mineur *et al*., 2007).

El biofouling o bioincrustación es un proceso sucesional altamente dinámico que da lugar a la contaminación biológica a la que están expuestos plataformas marinas y buques una vez entran en contacto con el agua de mar (OMI, 2020b); el asentamiento y la acumulación de organismos sobre el casco y estructuras sumergidas está influenciado por múltiples factores, tales como las características del buque, del puerto (condiciones ambientales oceanográficas) y de los organismos incrustantes (biología y fisiología) (Callow & Callow, 2002) (Patricio Manríquez *et al*., 2014).

Las etapas iniciales de este proceso siguen un patrón básico, sin importar el tipo de sustrato, región geográfica o especie colonizadora (Tun-Che, 2018): 1) Acondicionamiento: segundos después del contacto de la superficie con en agua inicia la adsorción de las macromoléculas suspendidas en el medio acuoso al sustrato (Alghamdi & Quijada, 2019); 2). Microincrustamiento (colonización microbiana): la adsorción bacteriana es favorecida por fuerzas físicas e inicia el desarrollo de una biopelícula (Alghamdi & Quijada, 2019) y 3) Macroincrustamiento: las secreciones de la biopelícula inducen la adhesión de macroorganismos (algunos

como briozoos y poliquetos no requieren de esta condición para iniciar su colonización). Inicialmente tiene lugar un incrustamiento suave o joven (protozoarios, larvas y esporas de macroalgas) y luego el incrustamiento duro o maduro (moluscos, crustáceos, tunicados y macroalgas, entre otros) (Tun-Che, 2018).

Las naves oceánicas son consideradas islas biológicas, debido a que sirven como recintos protegidos que pueden ser fácilmente ocupados por las especies incrustantes sésiles y móviles, que habitan en puertos y estuarios (Godwin, 2005). Esta acumulación de organismos ha sido considerada de importancia a través de la historia. El conocimiento de la contaminación biológica en los barcos data del siglo IV a.C., sin embargo, alrededor del año 100 d.C Plutarco señaló a los organismos que se adherían al casco como responsables del mayor tiempo de viaje y baja velocidad de movimiento de los barcos (Alghamdi & Quijada, 2019).

Anteriormente, los veleros de madera utilizados en rutas comerciales proporcionaban una superficie ideal para los organismos incrustante; con la necesidad de barcos más resistentes para una navegación más segura y competente económicamente, se dio paso a buques de hierro, así como, a la búsqueda de revestimientos metálicos para evitar la corrosión y el fouling (Alghamdi & Quijada, 2019).

Las rutas marítimas globales dieron un salto a la evolución desde finales del siglo XX, lo que resultó en el aumento de la flota naviera, la frecuencia de viajes, el tamaño, la velocidad de los buques y la conectividad directa e indirecta entre los puertos (Figura 4), y consecuentemente en una mayor probabilidad de transporte de organismo vivos entre los océanos a través cascos, y el agua de lastre (Ojaveer *et al*., 2018).

Ante el problema del bioincrustación para la navegación, los marineros de la antigüedad usaron brea, revestimientos de cobre, plomo, alquitrán y arsénico (entre

otros) en sus barcos. Estas prácticas, dieron origen a pinturas antiincrustantes, algunas con efectos adversos en especies marinas no objetivo (Bressy & Lejars, 2014). Lo anterior trajo consigo la necesidad de iniciativas para minimizar los efectos tanto de la prevención, como de las posibles introducciones de especies asociadas a este vector, dentro de las cuales la Convención Internacional para el Control de Sistemas Antiincrustantes en Buques (2001) es una de las acciones más relevantes.

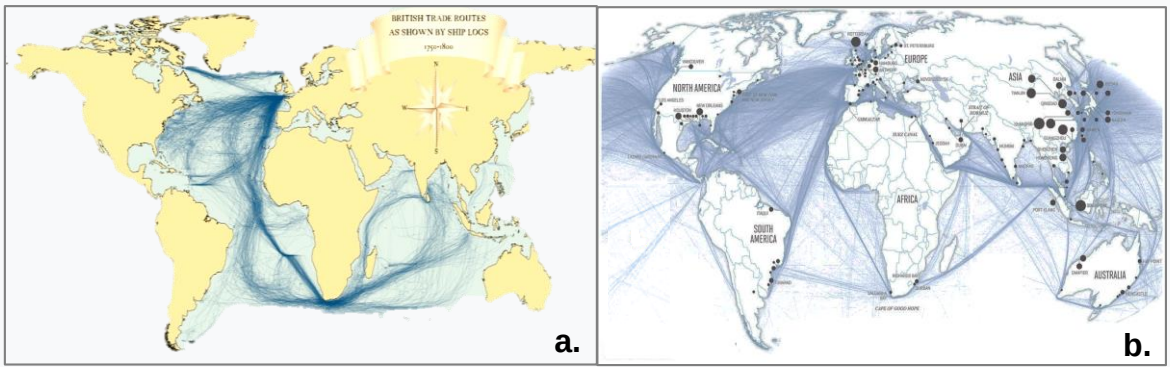


Figura 4. Diferencias entre rutas marítimas a). Año 1750-1800; b) Rutas modernas
Modificado de Geographypods, (2020)

A nivel nacional y consientes que contar con información actualizada y de calidad sobre especies y rutas de introducción, es una herramienta útil en la efectividad del manejo de especies exóticas invasoras (EEI) , y en la formulación de la legislación nacional referente (Tamelander *et al*., 2010), Colombia ha desarrollado investigación científica para generar información clave para alcanzar acciones y medidas de prevención y/o control satisfactorias ante dicha problemática y la concientización de la importancia de intercambiar dichas experiencias (Figura 5). Los resultados de las investigaciones han sido presentados en diferentes escenarios locales e internacionales. Si bien, los recursos y fondos de financiamiento público para el manejo ambiental pueden llegar a ser limitados, existe la necesidad de centrarse en las actividades de investigación como una gestión más rentable y apropiada, frente a la reducción de los riesgos de costosas invasiones (Hewitt *et al*., 2009).

En Colombia se han desarrollado estudios enfocados en generar listados de especies marinas incrustantes como los Polychaetos en raíces de mangle (Londoño-Mesa *et al*, 2002). Asimismo, investigaciones realizadas por Cuadrado *et al*. (2010), Cortés-Useche *et al*. (2011) y Correa (2012) evalúan los controladores del fouling.



Figura 5. Principales razones para para el intercambio de información sobre especies y rutas de Introducción. Elaboración propia.

Autores como García & Salzwedel (1993), Ahrens *et al*. (2011) Gracia *et al*. (2013) y Buitrago (2019) evaluaron la bioincrustación en las estructuras marítimas y portuarias y en algunos estudios se resalta la presencia de especies no nativas para Colombia, tales como el crustáceo *Bastiolina sarae* en el Pacífico.

Específicamente para la bahía de Cartagena se han desarrollado estudios sobre el uso de recubrimientos anti-incrustantes químicos (Meza *et al*., 2007), y a partir de sustancias naturales (extractos orgánicos de *Neopetrosia carbonaria, Eunicea laciniata* y dos variedades de ají habanero) (Prato, 2009). Además, los estudios de Ahrens *et al*. (2011), Suarez (2011) y Aragón (2019) proveen inventarios de los organismos incrustantes adheridos a estructuras marítimas (boyas de señalización) y portuarias (pilotes), y reportan la presencia del molusco *Perna viridis* no nativo

para la región. Sin embargo, son escasos los estudios que caractericen la comunidad incrustante en sustratos artificiales de la bahía de Cartagena, aun cuando se reconocen las ventajas de contar con información científica de las comunidades biológicas y la ecología del puerto, tanto para mantener inventarios biológicos actualizados y revelar a las autoridades competentes el estado en el que se encuentran especies no indígenas, así como, para elaborar estrategias y medidas relativas a la gestión, y aquellas relacionadas con la conservación de la biodiversidad.

Referente a la fauna incrustante en buques, únicamente se cuenta con el trabajo de Aguilera *et al*. (2018) quienes identificaron los invertebrados marinos incrustantes presentes en el casco del ARC “20 de Julio” antes y después del recorrido a la Antártida, no obstante, los buques militares y de investigación no presentan la misma dinámica de viajes de los buques mercantes, los cuales debido a la demanda de comercio y a la conectividad marítima de la zona portuaria de Cartagena, pueden representar mayor riesgo de introducción de especies para la región.

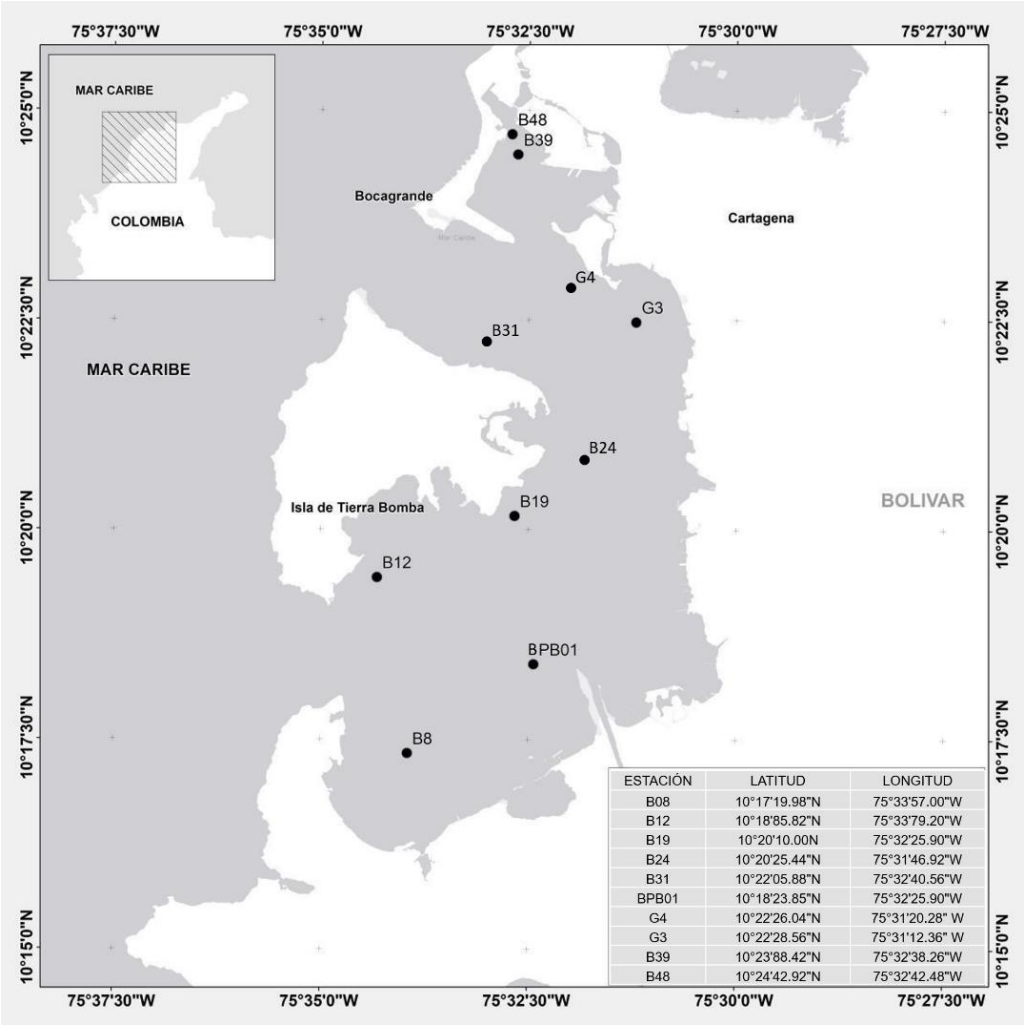
Expuesto lo anterior, en este capítulo se presenta el análisis de riesgos identificados y generados por la bioincrustación asociada al tráfico marítimo, así como, el análisis de la exposición y vulnerabilidad de riesgo de introducción de especies para la zona portuaria de Cartagena (Col.), en función de aspectos biológicos y de tráfico marítimo, como forzantes de dicho riesgo en el área de estudio.

METODOLOGÍA

ÁREA DE ESTUDIO

La bahía de Cartagena se encuentra en la costa Caribe colombiana, en el departamento de Bolívar entre 10° 21’ 00” N y 75° 31’ 00” W (Figura 6). Tiene aproximadamente un área total de 82.6 km^2 y se comunica con el Mar Caribe a

través del canal de Bocagrande localizado al norte y con profundidades entre 0,6 y 2,1 m; mientras al sur se encuentra el Canal navegable de Bocachica que alcanza profundidades de hasta 15 m (inicio del Canal) (Restrepo *et al*., 2013), además de las aperturas de, El Varadero y un Canal entre Isla Draga y Abanico (Lonin & Giraldo, 1996) (Lonin *et al*., 2004).



ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD
B08	10°17'19.98"N	75°33'57.00"W
B12	10°18'85.82"N	75°33'79.20"W
B19	10°20'10.00N	75°32'25.90"W
B24	10°20'25.44"N	75°31'46.92"W
B31	10°22'05.88"N	75°32'40.56"W
BPB01	10°18'23.85"N	75°32'25.90"W
G4	10°22'26.04"N	75°31'20.28" W
G3	10°22'28.56"N	75°31'12.36" W
B39	10°23'88.42"N	75°32'38.26"W
B48	10°24'42.92"N	75°32'42.48"W

Figura 6. Mapa de la bahía de Cartagena y estaciones de muestreo

Se considera como estuario debido a los aportes fluviales del Canal de Dique al sur de la Bahía, con influencia en la hidrodinámica y dinámica sedimentaria de área (Lonin *et al*., 2004) (Andrade *et al*., 2004).

El comportamiento climático responde al patrón descrito para el Caribe colombiano e influenciado por los vientos Alisios. De esta manera, se evidencia un período seco de diciembre a marzo cuando los vientos Alisios alcanzan velocidad máxima de 18,4 m s-1 y precipitaciones entre 1.0 y 37 mm/mes (INVEMAR, 2010); seguido de una disminución en la intensidad del viento proveniente del suroeste y aumento de precipitaciones entre abril y noviembre definido por el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical sentido norte-sur (Franco-Herrera, 2005). Además, entre mayo y julio se registra el "Veranillo de San Juan", un periodo de transición en el que la región experimenta vientos uniformes en dirección norte noreste (Orozco *et al*., 2008).

Ecológicamente, presenta un mosaico único de ecosistemas, como manglares, playas arenosas, humedales, Ciénegas y relictos de bosque seco. Se encuentra en cercanía de lagunas costeras, que abarcan el archipiélago de Corales del Rosario y San Bernardo, la península de Barú e Isla fuerte, las cuales forman parte del sistema de áreas protegidas de Colombia (Plan 4C, 2021).

Las características naturales tales como profundidad (promedio de 13 metros) y mínimas variaciones de mareas y corrientes, así como su ubicación geográfica estratégica, son ideales para el desarrollo portuario, por tal razón es reconocida como una de las zonas portuarias de mayor importancia en el país (Velandia-Velandia & Santana-Acero, 2019).

Al estar localizada en el triángulo de transbordos del Caribe y nodo de conectividad estratégica a nivel mundial, facilita la conexión entre los grandes centros de producción asiáticos, europeos y norteamericanos. Por lo anterior es considerada como la puerta comercial de América (Fedesarrollo, 2014) (Restrepo *et al*., 2013).

FASE DE CAMPO

A partir de la importancia de adelantar inventarios biológicos portuarios como una manera rápida de conocer la biodiversidad (Noss, 1990), así como, de disponer de información biológica en áreas costeras expuestas al tráfico marítimo, se realizó el Reconocimiento Biológico Portuario (RBP) de primer nivel (Figura 7) de acuerdo con las recomendaciones del documento del Programa GloBallast de la OMI a través de Monografía 22 (Awad *et al*., 2014).

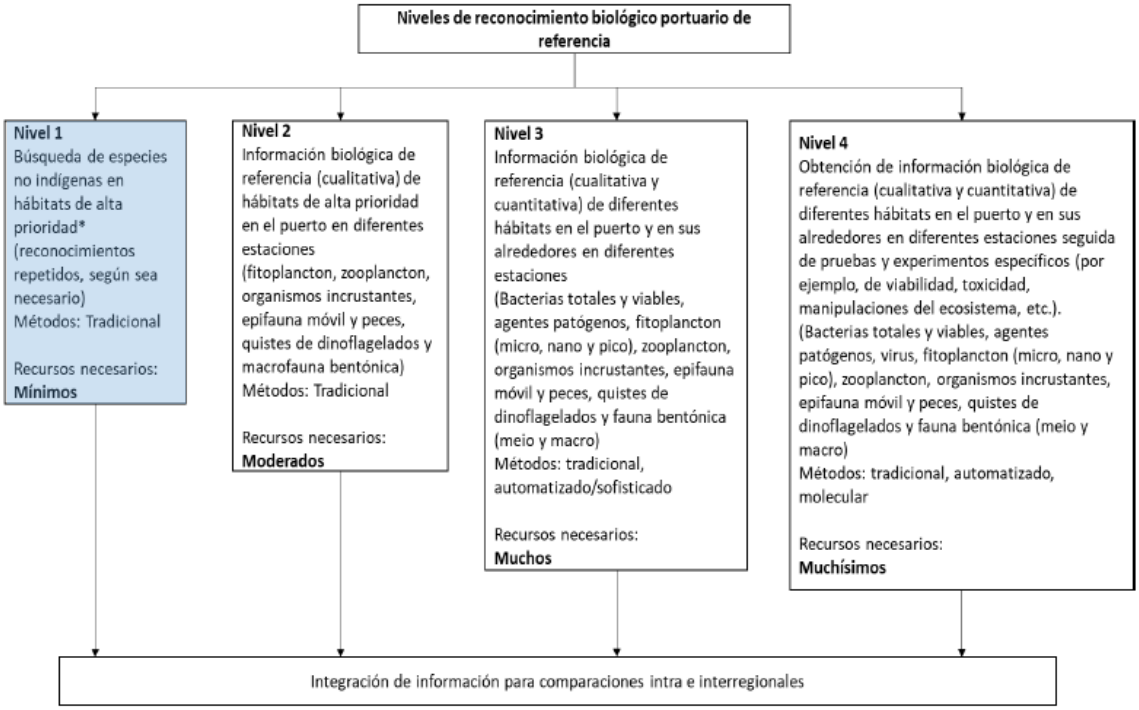


Figura 7. Niveles de Reconocimiento Biológico Portuario de Referencia. Modificado de Awad *et al*. (2014)

Por otra parte, Awad *et al*. (2014) sugiere realizar reconocimientos biológicos en lapso de tiempo de seis meses y tener presente los cambios estacionales como un factor importante que puede influir en las probabilidades de evidenciar algunos organismos en su hábitat. En este sentido, el levantamiento de información biológica en boyas de señalización fue realizado en la época lluviosa de 2018 a profundidad de 1m (cinco estaciones) y en época de transición de 2019 (siete estaciones) y

época seca de 2020 (10 estaciones) a dos profundidades (0,3 y 3 metros). En la selección de estaciones de muestreo se mantuvo una amplia cobertura geográfica y se tuvo en cuenta las áreas de mayor impacto de actividades portuarias, así como la dinámica hídrica de la Bahía (Figura 6). De igual manera, se mantuvieron criterios como la accesibilidad y la seguridad del personal durante el levantamiento de información.

La selección del método de muestreo se realizó de acuerdo con el tipo de sustrato, disponibilidad de equipo, costo y utilidad práctica. En este sentido, se realizó la extracción del material biológico de un área de 33,3 cm^2 de la parte sumergida de las boyas de señalización del Canal de acceso Marítimo a la Bahía. Para el muestreo del casco de buques y demás estructuras bajo su línea de flotación, fue necesario una inspección subacuática general, con el fin de establecer las áreas nicho con bioincrustación; para este caso no se consideraron profundidades para la extracción. En los dos casos los organismos se pasaron por un colector de ojo de malla de 500 µm (Suarez, 2011). Las muestras colectadas y almacenadas en frascos plásticos debidamente rotulados, se preservaron en alcohol al 70% y fueron narcotizadas con cloruro de magnesio o cristales de mentol para relajar los organismos y ablandar el tejido (Awad *et al*., 2014).

Como complemento a la caracterización de la contaminación biológica en casco, se realizó el levantamiento de información secundaria, a partir de datos históricos de viaje de los buques monitoreados, reportados en sistemas de monitoreo de tráfico marítimo mundial de acceso libre (Wood Mackenzie, 2021; myShipTracking, 2021). Sin embargo, no se tuvo acceso a la información del tiempo transcurrido desde la última limpieza del casco de los buques en estudio, esquema de pintura AF y/o mecanismos para prevenir la bioincrustación adoptada por los navieros.

FASE DE LABORATORIO

En laboratorio, se realizó la separación por grupos taxonómico y posterior identificación taxonómica y cuantificación bajo estereoscopio y/o microscopio óptico. Para la identificación taxonómica al nivel más específico posible se siguieron las guías de identificación taxonómica y artículos científicos Wedler (2017), Díaz & Puyana (1994), Kensley & Schotte (1989), Zea (1987), Abele & Kim (1986) y Werding (1977).

TRATAMIENTO DE DATOS

A partir de los datos de laboratorio de las muestras colectadas en las boyas de señalización, se determinó la estructura y composición de la comunidad, la representación gráfica de la abundancia de grupos se realizó mediante el programa ArcGis. Además se realizó la cuantificación del índice de riqueza específica de Margalef (Mg'), y los índices de estructura de Simpson (D'), Shannon-Wiener (H') y Pielou (J'). Para el análisis de las asociaciones biológicas espacio temporales, se realizó a través del programa Past (versión online) un análisis de clasificación mediante el índice de similitud de Bray-Curtis (He, 1999) y se determinó a través del coeficiente de correlación cofenética el grado de distorsión del dendrograma con respecto a la matriz de similitud (Clarke & Warwick, 2001) (Crisci & Lopez, 1983).

Los resultados cuantitativos de los organismos incrustantes en el casco fueron analizados a partir de la naturaleza de los buques de tráfico marítimo a las cuales se encontraron adheridos; por tal motivo, se debió realizar el levantamiento de la información histórica de viaje de los navieros muestreados.

Por último, se realizó el análisis de tráfico marítimo basada en la estadística de arribos y tipo de buques durante el 2019 y 2020, datos suministrados por el área de Seguridad Marítima y Portuaria de la DIMAR.

ANÁLISIS DE RIESGO

Se realizó a partir del análisis de la caracterización de especies incrustantes en boyas y adheridas a buques de tráfico internacional; así como de información secundaria, la identificación y análisis de los riesgos potenciales relativos a la bioincrustación de cascos que pueden afectar a la bahía de Cartagena, a los pobladores y a las actividades económicas. Dicho análisis se adelantó a partir de las categorías de riesgo descritas en la Figura 8 que consideran la diversidad de riesgos del sistema comprendido entre los ecosistemas marinos y el buque.

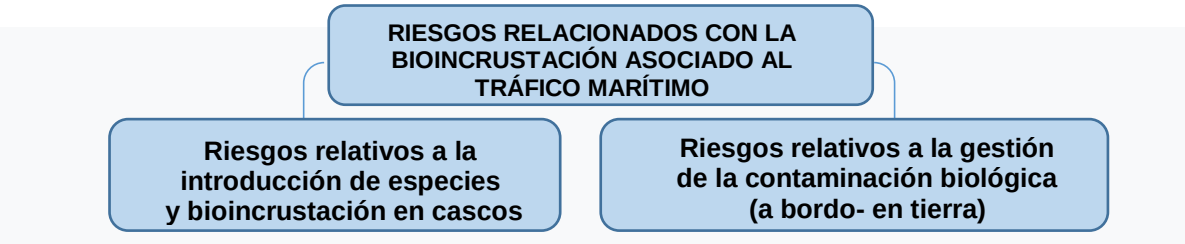


Figura 8. Categorías de riesgo a considerarse en relación con la bioincrustación asociado al tráfico marítimo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis taxonómico permitió identificar la composición de la comunidad de macroinvetebrados adheridos a estructuras duras artificiales del Canal navegable de la bahía de Cartagena. En total se registraron 42594 organismos (sin incluir Cnidaria-Hidrozoa y Porifera debido a su crecimiento colonial), 102 taxa y 38 morfos, distribuidos en 48 familias y 10 phylla (Anexo 1).

La mayor riqueza durante la época de transición (36%) y lluvia (33%) correspondió a Annelida específicamente la clase Polychaeta con 52 especies, sin embargo, con bajas abundancias. De acuerdo a Hernández *et al*. (2001) estos organismos comunmente se encuentran en ambientes sometidos a perturbaciones como la bahía de Cartagena, expuesta a aportes continetales, urbanos y la influencia de actividades portuarias e industriales (Beltrán, 2011), además contituyen un sustrato secundario que facilita el establecimiento de otras especies (Okolodkov *et al*., 2007). Seguidamente, los artrópodos (46 taxones) y moluscos (17 taxones) con mayor representación durante la época seca (47% y 26% respectivamente). Otros como nemertea, sipuncula, echinodermata, tuvieron una representación inferior al 1% en los diferentes periodos climáticos.

En relación con la frecuencia de ocurrencia, los artrópodos y moluscos estuvieron en todas las estaciones y estratos muestreados. Los anélidos se presentaron en el 90% de los sitos, mientras porífera y cnidaria en el 77% y 54% respectivamente (Figura 9).

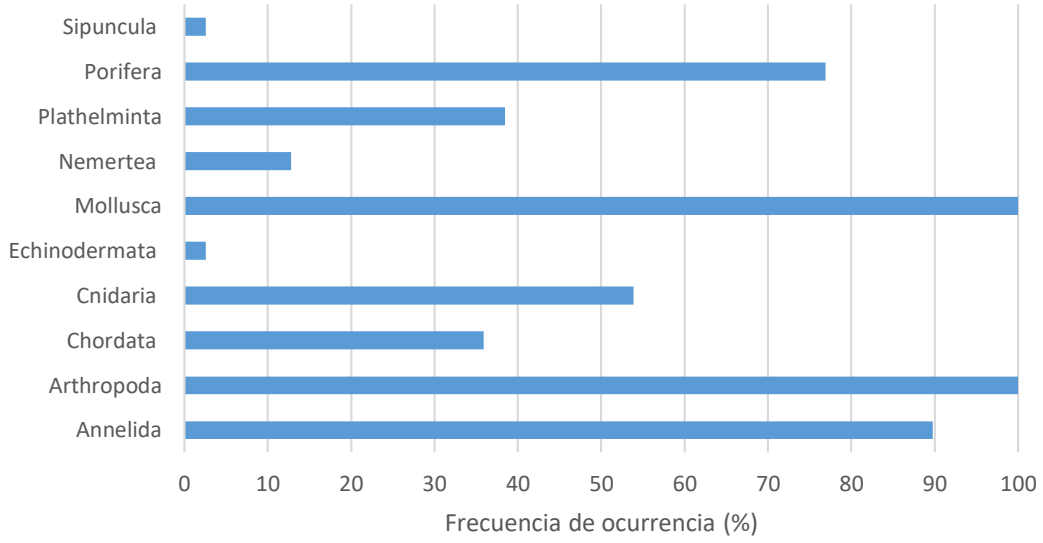


Figura 9. Frecuencia de ocurrencia (%) de los phylum encontrados en boyas de señalización en la bahía de Cartagena

Los artrópodos presentaron abundancia superior al 60% en 27 de las 39 muestras recolectadas, asociado a la capacidad del grupo para adaptarse a diversos ambientes e incluso en aquellos en los cuales las condiciones son extremas. Dentro de estos se destacan las especies *Amphibalanus amphitrite* y *A. reticulatus* que sobrepasaron abundancias del 50% (Figura 10).

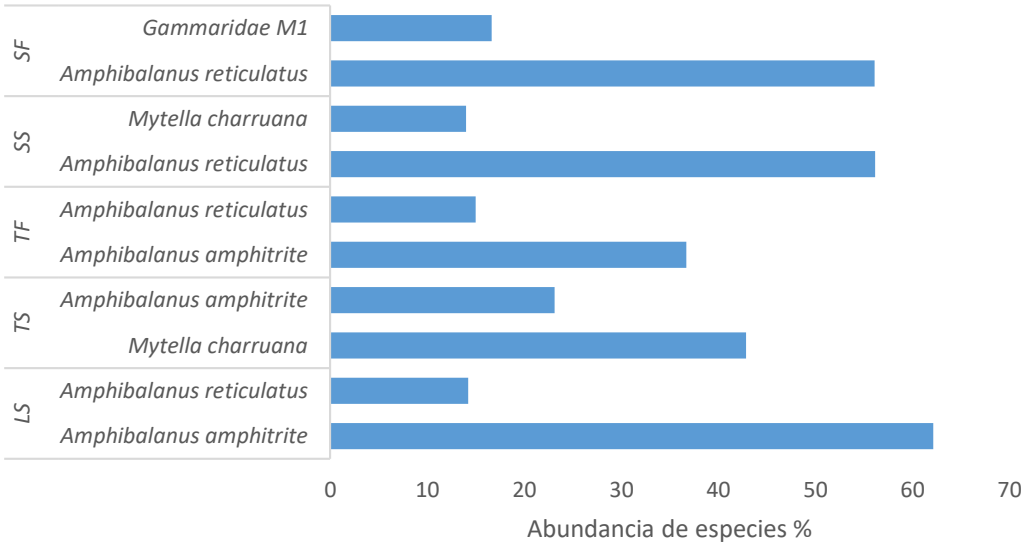


Figura 10. Especies más abundantes por época climática. LS= época de lluvia estrato superficial; TS= Época de transición estrato superficial; TF= época de transición estrato fondo; SS= época seca estrato superficial; SF= época seca estrato fondo.

Por otro lado, los moluscos considerados como uno de los esclerobiontes más exitosos (Salazar-Vallejo *et al*., 2014), tuvieron abundancias superiores al 60% en siete de los sitios muestreados, y las más altas se evidenciaron en época de transición en el estrato superficial de G3 (97%) y B08 (94%) (

Figura ***11***). Tanto artrópodos como moluscos, son un componente común de la biota portuaria que se desarrolla sobre sustratos duros naturales o artificiales, los cuales favorecen el asentamiento, reproducción y crecimiento de estos organismos filtradores (Carraro *et al*., 2012) (Manríquez *et al*., 1999).

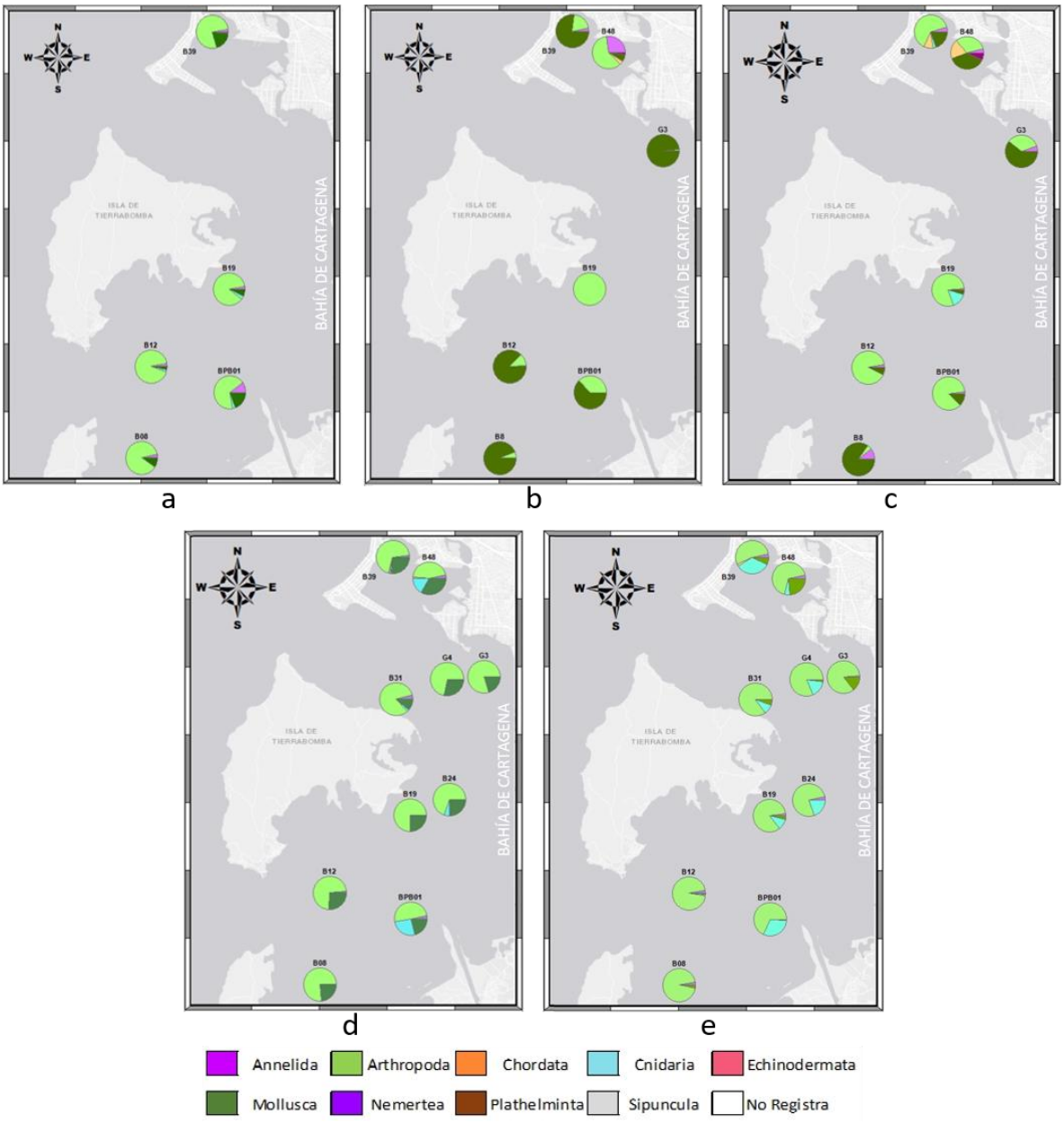


Figura 11. Abundancia de phylum por estación. a) Época de lluvia estrato superficial; b) Época de transición estrato superficial; c) Época de transición estrato fondo; d) Época seca estrato superficial; e) Época seca estrato fondo. B31, BP01 y G3 se monitorearon únicamente en época de transición y seca; G1 y B24 solo en época seca.

Las menores abundancias en las estaciones y estratos correspondieron en su mayoría a anélidos de la familia Nereidea (inferior al 1%).

En general, durante la época seca la densidad (366122 ind/m^2) de organismos y abundancia (82%) fue mayor, sobresalieron las densidades del estrato superficial en estaciones como G3S (42089 ind/m^2), B19S (33156 ind/m^2), B08 (31922 ind/m^2), B24S (25200 ind/m^2). Mientras en época de lluvia se evidenció la menor densidad (27324 ind/m^2) y abundancia (6%), en la que las estaciones B39S (2110 ind/m^2), B8P (2000 ind/m^2), B48P (1700 ind/m^2) y B48S (1044 ind/m^2) presentaron los valores más bajos. De acuerdo con Osorio (2010) las condiciones ambientales son más homogéneas en la bahía de Cartagena durante la época seca, lo que puede llegar a favorecer el crecimiento de las poblaciones de organismos.

Específicamente, entre los estratos se evidenciaron las mayores densidades a nivel superficial, principalmente relacionadas con las familias Balanidae y Mytilidae, dentro de estas destacándose para la época de lluvia y de transición las especies *A. amphitrite* (16989 y 7789 ind/m^2) y *M. Charruana* y (16144 y 14444 ind/m^2) respectivamente. Esta última, con la mayor densidad en época seca (1433 ind/m^2), después de *A. reticulatus* (70722 ind/m^2). Los organismos de la familia Balanidae se caracterizan por resistencia a cambios en el ambiente como las variaciones de temperatura y salinidad que marcan las diferentes épocas climáticas (Farrapeira, 2008), y explican su permanencia y altas densidades durante los períodos climáticos muestreados.

Es evidente que gran parte de los organismos identificados son de hábitos filtradores, las mayores densidades en el estrato superficial durante la época seca pueden estar asociados entre otros aspectos, a una menor turbiedad en la capa superficial de la columna de agua, debida a la baja presencia de sólidos suspendidos (arcillas, limos, entre otros). Estos últimos, reportados con menor concentración por Cañón *et al*. (2007) en el estrato superficial de la Bahía durante este período climático. De acuerdo con Restrepo *et al*. (2013) los sedimentos de la Bahía están determinados por la dinámica fluvial del Canal del Dique, cuyo aporte sedimentario es menor en época seca, cuando es evidente la presencia de los

vientos Alisios, que a su vez favorecen la sedimentación en la desembocadura del afluente (Lonin *et al*., 2004).

Por otra parte, los balanos *A. reticulatus* y *A. amphitrite* presentan adaptaciones fisiológicas tanto en adultos (glándulas de adhesión y anténulas con discos de adhesión) como en estadios larvales (estructuras sensoriales para explorar y fijarse a la superficie), que facilitan su asentamiento en sustratos duros (Manríquez *et al*., 1999), viéndose reflejado en la frecuencia de aparición en el 95% y 85% de las muestras colectadas. Asimismo, *M. charruana* y *Brachidontes modiolus* aparecieron en 95% y 90% de los sitios. Particularmente, *M. Charruana* es una especie con rápida dispersión y colonización (Puyana *et al*., 2012). La presencia de estas especies en sustratos artificiales en la bahía de Cartagena ha sido reportada por autores como Suarez (2011), Puyana *et al*. (2012) y Aguilera *et al*. (2018).

En relación con la clase Hidrozoa del phyllum Cnidaria, el orden Leptothecata se registró en las tres épocas climáticas en 19 sitios y estuvo representada por los géneros *Clytia, Obelia* y un morfotipo de la familia Plumularioidea. El orden Anthoathecata estuvo presente solo en la época seca en una estación (G1S) con un morfotipo de la familia Eudendriidae.

El phyllum porífera fue colectado e identificado en 30 de las muestras analizadas, y estuvo representado por cinco órdenes y 8 familias, registradas en su mayoría para la época de transición. En época de lluvia se registraron 3 familias, mientras en el período seco se evidenció un morfotipo (sin identificar).

Si bien, la comunidad de macroinvertebrados presentes en los sustratos artificiales monitoreados durante las diferentes épocas climáticas, está compuesta por organismos sésiles y móviles, comunes en ambientes estuarinos y típicos de la

etapa de macroincrustamiento, se debe resaltar la presencia de los balanos *A. amphitrite* y *A. reticulatus*, considerados como introducidos para Colombia (Young & Campos, 1988) (Carlton, 2011). Las dispersiones de estos han sido asociadas a los cascos de buques y al transporte de larvas en los tanques de agua de lastre (Rilov & Crooks, 2009) (Farrapeira, 2008) (DeFelice *et al*., 2001).

Otra especie invasora identificada fue el molusco *Perna viridis*, con densidad mínima de 1 ind/m^2 (LS) y máxima de 322 ind/m^2 (TF). Esta especie originaria del Indo-Pacífico y el Pacífico Asiático (Agard *et al*., 1992) fue observada en la bahía de Cartagena por primera vez en el 2009 (Da Costa & Coatanroch, 2009), y confirmada para la zona por otros autores (Ahrens *et al*., 2011). Su colonización y dispersión es favorecida por la alta tasa de crecimiento y tolerancia a los cambios del medio como la temperatura, salinidad y la contaminación (Rajagopal *et al*., 2003).

El análisis de los atributos ecológicos mostró para el índice de Margalef valores superiores a cinco en la época lluvia (Mg'= LS 5,09), categorizada con alta riqueza específica respecto a las épocas de transición (Mg'= TS 4,51 y Mg'=TF 4,67) y seca (Mg'= SS 3,39 y Mg'=SF 4,68) (Figura 12). Durante la época de lluvia, hay una mayor cantidad de aporte de material nutritivo como resultado de descargas continentales principalmente del Canal del Dique, lo cual puede favorecer el desarrollo de un mayor número de especies durante este período (Osorio, 2010) (Cañón *et al*., 2007). La dominancia fue mayor igualmente en época de lluvia (D'= LS 0,41) seguida de la época seca (D'= SF 0,36 y D'= SS 0,34) y menor en el periodo de transición (D'= TS 0,26 y D'= TF 0,18); en contraste con los valores de uniformidad de Pielou (J'). Lo anterior, debido a que algunas morfoespecies predominaron en época de lluvia y seca, como *A. amphitrite,* en comparación con una mayor equitatividad en la distribución de las abundancias de las especies en el monitoreo realizado en transición. A partir de la clasificación del índice de diversidad de Shannon-Wiener, los periodos muestreados presentaron valores entre 1,6 y 2,70 que corresponden de acuerdo a Magurran (1988) a una diversidad media.

El dendrograma de clasificación entre sitios muestreados y épocas climáticas permitió la identificación de cinco grupos con una similitud superior al 50% (Figura 13). El grupo I estuvo conformado por las estaciones muestreadas en la época seca tanto a nivel superficial como fondo; sin embargo, se encuentran por fuera de esta asociación, las estaciones B24, G1 y B48 monitoreadas durante esta época, la cuales forman el grupo II. El grupo III únicamente con estaciones de época de transición estrato fondo, mientras en el grupo IV se considera heterogéneo, aunque principalmente conformado por las estaciones de época de lluvia. Finalmente, el grupo V compuesto por las estaciones de época de transición estrato superficial, con excepción de TF-BG3.

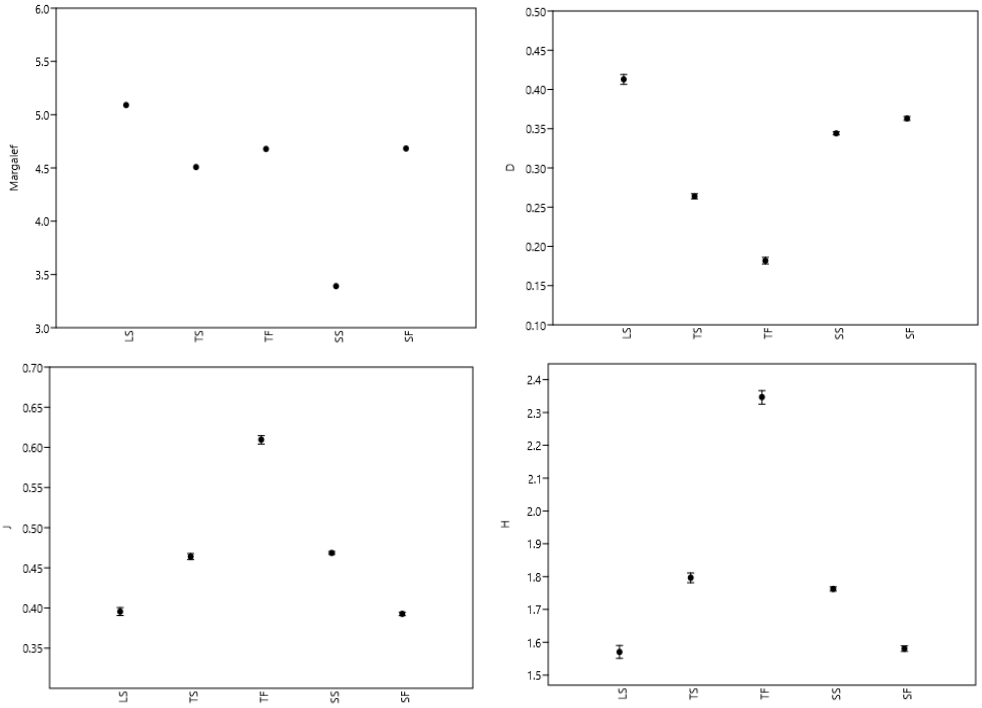


Figura 12. Índices de riqueza específica (M'), diversidad (H' y D') y equitatividad (J') por período climático. LS= Época Lluvia estrato superficial; SS =Época Seca estrato superficial; SF= Época Seca estrato Fondo; TS= Época Transición estrato superficial; TF= Época Transición estrato Fondo

El análisis de similitud permite inferir que las épocas climáticas influyeron en la distribución de la comunidad de macroinvertebrados estudiada, reflejado en la

separación de grupos por cada período climático. De esta manera, se puede evidenciar uniformidad en la asociación biológica durante la época seca entre los estratos superficial y fondo, mientras para la época de transición se observa heterogeneidad que lleva a la separación entre los estratos muestreados

La composición y abundancia de los macroinvetebrados pueden presentar variaciones asociadas a las condiciones ambientales (océano-atmosféricas) (Rico-Sánchez *et al*., 2014), cuya variabilidad para el área de estudio se encuentran influenciadas principalmente por la dinámica de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), que definen el comportamiento de los vientos Alisios y las precipitaciones, y determinan las diferentes épocas climáticas (INVEMAR, 2010).

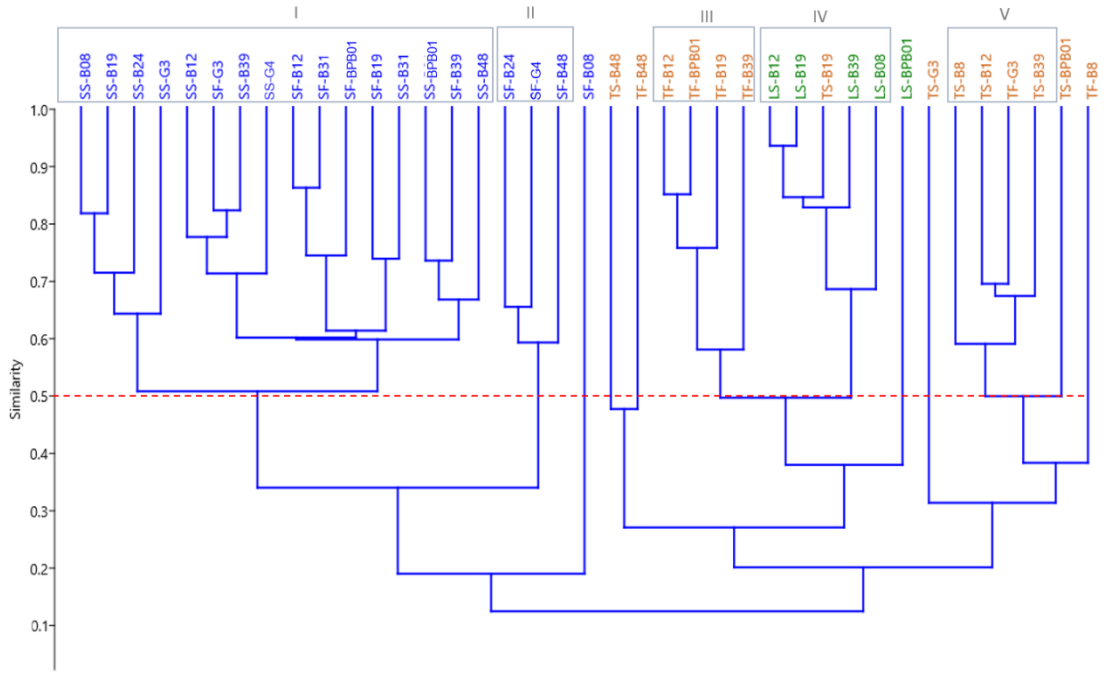


Figura 13. Dendrograma del análisis de clasificación para los macroinvertebrados asociados a sustratos artificiales (boyas de señalización marítima) en la bahía de Cartagena, basado en el Índice de similaridad Bray-Curtis. (Índice cofenético = 0,92). LS= Época Lluvia estrato superficial; SS =Época Seca estrato superficial; SF= Época Seca estrato Fondo; TS= Época Transición estrato superficial; TF= Época Transición estrato Fondo

Específicamente la asociación entre las estaciones y estratos durante la época seca, puede ser debida a condiciones ambientales más estables y homogéneas de acuerdo a lo mencionado por (Osorio, 2010). Durante la época seca los fuerte vientos y el bajo caudal del Canal del Dique hacen que la capa de mezcla de la columna de agua se presente de forma permanente, y sea menos evidente la estratificación en esta, lo que puede conllevar a una mayor similitud entre la comunidad de macroinvertebrados de los estratos muestreados. Por otra parte, en períodos climáticos con precipitación como la época de transición y lluvia, se da una estratificación marcada por la entrada de agua al sistema, encontrándose la capa inferior a la endulzada (por debajo 2-4 m) bien aislada de las aguas salobres superficiales (Lonin *et al*., 2004), lo cual explica, las diferencias en la asociación biológicas entre los estratos en la época de transición.

Algunas estaciones como SFB8 y TFB8 no se encontraron asociadas, su proximidad a Bocachica una de las entradas de agua oceánica a la bahía, puede resultar en características particulares para esta zona. Asimismo, el comportamiento y desarrollo de la comunidad biológica de la estación B48 (época seca y transición), puede estar condicionada por perturbaciones antrópicas relacionadas con el movimiento de grandes buques, ya que esta estación es una de las más cercanas a la sociedad portuaria y por tanto con mayor influenciada de actividades portuarias.

En cuanto a la caracterización de las comunidades incrustantes en buques de tráfico internacional, la mayor parte de la superficie del casco se mostraron libres de incrustamiento. La inspección realizada por buzos evidenció presencia de macroincrustación principalmente en el casco (hacia la popa de la embarcación) y en la caja de mar, aunque con un ensamblaje taxonómicamente pobre; mientras en otras estructuras como rejillas de la hélice y casco de proa, así como en hélices, se presenció únicamente formación de limo. Estudios sobre bioincrustación en el casco de buques señalan que los organismos no se distribuyen de manera uniforme en las superficies sumergidas y reportan a su vez, las menores áreas de incrustamiento

en las hélices principalmente asociadas con algas filamentosas (Davidson *et al*., 2009).

Los organismos encontrados se clasificaron en tres grupos taxonómicos: artrópoda con dos familias (Balanidae y Gammaroidea); molusca con representantes de Mytilidae y Ostreidae; y por último cnidadria con una familia (Tabla 2). Los artrópodos tuvieron la mayor riqueza específica con cuatro, mientras para molusca y cnidaria fue de tres y dos respectivamente. Sin embargo, la más alta representación en términos de abundancia correspondió a los moluscos, destacándose el género *Crassostrea* sp con densidades de 144,4 ind/m^2 en el casco de popa del buque "Aurora". Dentro de los artrópodos, sobresalieron los cirrípedos *Amphibalanus amphitrite* y *Amphibalanus eburneus* con abundancia de 33,3 ind/m^2 (cada uno) en la caja de mar de la motonave anteriormente mencionada. La mayoría de los organismos registrados tienen estructura corporal calcárea que proporciona protección y rigidez ante las fuerzas hidrodinámicas presentes en el movimiento del buque (Coutts *et al*., 2009). Además, tanto Balannidae, como Mytilidae y Ostreidae presentan estructuras que les otorgan mayor fuerza adhesiva, y favorecen su permanencia incluso en áreas con gran impacto por alta velocidad del naviero (Lewis, 2002).

Por otra parte, los organismos capaces de adaptarse morfológicamente a través de deformaciones y/o crecimiento rápido, tendrán una mayor supervivencia (Coutts *et al*., 2009). En este sentido, el sustrato influye directamente en la morfología de la concha de los ostreidos durante su ontogenia (Formación y desarrollo individual de un organismo) después de la fijación (Castillo & García-Cubas, 1984); estos cambios pueden reducir el nivel de resistencia que experimentan al estar adheridos al casco de buques en movimiento y favorecer el desarrollo y permanencia de estos organismos. De esta manera, la morfología de los organismos puede ser considerada como uno de los mecanismos selectivos y responsables del éxito de la

introducción de especies a través de la bioincrustación (Lambert, 2009) (Coutts *et al*., 2009).

Tabla 2. Densidad de organismos identificados asociados a incrustaciones de estructuras sumergidas (Caja de Mar 1; Casco 2) de buques de tráfico internacional con arribo a la bahía de Cartagena; incluye estatus como especies marinas invasoras (I=introducida; N=Nativa). Autor: (a) Yidi & Sarmiento (2011); (b) Becerra & Jiménez (1989) (c) Young & Campos, (1988); (d) Granadillo & Urosa (1984); (e) Sealifebase (2021)

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	ESPECIE	ESTADO	JACKELINE C		SILVER MINOORA		AURORA N	
			1	2	1	2	1	2
Mollusca								
Mytilidae	*Brachidontes domingensis* (Lamarck, 1819)	N [a]	11.1	0	0	0	0	0
Mytilidae	*Brachidontes modiolus* (Linnaeus, 1767)	N[e]	0	0	0	0	11.1	0
Ostreidae	*Crassostrea* sp (Sacco, 1897)	-	33.3	0	0	0	77.8	144.4
Arthropoda								
Balanidae	*Amphibalanus amphitrite* (Darwin, 1854)	I[b]	0	0	0	0	33.3	0
Balanidae	*Amphibalanus reticulatus* (Utinomi, 1967)	I[c]	0	11.1	0	11.1	11.1	0
Balanidae	*Amphibalanus eburneus* (Utinomi, 1967)	N[a d]	0	0	0	0	33.3	0
Gammaridae	Gammaroidea M1	-	11.1	0	0	0	0	0
Cnidaria								
Campanulariidae	Campanulariidae M1 (Johnston, 1836)	-	X	0	0	0	0	0
Campanulariidae	*Clytia* sp. (Lamouroux, 1812)	-	X	0	0	0	0	0

En cuanto al grupo Cnidaria, la presencia de hidrozoos de la familia Campanulariidae se asocia a la flexibilidad de las colonias de los hidroides, ya que las estructuras ramificadas les permite alinearse con la dirección del flujo de agua durante el movimiento de la embarcación, y así, disminuir el impacto de la velocidad del viaje (Coutts *et al*., 2009).

En cuanto a la frecuencia de ocurrencia, *A. reticulatus* estuvo presente en los tres buques monitoreados, seguido de *Crassostrea* sp en dos. Algunos de estos organismos se observaron como sustratos de otros. De acuerdo con Davidson *et al*. (2009), existen organismos que proporcionan microhábitat a la vez que aumentan

la diversidad y facilitan el establecimiento de muchas especies, en especial de organismos móviles que de otra manera no podrían estar asociado a los barcos; este podría ser el caso de los organismos de la familia Gammaridae.

En general, la mayor densidad de organismos en las estructuras muestreadas se reportó en las cajas de mar, posiblemente debido a que están menos expuestas al flujo de agua en relación a otras estructuras como superficies planas, además, los organismos prefieren áreas nicho heterogéneas (Davidson *et al*.,2009).

Por otra parte, el buque con la mayor abundancia relativa y densidad de organismo fue "Aurora" (80% y 311.1 ind/m^2 respectivamente) y en menor medida las motonaves Jackeline (17% y 66.7 ind/m^2) y Silver Minora (3 % y 11.1 ind/m^2). Algunos autores mencionan entre las variables que contribuyen a la incrustación biológica en los buques: la duración en puerto, velocidad del viaje, puertos anteriores e incluso la edad del buque (entre otros) (Galil *et al*., 2014) (Minchin & Gollasch, 2003) (Godwin, 2005);(Mineur *et al*., 2007). La información de la Tabla 3 muestra el mayor tiempo promedio de permanencia en puerto para "AURORA N", factor que pudo repercutir en un mayor incrustamiento de organismos reflejado en la abundancia y densidad de estos.

Tabla 3. Información histórica motonaves muestreadas en la Bahía de Cartagena. * Basado en información de los últimos cinco meses antes del levantamiento de información biológica

BUQUE	# IMO	TIPO DE BUQUE	AÑO CONST.	TIEMPO PUERTO (DIAS X̄)	VELOCIDAD DESPLAZAMIENTO (NUDOS X̄)	ULTIMOS PUERTOS*
JACKELIN C	9429754	Carga general	2009	3	11.6	19
SILVER MINOORA	9718844	Tanquero	2016	2	13	8
AURORA N	9346445	Tanquero	2008	4	13	7

Buques con movimiento rápido (15 nudos) tienden a presentar una menor bioincrustación, encontrándose limitada a estructuras protegidas (áreas nicho) del casco, en comparación con buques de movimiento lento (5 nudos) (Coutts *et al*., 2009). Lo mencionado, puede dar respuesta al bajo porcentaje de

bioincrustamiento, ya que datos históricos de los buques muestreados indican valores promedio para Jackelin C de 11 nudos, mientras para Aurora N y Silver Minoora de 13 y 14 nudos respectivamente; este último con la más baja riqueza, abundancia y densidad de organismos. De acuerdo con Koehl (1984) una mayor velocidad del viaje se traduce en un alto flujo de agua que puede afectar entre otros aspectos, la tasa fotosintética de las algas y por ende la sobrevivencia y crecimiento de los organismos móviles y sésiles al reducir su capacidad para alimentarse, lo anterior explica el pobre ensamblaje taxonómico registrado. Si bien, Coutts *et al*. (2009) encontraron menor riqueza en buques con altas velocidades (entre 10 y 18 nudos), mencionan la necesidad de realizar estudios que evalúen los efectos específicos de la velocidad de la embarcación sobre la supervivencia de las especies.

Por otra parte, la dinámica de las actividades marítimas como rutas, frecuencia de arribos y tipo de buques, pueden influir en la probabilidad de bioincrustación y consecuente introducción de especies. A continuación, se realiza el análisis del patrón del tráfico marítimo de la bahía de Cartagena para los años 2019-2020.

Durante el 2020 se registraron 8619 arribos de buques internacional a los puertos colombianos, un 23,5% menos respecto al año anterior, esto asociado al impacto sobre el comercio y la economía a causa de medidas sanitarias por COVID 19 (Dirección General Marítima, 2021). Autores como Galil *et al*. (2019) refieren que la recesión económica y reducción de la actividad marítima como las ocurridas en la crisis financiera de 2008-2009, pueden generar que los buques permanezcan inactivos por más tiempo en el puerto, y aumente el riesgo de bioincrustación.

Específicamente, en el Caribe continental el 83.4% de los arribos estuvo relacionado con tráfico internacional, destacándose los arribos anuales a la zona portuaria de Cartagena entre 4666 para el 2019 y 3613 en 2020, con promedio mensuales de

arribos de buques de carga de 280 y 262 respectivamente, en relación a otras como Barranquilla y Santa Marta (Dirección General Marítima, 2021) (Tabla 4).

Tabla 4. Arribos internacionales a zonas portuarias colombianas 2018-2020. Modificado de Dirección General Marítima, 2021.

PUERTO	ARRIBOS INTERNACIONALES				
	Ene-Dic 2018	Ene-Dic 2019	Var (%)	Ene-Dic 2020	Var
Barranquilla	1225	1285	4.9	1040	-19
Santa Marta	1905	1919	0.7	1521	-21
Cartagena	4774	4666	-2.3	3613	-23
Riohacha	30	37	23.3	20	-46
Turbo	552	537	-2.7	477	-11
Coveñas	332	340	2.4	316	-7
Puerto Bolívar	503	413	-17.9	199	-52
San Andrés	336	337	0.3	188	-44
Providencia	163	201	23.3	80	-60
Buenaventura	1509	1300	-13.9	1082	-17
Tumaco	285	210	-26.3	69	-67
Bahía Solano	25	27	8.0	14	-48
Guapi	1	1	0.0	0	-100
Total	**11640**	**11273**	**-3.2**	**8619**	**-24**

Cartagena es una de las zonas de mayor actividad portuaria en el país, razón por la cual ha sido catalogada como uno de los puertos de gran importancia en el comercio marítimo nacional y se ha posicionado dentro de los puertos con mayor conectividad en América Central y el Caribe, favorecida por su ubicación geográfica, la eficiencia y gestión portuaria (Calatayud & Díez-Roux, 2018).

Al considerar los tipos de buques que arribaron durante 2019 y 2020 a esta zona portuaria, los portacontenedores presentaron el mayor porcentaje de arribo (42.1% y 51.5%), seguido en el primer año por naves destinadas a actividades deportivas y de recreo (17.8 %) y buques de carga granel (9.6%); a su vez estos últimos se ubicaron en el segundo lugar de arribos en el 2020 (10.1%), seguidamente de tipo tanquero (8.9%) y naves deportivas y de recreo (7.2%) (Figura 14). Los buques portacontenedores, así como los de carga general tienden a realizar cargas y

descargas parciales en numerosos puertos, a diferencia de aquellos destinados al transporte de petróleo crudo (tanqueros) y carbón (graneleros), cuyas cargas y descargas tienen lugar generalmente en un solo puerto (GEF-UNDP-IMO GloBallast Partnerships and IOI., 2009). De acuerdo con United States Environmental Protection Agency (2011) existe una alta probabilidad que a través de los buques que descargan en varios puertos se aumentan la probabilidad que organismos con amplia tolerancia a cambios ambientales se adhieran al casco de los buques.

Por otra parte, al considerar que el tiempo de permanencia en puerto es uno de los factores que pueden determinar la exposición de un buque a los propágulos, las estancias de naves de recreo como yates y veleros en puerto son mayores que la de los buques mercantes, y por esta razón un factor de riesgo que aumenta la probabilidad de bioinvasiones (United States Environmental Protection Agency, 2011). De acuerdo a Lloyd's Register, QinetiQ (2019) para los buques mercantes generalmente los tiempos promedios en puerto oscilan entre 0,87 días para los portacontenedores y 2,72 días para graneleros; estos últimos con porcentajes de arribos de 4.5% y 4.7% (2009 y 2020 respectivamente) en zona portuaria de estudio.

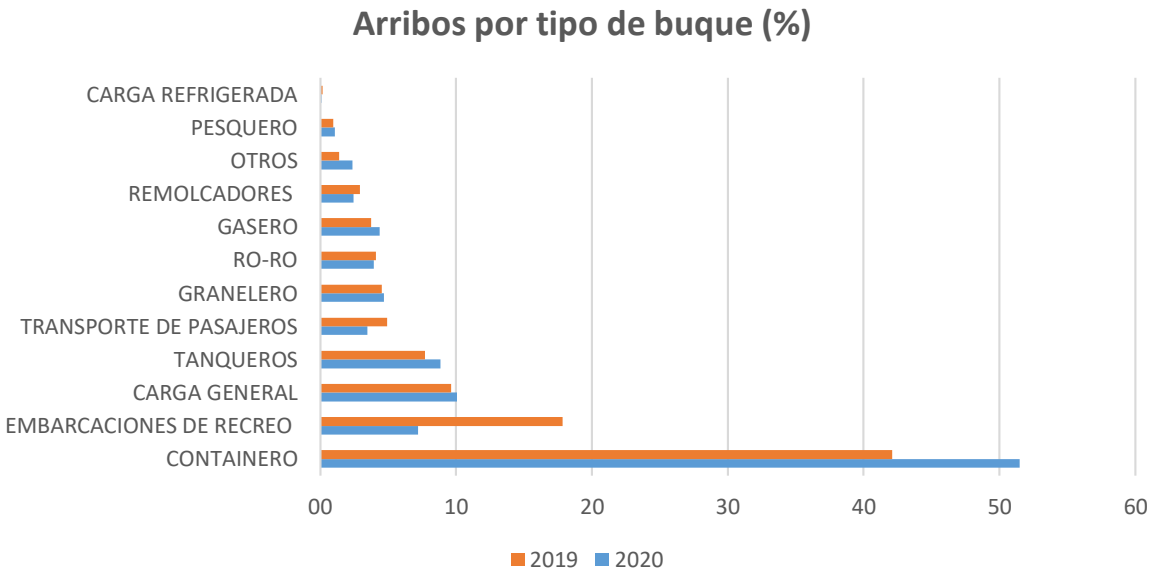


Figura 14. Porcentaje de arribos por tipo de buque a la zona portuaria de Cartagena durante los años 2019 (Ene-Dic) y 2020 (Ene-Sep)

Asimismo, los yates y veleros viajan a menores velocidades y como resultado contribuyen a la supervivencia de los organismos adheridos, ya que el estrés hidrodinámico sobre estos es menor que en navieros tales como portacontenedores (Galil *et al*., 2019). Se estima que estos tienen una velocidad 30% mayor y operaciones en puerto un 50% más rápidas en relación con los buques graneleros. Davidson *et al*. (2009) refieren que la contenerización ha llevado a una eficiencia en la velocidad de navegación, y menor tiempo de duración en puerto, con efectos positivos en la reducción de la contaminación por caso.

Adicionalmente, las barcazas, remolcadores, dragas y buques pesqueros, reportados dentro de las recaladas en el área para el período de estudio (aunque en bajo porcentaje de arribo por año >3%), presentan tiempos en puerto significativamente más largos y baja velocidad en relación a los buques mercantes (Galil *et al*., 2019).

En cuanto al puerto de origen, durante los dos periodos se reportaron buques procedentes principalmente de puertos de Panamá, Estados Unidos, República Dominicana, Brasil, España, Jamaica, Costa Rica y Venezuela. Si bien, la mayoría de estos corresponden a puertos localizados dentro del “Gran Ecosistema Marino del Caribe” (Figura 15), y aunque para algunos autores puede relacionarse con un menor riesgo de introducción de especies al estar en una misma región biogeográfica (Parada & Payan-B, 2019), United States Environmental Protection Agency (2011) refiere que buques que viajan a través de latitudes similares pueden experimentar una mayor sobrevivencia de organismos incrustantes, esto debido a niveles de salinidad y temperatura relativamente constantes. Este riesgo puede aumentar si se tiene en cuenta la presencia de especies no indígenas en las zonas portuarias de procedencia del buque.

De acuerdo con lo expuesto, la zona portuaria de Cartagena recibió anualmente un gran número de buques con áreas potenciales para la bioincrustación. Si bien los portacontenedores fueron los más frecuentes, y las ventajas en cuanto eficiencia en la velocidad de viaje y tiempo de operación en puerto pudieron resultar en un menor inóculo de presión, existe una alta probabilidad de acumulación y sobrevivencia de organismos bioincrustantes en agregaciones pequeñas en las áreas nicho de los cascos. Adicionalmente, los portacontenedores al recalar en múltiples puertos por periodos de tiempo cortos representan una presión acumulativa significativa. A su vez, el porcentaje de yates y veleros representaron un mayor riesgo de contaminación biológica marina debido a características de estos, tales como la baja velocidad y largos tiempos de permanencia en puerto. Lo anterior, sumado al hecho de que los puertos de origen durante el periodo evaluado en su mayoría estuvieron ubicados en latitudes similares a la zona de estudio, aumentan la vulnerabilidad de esta a la introducción de especies por bioincrustación.



Figura 15. Ecosistema Marino del Gran Caribe (Caribbean Large Marine Ecosystem - CLME). Tomado de Caribbeanmarineatlas.org (2021)

No obstante, dicha vulnerabilidad trae consigo otro tipo riesgos (Figura 16) que no solo se limitan a afectaciones ambientales producto de posibles bioinvasiones y que

pueden tener repercusiones en la calidad de vida de los pobladores y turistas, e incluso en el desarrollo de actividades económicas. Es así como, la bioincrustación puede representar amenazas para el propio vector o en la nueva ubicación. Dentro de las afectaciones sobre los buques se encuentra el aumento considerable de la resistencia de fricción que demanda el doble de potencia para el desplazamiento de la embarcación y mayor consumo de combustible, esto resulta en emisiones de contaminantes atmosféricos y de gases de efecto invernadero (Aguilera *et al*., 2018), que de manera acumulativa pueden afectar las zonas costeras. Se estima que en ambientes tropicales el porcentaje de bioincrustamiento es mayor que en aguas templadas (Tun-Che, 2018), en este sentido, los buques que arribaron a la bahía de Cartagena presentaron un mayor riesgo de bioincrustación y de igual manera, esta zona portuaria estuvo altamente expuesta a introducción de especies dada la frecuencia de arribo de buques provenientes de ambientes tropicales.

El deterioro en la estructura y sistema de protección de la corrosión debida a la actividad metabólica de los microorganismos, afecta las aleaciones entre los metales del buque y los minerales del agua (Tun-Che, 2018), y por tanto requiere mayor seguimiento e inspección de los sistemas antiincrustantes, que junto con las actividades de mantenimiento de la embarcación repercuten en la economía de la industria naviera.

Las anteriores amenazas, corresponden a los riesgos propios de la contaminación biológica en cascos de buques. Dentro de los riesgos derivados de la gestión de dicha contaminación, se identifican los relacionados con los compuestos de pinturas antifouling (metales), los cuales pueden suspenderse en el agua y afectar el desarrollo y la colonización de organismos nativos (Mckenzie *et al*., 2012), así como generar bioacumulación (Cuadrado *et al*., 2010), a los cuales se pueden ver expuestos los ecosistemas marino-costeros de la Bahía. Sin embargo, aunque existen empresas autorizadas para actividades de limpieza de cascos, no se tienen por parte de la capitanía de puerto de Cartagena registro de solicitudes sobre limpieza de casco para el período analizado.

Asimismo, se debe considerar los costos de la generación de tecnologías empleadas para una eficaz limpieza de cascos, así como, los posibles impactos negativos de esta actividad sobre la estructura del buque (en caso de uso de tecnologías altamente abrasivas para el buque o no adecuado uso de estas). Otro riesgo a este nivel, se encuentra relacionado con la manipulación y disposición de los residuos resultantes producto de limpiezas y sus repercusiones ambientales, y económicas asociados a la inversión en instalaciones de recepción y costos de formación del personal involucrado; este último incluido en las disposiciones de la Organización Internacional de Trabajo (OIT) para la gente de mar (OIT, 2021).

Existen cuestiones afines con la seguridad y salud en el trabajo, que pueden estar expuestos a peligros mecánicos, físicos, eléctricos, químicos y biológicos en diversas circunstancias. Las inspecciones subacuáticas que deben realizar la Autoridad Marítima o las empresas de mantenimiento y/o limpieza del casco en agua involucran actividades de buceo, sin embargo son consideradas actividades de alto riesgo al desarrollarse en un medio para el cual no se encuentra preparado el cuerpo humano por su naturaleza (Figueiro, 2009).

Por otra parte, la implantación y cumplimiento de normas ambientales tales como la ley 12 de 1981 por medio de la cual se aprueba la “Convención Internacional para la Prevención de la contaminación por Buques”, la ley 165 de 1994 que aprueba el “Convenio sobre Diversidad Biológica” y las consideradas en el Reglamento Marítimo Colombiano -REMAC, también repercute en riesgos económicos para quienes deben cumplir, algunos de estos relacionados con el mantenimiento del buque, seguridad del buque y la tripulación, formación de la gente de mar y personal en tierra, entre otros (GEF-UNDP-IMO GloBallast Partnerships Programme and WMU, 2013).

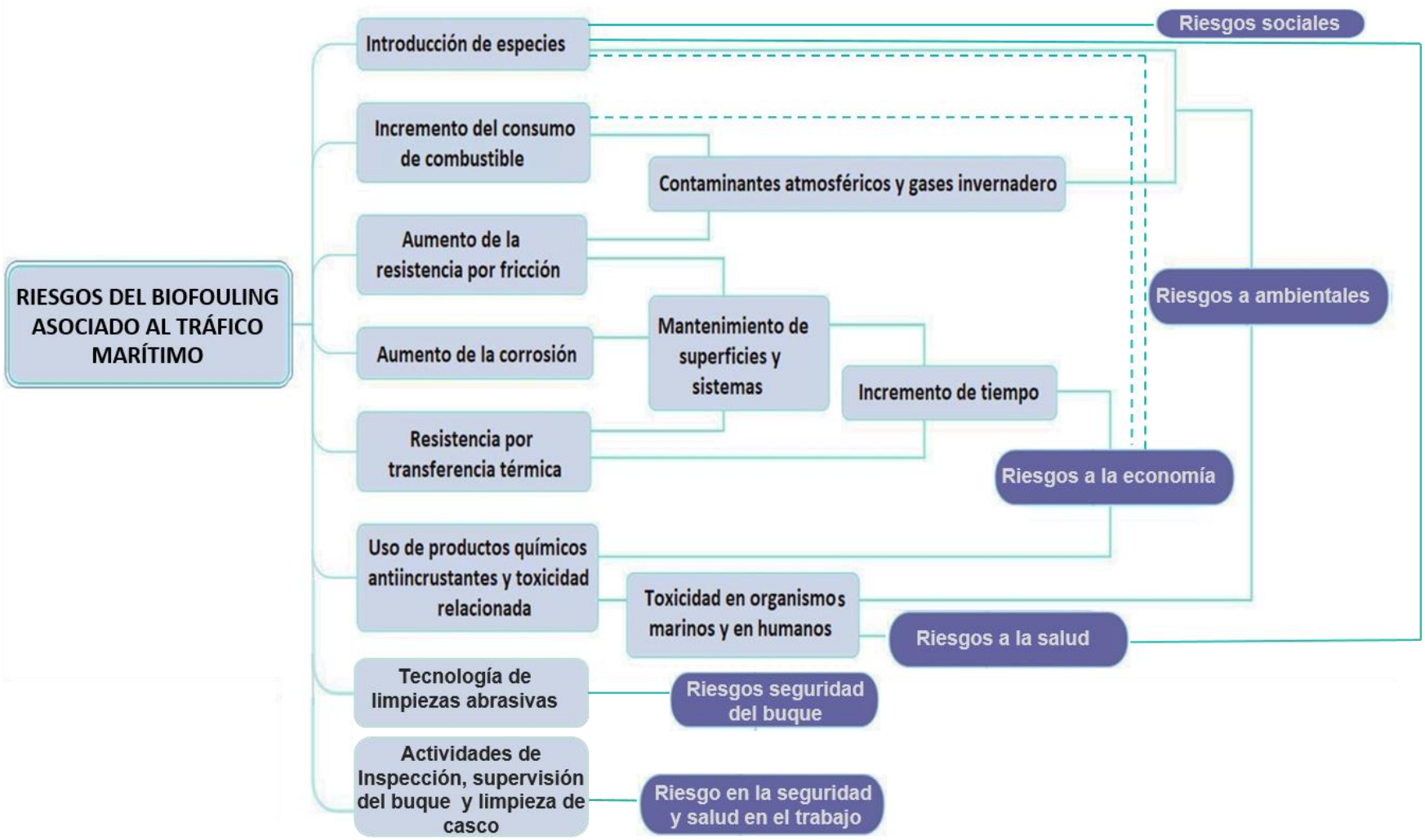


Figura 16.Potenciales riesgos relacionados con la bioincurstación asociados al tráfico marítimo que pueden afectar a la bahía de Cartagena, a sus pobladores y a las actividades económicas de la zona. Elaboración propia

CAPÍTULO 2: SISTEMA INSTITUCIONAL DE INJERENCIA EN LA PREVENCIÓN DE INTRODUCCIÓN DE ESPECIES POR BIOINCRUSTACIÓN A TRAVÉS DEL TRÁFICO MARÍTIMO A PARTIR DE LA RESOLUCIÓN 645/14 DIMAR Y LINEAMIENTOS DE LA ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL

RESUMEN

La introducción de especies puede tener lugar entre diferentes áreas de un país, aunque la mayoría son por definición un problema transfronterizo. Los ecosistemas y recursos naturales pueden atravesar las fronteras nacionales, por tal razón han despertado preocupación a nivel global y nacional los impactos generados en el ambiente, en la economía y en el ámbito sociocultural, y consecuentemente requiere acciones desde un enfoque regional y multilateral que involucre la cooperación internacional. El presente apartado presenta un listado de las principales iniciativas e instrumentos jurídicos internacionales y nacionales relativos a dicha problemática, así como, la identificación de actores estatales en Colombia relacionados con la gestión de la contaminación biológica por casco, y su rol en virtud de la Resolución MEPC. 207 (62) de la OMI y la Resolución 645 de 2014 (MD-DIMAR-ASIMPO). Dentro de los actores principales se reconoce la intervención de la Dirección General Marítima a través del Estado de Abanderamiento, Estado Rector de Puerto y Estado Ribereño; y de algunos ministerios como el Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible y Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.

MARCO TEÓRICO

A medida que los países reconocen la magnitud de la problemática de las especies exóticas invasoras, se evidencia el compromiso de estos frente a esta amenaza, para generar respuestas globales, regionales y locales, reflejadas en el desarrollo de políticas y legislación nacional e internacional tendientes al control de las EEIs.

El marco regulatorio internacional relacionado con la introducción, control, y erradicación de EEI se ha incrementado a través del tiempo, y puede ser utilizados por los Estados como guía para la elaboración de marcos normativos nacionales (Tamelander *et al*., 2010).

Mientras algunos instrumentos jurídicos internacionales y políticas relacionadas con EEI, son muy específicos como la Convención Internacional para el Control y Manejo de Agua de Lastre y los Sedimentos de los buques o Convenio sobre el Control de los Sistemas Antincrustantes Perjudiciales en los Buques; otros establecen el marco general para la conservación de la diversidad biológica como el Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB) (Tabla 5).

Además, algunas organizaciones han formulado directrices y acuerdos relacionados con la transferencia e introducción de especies. En materia de pesca y acuacultura se tiene acuerdos voluntarios como el Código de Conducta para la Pesca Responsable (FAO, 1995) y el Código de prácticas para la introducción y la transferencia de organismos marinos (ICES, 2005). UNESCO cuenta con los lineamientos para la gestión nacional de especies exóticas (UNESCO, 2010); mientras la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Mundial para la Salud Animal (OMSA) han formulado guías técnicas para el Control de Patógenos y Enfermedades infecciosas a los humanos y animales respectivamente (Global Invasive Species Programme, 2011).

Por su parte, la OMI elaboró 15 directrices adoptadas por el Comité de Protección del Medio Marino (MEPC), relacionadas con la implantación del Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques (DIMAR-CIOH, 2009); además de la Resolución OMI A.868 (20) “Directrices para el Control y la Gestión del Agua de Lastre de los Buques a fin de reducir al mínimo la transferencia de Organismos Acuáticos Perjudiciales y Agentes Patógenos”.

Tabla 5. Resumen de los acuerdos internacionales relevantes de especies exóticas invasoras (Tamelander *et al*., 2010; Herrera *et al*., 2014)

ACUERDOS, OBLIGACIONES LEGALES, CÓDIGOS	FECHA INCLUSIÓN
Convención Internacional de Protección Fitosanitaria	1951
Convenio para Facilitar el Tráfico Marítimo Internacional (FAL) y Enmienda	1965
Reglamento Sanitario Internacional y Acuerdos de Sanidad de Plantas y Animales	1969
Convenio RAMSAR sobre Humedales	1971(1999)
Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques (MARPOL 73/78)	1973/78
Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres	1973
Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS) y enmienda Código ISM	1974
Convención Internacional sobre Normas de Formación, Titulación, y Guardia para los marinos (STCW) de 1978 y su Enmienda Códigos de Certificación y códigos de vigilancia (Código STCW)	1978/95/97
Convenio sobre Especies Migratorias	1979
Convenio de Naciones Unidas sobre Derecho del Mar	1982
Protocolo sobre el Tratado de la Protección del Medioambiente en la Antártida	1991
Convenio sobre la Diversidad Biológica	1992
Declaración de Rio y Agenda 21	1992
Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres (CITES)	1992
Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio	1994
Código ICES de Practicas sobre la Introducción y Transferencia de Organismos Marinos	1994
Acuerdo sobre la Organización Mundial del Comercio	1994
Convenio sobre Aviación Civil Internacional	1994(2001)
Código de Conducta para la Pesca Responsable y Subsecuentes Procedimientos Técnicos	1995
Mandato de Yakarta sobre la diversidad biológica costera y marina	1995
Procedimientos para Control y Gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques	1995
Convención internacional de protección fitosanitaria (CIPF)	1997
Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad	2000
Convenio sobre el Control de los Sistemas Antiincrustantes Perjudiciales en los Buques	2001
Conferencia de las Partes en la Convención Ramsar sobre humedales	2002
Convenio Internacional sobre la Gestión y Control de Aguas de Lastre y Sedimentos en los Buques	2004

En relación con lo anterior, existe el Convenio internacional sobre el control de los sistemas antiincrustantes perjudiciales en los buques de 2001 (Convenio AFS), sin embargo, su principal objetivo es prevenir los efectos adversos del uso de sistemas antiincrustantes y los biocidas que ellos puedan contener. No obstante, con el fin de proporcionar un enfoque coherente para la gestión de la contaminación biológica producida por acumulación de organismos acuáticos en los cascos de los buques (OMI, 2012), el Comité de Protección del Medio Marino (MEPC) adoptó las "Directrices para el control y la gestión de la contaminación biológica de los buques a los efectos de reducir al mínimo la transferencia de especies acuáticas invasivas" (2011) (RESOLUCION MEPC.207(62), que se complementan con la circular MEPC.1/Circ.792 que contienen las "Orientaciones para reducir al mínimo la transferencia de especies acuáticas invasivas debida a la contaminación biológica (incrustaciones en el casco)". Con el fin de evaluar las directrices elaboradas en el 2011, la OMI generó las orientaciones aprobadas por el MEPC 2013, para el control y la gestión de la contaminación biológica de los buques a los efectos de reducir al mínimo la transferencia de especies acuáticas invasivas.

Además de contar con instrumentos jurídicos referentes a la contaminación biológica transfronteriza de los ambientes marinos, existen otros factores importantes para alcanzar una gobernanza exitosa, dentro de estos la participación de autoridades y demás actores involucrados

Si bien, actualmente se cuenta con diversos instrumentos para abordar la problemática de las invasiones marinas, es necesario identificar para Colombia el marco legal relacionado con la prevención de introducción de EE a partir de la bioincrustación de los buques, así como, los actores institucionales en Colombia relacionados con la gestión de la contaminación biológica por casco. En este sentido, el capítulo 2 contiene una revisión de la normatividad nacional relativa a la prevención de contaminación biológica por casco y el análisis de la Resolución

MEPC. 207 (62) de la OMI y la Resolución 645 de 2014 (MD-DIMAR-ASIMPO) y el accionar de los actores principales de acuerdo con sus funciones.

METODOLOGÍA

Se realizó el levantamiento de información secundaria, a partir de la revisión bibliográfica de la normatividad nacional en términos ambientales y marítimos con el fin de identificar y realizar una síntesis del marco normativo relativo a la prevención de introducción de especies por casco.

Asimismo, se identificaron las entidades, sistemas, comisiones, consejos y comités a nivel nacional con injerencia en la temática de estudio. Dicho análisis fue asumido desde el enfoque de responsabilidades de las instituciones encargadas de la toma de decisiones, y de los demás actores del proceso.

Finalmente, se analizó el rol de los principales actores institucionales en la prevención de la contaminación biológica por casco, a partir de las consideraciones de la normatividad nacional, específicamente la Resolución 645/14 DIMAR y los lineamientos de la Organización Marítima Internacional contenido en la Resolución MEPC. 207 (62).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Si bien, Colombia es uno de los 10 países Megadiverso, aproximadamente se han registrado 877 especies introducidas o exóticas por escapes o liberaciones accidentales o irresponsables (Vásquez-Restrepo & Rubio-Rocha, 2020) (WWF-Colombia, 2017). Frente a lo anterior, ha desarrollado un marco legal en búsqueda de proteger la riqueza natural y garantizar el derecho colectivo a un ambiente sano

para los colombianos (art. 8 y art.79 de la Const., 1991). Sin embargo, es importante que este marco legal se encuentre alineado con los acuerdos internacionales, con el fin de armonizar las responsabilidades de los países frente a la contaminación biológica. Es por eso, que algunas leyes nacionales hacen referencia a convenios internacionales; la Ley 165 de 1994 aprueba en Colombia el Convenio sobre Diversidad Biológica, así como, el Convenio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES) (ONU, 1973); y a través del Decreto 1608 de 1978 se reglamenta el Código de Recursos Naturales en materia de fauna silvestre.

Como parte de la generación de políticas referentes a las especies exóticas, se cuenta con la Ley 12 de 1992, y las resoluciones del Ministerio de Ambiente 848 de 2008, 0207 de 2010 y 1204 de 2014, sobre el reconocimiento de EEI en Colombia (Guerrero, 2017). Si bien, los esfuerzos en esta temática, se han centrado en la regulación de permisos para su reproducción y comercialización e incluso en los controles zoosanitarios (Vásquez-Restrepo & Rubio-Rocha, 2020), estos han sido claves en la ruta para la formulación de un marco normativo especifico relativo a las especies exóticas (Tabla 6). Sin embargo, es evidente la necesidad de fortalecer la normatividad relacionada con las especies acuáticas invasoras, y especialmente orientados a la prevención y control en el medio marino. La Resolución 0132 de 2010 es una de las pocas reglamentaciones con las que cuenta el país y está destinada al control de la especie exótica invasora *Pterois volitans* (pez león) en las áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales. Además, la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos 2010/2012 menciona .la necesidad de implementar estrategias para el manejo y control de las aguas de lastre, para minimizar la introducción de especies y sus impactos en las zonas portuarias y en general en los ecosistemas marino-costeros.

En términos de prevención de introducción de especies y de acuerdo con las directrices de la Organización Marítima Internacional, la Dirección General Marítima formuló la Resolución 477 de 2012 en la que se adoptan y establecen las medidas

y el procedimiento de control de la verificar la gestión del Agua de Lastre y sedimentos a bordo de naves y artefactos navales nacionales y extranjeros en aguas jurisdiccionales colombianas. Además, ha elaborado lineamientos internos relacionados, tales como:

Tabla 6. Legislación en Colombia relacionada con especies exóticas. Modificado de (Vásquez-Restrepo & Rubio-Rocha, 2020)

LEGISLACIÓN	DESCRIPCIÓN
Decreto 2811 de 1974	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente
Decreto 622 de 1977	Por el cual se reglamenta parcialmente: el capítulo V título II parte XIII del Decreto Ley 2811 de 1974 sobre Sistema de Parques Nacionales, la Ley 23 de 1973 y la Ley 2 de 1959
Decreto 1608 de 1978	Por el cual se reglamenta el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente y la Ley 23 de 1973 en materia de fauna silvestre.
Ley 84 de 1989	Estatuto Nacional de Protección de los Animales
Ley 13 de 1990	Por la cual se dicta el Estatuto General de Pesca
Ley 165 de 1994	Por medio de la cual se aprueba el "Convenio sobre la Diversidad Biológica
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y se dictan otras disposiciones
Decreto 1401 de 1997	Por el cual se designa la Autoridad Administrativa de Colombia ante la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), y se determinan sus funciones.
Ley 599 de 2000	Código Penal. (Artículo 330A. Manejo ilícito de especies exóticas)
Ley 611 de 2000	Por la cual se dictan normas para el manejo sostenible de especies de Fauna Silvestre y Acuática.
Resolución 0438 de 2001 del Ministerio de Medio Ambiente	Por la cual se establece el Salvoconducto Único Nacional para la movilización de especímenes de la diversidad biológica.
Ley 1333 de 2009	Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones
Resolución 1367 de 2000 del Ministerio del Medio Ambiente	Por la cual se establece el procedimiento para las autorizaciones de importación y exportación de especímenes de la diversidad biológica que no se encuentran listadas en los apéndices de la Convención CITES.
Resolución 684 de 2018	Por medio de la cual se establecen lineamientos para las especies exóticas invasoras de los Retamos Espinosos y Retamos Lisos
Resolución 848 de 2008	Se declaran las especies exóticas o foráneas que son invasoras y se encuentran presentes en el artículo primero de la Resolución 848 de 2008 y se toman otras determinaciones. territorio colombiano y se establecieron acciones para su manejo.
Resolución 0207 del 2010	Por la cual se adiciona el listado de especies exóticas invasoras declaradas por el artículo 1° de la Resolución 848 de 2008 y se toman otras determinaciones.
Resolución 0132, 2010	Protocolo para la extracción y control de la especie exótica invasora Pez León (*Pterois volitans*) en las áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales
Ley 1453 de 2011	Por medio de la cual se reforma el Código Penal, el Código de Procedimiento Penal, el Código de Infancia y Adolescencia, las reglas sobre extinción de dominio y se dictan otras disposiciones en materia de seguridad
Resolución 0645 de 2011	mediante la cual se adaptan las medidas que deben seguir las autoridades ambientales, para la prevención, control y manejo de la especie Caracol Gigante Africano (*Achatina fulica*).
Ley 1638 de 2013	Por medio de la cual se prohíbe el uso de animales silvestres, ya sean nativos o exóticos, en circos fijos e itinerantes
Resolución 1204 de 2014	Por la cual se conforma el Comité Técnico Nacional de Especies Introducidas y/o Trasplantadas Invasoras en el territorio nacional y se reglamenta su funcionamiento.

LEGISLACIÓN	DESCRIPCIÓN
Ley 1774 de 2016	Por medio de la cual se modifican el Código Civil, la Ley 84 de 1989, el Código Penal, el Código de Procedimiento Penal y se dictan otras disposiciones.
Ley 1801 de 2016	Código Nacional de Policía y Convivencia.
Sentencia C-467 de 2016 de la Corte Constitucional	Se declaran exequibles los artículos 655 y 658 del Código Civil.
Resolución 225 de 2018 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se establecen directrices normativas para el manejo, control y uso sobre especies ornamentales marinas y se adoptan otras disposiciones
Resolución 684 de 2018	Lineamientos para las especies exóticas invasoras de los Retamos Espinosos y Retamos Lisos
CONPES 4050 del 2021	Política Nacional para la consolidación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas -SINAP PAS Objetivo 1, línea 1.8 La introducción, trasplante y translocación de especies invasoras dentro del SINAP.

- Circular No. CR-29201300760 del 11 de febrero de 2013, sobre el formato A868 de Agua de Lastre Digital.
- Circular No. CR-20180908 del 12 de noviembre de 2018. Inspecciones indicativas agua de lastre con equipo conductímetro.
- Circular No. CR-20190196 Socialización de nuevos instrumentos de consulta y apoyo para la verificación de la gestión del agua de lastre en cumplimiento a la resolución 477/2012.
- Directiva Permanente No. 20200027 sobre inspecciones de agua de lastre

Lo anterior, es el resultado del esfuerzo de Colombia como país comprometido en la prevención de la transferencia de organismos y patógenos al medio marino, sin embargo, se debe tener presente que el agua de lastre no es el único vector para introducción de especies. Sin bien, es débil el marco normativo existente en Colombia para la prevención de la contaminación biológica por bioincrustación generada por tráfico marítimo (contaminación de casco de buques), la DIMAR ha elaborado directrices internas concernientes a establecer los criterios para la autorización y control del mantenimiento de buques referente a la limpieza de casco a flote en la jurisdicción de la Autoridad Marítima Nacional" (Resolución No 0004 de 2018 – MD-DIMAR-ASIMPO), así como relacionadas con las disposiciones sobre el Manejo Integrado de Desechos generados por Buques (Resolución 645 de 2014 MD-DIMAR-ASIMPO).

Según Hewitt *et al*. (2009) tanto el agua de lastre como la bioincrustación son vectores activos e importantes para el transporte de especies marinas, desde una perspectiva de gestión se requieren marcos regulatorios específicos, así como respuesta para su manejo; en este contexto se hace necesaria la investigación sobre los riesgos de introducción de cada uno de estos vectores, que soporten el desarrollo de las nuevas políticas.

Aunque gran parte de la normatividad acerca de EE en el país se encuentra enmarcada bajo otras leyes y políticas principalmente relacionadas con la gestión del medio ambiente, existe la necesidad de fortalecer el marco normativo nacional específico, entre otras estrategias de gobernanza para alcanzar el desarrollo sostenible de los espacios oceánicos y las zonas costeras, y que permita:

- Mantener el funcionamiento de los procesos ecológicos esenciales y la diversidad biológica en las zonas costeras.
- Reducir la vulnerabilidad de las áreas costeras y de las comunidades humanas, frente a las amenazas de las especies transfronterizas.
- Analizar los usos conflictivos entre el componente biótico, los procesos físicos y las actividades marítimas y portuarias que se desarrollan en el entorno marino-costero.
- Fomentar las relaciones y la armonía entre los distintos sectores y actividades marítimas y portuarias realizadas en las áreas marítimas y costeras

Por otra parte, la importancia de las instituciones y de los procesos a través de los cuales las autoridades participan (en conjunto con comunidades, sectores productivos, ONGs, institutos de investigación, academia, y otras partes interesadas) y toman decisiones sobre el manejo adecuado de las zonas marinas y costeras, ha sido reconocido y definido como gobernanza costera y oceánica. Esta última, busca mejorar las condiciones de las comunidades que dependen tanto de

estas áreas como de sus recursos biológicos, y frente a esto la legislaciones, políticas y programas, recursos nacionales, subnacionales e internacionales, costumbres, tradiciones y aspectos culturales, son imprescindibles (INVEMAR, 2013a).

En la Tabla 7 se presentan las entidades, sistemas, comisiones, consejos y comités a nivel nacional identificados con injerencia en la gestión de la contaminación biológica por casco e impactos, y de acuerdo al ámbito de aplicación: formulación de políticas, planificación, ejecución, coordinación, asesoría y consulta, control y vigilancia, información e investigación.

Tabla 7. Actores estatales en Colombia relacionados con la gestión de la contaminación biológica por casco.

ÁMBITOS	**RESPONSABILIDADES**	
	NACIONAL	REGIONAL
Formulación de políticas	• Ministerio de Defensa • Ministerio de Salud y Protección Social • Ministerios de Ciencia Tecnología e Innovación • Ministerios de Trasporte • Ministerio de Educación • Ministerio de Relaciones Exteriores	• Gobernaciones / Alcaldías
Planificación	• Departamento Nacional de Planeación • Comisión Colombiana del Océano	• Planeación Departamental/Municipal • Direcciones Territoriales de Salud
Ejecución	• Dirección General Marítima (DIMAR) Subdirección de Marina Mercante/Área de Capitanías de Puerto • Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales (UAESPNN) • Autoridad Nacional de Licencias Ambientales -ANLA	• DIMAR- Capitanías de Puerto • Corporaciones Autonomías regionales y de Desarrollo sostenible (CARS) • Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales
Coordinación, asesoría y consulta	• Consejo Nacional Ambiental • Comisión Colombiana del Océano- CCO • Dirección de Atención y prevención a desastres • Comité Técnico Nacional de Especies Introducidas y/o Trasplantadas Invasoras • Comité técnico nacional gestión integral del territorio marino –costero • DNP • Dirección General Marítima (DIMAR) • MADS	• Corporaciones Autonomías regionales y de Desarrollo sostenible (CARS) • Dirección General Marítima (DIMAR) –Capitanías y centros de investigación • Centros e institutos de investigación
Control y Vigilancia	• DIMAR (capitanías de puerto y Centros de Investigación) • Superintendencia de Puertos y Transporte	• DIMAR (capitanías de puerto y Centros de Investigación) • Corporaciones Autonomías regionales y de Desarrollo sostenible (CARS)
Información e investigación	• DIMAR (Centros de Investigación) • Institutos de Investigación, comunidad científica y académica	• DIMAR (Centros de Investigación) • Institutos de Investigación, comunidad científica y académica • Comunidad local

La información anterior, sugiere la marcada intervención de actores como la DIMAR, dado su rol en la ejecución de la política del Gobierno en materia marítima y las funciones específicas promulgadas en el Decreto Ley 2324 de 1984. En este sentido, toda acción que tenga lugar en su jurisdicción y se encuentre contempladas en la normatividad mencionada, es competencia de la Autoridad Marítima, e incluso el ejercicio de Estado frente a la transferencia de especies exóticas, ya sea cuando esto ocurre dentro de su territorio o como consecuencia de una actividad realizada bajo su control. De esta manera, la imposición de barreras como mecanismos clave para la prevención de introducción de especies requiere la aplicación de una autoridad jurídica, y particularmente de la actuación del Estado de acuerdo con las figuras del derecho marítimo internacional: Estado de Abanderamiento, Estado Ribereño y el Estado Rector de Puerto, las cuales son ejercidas a través de los diferentes roles de la DIMAR (Figura 17).



Figura 17. Roles del Estado de acuerdo con el derecho internacional.

En lo que respecta a la gestión del riesgo en la fuente de peligro (el buque) es fundamental que las acciones de mitigación sean abordadas tanto por Estado de abanderamiento como por el propietario del buque. Si bien, este último es

encargado de la selección del sistema antiincrustante, el naviero debe tener una nacionalidad y enarbolar el pabellón del Estado en el que se encuentra registrado y al cual está sujeta de jurisdicción y control. El rol del Estado de Abanderamiento cobra gran importancia en la prevención de riesgo de bioinvasiones debido a su función de regulación y control de los buques, su equipo y tripulación, así como en el cumplimiento de la normatividad ambiental por parte de este. En tal sentido, debe asegurarse que los sistemas antiincrustantes y demás medidas empleadas por el buque sean seguros para este y su tripulación, y sea implementada la verificación y evaluación de las compañías navieras, la expedición de los respectivos certificados que acrediten cumplimiento y/o autorización, formación de la gente de mar y sanciones e investigaciones.

Cabe mencionar, que dentro de las competencias del Estado de abanderamiento se encuentran las relacionadas con las medidas para garantizar la protección del medio marino e inherentemente el cumplimiento de las normas ambientales, lo que incluye permisos y licencias ambientales que apliquen a la nave o artefacto, o bien a las actividades (*e.g.* actividades del mantenimiento y limpieza de los buques) que deriven en el cumplimiento de las disposiciones marítimas nacionales e internacionales, cuando corresponda. En este aspecto, es clave la armonización entre las disposiciones ambientales y las relativas a las actividades marítimas.

En cuanto al receptor del peligro, el Estado ribereño tiene la obligación de estudiar los posibles efectos, así como, determinar la eficacia de las barreras, por tanto, debe evitar los efectos secundarios de la aplicación de las medidas, establecer infracciones y otras medidas adicionales que se consideren pertinentes. Para lo anterior, es necesaria la vigilancia del medio ambiente como medida para evaluar la eficacia de las acciones de mitigación de riesgos, en este sentido los reconocimientos biológicos portuarios representan una herramienta de importancia, así como, la sensibilización de las comunidades ya que estas pueden contribuir a la

vigilancia del medio ambiente y los riesgos que deriven en repercusiones para la salud humana.

Asimismo, de acuerdo a la ley 99 de 1993 los temas ambientales del país son *per se* concernientes al Sistema Nacional Ambiental, por tal razón, y en coherencia con las prescripciones dictadas, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Minambiente es responsable de determinar las normas y regulaciones ambientales a las que deberán acogerse todo tipo de servicio y actividades que pueda generar directa o indirectamente daños ambientales, no siendo ajenas las actividades de transporte marítimo. Otras atribuciones a este Ministerio son la coordinación de las orientaciones de investigación sobre el medio ambiente, la evaluación, seguimiento y control de los factores de riesgo ecológico que puedan resultar en desastres naturales, así como, la formulación de la política ambiental internacional en conjunto con el Ministerio de Relaciones Exteriores en la labor de definir los instrumentos y procedimientos de cooperación en la protección de los ecosistemas de las zonas fronterizas. Específicamente a nivel regional, son las Corporaciones Autónomas Regionales –CAR´s en las que recaen las funciones de evaluación, control y seguimiento ambiental de los usos del agua, lo cual incluye vertimiento, emisión o incorporación de sustancias o residuos líquidos, sólidos y gaseosos, que representen peligro o daño para el recurso natural renovable o su empleo para otros usos.

En este contexto, la prevención y gestión de la contaminación biológica al medio marino es una tarea conjunta, que debe ser abordada de manera coordinada (entre otros actores) por las autoridades e instituciones estatales, con el fin de prevenir los impactos negativos y/o la extensión de sus efectos.

Por su parte el Estado rector del puerto se encarga de proteger el medio ambiente local, para el caso, de los riesgos que representa el incumplimiento de las

prescripciones obligatorias internacionales (en materia de seguridad marítima, protección del medio marino y protección marítima) por parte de buques extranjeros que se encuentran en su jurisdicción, para el cumplimiento y control es necesaria la intervención de inspectores competentes, así como, la evaluación de los riesgos específicos del buque antes de su llegada a puerto. No obstante, su acción debe realizarse de manera coordinada con el Estado ribereño, ya que en conjunto con este pueden conceder exenciones a los buques.

Además de lo expuesto, existen otros actores que componen el sistema institucional a nivel nacional en la gestión del riesgo de introducción de especies por contaminación biológica. A continuación (Tabla 8) se realiza una síntesis de la relación de los principales actores con injerencia en la gestión y control de la contaminación transfronteriza en virtud de la Resolución MEPC. 207 (62) "Directrices para el control y la gestión de biofouling de los buques, con el fin de minimizar la transferencia de las especies invasivas acuáticas", adoptada por la OMI el 15 de julio de 2011. Dentro de los actores identificados, se evidenciaron algunos con participación directa de acuerdo a sus responsabilidades, por tanto se clasificaron como actores principales, dentro de estos se encuentran el Ministerio de Defensa a través de la DIMAR y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, así como, propietarios de buques y las empresas que prestan servicios marítimos tales como, operadores y armadores, constructores navales, empresas de limpieza y operadores de mantenimiento, astilleros, fabricantes navieros; sin embargo, existen otros actores relacionados.

Si bien se considera que el **numeral 1** y **numeral 2** de las directrices relativos a la *Introducción* y *Definiciones* respectivamente, aplican a todos los actores identificados, estas orientaciones voluntarias formuladas por el MEPC de la OMI cuyo objetivo es reducir al mínimo el riesgo de transferencia de especies acuáticas invasivas debida a la contaminación biológica de los buques (**numeral 4**), se encuentran dirigidas (**numeral 3**) a los Estados, capitanes, operadores y armadores,

constructores navales, empresas de limpieza y operadores de mantenimiento, autoridades portuarias, astilleros, sociedades de clasificación, fabricantes y proveedores de pinturas antiincrustantes, entre otras partes interesadas; y el Estado debe definir el grado de aplicación de estas.

Con el fin de implantar prácticas de gestión de la contaminación biológica para reducir este tipo de contaminación, se deben describir las medidas a través de procedimientos eficaces para la gestión de contaminación, las cuales deberán ser plasmadas de acuerdo con el **numeral 5** de la Directriz, a través de un plan de gestión específico para cada buque. La elaboración de este documento junto con el libro de registro en el que se detallan las inspecciones y las medidas de gestión de la contaminación biológica adoptadas en el buque, son responsabilidad de este. El Estado de abanderamiento, garantiza que los buques bajo su jurisdicción tengan estos documentos y el cumplimiento de estos, los cuales podrán ser utilizados en evaluaciones rápidas del riesgo potencial de contaminación biológica del buque por parte de las autoridades. Además, la información contenida, es herramienta útil para propietarios del buque y armadores al momento de evaluar la eficacia de los sistemas antiincrustantes y prácticas operativas específicas del buque.

Uno de los principales medios para evitar la incrustación de organismos a las superficies emergidas de los cascos y la consecuente contaminación biológica, son los sistemas antiincrustantes. En coherencia con el ítem referente a la instalación y mantenimiento del sistema antiincrustante (**numeral 6**), es importante que las empresas que actúan como armadores, proyectistas y constructores, cuenten con asesoramiento técnico que garanticen la adecuada implementación y la instalación de sistemas apropiados, así como, la reinstalación o reparación del sistema antiincrustante. En el caso de instalaciones de estos sistemas, es necesario evaluar las repercusiones para el buque y/o el medio ambiente, además de la existencia de reglas referentes al uso de estos.

Asimismo, con el fin de evitar la disposición de residuos tales como organismos biocontaminantes o contaminantes químicos y físicos resultante de las actividades del mantenimiento y limpieza de los buques (**numeral 7),** estas actividades deberán adelantarse en coherencia con la normatividad ambiental nacional y local de referencia. En este sentido, es la Autoridad Marítima quien se deberá encargar de hacer cumplir dichas normas nacionales e internacionales tendientes a la preservación y protección del medio marino, las cuales deberán estar alineadas con la reglamentación ambiental nacional. Asimismo, se considera apropiado que el Estado realice la estimación del riesgo de la limpieza debido al riesgo biológico de los organismos biocontaminantes, la zona geográfica de procedencia del buque y efectos tóxicos relacionados con el sistema de revestimiento antiincrustante, así como, los factores que pueden afectar la acumulación de contaminación biológica. En todo caso, el material resultante de las actividades de limpieza deberá eliminarse de manera segura, es decir, que no represente riesgo para el entorno acuático.

En relación con estos dos últimos numerales, y en el ámbito nacional se cuenta con la Resolución 645 de 2014 expedida por la DIMAR, por la cual se implementan algunas disposiciones sobre el Manejo Integrado de Desechos generados por Buques, la cual se ampliará más adelante.

Además de las tareas de limpieza, y dando continuidad a los numerales de la Directrices OMI, otra de las acciones para mantener el buque libre de contaminación consiste en realizar inspecciones periódicas como medida general de vigilancia rutinaria; estas pueden ser con el buque en agua. Los buzos que adelantan estas inspecciones podrán ser recomendados o acreditados por autoridades reguladores, para el caso, dichas autorizaciones estarán a cargo de la Dirección General Marítima, de acuerdo con las funciones otorgadas por ley y que le confieren regular, autorizar y controlar la reparación y mantenimiento de naves y artefactos navales;

así como, fomentar, autorizar y supervisar la organización y funcionamiento de los astilleros, talleres y demás instalaciones para la construcción, reparación y mantenimiento de naves y artefactos navales e inscribirlos como tales; y autorizar, inscribir y controlar el ejercicio profesional de las personas naturales y jurídicas dedicadas a las actividades marítimas entre estas las de buceo.

De acuerdo con las Directrices de 2011 relacionadas con la prevención de la bioincrustación, el medio más completo, eficaz y duradero para minimizar los riesgos de contaminación biológica es el proyecto y la construcción del buque o cuando se realicen modificaciones mayores **(numeral 8).** Durante estas actividades se deben tener en cuenta consideraciones tales como, en la medida de lo posible evitar la creación de nichos y en aquellas zonas inevitables garantizar fácil acceso para la inspección, limpieza e incluso la aplicación de medidas antiincrustantes. En relación con estas últimas, se debe conseguir una cobertura más eficaz en esquinas, rejillas y salientes para facilitar el acceso de los buzos, además es preciso que los diseños proyecten espacios de inundación libre (cajones de mar, pozos de sondeo, diques inundables, entre otros) a efectos de tratamiento y/o limpieza.

Por otra parte, la Autoridad Marítima desde la figura de Estado de abanderamiento, deberá mantener un registro de los detalles de construcción y modificaciones efectuadas a los buques (Camelo, 2010).

Tabla 8. Principales actores en Colombia con injerencia en la gestión y control de la contaminación transfronteriza en virtud de la Resolución MEPC. 207 (62)

NUMERALES DE LA DIRECTRIZ	MINDEFENSA (DIMAR, ARMADA*)	MINAMBIENTE	MINCIENCIAS	DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN DNP	SUPERINTENDENCIA DE PUERTOS Y TRANSPORTES SOCIED. PORTUARIA	BUQUE/PROPIETARIO	ARMADORES	ASTILLEROS	COMPAÑIAS DE MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA	PROYECTISTAS/ FABRICANTES	AGENTES NAVIEROS	MINEDUCACION (CENTROS DE FORMACIÓN})	ACADEMIA E INSTITUTOS DE INVESTIGACIÓN	OTRAS AUTORIDADES DE CONTROL (ICA, ADUANAS, INMIGRACIÓN)
1. Introducción	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2. Definiciones	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3. Ámbito de Aplicación	X					X	X	X	X	X	X			
4. Objetivos	X					X	X	X	X	X	X			
5. Plan de Gestión de Biofouling y Libro de Registro	X					X	X							
6. Instalación y mantenimiento del sistema antifouling	X					X	X	X	X	X				
7. Inspección, limpieza y mantenimiento en el agua	X	X							X					
8. Proyecto y construcción del buque	X									X				
9. Distribución de información	X	X				X	X				X		X	
10. Formación e instrucción	X*					X			X			X	X	
11. Otras medidas	X				X						X			X
12. Labor Futura	X	X	X	X									X	

Enmarcado en principio de *Intercambio de Información* definido en los "*Principios rectores para la prevención, introducción y mitigación de impactos de especies exóticas"* recomendados por el Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico, Técnico y Tecnológico (SBSTTA), se considera apremiante la comunicación de las acciones acerca de la gestión de la contaminación biológica (tales como leyes, reglamentos, normas, información técnica y de investigaciones, material didáctico, servicios e instalaciones de limpieza y mantenimiento de buques) adelantada por los Estados. Este intercambio de información es alentado por la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR Artículos 197, 200, 201, 202 y 20), la cual fomenta la cooperación regional y la asistencia técnica entre los países. Si bien, la distribución de información (**numeral 9**) puede darse a través de la OMI, sin embargo, las medidas de gestión de contaminación biológica y las prescripciones de tratamiento deberán ser facilitadas por autoridades competentes antes de la llegada del buque, con el fin que los propietarios de buques y armadores estén familiarizados con estas prescripciones. Además, deberán ser también de conocimiento de agentes navieros, incluida la información necesaria para obtener la autorización de entrada. En el ámbito nacional, esta información deberá ser suministrada por la DIMAR en su obligación de regular, autorizar y controlar las actividades relacionadas con el arribo, atraque, maniobra, fondeo, remolque y zarpe de las naves y artefactos navales.

Otro aspecto para divulgar está relacionado con la información existente y disponible de las especies acuáticas invasivas presentes en los puertos nacionales, generada a partir de la investigación adecuada, otro de los principios de rectores generales del SBSTTA. Esta información es principalmente generada por centros e institutos de investigación, tales como los Centros de investigación de la Autoridad Marítima o institutos de investigación adscritos al MADS, así como, por instituciones académicas, labor que deberá ser apoyada por el Estado y demás partes interesadas; de esta manera la Nación deberá garantizar entro otros aspectos, el recurso económico para abordar el tema investigación y labor futura (**numeral 12**),

a fin de minimizar y/o gestionar la contaminación biológica transfronteriza. Los conocimientos generados habrán de utilizarse en el contexto de todas las actividades de prevención, introducción y mitigación. Es preciso indicar, que de acuerdo con el capítulo 17 del Programa 21, el Estado ribereño debe estar comprometido con el desarrollo sostenible de las zonas costeras y del medio marino bajo su jurisdicción, para lo cual debe, además de llevar a cabo investigaciones (que propendan por la protección de la biodiversidad marina y los hábitats), reunir y difundir información.

Es importante que las organizaciones e instituciones realicen investigación dirigida al desarrollo tecnológico y sean alentadas por el Estado desde las respectivas organizaciones tales como el Departamento Nacional de Planeación y el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (**numeral 12**). Estudios de investigativos en la búsqueda de mayor eficiencia de los sistemas antiincrustantes o la innovación de mecanismos que garanticen limpieza de los buques en el agua adecuada y segura para el buque y el ambiente, así como, creación de métodos para evaluar los riesgos de dichos sistemas, se consideran útiles en la implementación de sistemas y revestimientos más apropiados para los buques y actividades relacionadas.

Es importante que el personal del buque en todos los niveles (capitanes de buques, tripulación), debe estar familiarizado con los sistemas y métodos de gestión de la contaminación biológica implementados por el buque, y esto implica la necesidad de recibir la formación adecuada. Asimismo, es indispensable que los operadores de instalaciones de limpieza de buque e involucrados en el mantenimiento, tengan conocimiento, habilidad técnica y reciban la formación apropiada. Es imprescindible que el Estado garantice la formación de los funcionarios de supervisión y aquellos que efectúan en la inspección de los buques para la implementación de las reglas marítimas, ya sea desde el Estado Rector de Puerto a buques internacionales que arriban a puerto nacionales, así como, a navieros que enarbolen el pabellón del país desde el rol de Estado de Abanderamiento. Ahora, en el caso que este último

designe de manera formal las labores de supervisión, deberá garantizar que la sociedad de clasificación designada posea la habilidad técnica, la capacidad de gestión, los conocimientos, la experiencia y el personal adecuado.

En cuanto a la formación **(numeral 10),** la Organización Internacional de Trabajo (OIT) refiere que el Estado de Pabellón (país en el que el buque está registrado y cuyo pabellón enarbola) debe garantizar la seguridad en el mar, e incluir las condiciones mínimas de trabajo, y dentro de estas las relacionadas con la formación de la gente de mar a bordo (OIT, 2021). Asimismo, se considera la necesidad de planificar la política nacional de enseñanza y formación de la gente de mar, por tanto, el Estado debe asegurarse que las consideraciones relativas a las presentes orientaciones formuladas por la OMI sean incluidas en los programas de estudio de formación marítima y al respecto el Ministerio de Educación tiene un rol importante al considerar dentro de sus funciones la formulación de la política nacional de educación. Es preciso reconocer en este aspecto, la labor y responsabilidad de la Armada Nacional y del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) en la formación de personal de la Marina Mercante y profesionales del sector marítimo.

A su vez, la OMI recomienda a los Estados la elaboración de medidas adicionales y/o restricciones para gestionar este tipo de contaminación **(numeral 11).** En lo posible, estas deben permitir un flujo de los buques en puerto para evitar mantenerlos en espera mar adentro y que los sistemas antiincrustantes sean lo más eficaz posible. En puertos colombianos dicho flujo operativo del barco requiere la coordinación entre el agente naviero, Capitanía de Puerto (DIMAR) y Sociedad Portuaria, así como, del concepto favorable de las autoridades de salud pública, sanidad agropecuaria y migratoria, quienes realizan la visita única oficial de arribo para otorgamiento de libre pláctica (autorización para entrar a puerto, embarcar, desembarcar, descargar o cargar suministros o carga) emitida por la autoridad marítima de acuerdo a la Circular Externa Conjunta 0000042 de 2012). Específicamente en la planificación de atraque participan tanto el agente marítimo y la Sociedad portuaria, así como el estibador (Chaparria *et al*., 2003).

Dentro de las medidas formuladas para la gestión de contaminación biológica de los buques, el Estado colombiano a través de la Autoridad Marítima en facultad de expedir las reglamentaciones técnicas para prevenir la contaminación del medio marino causada por buques, expidió la Resolución 645 de 2014 por la cual se implementan algunas disposiciones sobre el Manejo Integrado de Desechos generados por Buques. Esta norma comprende 17 artículos distribuidos en seis capítulos, los cuales se presentan en la Tabla 9, y en la que se precisan los actores que de acuerdo con sus competencias tienen una mayor injerencia en la gestión de contaminación biológica de los buques, en concordancia con dicha Resolución.

Es preciso indicar, que esta normativa se propugna en la demás reglamentación consignada en el Reglamento Marítimo Colombiano (REMAC), por lo tanto, la mayoría de los artículos concebidos en la resolución 645 de 2014 se complementan con normativas tales como Resolución 0509-2016 relativa a los Astilleros y Talleres de Reparaciones Navales, así como, la Resolución 004 de 2018 referente a la limpieza de casco a flote, y la Resolución 0759-2020 sobre Empresas que prestan servicios marítimos.

En el análisis de los actores para el cumplimiento de las acciones contenidas en la Resolución 645 de 2014, la Autoridad Marítima presenta una alta injerencia al igual que las agencias marítimas. De acuerdo con lo dispuesto en la CONVEMAR, sobre la ejecución de la contaminación por vertimientos, el Estado ejecutará las leyes y reglamentos para la prevención, reducción y control de la contaminación del medio marino referente a actos de cargas de desechos u otras materias en su territorio.

En este sentido, el **Capítulo III** de las Resolución 645 de 2012 "***De las instalaciones de recepción****"*, se soporta en el Decreto Ley 2324 de 1984 que establece entre las funciones de DIMAR, autorizar, inscribir y controlar el ejercicio profesional de las personas naturales y jurídicas dedicadas a las actividades marítimas y expedir las

licencias que correspondan, por lo tanto, se sustenta la obligación de la autoridad marítima nacional para autorizar las operaciones de las empresas dedicadas a la recepción de desechos y/o residuos generados por buques y la consecuente responsabilidad de las empresas de aportar las documentación establecida para el goce de la Licencia de Explotación comercial. De esta manera, deberán acogerse a los requisitos dictados por la Autoridad Marítima para que le sea expedida la autorización de operación, las empresas dedicadas al mantenimiento y reparación de naves y artefactos navales catalogadas en el Reglamento marítimo colombiano como Industria naval -Grupo V (Resolución 0759-2020), y de las que hacen parte armadores; al igual que aquellas empresas de Suministros y Servicios al Sector Marítimo - Grupo I, dedicadas a la recepción, almacenamiento, tratamiento y/o disposición de residuos y demás desechos derivados de actividades marítimas.

Lo anterior es soportado, además, en el Decreto 0019 de 2012 que determina la obligatoriedad de concepto favorable emitido por la Autoridad Marítima (previa inspección) para la inscripción y otorgamiento de licencias de explotación comercial para la prestación de servicios. Adicionalmente, la Resolución 004 de 2018 DIMAR, establece los criterios para la autorización y control del mantenimiento de buques referente a la limpieza de casco a flote en áreas bajo jurisdicción de Autoridad Marítima colombiana, y define las circunstancias en las cuales no se autoriza limpieza de casco.

Tabla 9. Principales actores en Colombia con injerencia en la gestión y control de la contaminación biológica por buques en virtud de la Resolución 645 de 2014

	RESOLUCIÓN 0645 DE 2012	DIMAR	MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO	SOCIEDADES PORTUARIAS	INSTALACIONES PORTUARIAS / MARINAS	ASTILLEROS	ARMADORES, EMPRESAS LIMPIEZA Y RECEPCION DE DESECHOS	BUQUES	AGENCIAS MARÍTIMAS
CAPÍTULO I Ámbito de aplicación	**Artículo 1°.** Ámbito de Aplicación. La presente resolución se aplicará a: 1. Todos los buques mercantes, de turismo y/o de recreo que se encuentren operando en las aguas marítimas jurisdiccionales colombianas y/o atracados en instalaciones portuarias, marinas, astilleros, amarraderos y/ o en fondeo. 2. Todas las personas o empresas que se dediquen a recibir, recolectar, manipular, transportar, tratar o disponer de desechos/residuos generados por buques. 3. Todos los buques, barcazas o artefactos flotantes dedicados al almacenamiento y/o transporte de desechos/residuos generados por buques.	x		x	x	x	x	x	x
CAPÍTULO II Definiciones	**Artículo 2º.** Para los efectos del cumplimiento de la presente resolución se adoptan las siguientes definiciones: (....) 9. GISIS – Global Integrated Shipping Information System: Sistema global integrado de información, es un sistema de información de uso público gratuito, desarrollado por la Organización Marítima Internacional (OMI).	x	x	x	x	x	x	x	x
CAPÍTULO III De las instalaciones de recepción	**Artículo 3º**. Licencia. Las empresas dedicadas a la recepción de Desechos/ Residuos generados por buques deberán contar con la correspondiente Licencia de Explotación Comercial, expedida por la Autoridad Marítima.	x					x		
	Artículo 4°. Información. Las empresas dedicadas a la recepción de Desechos/ Residuos generados por buques deberán enviar a la Capitanía de Puerto correspondiente, en periodo no mayor a un mes, la información correspondiente a las cantidades de Desechos y Residuos recibidos de los buques, incluyendo fecha y tipo de acuerdo con lo establecido en cada uno de los anexos del Convenio Marpol 73/78.	x					x		

RESOLUCIÓN 0645 DE 2012	DIMAR	MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO	SOCIEDADES PORTUARIAS	INSTALACIONES PORTUARIAS / MARINAS	ASTILLEROS	ARMADORES, EMPRESAS LIMPIEZA Y RECEPCION DE DESECHOS	BUQUES	AGENCIAS MARÍTIMAS
Artículo 5°. Cumplimiento. Las empresas dedicadas a la recepción de Desechos/ Residuos generados por buques deberán cumplir con las especificaciones, normas, regulaciones y directrices para la protección del medio ambiente establecidas en la normatividad nacional. Así mismo, se obligan a disponer adecuadamente los Desechos y Residuos recibido de los buques; procedimiento que será registrado en detalle en su correspondiente Plan de Gestión Ambiental.	x	x				x		
Artículo 6°. Inspección. Las empresas dedicadas a la recepción de Desechos/ Residuos generados por buques serán inspeccionadas por la Autoridad Marítima en periodos máximos de un año, con el fin de verificar el cumplimiento de las prescripciones para la protección del medio marino, el manejo integrado de desechos generados por buques y los procedimientos de registro y control. Estas inspecciones serán notificadas previamente a las empresas de acuerdo con el plan anual de inspecciones y auditorias de la DIMAR.	x					x		
Artículo 7°. Certificado de Recepción de Desechos. Una vez finalizada la maniobra de recepción, la empresa entregará al Capitán del buque el correspondiente certificado y/ o recibo membretado en el cual se registrará, entre otras, la siguiente información: Nombre del buque, fecha y hora de recepción, cantidad recibida acuerdo anexos del Marpol, nombre del funcionario de DIMAR que controló la maniobra y firma del encargado y/ o representante de la empresa.	x					x	x	
Artículo 8°. Transporte. Para el transporte de los Desechos/ Residuos generados por buques, las empresas contarán con el personal entrenado, capacitado y certificado necesario para desarrollar esta actividad; así como, con los elementos, equipos, materiales y vehículos adecuados y suficientes, de tal forma que se evite la ocurrencia de accidentes, derrames o caídas de estos o parte de estos a las vías.	x					x		
Artículo 9°. Certificado de Disposición Final de Desecho. Las empresas dedicadas a la recepción de Desechos/ Residuos generados por buques deberán contar con un Certificado de Disposición Final de Desecho entregado por la autoridad ambiental correspondiente, en el cual se certifica que la empresa hará una adecuada disposición final de los Desechos/ Residuos recibidos de los buques. Este certificado deberá ser específico y discriminado de acuerdo con el tipo de desecho establecido en cada uno de los anexos del Convenio Marpol 73/78.	x	x				x		

RESOLUCIÓN 0645 DE 2012		DIMAR	MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO	SOCIEDADES PORTUARIAS	INSTALACIONES PORTUARIAS / MARINAS	ASTILLEROS	ARMADORES, EMPRESAS LIMPIEZA Y RECEPCION DE DESECHOS	BUQUES	AGENCIAS MARÍTIMAS
CAPÍTULO IV De las agencias Marítimas	**Artículo 10.** Comunicación. Las Agencias Marítimas, deberán comunicar dentro de los avisos de arribo, la información correspondiente a las cantidades y tipo de Desechos/ Residuos de carga de acuerdo con cada anexo del convenio Marpol 73/78. Esta información deberá ser enviada a las Capitanías de Puerto con una antelación mínima de 24 horas a la hora estimada de arribo, ETA.	x							x
	Artículo 11. Certificados. Las Agencias Marítimas, presentarán junto con los documentos pertinentes para el arribo de la MN, los recibos y/ o certificados de recepción de Desechos/ Residuos del último puerto donde el buque haya efectuado el descargue de estos.	x							x
	Artículo 12. Cumplimiento. Las Agencias Marítimas verificaran que las empresas que reciban los Desechos/ Residuos del buque(s) que representan cumplan con las prescripciones normativas establecidas para la Protección del Ambiente Marino y se encuentren con su Licencia de Operación vigente.	x	x				x		x
	Artículo 13. Inspector. Las Agencias Marítimas solicitarán cuando se requiera, la designación por parte del Capitán de Puerto, de un Inspector o Perito que efectúe la verificación del descargue de los Desechos/ Residuos del buque, de acuerdo con los procedimientos establecidos.	x					x		x
CAPÍTULO V De las Inspecciones	**Artículo 14**. Prevención de la Contaminación. Todo buque que arribe a puerto colombiano y requiera efectuar entrega de Desechos/ Residuos, deberá contar con un funcionario designado por la Capitanía de Puerto, quien autorizará la maniobra y será el encargado de verificar el cumplimiento de las prescripciones normativas para la prevención de la contaminación marítima	x						x	x
	Artículo 15. Informe. El funcionario deberá rendir un informe a la correspondiente Capitanía de Puerto, en el cual se registrará entre otras, la siguiente información: Nombre del buque, fecha y hora de recepción, cantidad recibida, discrimina por tipo de desecho, de acuerdo con los anexos del Marpol 73/78, nombre de la empresa que recibió los desechos y firma del Inspector de Control de Contaminación. Este informe será entregado a la Capitanía de Puerto en un periodo no mayor a 24 horas después de efectuado el descargue.	x					x		x

RESOLUCIÓN 0645 DE 2012		DIMAR	MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO	SOCIEDADES PORTUARIAS	INSTALACIONES PORTUARIAS / MARINAS	ASTILLEROS	ARMADORES, EMPRESAS LIMPIEZA Y RECEPCION DE DESECHOS	BUQUES	AGENCIAS MARÍTIMAS
CAPÍTULO VI Período de transición y sanciones	**Artículo 16.** Los armadores de las naves y artefactos navales de bandera nacional, las agencias marítimas, las empresas dedicadas a la recepción de Desechos/Residuos generados por buques tendrán un plazo de seis (6) meses contados a partir de la publicación de esta resolución en el Diario Oficial para dar cumplimiento a todo lo dispuesto en la misma.	x				x	x	x	x
	Artículo 17. El incumplimiento de la presente resolución acarreará las sanciones establecidas en el Título V del Decreto número 2324 de1984	x	x	x	x	x	x	x	x

Por su parte, las empresas deberán garantizar el adecuado manejo de residuos de las actividades que se lleven a cabo (ya sea a flote o en varadero), conforme a lo establecido en los Anexos del Convenio Internacional para Prevención de Contaminación por Buques 1973/78, Marpol y sus enmiendas, y en la normatividad y disposiciones legales ambientales nacionales. En concordancia con la resolución 0509-2016, para lo anterior deberán contar con instalaciones de recepción de residuos (propias o tercerizadas) y licencia ambiental para desarrollar la actividad, esta última a cargo de la Autoridad Ambiental competente. Adicionalmente, la Resolución 004 de 2018 DIMAR en el Artículo 5.2.1a.1.2.3 menciona lo concerniente a la Gestión de Residuos incluido sistemas de contención de residuos por acción de limpiezas que puedan caer a la columna de agua y fondo marino, y el adecuado tratamiento y disposición de los residuos en cumplimiento a la normatividad marítima y ambiental vigente.

Con el fin de verificar el cumplimiento de las prescripciones para la protección del medio marino y los relativos al registro y control por parte de empresas de servicios marítimos, la DIMAR tiene la obligación de adelantar inspecciones. La Resolución No 0759-2020 refiere cinco tipos de inspecciones: inspección inicial, inspección de renovación, Inspección de ampliación catalogación empresa de servicios marítimos, Inspección anual de control y seguimiento, e Inspección Extraordinaria.

En relación al Capítulo **IV "*De las Agencias Marítimas"***, estas comunican a la Capitanía de Puerto dicha la solicitud de autorización de limpieza de casco a flote, dentro de los avisos de arribo del buque extranjero que representan; esta información también puede ser presentada por el armador o capitán de la motonave; además se debe presentar informe en el cual se exponga las razones de la solicitud de limpieza, informe de caracterización de organismos a ser removidos que se consideren pueden resultar en riesgo de bioinvasión (buques de tráfico

internacional, o aquellos que realicen tránsito entre aguas del Pacífico y Atlántico, o con destino a zonas con carácter especial de protección ambiental), y un Plan de limpieza de casco de casco a flote de acuerdo al anexo A de la Resolución 004 de 2019. También estará a cargo de estas, verificar que las empresas que actúen como receptoras de los Desechos /Residuos del buque al que como agencia representen, cumplan con las prescripciones que implica la normatividad ambiental y marítima para la protección del Ambiente, tales como tener Licencia de Operación vigente.

No obstante, Autoridad Marítima en virtud de la Ley 2324 de 1984 debe verificar las condiciones de seguridad y prevención de contaminación de toda nave extranjera; bajo esta disposición, el **Capítulo V *"De las Inspecciones"*** confiere a la DIMAR potestad para autorizar y verificar la entrega de Desechos/Residuos, acciones que serán ejecutadas por un funcionario designado por la Capitanía de Puerto, quien rendirá el respectivo informe de la maniobra.

Si bien, en el **Capítulo VI "Período de transición y sanciones**" se indican las sanciones en términos de la Autoridad Marítima, el incumplimiento de la disposición final de los Desechos/Residuos generados por los buques podría estar sometido a las sanciones por incumplimiento de la normatividad ambiental vigente.

CONCLUSIONES

- Las boyas de señalización del canal navegable de la bahía de Cartagena presentaron durante los períodos muestreados organismos incrustantes, considerándose como óptimos sustratos artificiales para el establecimiento y desarrollo de diferentes grupos de macroinvertebrados.

- Se evidenció la influencia de las épocas climáticas en la distribución de la comunidad de macroinvertebrados adheridos a boyas de señalización en la bahía de Cartagena, dada la similitud en la composición y abundancia de organismos en las estaciones durante la época seca para la que se describen condiciones ambientales más estables; mientras en época de lluvia la capa de mezcla característica del sistema marcan la estratificación de la columna de agua, lo que puede explicar la heterogeneidad en las asociaciones biológicas para esta época a las profundidades muestreadas. Asimismo, se evidenció que estaciones localizadas en áreas cercanas con altas perturbaciones antrópicas relacionadas con el movimiento de buques mercantes (B48) y/o aportes continentales u oceánicos (B8), influyen en el comportamiento y desarrollo de la comunidad biológica.

- La comunidad de macroinvertebrados registrada en las boyas de señalización en las tres épocas climáticas, se considera común de ambientes estuarinos y típica de la etapa de macroincrustamiento; destacándose la presencia de artrópodos, moluscos y anélidos. La comunidad constituye un componente habitual de la biota portuaria que se desarrolla sobre sustratos duros artificiales. Asimismo, se registraron en las boyas de señalización, cuatro especies consideradas como introducidas para Colombia: *Mytella Charruana*, *Perna viridis* y *Amphibalanus reticulatus*, *A. amphitrite;* esta dos últimas de igual manera en buques de tráfico internacional. Si bien estas

especies han sido reportadas anteriormente para el área de estudio, la permanencia en el tiempo infiere el establecimiento exitoso en el acuífero estudiado.

- Aunque las medidas de bioseguridad de buques de tráfico internacional ante la emergencia sanitaria por COVID19 limitaron la labor en campo, se observó para los buques inspeccionados un pobre ensamble taxonómico en el casco y demás estructuras bajo la línea de flotación y no presentaron distribución uniforme en dichas superficies. Sin embargo, las áreas con mayor macroincrustación se evidenciaron en el casco hacia la popa de la motonave y en la caja de mar, las cuales presentan una menor exposición al flujo de agua.

- Los buques inspeccionados que reportaron mayor velocidad de desplazamiento de viaje, así como menor tiempo de permanencia en puerto (datos históricos), presentaron menor abundancia y densidad de organismos adheridos a estructuras bajo la línea de flotación, debido al alto flujo de agua que puede afectar el desarrollo y establecimiento de los organismos.

- El alto flujo de tráfico marítimo en la zona portuaria de Cartagena representa evidentemente un riesgo latente de introducción de especies para la bahía de Cartagena. Sin embargo, en 2020 se evidenció una menor cantidad de arribos a la zona, generada por un alto porcentaje de inactividad del tráfico marítimo internacional (mayor tiempo en la permanencia de navieros en puertos) dadas las restricciones por la emergencia sanitaria asociada al COVID-19. Lo anterior, conlleva al aumento del riesgo de bioincrustación, que con la reactivación del sector marítimo ocasiona el transporte no intencional de bioincrustación y aumenta el riesgo de dispersión e introducción de especies en las zonas portuarias con alta conectividad como Cartagena.

- En cuanto al tipo de buques que arribaron a la zona portuaria, los buques portacontenedores (containeros) fueron los más frecuentes, lo cual disminuye el inóculo de presión debido a la eficiencia de tiempo en puerto y velocidad de viaje, sin embargo, puede experimentar una presión acumulativa significativa al recalar en múltiples puertos. Por su parte, las naves de recreación (seguidas en importancia de arribos a la zona) pueden aportar un alto riesgo de contaminación biológica dada su larga permanencia en los puerto y bajas velocidades de viaje.

- Al considerar que arribos de buques procedentes de latitudes similares conllevan a una mayor sobrevivencia de organismos incrustantes transportados en casco, la zona portuaria de Cartagena experimentó durante el periodo de estudio el arribo de buques principalmente de Panamá, República Dominicana, Jamaica, Costa Rica y Venezuela, lo que representa de acuerdo a la frecuencia de arribo, aumento de la vulnerabilidad de contaminación biológica para la Bahía.

- La identificación de actores en Colombia relacionados con la gestión de contaminación biológica por casco, permitió reconocer la injerencia de los mismos en los diferentes ámbitos de aplicación, así como en los niveles de administración, y la necesidad de interacción para alcanzar acciones tales como la formulación de políticas, planificación, ejecución, coordinación, control y vigilancia e investigación, que se desarrollen de manera armonizadas y propendan por una adecuada gestión y prevención de la contaminación biológica por casco.

- Se reconoce dentro del sistema institucional de injerencia una marcada intervención de la Autoridad Marítima como actor directo, dado su rol en la ejecución de la política del Gobierno en esta materia, lo cual se evidencia en la Resolución 645 de 2014, en la que de igual manera se resalta la responsabilidad de otros actores como armadores, empresas de limpieza y

recepción de desechos, así como de buques y agencias marítimas. No obstante, es indispensable la participación de todos los actores de injerencia en la prevención de introducción de especies por tráfico marítimo.

- Si bien, existe en Colombia un marco normativo relativo a la prevención de introducción de especie, el análisis permite inferir que gran parte de este se encuentra enmarcado bajo otras leyes y políticas principalmente relacionadas con la gestión del medio ambiente. Específicamente, en lo relacionado con la prevención de introducción especies no intencionales asociadas al tráfico marítimo y particularmente las ocasionadas por bioincrustación, se evidenció el esfuerzo de Colombia a través de la Autoridad Marítima para formular medidas y procedimientos para minimizar las introducciones mediante la adopción voluntaria de algunas directrices internacionales en dicha temática, tales como la Resolución MEPC. 207 (62) y la implementación del Estado a través de las figuras de derecho marítimo internacional; sin embargo, existe la necesidad de fortalecer el marco normativo nacional específico.

RECOMENDACIONES

- En la tarea de Colombia en la prevención de contaminación transfronteriza asociada al tráfico marítimo, se hace necesario abordar acciones desde una visión holística, que considere el análisis de los impactos socioeconómico, físico-natural y jurídico-administrativo, así como la participación de actores de los diferentes sectores. Lo anterior, con el fin de lograr una mejor comprensión de la importancia de la problemática y la generación de alternativas de manejo adecuadas.

- Disponer de información biológica actualizada y de calidad en las áreas costeras expuestas al tráfico marítimo, es uno de los aspectos claves en el manejo de las EEI, ya que corresponde a insumo para la elaboración de planes de manejo y formulación de legislación nacional referente. Por tal motivo, se reconoce la investigación científica como una gestión más rentable y apropiada en relación con reducir los impactos de las bioinvasiones, se recomienda que desde el Gobierno nacional se fomente el desarrollo de la investigación científica en estos temas de interés ambiental y marítimos, así como, se adelanten las acciones pertinentes que garanticen dentro de la planificación, la asignación de fondos de financiamiento para la investigación referente.

- Las naves de recreo se encontraron como el segundo tipo de embarcación con mayor frecuencia de recaladas para el área de estudio; dadas las características de la navegación y naturaleza estas (velocidad y distancias de desplazamiento y tiempo en puerto) favorecen la bioincrustación, por consiguiente, se deben adelantar estudios de investigación que evalúen el riesgo de contaminación biológica por este tipo de naves en Cartagena y las demás la zona portuaria de colombianas con alto porcentaje de estos arribos.

Además, en el fortalecimiento de la normatividad nacional relativa a la prevención de introducción de especies por tráfico marítimo, se debe incluir dentro de la legislación existente las directrices necesarias para reducir el riesgo de introducción de especies por naves de recreo, dado que las actuales centran su atención en el transporte marítimo mercante.

BIBLIOGRAFÍA

Abele, L., & Kim, W. (1986). An illustrated guide to the marine decapod crustaceans of Florida. In State of Florida, Department of Environmental Regulation, Technical Series.

Agard, J., Kishore, R., & Bayne, B. (1992). *Perna viridis* (Linnaeus 1758): first record of the Indo-Pacific green mussel (Mollusca: Bivalvia) in the Caribbean. Caribbean Marine Studies, 3, 59–60.

Aguilera, A., Arregocés, L. J., & Andrade, E. (2018). Invertebrados marinos bioincrustantes en el casco del buque ARC "20 de Julio." Boletín Científico CIOH, 36, 3–16. https://doi.org/10.26640/22159045.435

Ahrens, M., Dorado-Roncancio, J., López Sánchez, M., Rodríguez, C., & Vidal, L. (2011). Biodiversidad exótica: presencia de especies marinas no-nativas introducidas por el tráfico marítimo en puertos colombianos. *Biota Colombiana*, *12*(17), 3–14. https://doi.org/10.21068/bc.v12i2.247

Alghamdi, S. A., & Quijada, R. (2019). The impact of biofouling on marine environment : a qualitative review of the current antifouling technologies. The impact of biofouling on marine environment. World Maritime University.

Andrade, C., Thomas, Y., Lonin, S., Parra, C., Kunesch, S., Menanteau, L., Andriau, A., Piñeros, C., & Velasco, S. (2004). Aspectos morfodinámicos de la bahía de Cartagena. *Bol. Cient. CIOH*, *22*, 90–104. https://doi.org/10.26640/22159045.124

Aragón, O. (2019). *Moluscos bioincrustantes asociados a estructuras artificiales en la bahía de Cartagena*. Universidad El Bosque.

Avendaño, J., Rodríguez Rodríguez, A., & López Gómez, D. I. (2019). *Servicios ecosistémicos marinos y costeros de Colombia. Énfasis en manglares y pastos marinos*.

Awad, A., Haag, F., Anil, A. C., & Abdulla, A. (2014). Guidance on Port Biological Baseline Surveys. In *GloBallast Monograph Series No. 22* (GEF-UNDP-I). GEF-UNDP-IMO GloBallast Partnership.

Barragán, J. M., & De Andrés, M. (2016). Expansión urbana en las áreas litorales de América Latina y Caribe. *Revista de Geografía Norte Grande*, *149*(64), 129–149. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022016000200009

Becerra, J., & Jiménez, A. (1989). Evaluación cualitativa de los organismos adherentes sobre

sustrato. In Guía de las especies introducidas marinas y costeras de Colombia. (p. 135).

Beltrán, J. (2011). Relación entre la comunidad fitoplanctónica y el entorno abiótico de la Bahía de Cartagena, para establecer un índice de calidad de aguas y su variación espacio temporal. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Berkes, F., Colding, J., & Folke, C. (2003). *Navigating Social-Ecological Systems building resilence for complexity and change* (1st ed.). University Press, Cambridge.

Born-Schmidt, G., De Alba, F., Parpal, J., & Koleff, P. (2017). Principales retos que enfrenta México ante las especies exóticas invasoras. In *Cesop* (1st ed., Issue December). MC editores.

Bressy, C., & Lejars, M. (2014). Marine Fouling An Overview. *The Journal of Ocean Tecnology*, *9*(4), 19–28.

Brugnoli, E., Masciadri, S., & Muniz, P. (2009). *Base de datos de especies exóticas e invasoras en Uruguay, un instrumento para la gestión ambiental y costera*. Imprenta Rojo.

Buitrago, E. (2019). Polizones de las aguas. *EXPEDITĬO*, *19*, 22–25. https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/EXP/article/view/1539

Calatayud, A., & Díez-Roux, E. (2018). Buena Mar. *Revista Pórtico*, 66–67. https://www.puertocartagena.com/sites/default/files/RevistaPortico2018-compressed.pdf.

Callow, M. E., & Callow, J. A. (2002). Marine biofouling : a sticky problem. Biologist, 49, 1–5.

Camelo, A. (2010). Diagnóstico de la situación del país para la implementación del convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques "Colombia". Visión Poder Marítimo. https://www.cioh.org.co/aguasdelastre/images/Documentos/DIAGNOSTICO AGUAS DE LASTRE - ANGELICA CAMELO corregido DIMAR2.pdf

Cañón, M. L., Tous, G., López, K., López, R., & Orozco, F. (2007). Variación espacio temporal de los componentes fisicoquímico, zooplanctónico y microbiológico de la bahía de Cartagena. *Bol. Cient. CIOH*, *25*, 120–134. https://doi.org/10.26640/22159045.168

Capdevila-Argüelles, L., Zilletti, B., & Suárez Álvarez, V. Á. (2013). Causas de la pérdida de biodiversidad: Especies Exóticas Invasoras Causes of biodiversity loss: Invasive Alien Species. *Memorias de La Real Sociedad Española de Historia Natural*, *10*(July), 55–75. https://doi.org/10.47499/revistaaccb.v1i32.219

Caribbeanmarineatlas.org. (2021). Caribbean Marine Atlas. http://www.caribbeanmarineatlas.org

Carlton, J. (2011). History, biogeography, and ecology of the Introduced marine and estuarine invertebrates of the Pacific coast of North America. In Guía de las especies introducidas marinas

y costeras de Colombia. Serie de Publicaciones especiales No. 23 (p. 68).

Carraro, J. L., Rupp, G. S., Mothes, B., Lerner, C., & Würdig, N. L. (2012). Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados incrustantes sobre la vieira Nodipecten nodosus (Mollusca, Pectinidae) cultivada en Santa Catarina, Brasil. *Ciencias Marinas*, *38*(3), 577–588. https://doi.org/10.7773/cm.v38i3.1982

Casas, G. (2004). Invasiones biológicas en áreas costeras marinas. July, 20. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2741.1444

Castillo, R. Z., & García-Cubas, A. (1984). T*axonomía y Anatomía comparada de las ostras en las costas de México. Anales Del Instituto de Ciencias Del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias Del Mar y Limnología., 13(2), 2*49–314. http://biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1986-2/articulo230.html

Caviedesa, V., Arenas-Granados, P., & Carrascoa, J. C. (2014). Una contribución a la política pública para el manejo costero integrado de Honduras: análisis diagnóstico. Revista de Gestão Costeira Integrada - Journal of Integrated Coastal Zone Management, Vol. 14, núm.4, pp.645-662. https://doi.org/10.5894/rgci461

Cerda, C., Cruz, G., Skewes, O., & Araos, A. (2017). Especies exóticas invasoras en Chile como un problema económico : valoración preliminar de impactos. *Revista Del Jardín Botánico Chagual*, *15*, 12–22.

Chaparria, V., López, R., & Aznar, J. (2003). *Evaluación de los principales puertos de América del Sur. Análisis institucional , técnico y económico*.

Clarke, K., & Warwick, R. (2001). *Change marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation.* (2nd Ed.). PRIMER-E Ltd. Plymouth Marine Laboratory.

LEY 165 DE 1994 Por medio de la cual se aprueba el “Convenio sobre la Diversidad Biológica”, hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992. http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf

Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras. (2010). Estrategia nacional sobre especies invasoras en México, prevención, control y erradicación. Offset Rebosán, S.A. de C.V. www.conabio.gob.mx

Convection on Biological Diversity. (2021). COP 6 Decision VI/23 Alien species that threaten ecosystems, habitats or species. https://www.cbd.int/decision/cop/?id=7197

Correa, H. (2012). Estudios de bioprospección del coral blando Pseudo*pterogorgia elisabethae como fuente de sustancias con actividad biológica Fase IV*. Universidad Nacional de Colombia.

Cortés-Useche, C., Gómez-León, J., & Santos-Acevedo, M. (2011). Erizos de mar como control

biológico del “fouling” en un cultivo de *Nodipecten nodosus* en el área de Santa Marta, Caribe colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, *40*(2), 233–247.https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2011.40.2.109

Coutts, A., Piola, R. F., Hewitt, C. L., Connell, S. D., & Gardner, J. P. A. (2009). Effect of vessel voyage speed on survival of biofouling organisms: Implications for translocation of non-indigenous marine species. *Biofouling*, *26*(1), 1–13. https://doi.org/10.1080/08927010903174599

Crisci, J., & Lopez, M. (1983). *Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica.* (OEA. Serie).

Cuadrado, C., Castellanos, L., Osorno, O., Ramos, F., Duque, C., & Puyana, M. (2010). Estudio químico y evaluación de la actividad antifouling del octocoral caribeño Eunicea laciniata. *Química Nova*, *33*(3), 656–661. https://doi.org/10.1590/s0100-40422010000300033

Da Costa, F., & Coatanroch, G. (2009). *Training course on port biological baseline surveys. Regional Activity Center/Regional Pollution Emergency, Information and Training Center (RAC/REMPEITC- Caribe)*.

Davidson, I. C., Brown, C. W., Sytsma, M. D., & Ruiz, G. M. (2009). The role of containerships as transfer mechanisms of marine biofouling species. *Biofouling*, *25*(7), 645–655. https://doi.org/10.1080/08927010903046268

DeFelice, R., Eldredge, L., & Carlton, J. (2001). Nonindigenous, Marine Invertebrate. En L. Eldredge, y C. Smith, A Guidebook of Introduced Marine Species in Hawaii. ishop Museum Technical Report.

Díaz, J., & Puyana, M. (1994). Moluscos del Caribe colombiano, un catálogo ilustrado. COLCIENCIAS y Fundación Natura Colombia.

DIMAR-CIOH. (2009). Dossier para el control y la gestión del agua de lastre y sedimentos de los buques en Colombia (DIMAR (ed.). Legis S.A.

Resolución 477 de 2012 Por la cual se adoptan y establecen las medidas y el procedimiento de control para verificar la gestión del Agua de Lastre y sedimentos a bordo de naves y artefactos navales nacionales y extranjeros en aguas jurisdiccionales colombi, Pub. L. No. 0477 de 2012, 10 (2012).

Dirección General Marítima. (2021). Anuario estsdístico del Tráfico Marítimo en Colombia 2019-2020.

FAO. (1995). Código de Conducta para la Pesca Responsable. In Food & Agriculture Organization.

Farrapeira, C. (2008). Cirripedia Balanomorpha del estuario del Río Paripe (Isla de Itamaracá, Pernambuco, Brasil). *Biota Neotrop.*, *8*(3), 31–39. https://doi.org/10.1590/S1676-06032008000300002

Fedesarrollo. (2014). Impacto económico y social del puerto de Cartagena.

Figueiro, Ó. (2009). Prevención de Riesgos Laborales en el Buceo Profesional. (p. 83)

Fournier, A., Penone, C., Pennino, M. G., & Courchamp, F. (2019). Predicting future invaders and future invasions. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 116(16), 7905–7910. https://doi.org/10.1073/pnas.1803456116

Franco-Herrera. (2005). Oceanografía de la ensenada de Gaira. El Rodadero, más que un centro turístico en el Caribe colombiano. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Galil, B. S., Marchini, A., Occhipinti-Ambrogi, A., Minchin, D., Narščius, A., Ojaveer, H., & Olenin, S. (2014). International arrivals: Widespread bioinvasions in European Seas. *Ethology Ecology and Evolution*, *26*(2–3), 152–171. https://doi.org/10.1080/03949370.2014.897651

Galil, S., Mckenzie, C., Bailey, S., Campbell, M., Davidson, I., Drake, L. A., Hewitt, C., Occhipinti-Ambrogi, A., & Piola, R. (2019). ICES Viewpoint background document: Evaluating and mitigating introduction of marine non-native species via vessel biofouling. In *ICES Ad Hoc Report 2019*. http://doi.org/10.17895/ices.pub.4680

García, C., & Salzwedel, H. (1993). Recruitmet patterns of sessile invertebrates onto fouling plates in the bay of santa Marta, Colombia caribean. An. Inst. Invest. Mar. Punta Betin, 22, 30–44.

GEF-UNDP-IMO GLOBALLAST PARTNERSHIPS AND IOI. (2009). Guidelines for National Ballast Water Status Assessments. GloBallast Monographs No. 17.

GEF-UNDP-IMO GloBallast Partnerships Programme and WMU. (2013). Identifying and Managing Risks from Organisms Carried in Ships' Ballast Water. Globallast Monograph No. 21. https://www.cioh.org.co/aguasdelastre/images/globallast/docs/monograph_21_eng.pdf

geographypods. (2020). 2. Changing Space - The Shrinking World - GEOGRAPHY FOR 2020 & BEYOND. https://www.geographypods.com/2-changing-space---the-shrinking-world.html#

Global Invasive Species Programme. (2011). El Manejo de Especies Invasoras en Ambientes Marinos & Costeros. Módulo 6 La Respuesta Internacional. In *Gisp*.

Global Invasive Species Programme -GISP. (2011). El Manejo de Especies Invasoras en Ambientes Marinos & Costeros. Módulo 1 Introducción a las Especies Invasoras Marinas y Costeras.

Godwin, L. . (2005). Hull fouling as a mechanism for marine invasive species introductions.

Proceedings of a workshop on current issues and potential management strategies. 12-13.

Godwin, S. (2003). Hull fouling of maritime vessels as a pathway for marine species invasions to the Hawaiian Islands. Biofouling, 19(SUPPL.), 123–131. https://doi.org/10.1080/0892701031000061750

Gollasch, S. (2002). The Importance of Ship Hull Fouling as a Vector of Species Introductions into the North Sea. Biofouling, 18(2), 105–121. https://doi.org/10.1080/08927010290011361

González-Diaz, P. (2015). Manejo integrado de zonas costeras en Cuba. Imagen Contemporánea.

Gracia, A., Cruz, N., Borrero, G., Báez, D., & Santodomingo, N. (2013). Invertebrados marinos asociados con las plataformas de gas en La Guajira (Caribe colombiano). *Boletin de Investigaciones Marinas y Costeras*, *42*(2), 361–386. https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2013.42.2.56

Granadillo, L., & Urosa, L. (1984). Los géneros Balanus, Chthamalus y Tetraclita (Crustacea: Cirripedia) en las costas de Nueva Esparta, Venezuela. *Memoria de La Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, *154*, 77–97.

Guerrero, J. (2017). Estudio del marco normativo de la fauna silvestre en Colombia. Estudios de Derecho; Universidad de Antioquia. https://doi.org/10.17533/udea.esde.v73n162a05

He, Q. (1999). A review of clustering algorithms as applied in IR. GraduateSchoolof. Library and Information Science. University of Illinois at Urbana. Champaign .

Hernández, C. E., Muñoz, G., & Rozbaczylo, N. (2001). Poliquetos asociados con Austromegabalanus psittacus (Molina, 1782) (Crustacea: Cirripedia) en Península Gualpén, Chile central: Biodiversidad y efecto del tamaño del sustrato biológico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, *36*(1), 99–108. https://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572001000100009

Hernández, R. (2018). Las especies exóticas invasoras. su incidencia en la salud humana. Universidad Central “Martha Abreu” de las Villas. (p. 22)

Herrera Izaguirre, J. A., Escobedo Carreón, R., & Reyes Monsivais, D. (2014). La invasión silenciosa: contribuciones del derecho internacional al combate de las especies invasoras acuáticas. In Especies invasoras acuáticas: casos de estudio en ecosistemas de México. 199–230.

Hewitt, C. L., Gollasch, S., & Minchin, D. (2009). The Vessel as a Vector – Biofouling, Ballast Water and Sediments. In C. J. A. Rilov G. (Ed.), *Biological Invasions in Marine Ecosystems. Ecological Studies (Analysis and Synthesis* (pp. 117–131). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-79236-9_6

Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander von Humbolt. (n.d.). Fauna exótica e

invasora en Colombia. http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/31181/10-049.pdf?sequence=1&isAllowed=y

International Council for the Exploration of the Sea Conseil International pour l'Exploration de la Mer. (2005). ICES Code of Practice on the Introductions and Transfers of Marine Organisms.

INVEMAR. (2010). Biodiversidad del Margen Continental del Caribe Colombiano Biodiversidad del Margen Continental del Caribe Colombiano. Serie de Publicaciones Especiales, Invemar No. 20. Serie de publicaciones especies.

INVEMAR. (2013a). Guía metodológica para el manejo integrado de zonas costeras en Colombia. Manual 3: Gobernanza. In G. Sanclemente, A. P. Zamora, R. A. López, M. Hernández-Ortiz, F. A. Arias-Isaza, & P. C. Sierra-Correa (Eds.). Serie de Publicaciones Generales INVEMAR No.61. Srie de Documentos Generales INVEMAR

INVEMAR. (2013b). Guía metodológica para el manejo integrado de zonas costeras en Colombia. Manual 3: Gobernanza. In Serie de Documentos Generales INVEMAR. http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/guía-metodológica-para-el-manejo-integrado-de-zonas-costeras-en-colombia.-manual-3-gobernanza..pdf

Kensley, B. F., & Schotte, M. (1989). Guide to the marine isopod crustaceans of the Caribbean. Smithsonian Institution Press.

Koehl, M. (1984). How do benthic organisms withstand moving water? Am Zool, 24, 57–70.

Koike, F., Clout, M. N., Kawamichi, M., De Poorter, M., & Iwatsuki, K. (2006). Distribution and status of the introduced red-eared slider (Trachemys scripta elegans) in Taiwan. In Science And Technology (Vol. 1, Issue c). SHOUKADOH Book Sellers.

Kolar, C., & Lodge, D. (2001). Progress in invasion biology: Predicting invaders. *Trends in Ecology & Evolution.*, *16*, 199–204.https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02101-2

Lambert, G. (2009). Adventures of a sea squirt sleuth: unraveling the identity of Didemnum vexillum, a global ascidian invader. *Aquat Invas*, *4*, 5–28. https://doi.org/10.3391/AI.2009.4.1.2

Lemay, M. (1998). *M*anejo de los recursos costeros y marinos en America Latina y el Caribe. https://publications.iadb.org/es/publicacion/15941/manejo-de-los-recursos-costeros-y-marinos-en-america-latina-y-el-caribe

Lewis, J. A. (2002). *H*ull fouling as a vector for the translocation of marine organisms. Phase I Study: hull fouling research. Department of Agriculture, Fisheries and Forestry- Australia. Report No. 1. https://doi.org/10.1080/0892701031000061750

Lloyd's Register, QinetiQ, U. of S. (2019). Global Marine Trends 2030. In ICES Viewpoint background document: Evaluating and mitigating introduction of marine non-native species via vessel biofouling (p. 17). ICES Ad Hoc Report 2019.

Lombaert, E., Guillemaud, T., & Deleury, E. (2018). Biases of STRUCTURE software when exploring introduction routes of invasive species. *Heredity*, *120*(6), 485–499. https://doi.org/10.1038/s41437-017-0042-1

Londoño-Mesa, M., Polanía, J., & Vélez, I. (2002). Polychaetes of the mangrove-fouling community at the Colombian Archipelago of San Andrés and Old Providence, Western Caribbean. *Wetlands Ecology and Management*, *10*(3), 227–232. https://doi.org/10.1023/A:1020127814042

Londoño, E. D. (2017). Transporte Marítimo Internacional y su impacto ambiental en la bahía de Cartagena [Universidad Piloto de Colombia]. http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00003674.pdf

Lonin, S., & Giraldo, L. (1996). Circulación de las aguas y transporte de contaminantes en la bahía de Cartagena. *Bol. Cient. CIOH*, *16*, 15–26. https://doi.org/10.26640/22159045.77

Lonin, S., Parra, C., Andrade, C., & Yves-Francois, T. (2004). Patrones de la pluma turbia del Canal del Dique en la bahía de Cartagena. *Bol. Cient. CIOH*, *22*, 77–89. https://doi.org/10.26640/22159045.130

Magurran, A. E. (1988). Ecological diversity and its measurement. In Informe del estado actual del componente biótico al proyecto de Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental del Puerto de Aguas Profundas de Posorja. Cardno. (p. 179).

Manríquez, P., Fica, E., Ortiz, V., & Castilla, J. (1999). Bio-incrustantes marinos en el canal de Chacao, Chile. Un estudio sobre potenciales interacciones con estructuras manufacturadas por el hombre. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, *49*(2), 243–26.http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572014000200006.

Mckenzie, L., Brooks, R., & Johnston, E. L. (2012). *A widespread contaminant enhances invasion success of a marine invader*. *49*, 767–773. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02158.x

Meadowcroft, J. (2003). Participación y estrategias para el desarrollo sostenible. Revista Instituciones y Desarrollo, 14–15, 123–138.

Mendoza, R., & Koleff, P. (2014). Introducción de especies exóticas acuáticas en méxico y en el mundo. In R Mendoza & P. Koleff (Eds.), Especies acuáticas invasoras en México (Issue December, pp. 17–41). Offset Rebosán, S.A. de C.V.

Mendoza, Roberto, Ramírez-Martínez, C., Aguilera González, C., & Meave del Castillo, M. E. (2014).

Principales vías de introducción de las especies exóticas. In R Mendoza & P. Koleff (Eds.), Especies acuáticas invasoras en México (1st ed., Issue enero, pp. 43–73). Offset Rebosán, S.A. de C.V.

Meza, M., Calixto, D., Velosa, L., Acosta, E., Puyana, M., Morales, J., & Panqueva, J. (2007). Valoración de la efectividad antiincrustante de recubrimientos aplicados a embarcaciones que operan en la Bahía de Cartagena. Ship Science y Technology, 1(6), 7–25.

Minchin, D., & Gollasch, S. (2003). Fouling and ships hulls: how changing circumstances and spawning events may result in the spread of exotic species. *Biofouling*, *19*, 111–122.

Mineur, F., Johnson, M. P., Maggs, C. A., & Stegenga, H. (2007). Hull fouling on commercial ships as vector of macroalgal introduction. *Mar Biol*, *151*, 1299–1307. https://doi.org/10.1007/s00227-006-0567-y

myShipTracking. (2021). *My Ship Tracking Free Realtime AIS Vessel Tracking Vessels Finder Map - ship tracker*. https://www.myshiptracking.com/

Noss, R. (1990). Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical model. *Conservation Biology*, *4*, 355–364.

OIT. (2021). Gente de Mar. https://www.ilo.org/global/standards/subjects-covered-by-international-labour-standards/seafarers/lang--es/index.htm

Ojaveer, H., Galil, B. S., Carlton, J., Alleway, H., Goulletquer, P., Lehtiniemi, M., Marchini, A., Miller, W., Occhipinti-Ambrogi, A., Peharda, M., Ruiz, G., Williams, S., & Zaiko, A. (2018). Historical baselines in marine bioinvasions: Implications for policy and management. PLoS ONE, 13(8), 1–48.

Okolodkov, Y. B., Bastida-zavala, R., Ibáñez, A. L., John, W., Suárez-morales, E., Pedroche, F., & Gutiérrez-mendieta, F. J. (2007). Especies acuáticas no indígenas en México. *Ciencia y Mar*, *XI*(32), 29–67.

Okolodkov, Y. B., & García-Escobar, H. (2014). Agua de lastre y transporte de los organismos incrustantes, leyes y acciones : perspectivas para México. In Especies invasoras acuáticas: casos de estudio en ecosistemas de México (1st ed., Vol. 0, Issue 0, pp. 55–80). https://doi.org/10.13140/2.1.2824.4160

OMI. (2012). Control and Management of Ships´ Biofouling (1st ed.). International Maritime Organization

OMI. (2020b). Incrustaciones biológica. http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Biofouling/Paginas/Default.aspx

OMI. (2020a). Contaminación biológica. http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Biofouling/Paginas/Default.aspx

ONU. (1973). Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres . https://www.cites.org/sites/default/files/esp/disc/CITES-Convention-SP.pdf

ONU. (2016). Informe del grupo de trabajo_indicadores_desastres. In Organización de las Naciones Unidas (Vol. 21184).

Orozco, F., Lopez, R., Cañon, M., & Gutierrez, L. (2008). Determinación de la variación de la composición y estructura de la comunidad zooplanctónica en relación con las condiciones fisicoquímicas, en la Bahía de Cartagena (departamento de Bolívar) 2006. *Bol. Cient. CIOH*, *26*, 117–142. https://doi.org/10.26640/22159045.189

Orr, R. (2003). Generic nonindigenous aquatic organisms risk analysis review process. In James Carlton (Ed.), *Invasive Species: Vectors And Management Strategies* (pp. 415–431). Island Press.

Osorio, J. . (2010). *Dinámica espacio temporal del fitoplancton en la bahía de Cartagena*. Universidad Jorge Tadeo Lozano.

Parada, J. , & Payan-B, C. (2019). Evaluación Del Riesgo Generado Por Especies Invasoras Introducidas a Través Del Agua De Lastre En Dos Puertos Del Pacífico Colombiano. *Boletín Científico CIOH*, *38*(1), 1–7. https://doi.org/10.26640/22159045.2019.519

Plan 4C. (2021). *Plan 4C Cartagena Competitiva y Compatible con el Clima | Condiciones ambientales: la base de la ciudad*. https://plan4c.cartagena.gov.co/cartagena-en-contexto/condiciones-ambientales-la-base-de-la-ciudad/

Prato, J. (2009). Desarrollo de un ensayo in situ para la evaluación preliminar de extractos y compuestos de origen natural como recubrimientos antifouling no tóxicos, en la bahía de Cartagena, Caribe colombiano. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Puyana, M., Prato, J., & Díaz, J. (2012). Mytella charruana (D´Orbigny) (Mollusca: Bivalvia: Mytilidae) en la Bahía de Cartagena, Colombia. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, *41*, 213–217.https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2012.41.1.80

Rajagopal, S., Van Der Velde, G., Van Der Gaag, M., & Jenner, H. A. (2003). How effective is intermittent chlorination to control adult mussel fouling in cooling water systems? *Water Research*, *37*(2), 329–338. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00270-1

Resolución número (0132) Por la cual se adopta el protocolo para la extracción y control de la especie exótica invasora Pez León (Pterois volitans) en las áreas del Sistema de Parques Nacionales

Naturales, 4 (2010).

Restrepo, J. C., Franco, D., Escobar, J., Correa, I. D., Otero, L., & Gutiérrez, J. (2013). Superficial sediments distribution and sedimentary environments. Latin Americ*an Journal of Aquatic Research*, *41*(1), 99–112. https://doi.org/10.3856/vol41-issue1-fulltext-8

Rico-Sánchez, A. E., Rodríguez-Romero, A., López-López, E., & Sedeño-Díaz, J. (2014). Patrones de variación espacial y temporal de los macroinvertebrados acuáticos en la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo (México). *Revista de Biología Tropical*, *62*(2), 81–96. https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15780

Rilov, G., & Crooks, J. (2009). Biological invasions in marine ecosystems: Ecological, management and geographic perspectives. *Ecological Studies*, 204–641. https://doi.org/10.1007/978-3-540-79236-9

Ruiz, G. M., Carlton, J. T., Grosholz, E. D., & Hines, A. H. (1997). Global invasions of marine and estuarine habitats by non-indigenous species: mechanisms, extent, and consequences. *American Zoologist*, *37*(6), 621–632. https://doi.org/10.1093/icb/37.6.621

Salazar-Vallejo, S. I., Carrera-Parra, L. F., González, N. E., & Salazar-González, S. A. (2014). Biota portuaria y taxonomía. In *Especies invasoras acuáticas: casos de estudio en ecosistemas de México* (pp. 33–54).

Sardain, A., Sardain, E., & Leung, B. (2019). Global forecasts of shipping traffic and biological invasions to 2050. *Nature Sustainability*, *2*(4), 274–282. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0245-y

Secretaría de la Convención de Ramsar. (2010). Manejo de las zonas costeras: Cuestiones concernientes a los humedales y manejo integrado de las zonas costeras. In *Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales* (4a ed.). Secretaría de la Convención de Ramsar. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/hbk4-12sp.pdf

Suarez, N. (2011). Levantamiento de la línea base de macromoluscos (Bivalvia - gastropoda) en la bahía de Cartagenera, caribe Colombiano como contribución a la gestión de agua de lastre en el territorio nacional. Universidad del Magdalena. http://repositorio.unimagdalena.edu.co/jspui/handle/123456789/116

Tamelander, J., Riddering, L., Haag, F., & Matheickal, J. (2010). Procedimientos para el Desarrollo de la Estrategia Nacional de Control y Gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques Monografía Programa GloBallast Partnerships Serie No. 18. Traducido al Español, Versión Latinoamericana por Plata, J. y M.I Criales-Hernández. www.globallast.imo.org

Tun-Che, R. (2018). Impacto ambiental y económico del bioincrustamiento. | Sciellage. Universidad

Autonoma de Campeche . https://sciellage.wordpress.com/2018/05/12/bioincrustamiento-y-su-impacto/

UNESCO. (2010). Lineamientos para la gestión nacional de especies exóticas invasoras - UNESCO Biblioteca Digital (Comité Nacional de Especies Exóticas Invasoras (ed.); Vol. 1). UNESCO . https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000190691

United Nations Environment Programme. (2006). Marine and coastal ecosystems and human well-being a synthesis report based on the findings of the Millennium Ecosystem Assessment. https://www.millenniumassessment.org/documents/Document.799.aspx.pdf

United States Environmental Protection Agency. (2011). Underwater ship husbandry discharges. In United States Environmental Protection Agency. https://www3.epa.gov/npdes/pubs/vgp_hull_husbandry.pdf

Valdés, V. (2009). Impactos positivos y negativos de la introducción de animales exóticos en Panamá. *Tecnología En Marcha*, *22*(2), 91–97.

Vásquez-Restrepo, J. D., & Rubio-Rocha, L. (2020). Breve contexto legal y conceptual de la tenencia de animales Breve contexto legal y conceptual de la tenencia de animales domésticos , silvestres y exóticos en Colombia. *FORUM. Revista Departamento Ciencia Política*, *17*, 72–93.https://doi.org/10.15446/frdcp.n17.79678

Velandia-Velandia, C. C., & Santana-Acero, J. D. (2019). Análisis comparativo mediante un benchmarking del sistema portuario panameño con el sistema portuario colombiano. Caso de estudio: puerto manzanillo vs puerto Cartagena y puerto Santa Marta. Universidad Católica de Colombia.

Wedler, E. (2017). *Hidroides del mar Caribe con énfasis en la región de Santa Marta, Colombia*.Publicaciones Especieales Invemar No. 94. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR.

Werding, B. (1977). Los porcelánidos (Crustacea: Anomura: Porcellanidae) de la región de Santa Marta, Colombia. *An. Inst. Invest. Mar. Punta Betin*, *9*, 173–214.

Wood Mackenzie. (2021). Terrestrial & Satellite AIS Tracking Service in Realtime - vesseltracker.com. Vesseltracker.Com. https://www.vesseltracker.com/

WWF-Colombia. (2017). Colombia viva: Un país megadiverso de cara al futuro. Informe 2017. http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/colombia_viva__informe_2017_1.pdf

Yidi, E., & Sarmiento, V. (2011). Colombian seashells from the Caribbean. Editorial L'Informatore.

Young, P., & Campos, N. (1988). Cirripedia (Crustacea) en la zona intermareal e infralitoral de la

región de Santa Marta, Colombia. *An. Inst. Inv. Mar. Punta Betín*, *18*, 153–164.

Zalba, S., & Ziller, S. (n.d.). *Herramientas de prevención de invasiones biológicas de I3N*. https://sib.gob.ar/archivos/I3N_ManualHerramientasdePrevenciondeInvasiones.pdf

ANEXO 1. Organismos macroinvertebrados asociados a sustratos artificiales (boyas) en la Bahía de Cartagena (Col.)

Filo	Clase	Familia	Especie
Arthropoda	Thecostraca	Balanidae	*Amphibalanus amphitrite* (Darwin, 1854)
			Amphibalanus reticulatus (Utinomi, 1967)
			Amphibalanus eburneus (Gould, 1841)
	Malacostraca	Cirolanidae	Cirolanidae M1 (Dana, 1852)
		Isopoda	Isopoda M1 (Latreille, 1817)
		Melitidae	Melitidae M1 (Bousfield, 1973)
			Melita sp. (Leach, 1814)
		Netamelita	*Netamelita* sp. J.L. (Barnard, 1962)
		Corophiidae	Corophiidae M1 (Leach, 1814)
		Caprellidae	Caprellidae M1 (Leach, 1814)
		Podoceridae	Podoceridae M1 (Leach, 1814)
		Gammaridae	Gammaridae M1 (Leach, 1814)
		Leucothoidae	Leucothoidae M1 (Dana, 1852)
		-----	Tanaidacea M1 (Dana, 1849)
		Gonodactylidae	*Gonodactylellus* sp. (Manning, 1995)
		Alpheidae	*Alpheus* sp. (Fabricius, 1798)
			Alpheus formosus (Gibbes, 1850)
			Alpheus armillatus (H. Milne Edwards, 1837)
			Alpheus heterochaelis (Say, 1818)
			Synalpheus fritzmuelleri (Coutière, 1909)
			Synalpheus sp. Spence (Bate, 1888)
			Synalpheus filidigitus (Armstrong, 1949)
		Grapsidae	*Pachygrapsus transversus* (Gibbes, 1850)
			Pachygrapsus gracilis (de Saussure, 1857)
		Pinnotheridae	*Austinotheres angelicus (*Lockington, 1877)
		Pilumnidae	*Pilumnus townsendi (*Rathbun, 1923)
			Pilumnus dasypodus (Kingsley, 1879)
			Pilumnus sp. (Leach, 1816)
			Pilumnus floridanus (Stimpson, 1871)
		Menippidae	*Menippe nodifrons* (Stimpson, 1859)

ANEXO 1. Organismos macroinvertebrados asociados a sustratos artificiales (boyas) en la Bahía de Cartagena (Col.)

Filo	Clase	Familia	Especie
		Panopeidae	*Panopeus occidentalis* (de Saussure, 1857)
			Panopeus austrobesus (A.B. Williams, 1983)
			Panopeus americanus (de Saussure, 1857)
			Panopeus rugosus (A. Milne-Edwards, 1880)
			Panopeus simpsoni (Rathbun, 1930)
			Panopeus sp. (H. Milne Edwards, 1930)
			Eurypanopeus abbreviatus (Stimpson, 1860)
			Eurypanopeus sp (A. Milne-Edwards, 1880)
		Porcellanidae	*Petrolisthes armatus (*Gibbes, 1850)
			Petrolisthes galathinus (Bosc, 1801)
			Petrolisthes sp. (Stimpson, 1858)
			Petrolisthes galathinus (Bosc, 1801)
			Pachycheles chacei (Haig, 1956)
		Porcellanidae	*Megalobrachium soriatum* (Say, 1818)
			Periclimenes sp (O.G. Costa, 1844
		Portunidae	*Charybdis annulata (*Fabricius, 1798)
Annelida	Polychaeta	Nereididae	*Neanthes* sp1 (Kinberg, 1865)
			Neanthes sp2 (Kinberg, 1865)
			Neanthes sp3 (Kinberg, 1865)
			Neanthes sp4 (Kinberg, 1865)
			Neanthes sp5 (Kinberg, 1865)
			Neanthes sp6 (Kinberg, 1865)
			Neanthes sp7 (Kinberg, 1865)
			Neanthes sp8 (Kinberg, 1865)
			Neanthes sp9 (Kinberg, 1865)
			Neanthes sp10 (Kinberg, 1865)
			Neanthes sp11 (Kinberg, 1865)
			Neanthes sp12 (Kinberg, 1865)
			Nereis falsa (Quatrefages, 1866)
			Nereis pelagica (Linnaeus, 1758)

ANEXO 1. Organismos macroinvertebrados asociados a sustratos artificiales (boyas) en la Bahía de Cartagena (Col.)

Filo	Clase	Familia	Especie
			Neanthes galetae (Fauchald, 1977)
			Nereis lamellosa (Ehlers, 1868)
			Nereis sp1 (Linnaeus, 1758)
			Nereis sp2 (Linnaeus, 1758)
			Nereis sp3 (Linnaeus, 1758)
			Nereis sp4 (Linnaeus, 1758)
			Nereis sp5 (Linnaeus, 1758)
			Nereis sp6 (Linnaeus, 1758)
			Nereis sp7 (Linnaeus, 1758)
			Nereis sp8 (Linnaeus, 1758)
			Nereididae M1 (Blainville, 1818)
			Nereididae M2 (Blainville, 1818)
			Nereididae M3(Blainville, 1818)
			Ceratonereis sp. (Kinberg, 1865)
		Syllidae	*Typosyllis* sp. (Langerhans, 1879)
			Syllis amica (Quatrefages, 1866)
			Syllis gracilis (Grube, 1840)
			Syllis sp. (Lamarck, 1818)
			Syllidae M1 (Grube, 1850)
			Syllidae M2 (Grube, 1850)
			Syllidae M3 (Grube, 1850)
		Sabellidae	*Sabella* sp. (Linnaeus, 1767)
			Megalomma sp. (Johansson, 1926)
			Branchiomma sp. (Kölliker, 1858)
			Branchiomma sp1 (Kölliker, 1858)
			Hypsicomus sp. (Grube, 1870)
			Sabellidae M1 (Latreille, 1825)
			Sabellidae M2 (Latreille, 1825)
			Hydroides sanctaecrucis (Krøyer in Mörch, 1863)
			Hydroides elegans (Haswell, 1883)

ANEXO 1. Organismos macroinvertebrados asociados a sustratos artificiales (boyas) en la Bahía de Cartagena (Col.)

Filo	Clase	Familia	Especie
			Serpulidae M1 (Rafinesque, 1815)
		Eunicidae	*Eunice* sp (Cuvier, 1817)
			Eunicidae M1 (Berthold, 1827)
		Lumbrineridae	Lumbrineridae M1 (Schmarda, 1861)
		Capitellidae	*Capitella capitata* (Fabricius, 1780)
			Capitellidae M1 (Grube, 1862)
		Cirratulidae	Cirratulidae M1 (Ryckholt, 1851)
Cnidaria	Hydrozoa	Campanulariidae	*Clytia* sp1 (Lamouroux, 1812)
			Clytia sp2 (Lamouroux, 1812)
			Clytia sp3 (Lamouroux, 1812)
			Clytia sp4 (Lamouroux, 1812)
			Obelia sp. (Péron & Lesueur, 1810)
		----	Plumularioidea M1 (McCrady, 1859)
		Eudendriidae	Eudendriidae (L. Agassiz, 1862)
	Anthozoa	----	Actiniaria M1 (Hertwig, 1882)
		----	Actiniaria sp1 (Hertwig, 1882)
		----	Actiniaria sp2 (Hertwig, 1882)
		----	Actiniaria sp3 (Hertwig, 1882)
Chordata	Ascidiacea		Ascidiacea M1 (Blainville, 1824)
Echinodermata	Ophiuroidea	Ophiactidae	*Ophiactis savignyi (*Müller & Troschel, 1842)
Mollusca	Bivalvia	Mytilidae	*Brachidontes exustus (*Linnaeus, 1758)
			*Brachidontes domingensis (*Lamarck, 1819)
			Brachidontes modiolus (Linnaeus, 1767)
			Mytilidae M1 (Rafinesque, 1815)
			*Mytella charruana (*d'Orbigny, 1846)
			Perna viridis (Linnaeus, 1758)
			*Musculus lateralis (*Say, 1822)
		Ostreidae	*Crassostrea (*Sacco, 1897)
		Gryphaeidae	*Hyotissa hyotis* (,Linnaeus, 1758)
		Isognomonidae	*Isognomon radiatus* (Anton, 1838)

ANEXO 1. Organismos macroinvertebrados asociados a sustratos artificiales (boyas) en la Bahía de Cartagena (Col.)

Filo	Clase	Familia	Especie
			Isognomon bicolor (C. B. Adams, 1845)
		Dreissenidae	*Mytilopsis sallei (*Récluz, 1849)
		Myidae	*Sphenia fragilis* (H. Adams & A. Adams, 1854)
		Chamidae	*Chama macerophylla* (Gmelin, 1791)
			Chama congregata (Conrad, 1833)
	Gastropoda	Columbellidae	*Anachis coseli (*Diaz & Mittnacht, 1991|)
		Fissurellidae	*Diodora jaumei (*Aguayo & Rehder, 1936)
Nemertea	----	----	Nemertea M1
Platyhelminthes			Polycladida M1 (Lang, 1884)
Porifera	Demospongiae	Chalinidae	*Haliclona* sp. (Grant, 1841)
		Desmacellidae	Desmacellidae M1 (Ridley & Dendy, 1886)
		Clionaidae	Clionaidae M1 (d'Orbigny, 1851)
		Coelosphaeridae	Coelosphaeridae M1 (Dendy, 1992)
		Microcionidae	Microcionidae M1 (Carter, 1875)
			Microcionidae M1 (Carter, 1875)
		Mycalidae	Mycalidae M1 (Lundbeck, 1905)
		Niphatidae	Niphatidae M1 (van Soest, 1980)
		Raspailiidae	Raspailiidae M1 (Nardo, 1833)
	-----	-----	Porifera M1 (Grant, 1836)
Sipuncula	Phascolosomatidea	Phascolosomatidae	Phascolosomatidae M1 (Stephen & Edmonds, 1972)