

# HERRAMIENTAS PARA LAS EMISIONES PORTUARIAS

GUÍA  
N.º 2

Elaboración de estrategias de reducción  
de las emisiones en los puertos





# Herramientas Para Las Emisiones Portuarias

## Guía N.º 2: Elaboración de estrategias de reducción de las emisiones en los puertos



*Publicado en 2018 por la*  
Unidad de Coordinación del Proyecto GloMEEP  
Organización Marítima Internacional  
4 Albert Embankment  
Londres SE1 7SR  
Reino Unido

*y por la*

*Asociación Internacional de Puertos (IAPH)*  
7th Floor, South Tower New Pier Takeshiba  
1-16-1 Kaigan, Minato-ku, Tokio 105-0022  
Japón

© GFE-UNDP-IMO GloMEEP Project and IAPH

Tipografía de *Eyetooth.Design*

Traducido por Prefectura Naval Argentina en 2021



**Aviso de derechos de autor** Todos los derechos reservados. El presente documento, o cualquier parte de este, no se podrá fotocopiar ni almacenar en ningún soporte por medios electrónicos o de otra índole, ni publicar, transferir, reproducir o representar en público de ninguna forma ni a través de ningún medio sin la autorización previa por escrito del propietario de los derechos de autor. Toda consulta debe enviarse a la dirección que figura más arriba.

FMAM-PNUD-OMI e IAPH no son responsables frente a ninguna persona u organización por las pérdidas, daños o gastos causados por la confianza en la información ni por el asesoramiento presentes en este documento o proporcionados de cualquier otro modo.

**Cite el presente documento de la siguiente manera:** Proyecto GFE-UNDP-IMO GloMEEP e IAPH, 2018: Herramientas para las emisiones portuarias, Guía N.º 1, Evaluación de las emisiones portuarias.

El proyecto GloMEEP es una iniciativa conjunta del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la Organización Marítima Internacional (OMI) para asistir a los países en desarrollo en la incorporación e implementación de medidas de eficiencia energética para la industria marítima, con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y prevenir la contaminación atmosférica proveniente de buques. Para más información, visite <http://glomeep.imo.org>.

La Asociación Internacional de Puertos y Terminales (IAPH) es una alianza mundial que representa a más de 180 puertos miembro y 140 empresas relacionadas con los puertos en 90 países. El objetivo principal de la IAPH es la promoción de los intereses de los puertos en todo el mundo a través del fortalecimiento de las relaciones entre los miembros y el intercambio de información sobre buenas prácticas. Para más información, visite <https://www.iaphworldports.org/>

# Índice

Página

<b>Lista de imágenes</b> .....	v
<b>Lista de tablas</b> .....	v
<b>List of abbreviations</b> .....	vi
<b>Reconocimientos</b> .....	ix
<b>Prefacio</b> .....	xi
<b>1 Introducción</b> .....	1
<b>1.1 Elaboración de un inventario de emisiones</b> .....	1
<b>1.2 Toma de conciencia de la necesidad de reducir las emisiones relacionadas con los puertos</b> .....	1
<b>1.3 Fuentes móviles relacionadas con los puertos</b> .....	2
<b>1.4 Problemas y oportunidades respecto de la reducción de emisiones</b> .....	3
<b>2 Desarrollo de un plan de estrategias para la reducción de las emisiones</b> .....	5
<b>2.1 Generar apoyo</b> .....	6
<b>2.2 Determinar los contaminantes que deben reducirse</b> .....	6
<b>2.3 Establecer objetivos de reducción de contaminantes</b> .....	8
<b>2.4 Evaluar los datos del inventario de emisiones</b> .....	9
<b>2.5 Analizar los programas implementados por terceros</b> .....	10
<b>2.6 Identificar y evaluar las medidas potenciales</b> .....	11
<b>2.7 Desarrollar un enfoque de implementación</b> .....	12
2.7.1 Afirmaciones de los vendedores de tecnología .....	12
2.7.2 Enfoque administrativo .....	13
2.7.3 Coordinación y colaboración con las partes interesadas .....	13
2.7.4 Análisis de costo-beneficio .....	13
2.7.5 Modelado, monitoreo y generación de informes .....	14
2.7.6 Ciclos de análisis y de ajuste .....	14
<b>3 Resumen de las medidas de control de las emisiones</b> .....	17
<b>3.1 Medidas para los equipos</b> .....	19
3.1.1 Buques de navegación marítima .....	19
3.1.2 Buques de navegación nacional, buques de navegación interior y embarcaciones de servicio portuario .....	20
3.1.3 Equipo de manipulación de la carga (CHE) .....	21
3.1.4 Camiones de carretera .....	23
3.1.5 Locomotoras .....	23
<b>3.2 Medidas energéticas</b> .....	24
3.2.1 Buques de navegación marítima .....	24
3.2.2 Buques de navegación nacional, buques de navegación interior y embarcaciones de servicio portuario .....	27

	<i>Página</i>
3.2.3 Equipo de manipulación de la carga .....	28
3.2.4 Camiones de carretera .....	28
<b>3.3 Medidas operativas</b> .....	<b>28</b>
3.3.1 Buques de navegación marítima .....	29
3.3.2 Mejoras operativas en tierra .....	29
<b>3.4 Conclusión</b> .....	<b>30</b>
<b>4 Recursos</b> .....	<b>31</b>
<b>Anexo 1 – Lista de control del plan de estrategias para la reducción de las emisiones en los puertos</b> .....	<b>33</b>
<b>Anexo 2 – Análisis de costo-beneficio</b> .....	<b>37</b>

# Lista de imágenes

*Página*

<b>Imagen 2.1:</b> Pasos para desarrollar un plan de estrategias para la reducción de las emisiones. . . . .	5
--	---

# Lista de tablas

*Página*

<b>Tabla 1.1:</b> Categorías de fuentes móviles relacionadas con los puertos y tipos de energía . . . . .	2
<b>Tabla 2.1:</b> Contaminantes, fuentes e impacto en el medio ambiente y la salud relacionados con los puertos . . . . .	7
<b>Tabla 2.2:</b> Puertos seleccionados que desarrollan e implementan estrategias de reducción de las emisiones . . . . .	11
<b>Tabla 2.3:</b> Medidas potenciales de control de las emisiones . . . . .	12
<b>Tabla 3.1:</b> Recursos de verificación de tecnología ambiental . . . . .	18

# List of abbreviations

AARFVTP	Programa tecnológico de combustibles y vehículos renovables y alternativos
BNM	Buques de navegación marítima
CAAP	Plan de Acción Aire Limpio
CARB	Junta de Recursos del Aire de California
CEA	Análisis de costo-beneficio
CH <sub>4</sub>	Metano
CHE	Equipo de manipulación de la carga
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
COV	Compuestos orgánicos volátiles
DEF	Líquido de escape para combustible diésel
DOC	Catalizador de oxidación para motores diésel
DPF	Filtro de partículas para motores diésel
ECT	Tecnologías de control de las emisiones
EE. UU.	Estados Unidos
EGR	Recirculación de gases de escape
ERS	Estrategia de reducción de las emisiones
ESI	Índice Ambiental de Buques
ETV	Verificación de tecnología ambiental de la UE
FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
GEI	Gases de efecto invernadero
GloMEEP	Proyecto de asociaciones para la eficiencia energética marítima mundial
GLP	Gas licuado de petróleo
GNC	Gas natural comprimido
GNL	Gas natural licuado
HC	Hidrocarburo
HFO	Fueloil pesado
IAPH	Asociación Internacional de Puertos
ICCT	Consejo Internacional de Transporte Limpio
LF	Coeficiente de carga
MP	Materia particulada
MPD	Materia particulada de diésel
MW	Megavatios
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno
OMI	Organización Marítima Internacional

OPS	Suministro de energía eléctrica desde tierra
PANYNJ	Autoridad portuaria de Nueva York y Nueva Jersey
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
POLA	Puerto de Los Ángeles
POLB	Puerto de Long Beach
RTG	Grúa pórtico con neumáticos
SCR	Reducción catalítica selectiva
SO <sub>x</sub>	Óxidos de azufre
SPBP	Puertos de la Bahía de San Pedro
TEU	Unidad equivalente a veinte pies
UE	Unión Europea
US EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
VSR	Reducción de velocidad del buque
WPCI	Iniciativa Mundial de Puertos para la Protección Climática (IAPH)



# Reconocimientos

Esta Guía surge como resultado de la colaboración del Proyecto de asociaciones para la eficiencia energética marítima mundial (GloMEEP) FMAM-PNUD-OMI y la Asociación Internacional de Puertos (IAPH).



Starcrest Consultancy Group (Bruce Anderson, Paul Johansen, Lauren Dunlap, Archana Agrawal, Joe Ray, Denise Anderson, Melissa Silva, Sarah Flagg, Guiselle Aldrete y Jill Morgan) conforme a un acuerdo contractual con la IAPH.



También le debemos un agradecimiento a la Unidad de Coordinación del proyecto GloMEEP (Astrid Dispert y Minglee Hoe), a la División del Medio Marino de la OMI y a Leigh Mazany, quienes contribuyeron de forma invaluable al desarrollo de esta Guía.

Asimismo, deseamos agradecer a Fer van de Laar de la IAPH por su gran contribución y por todo el apoyo brindado.

Para obtener más información, contáctese con:

## **Unidad de Coordinación del proyecto GloMEEP**

División del Medio Marino  
Organización Marítima Internacional  
4 Albert Embankment  
Londres SE17SR  
Reino Unido  
Página web: <http://glomeep.imo.org>

## **Asociación Internacional de Puertos (IAPH)**

7th Floor, South Tower  
New Pier Takeshiba 1-16-1  
Kaigan, Minato-ku,  
Tokio 105-0022  
Japón

Página web: <https://www.iaphworldports.org/>



# Prefacio

Los puertos marítimos son grandes centros de actividad económica y, por lo general, se encuentran en los alrededores de zonas muy pobladas. El crecimiento del comercio mundial ha generado un rápido aumento de la cantidad de bienes que se transportan por mar. A pesar del enorme desarrollo del sector del transporte marítimo, en muchas partes del mundo, los esfuerzos para prevenir la contaminación no se han enfocado en las fuentes relacionadas con los puertos. A medida que se prioriza la reducción de las emisiones provenientes del transporte marítimo, los puertos se ven obligados a comprender la magnitud del impacto de las emisiones atmosféricas que resultan de sus operaciones en la comunidad local y mundial, así como a elaborar estrategias para reducirlo.

La clave de esta iniciativa es ofrecer un enfoque sistemático al análisis de las emisiones de contaminantes atmosféricos procedentes de fuentes portuarias mediante la elaboración de inventarios de las emisiones portuarias que aporten el componente esencial para desarrollar una estrategia de reducción de las emisiones en los puertos. Sin este inventario, puede resultar difícil determinar dónde se deben centrar los recursos para reducir las emisiones. Asimismo, sin el marco de referencia que este ofrece ni sus actualizaciones posteriores, será difícil vigilar la efectividad de cualquier estrategia de reducción de emisiones que se implemente.

Por tanto, estas Herramientas para las emisiones portuarias constan de dos guías individuales, que se describen a continuación:

## *Guía n.º 1: Evaluación de las emisiones portuarias*

Este trabajo está destinado a servir como una guía de recursos para los puertos que tienen la intención de desarrollar o mejorar sus análisis de emisiones de contaminantes atmosféricos o GEI. Esta guía emplea como base y desarrolla la labor previa de la IAPH y sus miembros, e incorpora los métodos y enfoques más actuales para el inventario de emisiones.

Si reconocemos que los buques no operan con independencia de las entidades en tierra dentro del sistema de transporte marítimo, las consideraciones sobre las emisiones portuarias deben extenderse más allá de los buques y abarcar todas las fuentes de emisiones relativas a los puertos, lo cual incluye los buques de navegación marítima, los buques de navegación nacional, los equipos de manipulación de la carga, los vehículos para tareas pesadas, las locomotoras y las redes eléctricas.

Esta guía pretende ser relevante para usuarios con diversos grados de experiencia, desde quienes recién comienzan el proceso de elaborar el inventario de emisiones hasta quienes tienen una amplia experiencia con el desarrollo de análisis de las emisiones en los puertos.

El trabajo se centra en la planificación y en las medidas fundamentales relacionadas con los análisis de las emisiones portuarias. Dado que los métodos técnicos para calcular los niveles de actividad y que las emisiones procedentes de fuentes portuarias se actualizan y se mejoran continuamente, esta guía también dirige al lector hacia los organismos

y los puertos que están a la vanguardia de los inventarios, las mediciones y los pronósticos, y que, a través de sus trabajos publicados, brindan métodos actualizados y datos indirectos para llevar a cabo evaluaciones de las emisiones en los puertos.



## Guía n.º 2: Elaboración de estrategias de reducción de las emisiones en los puertos

Este trabajo está destinado a servir como una guía de recursos para los puertos que desean desarrollar una estrategia de reducción de emisiones (ERS) para las fuentes relacionadas con los puertos. La presente guía se basa en los principios abordados en la Guía n.º 1 y describe los enfoques y los métodos que pueden utilizar los puertos para desarrollar, evaluar, implementar y monitorear las medidas voluntarias de control de las emisiones que exceden los requisitos normativos.

Esta guía se centra en las medidas que deben tenerse en cuenta como parte de un plan de ERS para aquellas fuentes móviles de emisiones relacionadas con los puertos que están asociadas con el movimiento de la carga. Aquí se resaltan los elementos clave que los puertos deberían considerar al desarrollar una ERS, los cuales comprenden la evaluación, la planificación y la implementación de medidas de control de las fuentes móviles de emisiones como parte de una ERS general. Asimismo, contiene enlaces a recursos que proporcionan información más detallada sobre áreas específicas.



# 1 Introducción

La presente Guía está destinada a los puertos interesados en desarrollar una estrategia de reducción de las emisiones (ERS) que dirija sus esfuerzos voluntarios a reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero (GEI) a niveles más bajos que los indicados en los requisitos normativos.

Un plan de ERS contiene medidas que un puerto aplicará y que exceden estos requisitos, ya que todo lo demás es simplemente por cumplimiento. Por definición, los controles de las emisiones que un puerto adopta de manera voluntaria van más allá de las normas, incluso cuando estas últimas no existen. Empezar reducciones de las emisiones de GEI cuando solo existe un objetivo nacional o regional a largo plazo pero no existen normativas que regulen las emisiones a corto plazo también va más allá de las normas. Las medidas adoptadas exclusivamente para cumplir con los requisitos normativos tienen su lugar en un plan de cumplimiento, pero no constituyen el objeto de este trabajo.

Esta guía se centra en las medidas que deben tenerse en cuenta como parte de un plan de ERS para las fuentes móviles de emisiones relacionadas con los puertos que están asociadas al movimiento de la carga. El documento pone de relieve los elementos principales que los puertos deberían considerar al elaborar una ERS, los cuales incluyen la evaluación, la planificación y la implementación de medidas de control de las fuentes móviles de emisiones como parte de una ERS general. Asimismo, contiene enlaces a recursos que proporcionan información más detallada sobre áreas específicas.

## 1.1 Elaboración de un inventario de emisiones

Antes de definir una estrategia de reducción de las emisiones, se recomienda elaborar un inventario de emisiones. Este es el elemento básico del análisis de las emisiones de un puerto, lo cual constituye el tema de Herramientas para las emisiones portuarias, *Guía n.º 1: Evaluación de las emisiones en los puertos*. Sin un inventario de emisiones, podría resultar difícil determinar dónde centrar los recursos para reducir las emisiones. Asimismo, sin el marco de referencia que ofrece ni sus actualizaciones posteriores, será difícil vigilar la efectividad de cualquier ERS que se implemente.

## 1.2 Toma de conciencia de la necesidad de reducir las emisiones relacionadas con los puertos

En la actualidad, la cadena mundial de logística depende fundamentalmente de los combustibles fósiles para satisfacer sus necesidades energéticas, los cuales producen contaminantes atmosféricos y emisiones de GEI perjudiciales. Los puertos son nodos multimodales dentro de la cadena de logística donde confluyen los diversos modos de trasladar las cargas. Por tanto, constituyen zonas con una gran concentración de actividades impulsadas por fueloil y diésel, que producen contaminantes atmosféricos que tienen impactos directos en la salud de las poblaciones locales y regionales.

Durante las últimas dos décadas, la presión ejercida sobre los puertos para reducir sus emisiones ha ido en aumento a nivel global. Con el crecimiento del comercio internacional, las actividades portuarias han aumentado drásticamente en algunas partes del mundo<sup>1</sup>. Las contribuciones relativas de las emisiones de contaminantes atmosféricos y GEI relacionadas con los puertos han aumentado a la par de este crecimiento y de las estrategias de reducción de las emisiones que se implementaron para las fuentes no portuarias en muchas partes del mundo (como la flota de vehículos que se utiliza en tareas livianas y el transporte público) y para las fuentes estacionarias (como las centrales eléctricas). Si bien el crecimiento comercial tiene

---

<sup>1</sup> Sharma DC. *Ports in a Storm*; Environmental Health Perspectives [Los puertos en una tormenta; Perspectivas de la salud ambiental]. 2006; 114(4): A222-A231.

beneficios económicos positivos para las ciudades portuarias y las regiones aledañas, también ha presionado a las comunidades cercanas al aumentar los riesgos para la salud que guardan relación con la contaminación atmosférica procedente de las operaciones portuarias. Las comunidades portuarias están buscando soluciones para reducir estos riesgos. Abordar esta presión es un desafío, dado que reducir las emisiones requiere una gran inversión financiera o modificaciones significativas de las operaciones. Sin la regulación de las fuentes móviles de emisiones relacionadas con los puertos, la cual está limitada en muchas jurisdicciones, los operadores no tienen motivación para reducirlas.

Además de la preocupación histórica por los contaminantes atmosféricos, en la última década, la preocupación por las emisiones de GEI ha aumentado considerablemente. Toda la cadena de logística tuvo la presión por reducir su huella de carbono en este respecto. En abril de 2018, la OMI aprobó la Estrategia inicial sobre la reducción de las emisiones de GEI procedentes de los buques, que confirma su compromiso con la reducción de las emisiones de GEI provenientes del transporte marítimo internacional de manera urgente, para eliminarlas por completo lo antes posible en este siglo. La Estrategia inicial contempla, por primera vez, una reducción de las emisiones de GEI totales provenientes del transporte marítimo internacional, que debería alcanzar su punto máximo lo antes posible y reducir las emisiones anuales totales de GEI al menos un 50 % para 2050 en comparación con 2008, mientras continúa con los esfuerzos por eliminarlas. Asimismo, envía una señal contundente al sector marítimo en general sobre la necesidad de estimular las inversiones para desarrollar combustibles con emisiones de carbono bajas o nulas y tecnologías innovadoras con una buena eficiencia energética. La Estrategia reconoce como posible acción a corto plazo la consideración y el análisis de medidas que fomenten las actividades y el desarrollo portuarios en todo el mundo para facilitar la reducción de las emisiones de GEI procedentes del transporte marítimo (lo cual abarca el abastecimiento de energía eléctrica de fuentes renovables en tierra y desde la costa o a bordo de los buques, y la infraestructura para respaldar el abastecimiento de combustibles alternativos con emisiones de carbono bajas o nulas) y para optimizar aún más la cadena de logística y su planificación, incluidos los puertos.

### 1.3 Fuentes móviles relacionadas con los puertos

Este documento se centra en las medidas destinadas a reducir las emisiones procedentes de fuentes móviles relacionadas con los puertos, que se asocian con el movimiento de la carga. Según la definición de US EPA<sup>2</sup>, los vehículos de motor, los motores y los equipos que se desplazan por sí solos o por un tercero de un lugar a otro se denominan «fuentes móviles». Comprenden tanto los vehículos que operan en carreteras y autopistas como los que no circulan por calles, los motores y los equipos. Cabe señalar que, por lo general, las fuentes estacionarias (es decir, aquellas que no se mueven) suelen estar excluidas de las estrategias de reducción de las emisiones en los puertos, ya que suelen tener autoridades normativas y administrativas diferentes. La identificación y la categorización de las emisiones relacionadas con la carga que proceden de fuentes móviles se centran en las actividades controladas o influenciadas por los puertos. Los equipos y los buques suelen agruparse por categoría de la fuente de las emisiones y por tipo de energía. Las categorías más comunes de fuentes móviles relacionadas con los puertos y sus tipos de energía se presentan en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1:** *Categorías de fuentes móviles relacionadas con los puertos y tipos de energía*

Tipo de fuente	Categoría de fuentes de emisión	Tipos de energía
Móvil	Buques de navegación marítima	fueloil, diésel, gas natural (GN), metanol
	Buques de navegación nacional	fueloil, diésel, GN
	Equipos de manipulación de la carga	diésel, GN, propano, gasolina, metanol, electricidad
	Vehículos para tareas pesadas	diésel, GN, electricidad
	Transporte ferroviario	diésel, GN, electricidad
	Vehículos para tareas livianas	diésel, GN, propano, gasolina, metanol, electricidad

Existen muchos tipos de fuentes móviles asociadas con las operaciones portuarias, pero no todas las categorías de las fuentes estarán presentes en todos los puertos.

<sup>2</sup> Visite el sitio web [http://opusinspection.com/documents/def\\_pollution.htm](http://opusinspection.com/documents/def_pollution.htm). Último acceso: agosto de 2018.

## 1.4 Problemas y oportunidades respecto de la reducción de emisiones

Según lo expuesto en las Herramientas para las emisiones portuarias, *Guía n.º 1: Evaluación de las emisiones portuarias*, existe una creciente presión pública y política sobre los puertos de todo el mundo para que aborden la contaminación atmosférica generada por las operaciones de movimiento de la carga y para que reduzcan su impacto en la salud humana y en el medio ambiente. Esta situación ha llevado a que algunas autoridades portuarias elaboren e implementen planes de ERS, los cuales son programas integrales de «aire limpio» que incluyen múltiples medidas de control de las emisiones de diversas fuentes. En el contexto portuario, estas medidas son los cambios tecnológicos u operativos voluntarios que se implementan a nivel local en un puerto para reducir las emisiones a niveles más bajos que los requeridos por las normas. Por lo general, los puertos no se encargan de la normativa ambiental. Como se explica en la Guía n.º 1, varios organismos de control de la contaminación (tanto internacionales como locales) son las entidades primarias que elaboran los estándares y la normativa sobre las emisiones. Sin embargo, los puertos pueden utilizar su posición única en la cadena de logística para realizar controles adicionales de las emisiones. Estas son las cuestiones que se abordan en una ERS.

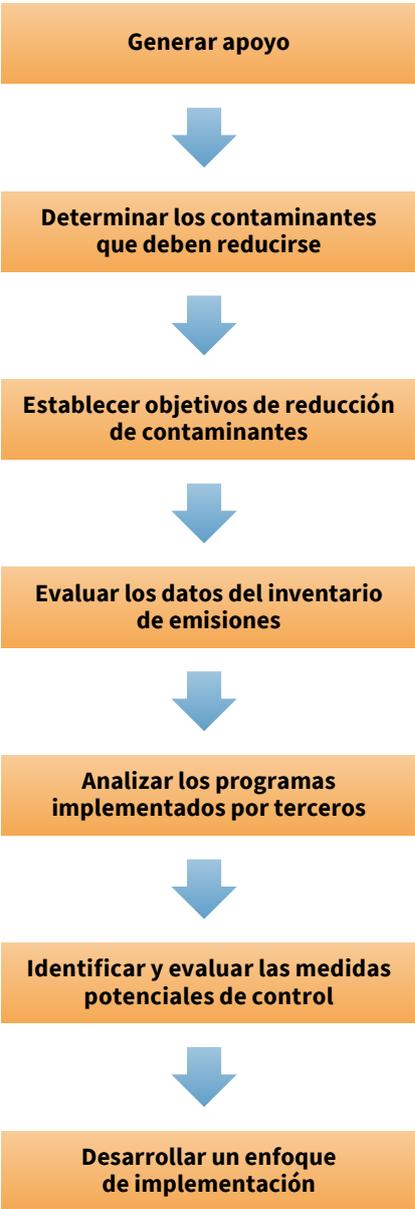
Para los puertos de algunas regiones del mundo, las normativas actuales sobre las fuentes de las emisiones relacionadas con ellos no son suficientes para que el puerto local pueda afrontar las presiones específicas, tanto políticas como de la comunidad; por eso, es necesario explorar estrategias adicionales para reducir las emisiones que vayan más allá de la normativa. Como se presenta en la Guía n.º 1, los motivos que impulsan a un puerto a considerar una ERS incluyen los estudios de las consecuencias para la salud que demuestran impactos considerables de las emisiones relacionadas con los puertos, la amenaza de una propuesta normativa para reducir dichas emisiones por parte de un organismo de reglamentación ambiental, o, simplemente, cumplir la propia meta del puerto en relación con la responsabilidad social. A los efectos de este documento, un plan de ERS se define como los objetivos y las medidas de control de las emisiones que exceden los requisitos normativos. La reducción de emisiones lograda gracias a estas estrategias constituye un «excedente» de las normas actuales. Las medidas de control de las emisiones de un plan de ERS deberían ser cuantificables; es decir, aquellas medidas que demuestran una reducción de las emisiones por medio de acciones que van más allá de las condiciones de referencia (lo cual incluye todos los requisitos normativos aplicables). Si bien las medidas cualitativas pueden incluirse en una ERS, documentar su éxito en la reducción de emisiones es complejo por lo difícil que resulta medir sus beneficios.

Las medidas de control de las emisiones pueden apuntar a los contaminantes atmosféricos, como la materia particulada (PM), los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) y los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), o a los GEI, en especial, al dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Los inventarios de emisiones se utilizan para identificar las oportunidades de reducción de las emisiones y para ayudar a cuantificar los beneficios de dichas estrategias.



# 2 Desarrollo de un plan de estrategias para la reducción de las emisiones

Cuando se elabora un plan de ERS, debe seguirse una serie de pasos que se ilustran en la Imagen 2.1 y se abordan en detalle en las secciones siguientes.



**Imagen 2.1:** Pasos para desarrollar un plan de estrategias para la reducción de las emisiones

A continuación, se presenta información adicional sobre cada uno de estos pasos.

## 2.1 Generar apoyo

Todos los proyectos y programas ambientales exitosos tienen, al menos, un aspecto en común: el respaldo de los líderes institucionales. De manera similar, cuando se elabora un plan de ERS, el compromiso de la gestión portuaria y de su órgano de gobierno es crucial para garantizar su éxito.

El plan de ERS exigirá recursos portuarios, lo cual incluye el tiempo del personal de varios departamentos y, dependiendo del ámbito de aplicación, el financiamiento para realizar tareas analíticas y de consultoría externas. Es esencial trabajar con otras partes interesadas en la reducción de las emisiones, tales como agencias de control de la contaminación, organismos no gubernamentales, grupos comunitarios y entidades comerciales, a fin de generar el apoyo necesario para el proyecto. Asimismo, resulta fundamental el compromiso de las empresas privadas que operan en la zona portuaria, en particular, las compañías navieras y los operadores de terminales, dado que la mayoría de los puertos no tienen control directo sobre estas operaciones. El éxito de la implementación de una ERS seguramente dependerá de una sólida asociación con las empresas privadas con el objetivo de aplicar las iniciativas de reducción de las emisiones, principalmente porque las medidas de control de emisiones de las ERS exceden las normas existentes.

Se aconseja designar a un gerente de proyectos para la ERS dentro del equipo interno del puerto. Esta persona debe recibir todo el apoyo de la gestión portuaria, incluida la provisión de financiamiento y de autoridad para tomar decisiones. Además, coordinará la participación de las partes interesadas en el desarrollo y la implementación del plan de ERS. Tanto comprender los objetivos y las preocupaciones de cada grupo de partes interesadas como proporcionar de una estructura para que dichas partes aborden estas cuestiones de forma constructiva y objetiva, suelen ser elementos necesarios para generar apoyo para una ERS que se pasan por alto. Con frecuencia, se recurrirá al gerente del proyecto para que resuelva los conflictos dentro de la comunidad de partes interesadas y logre un acuerdo que aborde las cuestiones que surjan, al mismo tiempo que se tienen bien definidos los objetivos de la ERS. El gerente del proyecto también será responsable de informar el progreso a la gestión portuaria y de mantener el cronograma y el presupuesto totales del proyecto del plan de ERS.

## 2.2 Determinar los contaminantes que deben reducirse

Es importante identificar con claridad los contaminantes que el plan de ERS debe tratar, los cuales pueden ser uno o más. En los casos en los que se atacan varios contaminantes, será útil establecer jerarquías entre ellos, ya que no todas las estrategias de reducción de emisiones serán efectivas para todos los contaminantes, y algunas pueden reducir uno al mismo tiempo que aumentan otro. Como los puertos suelen ubicarse cerca de las zonas pobladas, es probable que se priorice reducir los contaminantes atmosféricos que afectan la salud humana, como la MP, los NO<sub>x</sub> y los SO<sub>x</sub>, por sobre las emisiones de GEI, al menos hasta que se cumplan los estándares regionales de calidad del aire que se basan en la salud. Jerarquizar los contaminantes resulta útil para la elaboración de un plan de ERS porque tiene en cuenta la eliminación de las posibles medidas de control que no abordan las emisiones según la prioridad de los contaminantes. Dentro de la jerarquía, los contaminantes se clasifican en «críticos» y en «opcionales». En el caso de un contaminante clasificado como crítico, las medidas identificadas de control de las emisiones deben reducir ese contaminante específico para que sean tenidas en cuenta. En el caso de uno clasificado como opcional, las medidas identificadas que reducirían los contaminantes críticos y también el opcional recibirían mayor consideración.

En la Tabla 2.1 se presenta un resumen de los contaminantes relacionados con los puertos y sus fuentes, así como de las consecuencias en el medio ambiente y la salud.

Tabla 2.1: Contaminantes, fuentes e impacto en el medio ambiente y la salud relacionados con los puertos

Contaminante atmosférico	Fuentes	Impacto en el medio ambiente y la salud
Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ): es el término genérico para referirse a un grupo de gases altamente reactivos que contienen nitrógeno y oxígeno en diversas cantidades. La mayoría son incoloros e inodoros.	Los NO <sub>x</sub> se forman cuando se quema combustible a altas temperaturas (p. ej., en un proceso de combustión). Las fuentes primarias relacionadas con los puertos son el escape de los motores de los equipos y los vehículos en tierra, las embarcaciones marinas, la generación de energía no renovable y otras fuentes industriales y comerciales que queman combustible.	Los NO <sub>x</sub> pueden reaccionar con otros compuestos presentes en el aire y formar pequeñas partículas que se suman a las concentraciones de MP. También pueden combinarse con los COV y con la luz solar para formar ozono troposférico o smog. Los NO <sub>x</sub> y los COV son precursores del ozono. El ozono se vincula a la dificultad respiratoria, la tos, el dolor de garganta y la inflamación o el daño de las vías respiratorias, y puede agravar las afecciones pulmonares como el asma, el enfisema y la bronquitis crónica.
Materia particulada (MP): se refiere a las distintas partículas sólidas o de aerosol que están presentes en el aire. Las partículas de polvo, suciedad, hollín, humo y gases de escape se consideran MP. Generalmente, se la clasifica como MP total (o solo MP) o se divide en dos categorías más pequeñas: la PM <sub>10</sub> , formada por partículas de hasta 10 micrómetros de diámetro, y la PM <sub>2,5</sub> , formada por partículas de 2,5 micrómetros de diámetro o menos. La materia particulada de diésel (MPD) es un tipo de MP importante en algunas jurisdicciones.	La MP en suspensión es una mezcla de partículas sólidas y microgotas que se generan de diversas maneras. Las fuentes primarias relacionadas con los puertos son el escape de los motores de los equipos y los vehículos en tierra, las embarcaciones marinas, la generación de energía no renovable y otras fuentes industriales y comerciales que queman combustible. La MP también puede generarse en caminos o grandes áreas abiertas de tierra expuesta, donde los vehículos y los equipos la dispersan en el aire.	Las partículas finas son una gran preocupación porque su tamaño diminuto les permite ingresar con mayor profundidad en los pulmones y entrar en el torrente sanguíneo, lo que aumenta las posibilidades de tener problemas de salud. La exposición a la MP <sub>2,5</sub> está vinculada a las enfermedades respiratorias, la disminución de la función pulmonar, los ataques de asma, los ataques cardíacos y la muerte prematura.
Óxidos de azufre (SO <sub>x</sub> ): constituyen un grupo de gases incoloros y corrosivos que se producen mediante la quema de combustibles que contienen azufre.	Los SO <sub>x</sub> son un grupo de gases que se liberan cuando se queman los combustibles que contienen azufre en el proceso de combustión. Las fuentes primarias relacionadas con los puertos son el escape de los motores de los equipos y los vehículos en tierra, las embarcaciones marinas, la generación de energía no renovable y otras fuentes industriales y comerciales que queman combustible fósil.	Los SO <sub>x</sub> se relacionan con diversas afecciones respiratorias. Inhalarlos puede provocar un aumento en la resistencia de las vías aéreas, ya que estrecha los conductos pulmonares. Algunos se convierten en partículas de sulfato en la atmósfera y contribuyen a los niveles medidos de MP. Las altas concentraciones de SO <sub>x</sub> gaseosos pueden generar la formación de lluvia ácida, que daña los árboles y las plantas al deteriorar el follaje y disminuir el crecimiento.
Compuestos orgánicos volátiles (COV): son todo compuesto de carbono (distinto del CO, el CO <sub>2</sub> , el ácido carbónico, los carburos o carbonatos metálicos y el carbonato de amonio) que participa en las reacciones fotoquímicas en la atmósfera.	Los COV se generan cuando se quema combustible en el proceso de combustión. Las fuentes primarias relacionadas con los puertos son el escape de los motores de los equipos y los vehículos en tierra, las embarcaciones marinas, la generación de energía no renovable y otras fuentes industriales y comerciales que queman combustible. Asimismo, los líquidos que contienen COV se utilizan para numerosas aplicaciones industriales y comerciales, donde pueden volatilizarse en el aire.	Además de contribuir a la formación del ozono, algunos COV se consideran tóxicos aéreos que contribuyen a una gran variedad de efectos negativos sobre la salud. Algunos COV también se consideran MP.

Contaminante atmosférico	Fuentes	Impacto en el medio ambiente y la salud
Monóxido de carbono (CO): es un gas tóxico incoloro e inodoro que suele formarse cuando los combustibles con carbono no se queman por completo.	El CO se forma durante la combustión incompleta de combustibles. Las fuentes primarias relacionadas con los puertos son el escape de los motores de los equipos y los vehículos en tierra, las embarcaciones marinas, la generación de energía no renovable y otras fuentes industriales y comerciales que queman combustible.	El CO se combina con la hemoglobina de los glóbulos rojos y disminuye la capacidad de la sangre de transportar oxígeno. También debilita las contracciones cardíacas, lo que reduce la cantidad de sangre que se bombea al organismo. Puede afectar las funciones cerebrales y pulmonares.
Contaminante del cambio climático	Fuentes	Impacto en el medio ambiente y la salud
Gases de efecto invernadero (GEI): los típicamente emitidos por las fuentes relacionadas con los puertos incluyen el dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), el metano (CH <sub>4</sub> ) y el óxido nitroso (N <sub>2</sub> O). Aquellos otros gases que las fuentes marítimas no emiten en grandes cantidades o que no forman parte de este inventario también contribuyen al cambio climático.	Los GEI provienen tanto de los procesos naturales como de las actividades humanas. Las fuentes primarias relacionadas con los puertos son el escape de los motores de los equipos y los vehículos en tierra, las embarcaciones marinas, la generación de energía no renovable y otras fuentes industriales y comerciales que queman combustible.	La mayoría de los científicos que estudian el clima están de acuerdo en que la principal causa de la tendencia actual de calentamiento global es la expansión humana del «efecto invernadero». El calentamiento se produce cuando la atmósfera retiene el calor que se irradia desde la Tierra hacia el espacio. Ciertos gases de la atmósfera, llamados «GEI», no permiten que este escape. Como resultado, se producen cambios extremos e inusuales en los patrones climáticos dentro de la atmósfera de la Tierra.

Algunas de las estrategias que reducen los contaminantes atmosféricos también pueden tener el beneficio de reducir los gases de efecto invernadero. Estas pueden tener más prioridad, dado que cumplen múltiples objetivos.

### 2.3 Establecer objetivos de reducción de contaminantes

El plan de ERS debería incluir objetivos y metas de reducción de las emisiones, que buscará lograr. Estas metas deberían poder rastrearse y medirse. En los casos en los que se fijan basándose en el uso de las tecnologías emergentes que todavía no han sido probadas, puede resultar útil establecer metas intermedias que ayuden a medir el progreso y el estado de esa tecnología.

Se puede fijar una meta para uno o más contaminantes. Por ejemplo, un puerto puede buscar reducir la MP un 85 % en 10 años desde un nivel de referencia. Esta meta podría aplicarse en todas las categorías de las fuentes. En ese caso, sería necesario elaborar medidas de control de las emisiones que estén destinadas a reducir considerablemente la MP procedente de las fuentes que más la producen. Alternativamente, se puede fijar una meta para una categoría particular de fuente de emisiones. Por ejemplo, un puerto podría centrarse en convertir todo el equipo de manipulación de la carga de diésel a eléctrico. Este tipo de objetivo se aplicaría a una categoría de fuente en particular y puede que no incluya la meta de reducir un contaminante específico. Este enfoque puede generar varias metas (una por cada categoría de fuente).

Una consideración clave al fijarlas es la viabilidad de los cambios tecnológicos y operativos, así como la disponibilidad de financiamiento para llevar a cabo las inversiones necesarias. Si estos elementos no se tienen en cuenta de manera adecuada, pueden dificultar la implementación exitosa de la ERS. Con frecuencia, resulta tentador establecer metas ambiciosas a fin de enviar una señal al sector privado para que inviertan en el desarrollo de tecnología. Este enfoque suele tener éxito solo si el puerto tiene una posición dominante en el mercado y ofrece suficiente financiación para desarrollar y demostrar las tecnologías. Otra consideración clave es el rango de operaciones al que se dirigen los objetivos. Los puertos normalmente no poseen ni operan la mayoría de las fuentes de las emisiones, ya que arrendan sus instalaciones a operadores privados. Casi siempre, los buques de navegación marítima son controlados por terceros. Una ERS exitosa debería definir con claridad los ámbitos de operación (es decir, solo las fuentes de emisiones que están bajo el control directo del puerto frente a las fuentes de emisiones controladas por arrendatarios o terceros) que se establecen como objetivo.

Asimismo, debería considerar los desafíos relacionados con la fijación de metas de reducción de emisiones para las operaciones que están fuera del control directo del puerto.

## 2.4 Evaluar los datos del inventario de emisiones

Comprender las fuentes de emisiones relacionadas con los puertos y sus perfiles operativos es fundamental para evaluar las posibles medidas de control a fin de incluirlas en un plan de ERS. Una de las mejores formas de tener más información sobre las fuentes y las operaciones es crear un inventario detallado de las emisiones. Una vez que se seleccionan los contaminantes y se les asigna una jerarquía, el análisis del inventario de emisiones conduce a la identificación del equipo y los buques que contribuyen considerablemente a las emisiones totales o individuales de una determinada categoría de fuente.

La información fundamental que se debería analizar en el inventario de emisiones incluye, entre otros datos, el tipo de la fuente de emisiones, el consumo de energía (por lo general, en kilovatios hora o kWh), la edad y el tamaño del motor (generalmente, en kilovatios o kW), el tipo de combustible, la población, los datos del propietario o el operador, el tiempo de estadía en el puerto, información sobre si el equipo o buque atracó en el puerto o solo hace escala allí periódicamente, y las emisiones asociadas. Una medida que se suele utilizar para evaluar las fuentes de las emisiones es emisiones por kWh (por ejemplo, MP/kWh, toneladas de NO<sub>x</sub>/kWh, etc.). A continuación, se ofrece más información sobre estos elementos informativos claves:

- Las categorías y los tipos de fuentes de emisiones son importantes para agrupar las emisiones de modo que puedan evaluarse en más detalle. Las estrategias de reducción suelen aplicarse solo a tipos específicos de fuentes de emisiones. Las categorías de fuentes móviles de emisiones relacionadas con los puertos incluyen los buques de navegación marítima, los equipos de manipulación de la carga, los camiones de carretera, las locomotoras y los vehículos de las terminales. Según las operaciones que se llevan a cabo en cada categoría, las fuentes móviles de emisiones se pueden subdividir en los siguientes tipos:
  - **Buques de navegación marítima:** cocheros, transporte a granel (carga a granel automática, astillas de madera a granel, etc.), portacontenedores, carga general, carga líquida a granel (crudos, productos, asfalto, etc.), transbordo rodado, etc.
  - **Buques de navegación nacional:** remolcadores de asistencia, remolcadores, embarcaciones de prácticos, buques auxiliares, buques de policía y de bomberos, etc.
  - **Equipos de manipulación de la carga:** palas topadoras, tractores para astilleros, grúas (grúas pórtico sobre neumáticos, grúas pórtico sobre rieles, grúas de muelles, grúas sobre vías, etc.), horquillas elevadoras, etc.
  - **Camiones:** grandes camiones (transportan cargas o contenedores por carretera), camiones repartidores (son más pequeños y prestan servicios), etc.
  - **Locomotoras:** locomotora de maniobras, equipo de halar líneas, etc.
  - **Vehículos de terminales:** camionetas, sedanes, etc.
- El consumo de energía identifica las fuentes de emisiones que más trabajan; las emisiones de contaminantes brindan información sobre cuáles fuentes generan la mayor cantidad de emisiones; y las emisiones por medida de consumo energético ayudan a comprender la eficiencia relativa respecto de las emisiones entre las fuentes. También es importante destacar el tipo de energía que usa cada equipo o buque, ya que las estrategias de reducción de las emisiones pueden limitarse a determinados tipos de energía.
- Por lo general, la edad del motor es un indicador del nivel de las emisiones, ya que, a mayor edad, mayor la contaminación que produce. Deberá procurarse que la edad del motor y la del equipo se registren, dado que en algunos casos no coinciden.

- El tamaño y la tecnología del motor pueden ser fundamentales al identificar las posibles estrategias porque es probable que estas solo se puedan aplicar dentro de ciertos anchos de banda con potencia nominal (generalmente, expresados en kW), tiempos (p. ej., dos tiempos, cuatro tiempos, etc.) y tecnologías de motores (p. ej., mecánica, control electrónico, etc.). El tamaño del motor también determina la cantidad de trabajo: a mayor tamaño, mayor trabajo.
- Los tipos de combustible (por lo general, diésel, pero puede ser fueloil pesado, querosén, combustible líquido destilado o gasoil para usos marinos, gas natural, metanol, electricidad, etc.) tienen perfiles diferentes de contaminantes atmosféricos y emisiones de GEI. Pueden variar según las categorías de fuente e incluso dentro de ellas. Para los combustibles diésel, el contenido de azufre (expresado como «porcentaje de azufre») es un parámetro importante, dado que influye directamente en las emisiones de azufre y MP.
- La población es importante porque tiene consecuencias directas sobre la complejidad, los costos y la efectividad de una determinada medida de control. El equipo y los buques se pueden clasificar por tipo o subtipo, y los recuentos poblacionales de cada uno son útiles. Para los buques de navegación marítima, también es importante evaluar la cantidad de escalas por buque para identificar aquellos de la flota (población) que hacen escalas con frecuencia, ya que puede ser necesario diferenciar entre quienes realizan escalas con frecuencia y quienes no cuando se apliquen las medidas de control.
- Es importante contar con los datos del propietario o el operador de cada fuente de emisiones para identificar si el puerto tiene titularidad o control sobre ella o si está controlada por un arrendatario o terceros. Esto tiene repercusiones en la relación con las partes interesadas y en el diseño y la implementación de medidas individuales de control.
- El tiempo de permanencia en el puerto es un aspecto a tener cuenta, dado que el equipo y los buques pueden estar en su puerto de origen o haciendo una escala. Hay casos en los que se mueven otros puertos o terminales en el transcurso uno o más años. Se aconseja no implementar una medida de control de las emisiones en piezas de equipos que probablemente abandonen el puerto luego de que se haya realizado la inversión. Este es uno de los desafíos más importantes para las medidas de control en relación con los buques y también puede serlo para las otras categorías de fuentes.

## 2.5 Analizar los programas implementados por terceros

Una vez que se identifica la prioridad de cada contaminante y se establecen las metas, conviene evaluar la labor de otros puertos, en especial de aquellos que han abordado problemas de contaminación similares. Además de analizar otros programas de reducción de las emisiones en los puertos que estén disponibles de manera pública, se recomienda hacer todo lo posible para encontrar otros puertos que puedan estar utilizando una ERS que todavía no sea pública. Estos esfuerzos pueden ofrecer oportunidades de aprender las prácticas recomendadas en términos de la fijación de metas, la evaluación de posibles estrategias, las lecciones aprendidas y otros elementos fundamentales para el éxito o el fracaso de la implementación de un plan de ERS. Esta información es útil tanto para implementar medidas de control de las emisiones procedentes de fuentes móviles como para prevenir los resultados deficientes. Es importante comprender que no todas las medidas que se implementan en los puertos han logrado alcanzar las metas de reducción establecidas, y que el intercambio de prácticas recomendadas entre los puertos puede aumentar la tasa de éxito de las implementaciones de ERS.

La siguiente tabla presenta un listado a modo de ejemplo de distintos puertos del mundo que se han dedicado a desarrollar e implementar estrategias de reducción de las emisiones.

**Tabla 2.2:** Puertos seleccionados que desarrollan e implementan estrategias de reducción de las emisiones

Puertos	Categorías de fuentes de emisiones	Comienzo	Enlace
Puerto de Los Ángeles	Todas	2001	<a href="https://www.portoflosangeles.org/idx_environment.asp">https://www.portoflosangeles.org/idx_environment.asp</a> <a href="http://www.cleanairactionplan.org/">http://www.cleanairactionplan.org/</a>
Puerto de Long Beach	Todas	2001	<a href="http://www.polb.com/environment/default.asp">http://www.polb.com/environment/default.asp</a> <a href="http://www.cleanairactionplan.org/">http://www.cleanairactionplan.org/</a>
Alianza de Puertos Marítimos del Noroeste	Todas	2007	<a href="https://www.nwseaportalliance.com/environment">https://www.nwseaportalliance.com/environment</a>
Puerto de Vancouver	Todas	2007	<a href="https://www.portvancouver.com/environment/air-energy-climate-action/">https://www.portvancouver.com/environment/air-energy-climate-action/</a>
Puerto de Rotterdam			<a href="https://www.portofrotterdam.com/en/the-port/sustainability">https://www.portofrotterdam.com/en/the-port/sustainability</a>
Puerto de Antwerp			<a href="http://www.portofantwerp.com/en/air-quality">http://www.portofantwerp.com/en/air-quality</a>
Puerto de Ámsterdam			<a href="https://www.portofamsterdam.com/en/port-amsterdam/sustainability-future-proof-port-customers-and-local-community">https://www.portofamsterdam.com/en/port-amsterdam/sustainability-future-proof-port-customers-and-local-community</a>
Autoridad portuaria de Nueva York y Nueva Jersey	Todas	2009	<a href="https://www.panynj.gov/port-authority/en/about/Environmental-Initiatives.html">https://www.panynj.gov/port-authority/en/about/Environmental-Initiatives.html</a>
Puerto de Oakland	Todas	2008	<a href="http://www.portoakland.com/community/environmental-stewardship/maritime-air-quality-improvement-plan/">http://www.portoakland.com/community/environmental-stewardship/maritime-air-quality-improvement-plan/</a>
Puerto de San Diego	Todas	2007	<a href="https://www.portofsandiego.org/environment">https://www.portofsandiego.org/environment</a>
Puerto de Houston	Todas	2009	<a href="http://porthouston.com/environment/air-quality/">http://porthouston.com/environment/air-quality/</a>
Junta Marítima y Portuaria de Hong Kong	BNM	2013	<a href="https://www.enb.gov.hk/en/files/New_Air_Plan_en.pdf">https://www.enb.gov.hk/en/files/New_Air_Plan_en.pdf</a>

## 2.6 Identificar y evaluar las medidas potenciales

Una vez que se completaron los pasos anteriores, se puede comenzar con la identificación y la evaluación de las medidas potenciales de control de las emisiones, donde se desarrollarán aquellas medidas específicas para el plan de ERS.

Para realizar un análisis de las posibles medidas, existen muchas otras fuentes además de las que se detallan en la Tabla 2.2. La siguiente tabla identifica varias publicaciones que incluyen listas de posibles medidas de control de las emisiones, organizadas por categoría de fuentes.

Las medidas potenciales que se elijan para la categoría de fuente de interés podrán analizarse utilizando los recursos de las Tablas 2.2 y 2.3, así como los ejemplos incluidos en la Sección 3 a modo de guía.

Deben analizarse y clasificarse según las prioridades establecidas por la autoridad portuaria. Esta clasificación es fundamental para garantizar que los recursos asignados logren las metas de la ERS. La manera en que se clasifican las medidas depende de cada puerto. Entre los aspectos a tener en cuenta, se incluyen los contaminantes atmosféricos a los que apunta la medida, los beneficios añadidos de reducir los contaminantes atmosféricos y las emisiones de GEI, la cercanía del puerto a los núcleos poblacionales, el costo de implementar cada estrategia, la disponibilidad comercial de la tecnología, el mantenimiento de los equipos, el grado de aceptación de las partes interesadas, la carga administrativa y el cronograma de implementación. Una vez que se clasificaron, el puerto puede implementar las medidas potenciales más adecuadas que satisfagan las metas de reducción de las emisiones de la ERS de la mejor manera. Esto permite que el puerto asigne un presupuesto de varios años para financiar las medidas seleccionadas y para asegurarse de que los recursos finitos no se desperdicien en esfuerzos que no cumplirán las metas de la ERS.

**Tabla 2.3: Medidas potenciales de control de las emisiones**

Referencia	Categorías de las fuentes de la ERS	Enlace
OMI 2015. Estudio del control de las emisiones y de las medidas de eficiencia energética para los buques que se encuentran en las zonas portuarias, Organización Marítima Internacional (OMI), preparado por Starcrest Consulting Group, LLC, CE Delft, Civic Exchange, febrero de 2015.	Buques de navegación marítima	<a href="https://greenvoyage2050.imo.org/wp-content/uploads/2021/01/STUDY-OF-EMISSION-CONTROL-AND-ENERGY-EFFICIENCY-MEASURES-FOR-SHIPS-IN-THE-PORT-AREA.pdf">https://greenvoyage2050.imo.org/wp-content/uploads/2021/01/STUDY-OF-EMISSION-CONTROL-AND-ENERGY-EFFICIENCY-MEASURES-FOR-SHIPS-IN-THE-PORT-AREA.pdf</a>
ICCT 2012. Desarrollo de programas de aire limpio en los puertos: Actualización de 2012 de las «Herramientas sobre la calidad del aire» de la Asociación Internacional de Puertos, Consejo Internacional sobre Transporte Limpio (ICCT), preparado por Starcrest Consulting Group, LLC, junio de 2012.	Todas	<a href="https://theicct.org/sites/default/files/ICCT_SCG_Developing-Clean-Air-Programs_June2012.pdf">https://theicct.org/sites/default/files/ICCT_SCG_Developing-Clean-Air-Programs_June2012.pdf</a>
IAPH 2008. Herramientas de la IAPH para los Programas de aire limpio en los puertos, sitio web, Asociación Internacional de Puertos (IAPH), preparado por miembros de la Iniciativa Mundial de Puertos para la Protección Climática (WPCI) de la IAPH, 2008.	Todas	<a href="https://sustainableworldports.org/">https://sustainableworldports.org/</a>

## 2.7 Desarrollar un enfoque de implementación

Hay una serie de consideraciones relativas a la implementación que deben tenerse en cuenta cuando se elabora un plan de ERS. Las ERS contienen muchas medidas de control que pueden implementarse de diversas formas. El puerto deberá evaluar los enfoques de implementación disponibles para determinar el que mejor se ajuste a cada medida de control de las emisiones de la ERS. Algunos aspectos a considerar cuando se desarrolla el enfoque para una medida de control en particular son los siguientes:

- Las afirmaciones de los vendedores de tecnología.
- El enfoque administrativo.
- La coordinación y la colaboración con las partes interesadas.
- El análisis de costo-beneficio.
- El modelado, el monitoreo y la generación de informes.
- Los ciclos de análisis y de ajuste.

Cada uno de ellos se aborda en las subsecciones que aparecen a continuación.

### 2.7.1 Afirmaciones de los vendedores de tecnología

A medida que los puertos elaboren programas para implementar las medidas de control de las emisiones, los vendedores de tecnología contactarán a los puertos para que incluyan sus tecnologías en las medidas de la ERS. Los puertos deberían verificar las afirmaciones de los vendedores respecto de sus capacidades tecnológicas, así como de su capacidad para cumplir con los compromisos. Se recomienda solicitar los datos de las pruebas de emisiones procedentes de compañías independientes dedicadas a realizarlos, a fin de documentar las afirmaciones de los vendedores sobre la reducción de las emisiones.

Otro punto a considerar es que los puertos no deberían actuar de modo que parezca que respaldan a ciertos fabricantes o vendedores. Al mantener una perspectiva neutral desde el punto de vista tecnológico y establecer estándares de rendimiento, en vez de especificar un determinado producto o compañía, se garantizará que los operadores de los equipos no consideren responsable al puerto si la tecnología no cumple con las expectativas.

### 2.7.2 Enfoque administrativo

El plan de ERS debería abordar los enfoques técnicos y administrativos que son necesarios para reducir las emisiones procedentes de las operaciones portuarias. Los enfoques técnicos son las diversas medidas de control de las emisiones que pueden aplicarse a las operaciones y a los equipos, las cuales se identifican y evalúan en la sección 2.6. Los enfoques administrativos constituyen las distintas formas en las que se implementan estas medidas de la ERS.

Los puertos del mundo tienen organizaciones administrativas diferentes. Algunos son empresas privadas; otros son administrados por el gobierno, con o sin poderes normativos; otros son asociaciones público-privadas. Algunos generan ganancias que pueden controlar para utilizarlas en programas operativos o ambientales, mientras que otros generan ganancias que se transfieren al Estado, el cual controla la asignación de fondos para las operaciones. Cada uno de estos modelos requiere un enfoque administrativo distinto.

Algunos de los enfoques de implementación que emplean los puertos del mundo incluyen los siguientes:

- Modificaciones del arrendamiento de la terminal o del acuerdo con esta
- Cambios en las tarifas
- Incentivos y desincentivos
- Adopción voluntaria

Cada puerto determinará los enfoques administrativos más efectivos para implementar las medidas individuales de control de las emisiones. Estos enfoques de implementación deberían ser evaluados en una fase temprana y abordados en el plan de ERS. Probablemente, será necesario combinar distintos enfoques para implementar las medidas del plan, en especial si comprende múltiples categorías de fuentes.

El Puerto de Los Ángeles y el Puerto de Long Beach manifestaron en su Plan de Acción Aire Limpio que «la combinación más efectiva de estrategias de implementación incluye una combinación de requisitos para el arrendamiento, cambios en las tarifas, incentivos, subvenciones y esfuerzos voluntarios con el respaldo de los requisitos normativos. Esta combinación es redundante para implementar las [metas] en caso de que no pudiera aplicarse una de las otras estrategias específicas»<sup>3</sup>.

Si el plan de ERS se elaboró con suficiente detalle, implementar la estrategia de reducción de las emisiones será un proceso directo. Eso no quiere decir que sea sencillo. La aplicación de las medidas de control tomará una gran cantidad de tiempo y esfuerzo del personal, los clientes, los fabricantes de equipos y los propietarios. Es importante comprender que se deberá llevar a cabo un gran trabajo, tanto a corto como a largo plazo, para garantizar que las metas planificadas se cumplan y se sostengan. Estos desafíos impulsan la necesidad de evaluaciones, actualizaciones y ajustes periódicos del plan de ERS.

### 2.7.3 Coordinación y colaboración con las partes interesadas

Un plan de comunicación especificará cómo se debe explicar el plan de ERS a diversas audiencias y determinará los mensajes clave. Según la forma en la que se organice el puerto, puede que el mensaje deba adaptarse a diferentes grupos dentro de la organización. Lo mismo ocurre con la comunicación a las partes interesadas fuera de la administración portuaria, es decir, los clientes, los arrendatarios, los socios comerciales, los residentes locales y la comunidad portuaria.

### 2.7.4 Análisis de costo-beneficio

El análisis de costo-beneficio (CEA) es un enfoque evaluativo que ofrece a los organismos de control de la contaminación a nivel portuario, gubernamental y ambiental una herramienta para comparar los costos relativos de dos o más medidas de control de las emisiones y sus efectos o resultados. El CEA resulta especialmente beneficioso cuando se comparan medidas de control relacionadas con una determinada categoría de fuente.

---

<sup>3</sup> SPBP 2010. Plan de Acción Aire Limpio de los Puertos de la Bahía de San Pedro, actualizado en 2010; preparado en conjunto con el Puerto de Los Ángeles y el Puerto de Long Beach, octubre de 2010.

Los efectos de una medida de control se cuantifican en términos de la cantidad de contaminantes que se reducen en gramos, kilogramos, libras, toneladas, toneladas métricas, etc. El costo-beneficio suele evaluarse en una proporción de unidad monetaria por masa del contaminante (\$/tonelada, €/tonelada métrica, £/tonelada métrica), pero algunos organismos prefieren utilizar una proporción de masa del contaminante por unidad monetaria (libras/\$, kilogramos/€) u otras variaciones, tales como \$/tonelada métrica para las reducciones de GEI. El análisis de costo-beneficio permite que las medidas enfrentadas se clasifiquen por la cantidad de emisiones que reducen en relación con la inversión en financiamiento. Las más eficientes en cuanto al costo se clasifican como las mejores opciones.

Sin embargo, un aspecto importante de este proceso de toma de decisiones es reconocer que, mientras una medida puede estar debajo de otras en la clasificación por no ser la más eficiente, su impacto aún debe tenerse en cuenta cuando se evalúe en forma individual. Si, de un grupo de medidas, una tiene una eficiencia de \$1 000 000/tonelada (en otras palabras, su costo es de \$1 000 000 por cada tonelada de emisiones que se reduce), por lo general, no se implementaría sin una gran justificación cualitativa, dado que hay otras medidas con una rentabilidad mucho mayor. Sin embargo, esta medida de control podría ser tomada en cuenta de cualquier modo si disponible y viable para abordar un riesgo grave para la salud que afecta a buena parte de la población.

Nótese que aquí el CEA se considera «prospectivo» o como un análisis que se realiza antes de seleccionar e implementar una medida. Un enfoque evaluativo que regrese a la medida una vez finalizada para evaluar los resultados reales resultaría útil para compararlos con los supuestos y las expectativas originales. Si son sustancialmente diferentes, las lecciones aprendidas pueden aplicarse en nuevos esfuerzos de implementación. Consulte el Anexo 2, donde encontrará un debate pormenorizado y ejemplos de cálculos del CEA.

### 2.7.5 Modelado, monitoreo y generación de informes

Puede ser útil modelar los posibles beneficios respecto de las emisiones que se esperan del plan de ERS. Mediante el uso de un inventario de emisiones de referencia y la aplicación de supuestos de medidas de control basados en las medidas específicas y los cronogramas identificados, se pueden estimar los beneficios de la implementación del programa. Esto servirá como un análisis comparativo adicional para el programa.

A fin de supervisar el éxito de las diversas medidas que se implementan en última instancia, es fundamental contar con un sistema diseñado para hacer un seguimiento del progreso. Si este sistema gestiona la implementación de las medidas del plan de ERS, permitirá garantizar que los objetivos de dicho plan se logren dentro del cronograma establecido. A medida que se implementan las medidas, se puede comparar su efectividad con las predicciones y las expectativas, y, de ser necesario, se pueden realizar modificaciones que la mejoren. La capacidad de incorporar los resultados del mundo real en el plan de ERS aumentará las posibilidades de éxito.

La generación de informes también es útil para documentar el progreso y la efectividad del plan de ERS para las partes interesadas. Los informes sobre los esfuerzos de implementación del plan de ERS, incluidas tanto las estrategias exitosas como las lecciones aprendidas, tienen una gran importancia para los otros puertos, ya que les permite conocer las estrategias y evaluar si pueden reproducirlas con la misma efectividad.

### 2.7.6 Ciclos de análisis y de ajuste

Durante la implementación del plan de ERS, se encontrarán obstáculos, y será inevitable que una o más medidas se demoren o solo se implementen de manera parcial. Estos desafíos deberían ser documentados, y se debería elaborar un proceso para identificar otras formas de lograr las metas subyacentes del plan de ERS. Por lo general, se siguen los siguientes pasos:

- Utilizar un sistema de seguimiento para controlar el progreso del plan de ERS.
- Evaluar cuán bien funciona el plan de ERS con las medidas establecidas.
- Calcular los resultados de las medidas de control de las emisiones.
- Cuantificar las emisiones que se redujeron e identificar dónde hubo mejoras en los rendimientos operativos.

La información del sistema de seguimiento debería analizarse en intervalos regulares, los cuales deberían programarse en tiempos razonables. Comprometerse con un cronograma de actualizaciones demasiado exhaustivo podría ser contraproducente, ya que requerirá recursos humanos. Deberían establecerse logros y objetivos intermedios para evaluar el progreso y la eficacia de cada medida de control de las emisiones. Luego, se pueden introducir los pequeños ajustes o los grandes cambios que sean necesarios para seguir mejorando el plan de ERS. Mientras se implementen las medidas, puede que sea necesario ajustar los objetivos (por ejemplo, una vez que todos los camiones cumplan con los nuevos estándares más estrictos de emisiones, se podría implementar un nuevo objetivo que se centre en las tecnologías avanzadas, como los vehículos sin emisiones). En un sentido más amplio, las actualizaciones periódicas del inventario de emisiones (por ejemplo, anuales o bienales) permiten analizar el progreso con objetividad y destacar las medidas más efectivas de control de las emisiones para el plan de ERS.



# 3 Resumen de las medidas de control de las emisiones

Según los marcos estratégicos para el control de las emisiones desarrollados por la OMI en los Estudios sobre la contaminación atmosférica y la eficiencia energética, Volumen 2, «Estudio del control de las emisiones y de las medidas de eficiencia energética para los buques de la zona portuaria»<sup>4</sup>; el Índice Ambiental de Buques (ESI) de la IAPH<sup>5</sup>; el Plan de Acción Aire Limpio (CAAP) del Puerto de Long Beach (POLB), el Puerto de Los Ángeles (POLA) y los Puertos de la Bahía de San Pedro (SPBP)<sup>6</sup>, y otras estrategias de reducción de las emisiones en los puertos implementadas por puertos miembros de la IAPH, las medidas de control de las emisiones pueden agruparse en las siguientes categorías:

- **Equipos:** los cambios físicos en las máquinas y los equipos existentes, o el reemplazo de los equipos más viejos y contaminantes por otros más nuevos, limpios y eficientes, incluidos los que se mencionan a continuación:
  - Tecnologías de los motores
  - Tecnologías de las calderas
  - Tecnologías de reducción de emisiones (de pre- y postratamiento)
  - Reemplazo de motores y equipos
- **Energía:** las medidas relativas a las fuentes de energía utilizadas por los buques y los equipos portuarios:
  - Fuentes de energía y tipos de combustibles
  - Suministro de energía alternativo
  - Hibridación
- **Operativas:** las medidas relativas a mejorar la eficiencia operativa:
  - Eficiencia operativa de la fuente de las emisiones
  - Eficiencia operativa de la terminal
  - Eficiencia operativa de todo el puerto

Las medidas pueden implementarse por diferentes medios, tales como nuevas compras, reemplazos, remotorizaciones y retroadaptaciones.

- **Nueva compra:** Todo buque, parte de un equipo o infraestructura de una terminal que sea nueva se diseña teniendo en cuenta la generación de emisiones más limpias o la eficiencia energética. Las incorporaciones a una flota se llevan a cabo de modo que el proyecto más limpio disponible se seleccione

<sup>4</sup> OMI 2015. Estudio del control de las emisiones y de las medidas de eficiencia energética para los buques que se encuentran en las zonas portuarias, Organización Marítima Internacional (OMI), preparado por Starcrest Consulting Group, LLC, CE Delft, Civic Exchange, febrero de 2015. Visite el sitio web <https://greenvoyage2050.imo.org/wp-content/uploads/2021/01/STUDY-OF-EMISSION-CONTROL-AND-ENERGY-EFFICIENCY-MEASURES-FOR-SHIPS-IN-THE-PORT-AREA.pdf>, consultado en febrero de 2018.

<sup>5</sup> IAPH 2018. Índice ambiental de buques; sitio web, Asociación Internacional de Puertos (IAPH), preparado por miembros del Programa Mundial de Sustentabilidad en Puertos (WPSP) de la IAPH, 2018. Visite el sitio web <https://www.iaphworldports.org/environmental-ship-index-es/>, consultado en febrero de 2018.

<sup>6</sup> SPBP 2017. 2017 Plan de Acción Aire Limpio de los Puertos de la Bahía de San Pedro, preparado en conjunto con el Puerto de Los Ángeles y el Puerto de Long Beach, noviembre de 2017. Visite el sitio web <http://www.cleanairactionplan.org/>, consultado en febrero de 2018.

para la nueva compra. También se denomina «nueva construcción» y, según el tipo de equipo, puede constituir un enfoque de menor costo, en comparación con la remotorización y la retroadaptación para reducir las emisiones. La utilidad del enfoque de la nueva compra es que la disponibilidad está limitada por el cronograma de los fabricantes y por los largos plazos necesarios para poner una unidad nueva en servicio.

- **Reemplazo:** El reemplazo amplía el enfoque de nueva compra para incluir la eliminación de un vehículo o un equipo similar de la flota (es decir, la unidad vieja se reubica, se retira o se desecha) y la compra de una unidad de reemplazo que sea más limpia.
- **Remotorización:** En el caso de la remotorización, se extrae el motor antiguo del buque o del equipo y se coloca una fuente de energía o un motor más nuevo y limpio y que genera menos emisiones.
- **Retroadaptación:** La retroadaptación implica que las tecnologías de reducción de las emisiones y de eficiencia energética se incorporan a los equipos o buques existentes. No comprenden la extracción del motor, como ocurre en la remotorización. En el caso de los buques, las retroadaptaciones pueden ser más costosas que las nuevas construcciones, dado que es difícil modificar los buques existentes para reducir las emisiones (p. ej., espacio muy limitado en la sala de máquinas, problemas de compatibilidad, etc.). Sin embargo, donde es posible aplicar la retroadaptación (como en los equipos de carretera y algunos que no circulan por ella), este enfoque puede ser más rápido y ofrece beneficios similares a los de las nuevas construcciones.

A fin de aumentar la disponibilidad de las tecnologías que pueden utilizarse con los enfoques mencionados, algunos puertos implementan programas de avance tecnológico para acelerar el desarrollo y la comercialización de tecnologías limpias. Estos programas proporcionan financiación mediante subvenciones para compartir el costo que conlleva proyectar, probar, evaluar y comercializar esta tecnología. Como los puertos necesitan asegurarse de que la reducción de las emisiones sea cuantificable, algunos organismos de control de la contaminación adoptan medidas de verificación de las tecnologías de control de las emisiones. Esta verificación ofrece un mecanismo para que las autoridades reguladoras aprueben el uso de tecnologías limpias en ciertas aplicaciones. El proceso detallará las reducciones específicas que pueden afirmarse al implementar una tecnología verificada. Estos valores de reducción de las emisiones procedentes de la verificación tecnológica pueden utilizarse durante los análisis de las emisiones para documentar cómo varían a partir de la aplicación de las tecnologías. Los siguientes recursos recomendados se ofrecen como un punto de partida para investigar las estrategias y las medidas de reducción de las emisiones relacionadas con los puertos:

**Tabla 3.1:** Recursos de verificación de tecnología ambiental

Recurso	Organización	Notas	Enlace
<b>Programa Mundial de Sustentabilidad en Puertos</b>	IAPH	Sitio web de referencia de las prácticas recomendadas y las estrategias de control de las emisiones relacionadas con los puertos	<a href="https://sustainableworldports.org/">https://sustainableworldports.org/</a>
<b>Programa de Avance Tecnológico</b>	Puerto de Long Beach Puerto de Los Ángeles	Informes anuales sobre numerosas evaluaciones tecnológicas y proyectos de demostración de la reducción de las emisiones en los puertos	<a href="https://cleanairactionplan.org/technology-advancement-program/">https://cleanairactionplan.org/technology-advancement-program/</a>
<b>Tecnologías Verificadas de Reducción de las Emisiones</b>	Junta de Recursos del Aire de California	El sitio enumera las tecnologías verificadas de reducción de las emisiones, los niveles de emisión y las aplicaciones asociadas en la actualidad.	<a href="https://www.arb.ca.gov/diesel/verdevt/cvt.htm">https://www.arb.ca.gov/diesel/verdevt/cvt.htm</a>
<b>Programa de Verificación de Tecnología Ambiental</b>	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos	El sitio enumera las tecnologías verificadas de reducción de las emisiones, los niveles de emisión y las aplicaciones asociadas en la actualidad.	<a href="https://www.epa.gov/verified-diesel-tech/verified-technologies-list-clean-diesel">https://www.epa.gov/verified-diesel-tech/verified-technologies-list-clean-diesel</a>

Recurso	Organización	Notas	Enlace
<b>Verificación de Tecnología Ambiental de la Unión Europea (UE)</b>	Verificación de Tecnología Ambiental de la UE	El sitio enumera las tecnologías verificadas de reducción de las emisiones, los niveles de emisión y las aplicaciones asociadas en la actualidad.	<a href="https://ec.europa.eu/environment/ecoap/etv_en">https://ec.europa.eu/environment/ecoap/etv_en</a>
<b>DANETV</b>	Centro Danés para la Verificación de Tecnologías Climáticas y Ambientales	El sitio enumera las tecnologías verificadas de reducción de las emisiones, los niveles de emisión y las aplicaciones asociadas en la actualidad.	<a href="http://www.etv-denmark.com/">http://www.etv-denmark.com/</a>
<b>ETV Canada</b>	Verificación de Tecnología Ambiental de Canadá	El sitio enumera las tecnologías verificadas de reducción de las emisiones, los niveles de emisión y las aplicaciones asociadas en la actualidad.	<a href="http://etvcanada.ca/">http://etvcanada.ca/</a>
<b>Programa de Verificación de Tecnología Ambiental</b>	Ministerio de Medioambiente		<a href="http://www.env.go.jp/policy/etv/en/">http://www.env.go.jp/policy/etv/en/</a>
<b>Nueva Tecnología Excelente</b>	Instituto Tecnológico de Industria Ambiental de Corea		<a href="https://www.koetv.or.kr/eng/home/default.jsp">https://www.koetv.or.kr/eng/home/default.jsp</a>

### 3.1 Medidas para los equipos

Debido al uso predominante de los equipos diésel en las operaciones relacionadas con los puertos, las medidas de reducción de las emisiones relacionadas con los equipos en estas instalaciones suelen centrarse en reducir las emisiones procedentes de los motores y las calderas de diésel y fueloil diésel mediante la generación de mejoras en las tecnologías, la instalación de tecnologías pre- y postratamiento para la reducción de las emisiones de los motores y el reemplazo de los motores más viejos y contaminantes por otros más nuevos y limpios. Un aspecto a tener en cuenta es que, en algunas ocasiones, las medidas para los equipos pueden producir grandes reducciones de ciertas emisiones de contaminantes específicas pero aumentar las de otros. Por ejemplo, las unidades de reducción catalítica selectiva pueden reducir considerablemente las emisiones de NO<sub>x</sub> en detrimento del consumo de energía y el aumento de las emisiones de GEI. Asimismo, algunas tecnologías solo son efectivas con ciertas condiciones de funcionamiento o ciclos de trabajo. Por lo tanto, es importante garantizar la compatibilidad entre la tecnología y el equipo, así como entre la tecnología y los ciclos de trabajo con los cuales opera el equipo (es decir, la carga, la temperatura del motor, etc.).

Por lo general, las medidas para los equipos se desarrollan para un tipo de equipo en particular, con una categoría de fuente de emisiones, y están dirigidas a determinadas emisiones de contaminantes. Las medidas para los motores se suelen diseñar, en un primer momento, para una categoría específica de fuente de emisiones, y luego se adaptan y se transfieren a otras. Por ejemplo, los filtros de materia particulada de diésel, que son una tecnología de postratamiento, se desarrollaron para los equipos de manipulación de la carga más pequeños accionados por diésel, y luego se rediseñaron para funcionar en los de mayor tamaño, en camiones de carretera y en transportes ferroviarios con motores diésel, los cuales tienen una amplia gama de potencias nominales y ciclos de trabajo de los motores.

A continuación, se presenta una serie de ejemplos de medidas de control de los equipos que se han implementado con éxito en los puertos, clasificados por categoría de la fuente de emisión:

#### 3.1.1 Buques de navegación marítima

Hay disponibles diversas y numerosas medidas de control de las emisiones para reducirlas de manera eficaz y mejorar la eficiencia energética de los buques de navegación marítima. La OMI ha ahondado en este asunto con su Estudio del control de las emisiones y de las medidas de eficiencia energética para los buques que se

encuentran en las zonas portuarias<sup>7</sup>. Por el momento, no hay ninguna solución común y eficiente para reducir la MP y el NO<sub>x</sub> de los buques, ni se ve una en el futuro cercano. Gracias al carácter singular de los buques y las tecnologías de control de las emisiones, es necesario analizar cada caso en particular para determinar si una medida es eficaz, tanto en término de emisiones como de costos.

Medida		Mejoras en el motor
<b>Descripción</b>	Las mejoras de los motores principales y auxiliares ayudan a reducir las emisiones de MP, NO <sub>x</sub> y SO <sub>x</sub> . Las medidas para reducir las emisiones procedentes de los motores principales pueden incluir las válvulas de distribución, la depuración por agua de mar y la modernización de los motores. Las medidas para los motores auxiliares incluyen la reducción catalítica selectiva (RCS) (solo para los NO <sub>x</sub> ) y la modernización de los motores o la renovación de los equipos con otros más limpios.	
<b>Consideraciones técnicas</b>	Es necesario realizar una prueba de funcionamiento y viabilidad para asegurar el funcionamiento y la adecuación de una tecnología de control de las emisiones (ECT) para aplicaciones marinas. En particular, muchas ECT requieren analizar la temperatura de los gases de escape basándose en el registro de datos sobre dicha temperatura para su medición. Una gran cantidad de ECT no son eficaces a temperaturas de funcionamiento bajas, dado que muchas tienen umbrales mínimos para la temperatura de los gases de escape que son necesarios para el funcionamiento y la eficacia de la tecnología. Las tecnologías de control de las emisiones que han sido certificadas o verificadas por organismos reguladores (como los programas de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y de la Junta de Recursos del Aire de California) tienen más probabilidades de otorgar los beneficios previstos.	
<b>Opciones para la implementación</b>	Requisitos de arrendamiento para los operadores de las terminales Incorporación de aranceles y costos portuarios Incentivos financieros para los operadores de buques o terminales (para reducir el costo de una medida) Un enfoque que se utiliza con éxito en los puertos de los Estados Unidos es diseñar e implementar un «Programa de Avance Tecnológico» que demuestre la factibilidad de las ECT en aplicaciones marinas.	
<b>Otras consideraciones</b>	Aunque las medidas para equipos con ECT brindan beneficios en cuanto a la reducción de emisiones, pueden surgir dificultades con la factibilidad de la tecnología. Los costos varían ampliamente porque muchas de las tecnologías para los buques de navegación marítima (en especial, las retroadaptaciones) todavía son experimentales.	

### 3.1.2 Buques de navegación nacional, buques de navegación interior y embarcaciones de servicio portuario

Las medidas para los equipos que pueden aplicarse para abordar las emisiones procedentes de los buques de navegación nacional suelen ser adaptaciones de las tecnologías o estrategias que se desarrollaron para los equipos que circulan por carretera y otros que no, dado que el tamaño de los motores es similar y que las modificaciones necesarias para permitir su uso en el medio marino son menores que para los buques de navegación marítima. Algunas de las medidas también pueden aplicarse a los equipos de dragado. Por lo general, algunas medidas variarán en cuanto a su compatibilidad según el tamaño y la función del equipamiento.

Medida		Remotorización
<b>Descripción</b>	Reemplazar los motores principales y auxiliares existentes de los buques de navegación nacional con motores más limpios que cumplan con las normas más recientes y estrictas sobre la calidad del aire. Por ejemplo, los Estados Unidos poseen motores diésel que cumplen con las normas del nivel II y del nivel III de la US EPA. Reemplazar un motor de nivel 0 con uno de nivel II reducirá el NO <sub>x</sub> hasta un 47 %. Los de nivel III reducirán el NO <sub>x</sub> y la MP hasta un 90 % en comparación con sus equivalentes del nivel 0. La Unión Europea tiene normas similares para motores limpios de buques de navegación interior, Etapa III (vigente en la actualidad) y Etapa V (comenzará en 2019).	

<sup>7</sup> OMI 2015. Estudio del control de las emisiones y de las medidas de eficiencia energética para los buques que se encuentran en las zonas portuarias, Organización Marítima Internacional (OMI), preparado por Starcrest Consulting Group, LLC, CE Delft, Civic Exchange, febrero de 2015. Visite el sitio web <https://greenvoyage2050.imo.org/wp-content/uploads/2021/01/STUDY-OF-EMISSION-CONTROL-AND-ENERGY-EFFICIENCY-MEASURES-FOR-SHIPS-IN-THE-PORT-AREA.pdf>, consultado en agosto de 2018.

Medida	Remotorización
<b>Consideraciones técnicas</b>	Una estrategia para reemplazar el motor de un buque de navegación marítima incluirá la extracción del motor original para reemplazarlo por uno más nuevo y limpio. No siempre hay garantía de que el motor de reemplazo será compatible con el buque, incluso en modelos similares de años diferentes. Asimismo, los modelos de motores nuevos pueden tener controles de las emisiones u otro equipamiento que no se ajuste al espacio que hay actualmente en la sala de máquinas.  Reemplazar los motores de propulsión principales por unos más limpios producirá importantes beneficios respecto de las emisiones, los cuales se acumularán durante el resto de la vida útil del equipo. En el caso de los buques de navegación nacional, este es un aspecto muy importante porque la vida útil total de un motor puede llegar a las 30 o 40 años.
<b>Otras consideraciones</b>	Los motores más limpios son costosos, lo cual puede significar una carga económica. Para un buque de navegación nacional de mediano porte, el costo total de la renovación del motor puede rondar entre \$0,5 millones y \$1,5 millones de dólares, con una variación amplia según el tipo de motor, el acceso, los costos del astillero, los costos de oportunidad y otros factores. Destruir motores viejos también puede aumentar los costos. Idealmente, deberían declararse inutilizables para que no puedan seguir contaminando.

Medida	Tecnologías de control de las emisiones
<b>Descripción</b>	Las ECT adicionales que pueden aplicarse a los buques de navegación nacional incluyen equiparlos con los mejores controles de contaminación de los motores que se encuentren disponibles y usar aditivos para combustible y tecnologías de postratamiento para el control de las emisiones. Las ECT pueden incluir dispositivos de postratamiento de los gases de escape, como el catalizador de oxidación diésel (DOC), el filtro de materia particulada diésel (DPF) y la reducción catalítica selectiva (SCR), o tecnologías de eficiencia energética del motor y del combustible, como los inyectores de combustible modernos, los controles informáticos y las actualizaciones de software, lo cual permite ahorrar combustible y generar mezclas de aire y combustible más eficientes para el motor. Los fabricantes de motores y los distribuidores de tecnologías de control de las emisiones pueden brindar asesoramiento técnico a los propietarios y los operadores de buques para que seleccionen las ECT más adecuadas para sus embarcaciones. Cuando evalúe las diferentes tecnologías de control de las emisiones, considere aquellas que hayan demostrado su éxito en buques similares al buque en cuestión.
<b>Consideraciones técnicas</b>	Del mismo modo que con los buques de navegación marítima (sección 3.2.1), se debe realizar una prueba de funcionamiento y viabilidad para garantizar el funcionamiento y la compatibilidad de una tecnología de control de las emisiones (ECT) para aplicaciones marinas.
<b>Opciones para la implementación</b>	Requisitos de arrendamiento para los operadores de las terminales Incorporación de aranceles y costos portuarios  Incentivos financieros para los operadores de buques o terminales (para ayudar a reducir el costo de una medida)  Diseñar un Programa de Avance Tecnológico que demuestre la factibilidad y la eficacia de las ECT para aplicaciones marinas y tenga en cuenta el uso de las tecnologías más recientes.
<b>Otras consideraciones</b>	El costo varía ampliamente según el tipo de ECT y el buque en el que se aplican.  El uso de estas tecnologías demuestra tener beneficios positivos respecto de las emisiones, ya que reduce la MP, el NO <sub>x</sub> , el CO y los hidrocarburos (HC). No todas las ECT reducen todos los contaminantes. La retroadaptación de los buques de navegación nacional con ECT puede ser un desafío; es importante realizar una evaluación y un análisis en detalle para asegurar que se logre la mayor cantidad posible de beneficios con una ECT en particular.

### 3.1.3 Equipo de manipulación de la carga (CHE)

Con frecuencia, las medidas para reducir las emisiones del equipo de manipulación de la carga tienen más disponibilidad y viabilidad que las categorías de buques, ya que suelen derivar directamente de las medidas que se desarrollaron para la flota de vehículos de carretera. A continuación, se presentan algunos ejemplos de estrategias y ECT que se implementaron con éxito para reducir las emisiones del equipo de manipulación de la carga.

Medida	Reemplazo de los equipos para cumplir con las normas más estrictas de limpieza
<b>Descripción</b>	<p>En algunos casos, los gerentes de las flotas de CHE prefieren comprar equipamiento nuevo con motores nuevos en lugar de remotorizar o retroadaptar el equipo más antiguo con motores nuevos de reemplazo. Los beneficios respecto de las emisiones serían parecidos, ya sea que se reemplacen los equipos o se renueven los motores.</p> <p>Varios países han adoptado normas para las emisiones limpias de motores diésel para el equipamiento que no circula por carretera, las cuales pueden aplicarse a los CHE que se utilizan en los puertos. Estas normas de emisiones están divididas en fases a medida que pasa el tiempo. Por ejemplo, la EPA de los Estados Unidos tiene normas que van del nivel I al IV, mientras que la UE tiene normas similares para motores limpios llamadas Euro III, IV y V.</p> <p>En los puertos de Nueva York y Nueva Jersey, los operadores de las terminales de contenedores más importantes están reemplazando los tractores, cuya vida útil es de 5 a 10 años, con equipamiento nuevo con los motores para carretera más limpios que existen, lo cual hacen de manera voluntaria por su conveniencia económica. Los operadores de terminales también realizan grandes inversiones para reemplazar las viejas grúas pórtico que funcionan con diésel por piezas que ofrecen funciones eléctricas de regeneración, también con una justificación económica.</p>
<b>Consideraciones técnicas</b>	<p>Esta estrategia comprende reemplazar las flotas de CHE con equipamiento más moderno, menos contaminante y más eficiente en cuanto al consumo de combustible. El único aspecto técnico que se debe tener en cuenta es que el equipo de reemplazo tenga una utilidad similar a la del reemplazado.</p>
<b>Opciones para la implementación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Programas voluntarios</li> <li>– Incentivos</li> <li>– Renovaciones o renegociaciones de los arrendamientos</li> <li>– Educación de las partes interesadas</li> </ul>
<b>Otras consideraciones</b>	<p>El costo del CHE representa una pequeña parte de los costos totales de la vida útil relacionados con los costos operativos y de mantenimiento. El costo de la mano de obra para que los talleres de mantenimiento de las terminales renueven este equipo también debe incluirse en el proceso de toma de decisiones. Los equipos nuevos tienen garantías, lo cual podría reducir los costos de mantenimiento. Cada gerente de la flota deberá considerar los costos y los beneficios relativos para su operación.</p> <p>La compra de equipos nuevos de manipulación de la carga que cumplan con las normas de motores más limpios para los equipos que circulan por carretera y los que no generará beneficios en cuanto a la reducción de las emisiones y, si las condiciones son adecuadas, será una buena estrategia de negocios. El desafío puede ser la disponibilidad de motores más limpios en el mercado internacional y el costo de reemplazarlos antes de que finalice la vida útil prevista del equipo.</p>

Medida	Tecnologías de control de las emisiones
<b>Descripción</b>	<p>Retroadaptación del CHE con las mejores ECT disponibles. Estas pueden incluir el catalizador de oxidación diésel (DOC), el filtro de materia particulada diésel (DPF) y la reducción catalítica selectiva (SCR). Cuando evalúe las diferentes tecnologías de control de las emisiones, considere las ECT que hayan demostrado su éxito en CHE similares al que se planea renovar. Para aumentar aún más la reducción de las emisiones, reforme los motores de estos equipos con las ECT.</p>
<b>Consideraciones técnicas</b>	<p>Es necesario realizar una prueba de funcionamiento y de viabilidad para asegurar el funcionamiento y la adecuación de una tecnología de control de las emisiones (ECT) para CHE. En particular, muchas ECT requieren analizar la temperatura de los gases de escape mediante el registro de datos sobre dicha temperatura, a los fines de su medición. Muchas ECT tienen umbrales mínimos para la temperatura de los gases de escape, que son necesarios para el funcionamiento y la eficacia de la tecnología. Las tecnologías de control de las emisiones que han sido certificadas o verificadas por organismos reguladores (como los programas de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y de la Junta de Recursos del Aire de California) tienen más probabilidades de otorgar los beneficios previstos.</p>
<b>Opciones para la implementación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Requisitos de arrendamiento para los operadores de las terminales</li> <li>– Imposición de tarifas</li> <li>– Incentivos</li> <li>– Diseñar un Programa de Avance Tecnológico que demuestre la factibilidad de las ECT en el CHE. Este programa debe tener en cuenta el uso de las tecnologías nuevas.</li> </ul>

Medida	Tecnologías de control de las emisiones
<b>Otras consideraciones</b>	<p>Considere retroadaptar las grúas pórtico con neumáticos (RTG) existentes con tecnología híbrida. Retroadaptar estas grúas y convertirlas en híbridas es menos costoso que comprar unas nuevas. Además, el motor más pequeño podría reducir el consumo de combustible y las emisiones.</p> <p>Aplicar las ECT ha demostrado tener beneficios positivos respecto de las emisiones, ya que reduce la MP, el NO<sub>x</sub>, el CO y los hidrocarburos (HC). La retroadaptación de los equipos de manipulación de la carga con estas tecnologías puede ser un desafío, por lo que se debe realizar una evaluación y un análisis en detalle. Algunas tecnologías de retroadaptación tienen consecuencias negativas en el consumo de combustible.</p>

### 3.1.4 Camiones de carretera

Medida	Reemplazo del equipo para cumplir con las normas más estrictas de limpieza
<b>Descripción</b>	<p>La estrategia más eficaz para reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos procedentes de los camiones de carretera es reemplazar los camiones más viejos por otros nuevos, equipados con motores que cumplan normas estrictas respecto de las emisiones y con ECT desde su fabricación, lo cual abarca el DPF, la SCR, la regeneración de los gases de escape (EGR), etc. Los motores con SCR requieren utilizar combustible con bajo contenido de azufre y un aditivo a base de urea, conocido comúnmente como «líquido de escape para combustible diésel» (DEF), de modo que la SCR funcione como corresponde y no dañe los materiales catalíticos. A fin de aprovechar al máximo el reemplazo de los vehículos, se deberían crear programas que garanticen que los vehículos reemplazados no se utilicen en otros lugares.</p> <p>Si reemplazar el vehículo en su totalidad excede los recursos presupuestarios disponibles, una opción de menor costo es reemplazar el motor por uno más moderno y con emisiones más bajas. Sin embargo, es fundamental garantizar que el motor de reemplazo sea compatible con los demás componentes del vehículo, así como con la cubierta del compartimento del motor disponible. También se debe verificar la compatibilidad con el resto de la transmisión del vehículo y con las interfaces líquida y eléctrica.</p> <p>Los vehículos de carretera también pueden reformarse con ECT para disminuir las emisiones. Los motores diésel no equipados con DPF pueden ser retroadaptados, pero, como ocurre con los vehículos que no circulan por carretera, muchas ECT requieren el análisis de la temperatura de los gases de escape. Aunque los DPF son muy eficaces para controlar la MP, el control de las emisiones de NO<sub>x</sub> requiere la instalación de una SCR. Como se menciona más arriba, las ECT de postratamiento suelen requerir el uso de combustible diésel con bajo contenido de azufre. En el caso de la SCR, se necesita dosificar los componentes y el DEF consumible, así como la unidad de SCR.</p>
<b>Consideraciones técnicas</b>	<p>Esta estrategia consiste en reemplazar las flotas de camiones de carretera por equipamiento más moderno, menos contaminante y más eficiente en términos de consumo de combustible. El único aspecto que se debe tener en cuenta es que el equipo de reemplazo tenga una utilidad similar a la del reemplazado. Si se decide reformar el motor, debe verificarse la compatibilidad con otros componentes del vehículo.</p>
<b>Opciones de implementación</b>	<p>Las autoridades portuarias pueden implementar esta estrategia con un programa de reemplazo de camiones que ofrezca incentivos a los propietarios u operadores que reemplacen los camiones antiguos, (p. ej., por medio de un programa de subvenciones). Algunas entidades han prohibido que los camiones antiguos hagan escala en sus terminales o puertos.</p>

### 3.1.5 Locomotoras

Medida	Reemplazo de motor
<b>Descripción</b>	<p>Por lo general, las locomotoras diésel tienen una vida útil larga y son un componente esencial de la infraestructura para transportar la carga. En la actualidad, hay muy pocas reformas de ECT disponibles para locomotoras, aunque se han realizado retroadaptaciones en sistemas DPF y SCR<sup>8</sup> con diversos grados de éxito.</p> <p>Esta medida implica el reemplazo del motor diésel con uno de nivel superior (es decir, con emisiones más bajas) y el rediseño de la locomotora.</p>
<b>Consideraciones técnicas</b>	<p>Las locomotoras deben volver a fabricarse de manera adecuada. Si el país no cuenta con una normativa vigente, se deberían seguir las normas de la EPA de los Estados Unidos o las de la UE.</p>

<sup>8</sup> Visite el sitio web <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-11/documents/cat-loco-sc-verification-ltr-2016-08-08.pdf>

Medida	Reemplazo de motor
<b>Opciones de implementación</b>	El costo de reemplazar el motor de una locomotora diésel es alto, pero los beneficios respecto de las emisiones han aumentado debido a las normas más recientes para motores que se encuentran disponibles (Nivel 4 en los Estados Unidos y Etapa 4 en la Unión Europea). El reacondicionamiento de las locomotoras es una alternativa menos costosa que el reemplazo. Una opción es buscar subvenciones del gobierno que ayuden a pagarlo.

### 3.2 Medidas energéticas

Las estrategias energéticas relacionadas con los puertos se centran en las fuentes de energía que usan los buques o el equipamiento portuario, ya sea que se encuentren físicamente a bordo o en tierra (p. ej., el suministro eléctrico desde tierra). Estas estrategias incluyen el uso de combustibles alternativos o más limpios y de sistemas de energía alternativa. A continuación, se presenta una serie de ejemplos de estrategias energéticas que se han implementado en los puertos con éxito, clasificados por categoría de fuentes:

#### 3.2.1 Buques de navegación marítima

Medida	Combustibles más limpios
<b>Descripción</b>	Implica la utilización de combustibles destilados con bajo contenido de azufre en los motores auxiliares o de propulsión de los buques de navegación marítima dentro de las aguas costeras de un puerto. Se puede lograr una reducción considerable de la MP si los buques de navegación marítima utilizan combustibles destilados o alternativos, como el GNL y los biocombustibles, en lugar de fueloil pesado (HFO).
<b>Consideraciones técnicas</b>	Puede ser necesario tener un tanque de combustible aparte a bordo para almacenar el combustible con bajo contenido de azufre. Quizás precise coordinar con los proveedores de combustible, las compañías navieras y otros para asegurarse de que haya combustible con bajo contenido de azufre disponible. Del mismo modo, si se adopta este enfoque, se debería asegurar la disponibilidad de GNL o biodiésel durante toda la travesía del buque o solo cerca de los puertos.
<b>Opciones de implementación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Requisitos de arrendamiento</li> <li>– Cambios en las tarifas</li> <li>– Programas de incentivo (como el ESI)</li> </ul>
<b>Ventajas y desventajas</b>	Beneficios por reducir las emisiones de NO <sub>x</sub> , PM y otros contaminantes. Pueden surgir desafíos con la disponibilidad de combustible con bajo contenido de azufre y al instalar un tanque o un puesto de aprovisionamiento de combustible a bordo. Otro inconveniente puede ser la contaminación del combustible. Puede que sea necesario limpiar los tanques de combustible para los combustibles diésel con contenido de azufre extremadamente bajo. Respecto del GNL o el biodiésel, se deberá llevar a cabo una evaluación minuciosa de las posibles consecuencias negativas en las emisiones de GEI. Por ejemplo, utilizar GNL puede provocar fugas de metano, lo cual genera un mayor potencial de calentamiento global que el CO <sub>2</sub> .

Medida	Reducción de las emisiones del suministro de energía desde tierra y del estacionamiento
<b>Descripción</b>	<p>La energía de tierra para los buques, también denominada «suministro de energía eléctrica en puerto», se centra en reducir las emisiones durante la estadía (estacionamiento) de los buques de navegación marítima en el puesto de atraque. Esta estrategia tiene dos enfoques: 1) suministro eléctrico de tierra, que consiste en proporcionar electricidad a los buques de navegación marítima mientras se encuentran en el puesto de atraque, donde la energía se genera en fuentes estacionarias reguladas; y 2) requisitos de reducción de las emisiones durante el estacionamiento mediante tecnologías alternativas, como los sistemas de control de las emisiones en gabarra para los buques que no estén aptos para el modelo de energía de tierra.</p> <p>Puede que las condiciones operativas y de infraestructura no ofrezcan el 100 % de las capacidades de conexión al suministro de energía eléctrica de tierra, o que un buque que no suele hacer escalas no esté listo para utilizar dicha conexión. En esas condiciones, puede garantizarse una tecnología alternativa, como el sistema de lavado de gases de escape en gabarras. En California, existen dos sistemas opuestos basados en gabarras que están en funcionamiento y que se fijan a las chimeneas de escape de los buques para filtrar los contaminantes provenientes de los motores auxiliares cuando el buque está en el puesto de atraque.</p>

Medida	Reducción de las emisiones del suministro de energía desde tierra y del estacionamiento
<b>Consideraciones técnicas</b>	<p>Se requiere una gran infraestructura de energía eléctrica, transformadores y conexiones, tanto en puerto como a bordo de cualquier buque que se conecte al suministro de energía eléctrica de tierra. Es necesario determinar las necesidades energéticas adecuadas para cada terminal y garantizar la adaptabilidad. Puede ser necesario actualizar la infraestructura eléctrica regional para posibilitar las cargas. Debe tenerse en cuenta el perfil energético de la compañía eléctrica que suministra la energía a la terminal, a fin de evaluar las emisiones de contaminantes atmosféricos y GEI generadas por el uso de la energía desde tierra. Algunas compañías eléctricas operan centrales con carbón sin utilizar sistemas de lavado ni otro tipo de tecnologías de control de las emisiones. Una compañía local que utilice una fuente de combustible relativamente más limpia y cuente con tecnologías de control de las emisiones optimizará los beneficios del suministro de energía desde tierra. Si se considera el uso de los sistemas de lavado de gases de escape en gabarras, las limitaciones del espacio de atraque podrían restringir la cantidad de sistemas basados en gabarras que se pueden desplegar, ya que puede haber poco espacio disponible para que esas unidades amarren cuando no están en uso. Además, en un puerto, cada terminal puede requerir su propia y única solución basada en gabarras, lo que puede limitar la distribución de los sistemas basados en gabarras entre las terminales.</p>
<b>Opciones de implementación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Requisitos de arrendamiento para los operadores de las terminales</li> <li>– Incentivos</li> <li>– Cambios en las tarifas</li> <li>– Financiamiento</li> </ul>

Medida	Reducción de las emisiones del suministro de energía desde tierra y del estacionamiento
<p><b>Otras consideraciones</b></p>	<p>La energía desde tierra es una de las pocas estrategias de control de las emisiones que pueden utilizar los puertos y las compañías navieras para reducir las emisiones provenientes de los buques amarrados. El suministro de energía eléctrica en puerto no es efectivo para todos los buques ni tipos de buques.</p> <p>Esta estrategia funciona mejor cuando los buques operan en servicios de línea, que tienen los mismos buques en una rotación frecuente por las mismas terminales durante una determinada cantidad de años, debido a la infraestructura que necesitan los equipos a bordo y la necesidad de actualizar una terminal para respaldar el aprovisionamiento de energía de tierra. Por lo general, los servicios de línea comprenden los cruceros, los buques portacontenedores, algunas operaciones de buques tanques que transportan líquido o productos químicos a granel, buques tanque para el transporte de gas de petróleo licuado (GPL) y algunas operaciones de carga general.</p> <p>Además de la frecuencia con la que los mismos buques hacen escala en la misma terminal, otro factor fundamental es la cantidad de energía que consumen los buques mientras están en el puesto de atraque. La energía es la combinación del consumo eléctrico del buque durante su estadía en el puesto de atraque y del tiempo de estadía allí. Los cruceros representan un extremo, dado que tienen tiempos de estadía muy cortos, pero su consumo eléctrico en el puesto de atraque es alto, al igual que la frecuencia con la que amarran. Otras clases de buques tienen un menor consumo eléctrico en el puesto de atraque, pero pasan más tiempo amarrados.</p> <p>Los servicios de línea son fundamentales en una estrategia de suministro eléctrico desde tierra porque los costos de la infraestructura de los buques y las terminales deben amortizarse con las escalas frecuentes de aquellos buques que se retroadaptaron para las terminales actualizadas. Además de las escalas frecuentes por año, es importante mencionar que esos mismos buques deben continuar haciendo escalas durante varios años seguidos para lograr que esta estrategia sea eficiente. Este enfoque optimiza los gastos por tonelada de emisiones reducida.</p> <p>El componente más costoso del suministro de energía eléctrica en puerto es la infraestructura en tierra. Las necesidades más comunes respecto de la infraestructura comprenden la conexión eléctrica a la red de suministro; las bóvedas eléctricas subterráneas; los equipos convertidores, transformadores e interruptores y el terreno para estas instalaciones; las cajas eléctricas; los tomacorrientes; el cableado; los equipos de sincronización y la infraestructura para los muelles. Estos costos pueden disminuir considerablemente si la terminal se diseña con una infraestructura para el suministro de energía eléctrica en puerto antes de su construcción.</p> <p>Añadir capacidades de suministro de energía eléctrica en puerto a una terminal existente puede implicar modificaciones importantes, y el costo varía según la complejidad. Uno de los proyectos más costosos para reformar una terminal de contenedores fue la construcción del puesto de atraque de China Shipping en el Puerto de Los Ángeles, que costó alrededor de \$7 millones de dólares en 2004. Según diversos estudios de viabilidad realizados por puertos de Canadá y los Estados Unidos, los costos de proporcionar suministro eléctrico desde tierra en un puesto de atraque oscilan entre uno y quince millones de dólares<sup>9,10,11,12</sup>. Estos costos varían considerablemente según el alcance de la reconstrucción de la terminal, la cercanía a las fuentes apropiadas de suministro eléctrico y la capacidad de localizar la infraestructura en tierra.</p> <p>La tecnología alternativa de sistemas de lavado basados en gabarras aún es muy reciente, por lo que es difícil calcular el costo con precisión. Es probable que los costos iniciales del sistema disminuyan a medida que los diseños se simplifiquen y se construyan varios de ellos. Un fabricante estima que cuando se hayan construido docenas de sistemas, cada uno se venderá por 8 millones de dólares.<sup>13</sup></p>

<sup>9</sup> ENVIRON 2004. *Cold Ironing Cost Effectiveness Study: Volume I - Report* [Estudio de costo-beneficio del suministro de energía eléctrica en puerto. Volumen I: Informe]; preparado para el Puerto de Long Beach por ENVIRON International Corporation, Los Angeles, California, marzo de 2004. Visite el sitio web <http://www.polb.com/civica/filebank/blobdload.asp?BlobID=7718>.

<sup>10</sup> Yorke 2007. *Port of San Diego: Cold Ironing Study* [Puerto de San Diego: estudio sobre el suministro de energía eléctrica en puerto]; preparado para el Puerto de San Diego por Yorke Engineering, mayo de 2007.

<sup>11</sup> Westmar 2007. *Deltaport Third Berth Container Terminal Cold Ironing Feasibility Study* [Estudio de viabilidad del suministro de energía eléctrica en puerto para la terminal de contenedores del tercer muelle de Deltaport]; preparado para TSI Terminal Systems, Inc. por Westmar Consultants, Inc., mayo de 2007.

<sup>12</sup> US EPA 2017. *Shore Power Technology Assessment at U.S. Ports* [Evaluación de tecnología relativa al suministro eléctrico desde tierra en los puertos de los Estados Unidos]; preparado para EPA por Eastern Research Group, Inc. y Energy & Environmental Research Associates, LLC, marzo de 2017.

<sup>13</sup> CARB 2018. *Draft Technology Assessment: Ocean-Going Vessels* [Evaluación preliminar de tecnología: buques de navegación marítima]; Junta de Recursos del Aire de California, mayo de 2018. Visite el sitio web [https://www.arb.ca.gov/msprog/tech/techreport/ogv\\_tech\\_report.pdf](https://www.arb.ca.gov/msprog/tech/techreport/ogv_tech_report.pdf).

### 3.2.2 Buques de navegación nacional, buques de navegación interior y embarcaciones de servicio portuario

Medida	Combustibles más limpios
<b>Descripción</b>	El uso de combustibles con bajo contenido de azufre es el enfoque de reducción de emisiones más común para los buques de navegación nacional. Los combustibles más limpios para buques pueden incluir el diésel con contenido de azufre bajo y ultrabajo, el diésel emulsionado y el biodiésel. También comienzan a estar disponibles más opciones para los buques de mediano porte que utilizan GNL, pero es muy probable que esto requiera el reemplazo del equipo en lugar del cambio del combustible.
<b>Consideraciones técnicas</b>	Puede que sea necesario coordinar con los proveedores de combustible, los operadores de los buques y otros para asegurarse de que haya combustible con bajo contenido de azufre disponible. Según el tipo de combustible limpio utilizado, la limpieza del tanque de combustible puede ser necesaria para evitar que el combustible se contamine.
<b>Opciones para la implementación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Requisitos de arrendamiento para los operadores de las terminales</li> <li>– Cambios en las tarifas</li> </ul>
<b>Otras consideraciones</b>	Como ocurre con otros equipos, los beneficios de reducir las emisiones de NO <sub>x</sub> , MP y otros contaminantes aumentan con los combustibles más limpios. El uso del biodiésel puede provocar un pequeño incremento de NO <sub>x</sub> . En algunos lugares, pueden surgir desafíos respecto de la disponibilidad del combustible.

Medida	Electrificación (incluido el suministro de energía desde tierra y la hibridación)
<b>Descripción</b>	<p>Se trata de la reducción de las emisiones por estacionamiento de los buques de navegación nacional mediante la hibridación o mediante una conexión para el suministro eléctrico desde tierra.</p> <p>De la misma manera que con los buques de navegación marítima, el suministro eléctrico desde tierra proporcionado mediante una conexión eléctrica en el puesto de atraque puede reemplazar la generación eléctrica a bordo del buque para las funciones requeridas durante el estacionamiento.</p> <p>La hibridación es la mejor opción para los buques que operan lejos del puesto de atraque y con una demanda energética cambiante. Por ejemplo, los remolcadores pasan mucho tiempo fuera del puesto de atraque y operan en modo de bajo consumo, con períodos ocasionales de alto consumo eléctrico. En este caso, un híbrido podría utilizar la energía de baterías durante el modo de bajo consumo (cuando se mueve por el puerto) y cambiar a la de las máquinas durante los períodos de mucha carga (asistencia a un buque).</p>
<b>Consideraciones técnicas</b>	<p>Se debe proporcionar la infraestructura para el suministro eléctrico desde tierra en el muelle y a bordo del buque de navegación nacional, así como determinar la energía necesaria y asegurar la adaptabilidad. Nuevamente, es importante tener en cuenta la fuente de combustible de la empresa local de energía eléctrica que suministra el servicio a la terminal.</p> <p>En la actualidad, Noruega tiene dos transbordadores totalmente eléctricos en funcionamiento y convirtió un buque de abastecimiento para que funcione con baterías, diésel y gas natural licuado. Finlandia es otro de los países que han lanzado transbordadores eléctricos de vehículos y pronto lo harán Suecia y Dinamarca. Los transbordadores, con sus rutas fijas, viajes cortos y muelles conocidos, son ideales para operar a plena capacidad eléctrica.</p> <p>Con respecto a la hibridación, se deben evaluar el motor y los ciclos de trabajo del buque de navegación nacional para determinar si es un buen candidato para la hibridación, la cual está en desarrollo en la actualidad y se utiliza en remolcadores y transbordadores. Mediante el uso de tecnologías híbridas, se puede lograr un gran ahorro de combustible y reducir las emisiones.</p>
<b>Opciones para la implementación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Requisitos de arrendamiento para los operadores de las terminales</li> <li>– Incentivos</li> <li>– Cambios en las tarifas</li> <li>– Financiamiento</li> </ul>

Medida	Electrificación (incluido el suministro de energía desde tierra y la hibridación)
<b>Otras consideraciones</b>	<p>Los beneficios respecto de la reducción de las emisiones se visibilizan en el puerto con el suministro de energía eléctrica desde tierra. Por un lado, pueden surgir desafíos en cuanto al costo de la infraestructura y a la instalación del suministro eléctrico desde tierra, ya que la energía eléctrica desde tierra requiere una gran cantidad de mejoras infraestructurales. Por otro lado, dadas las características de la energía que se necesita, puede que el suministro eléctrico adecuado desde tierra ya esté disponible en muchas terminales o cerca de ellas, sin los gastos importantes de capital que significa para los buques de navegación marítima.</p> <p>Hibridar buques de navegación nacional se ha vuelto mucho más viable en los últimos años, dado que varios proyectos experimentales han ilustrado la viabilidad y los beneficios de esta tecnología. En Long Beach, la empresa Foss reformó un remolcador con baterías de iones de litio y motores avanzados por un costo total de \$2 100 000 dólares (incluidos los costos de diseño).</p>

### 3.2.3 Equipo de manipulación de la carga

Medida	Combustibles más limpios
<b>Descripción</b>	Implica el uso de combustibles con bajo contenido de azufre. Los combustibles más limpios comprenden el combustible diésel con contenido de azufre bajo a ultrabajo, el combustible diésel emulsionado y el biodiésel. Otras opciones para los equipos de manipulación de la carga incluyen el GNL y el GNC.
<b>Consideraciones técnicas</b>	Puede que sea necesario coordinar con los proveedores de combustible, los operadores de los buques y otros para asegurarse de que haya combustible con bajo contenido de azufre disponible. Según el tipo de combustible limpio utilizado, la limpieza del tranque de combustible puede ser necesaria para evitar que el combustible se contamine.
<b>Opciones para la implementación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Requisitos de arrendamiento para los operadores de las terminales</li> <li>– Cambios en las tarifas</li> </ul>
<b>Otras consideraciones</b>	Los beneficios de reducir las emisiones aumentan en el caso de los NO <sub>x</sub> , la MP y los GEI. El uso del biodiésel puede provocar un pequeño incremento de NO <sub>x</sub> . Es probable que surjan desafíos respecto de la disponibilidad del combustible. Los combustibles más limpios suelen ser más costosos que los normales.

### 3.2.4 Camiones de carretera

Medida	Combustibles más limpios
<b>Descripción</b>	Consiste en usar combustibles más limpios con bajo contenido de azufre. Los combustibles más limpios pueden incluir el diésel con contenido de azufre bajo y ultrabajo, el diésel emulsionado y el biodiésel. Otras opciones para los camiones de carretera comprenden el gas natural, tanto comprimido (GNC) como licuado (GNL), y el gas licuado de petróleo (GLP, propano).
<b>Consideraciones técnicas</b>	Los combustibles alternativos como el GNC y el GNL requieren grandes modificaciones en los motores y los sistemas de combustible de los camiones de carretera, así como en la infraestructura que se necesita para almacenar, acondicionar y suministrar el combustible.
<b>Opciones para la implementación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Requisitos de arrendamiento para los operadores de las terminales</li> <li>– Cambios en las tarifas</li> </ul>
<b>Otras consideraciones</b>	Los beneficios de reducir las emisiones aumentan en el caso de los NO <sub>x</sub> , la MP y los GEI. El uso del biodiésel puede provocar un pequeño incremento de NO <sub>x</sub> . Puede ocurrir que surjan desafíos respecto de la disponibilidad del combustible. A menudo, los combustibles más limpios cuestan más que los normales.

## 3.3 Medidas operativas

Las medidas operativas afectan, fundamentalmente, a la reducción de las emisiones que resultan de la operación del buque, la terminal o el puerto, y se centran en ella, lo cual puede materializarse en una mejora de la eficiencia operativa a bordo, en la terminal o en el puerto. Las medidas operativas incluyen la eficiencia operativa en buques y la eficiencia operativa en puertos o terminales. La siguiente sección presenta medidas operativas adaptadas específicamente para los buques de navegación marítima y las operaciones en tierra.

### 3.3.1 Buques de navegación marítima

Medida	Reducción de la velocidad del buque (VSR)
<b>Descripción</b>	Los buques más lentos tienen menos emisiones por milla que los buques más veloces. Los programas de reducción de la velocidad del buque (VSR) tienen como objetivo reducir las emisiones procedentes de los buques de navegación marítima mediante la reducción de su velocidad cuando se encuentran cerca de las zonas pobladas que rodean a los puertos. Esto podría incluir una reducción de la velocidad a 10 o 12 nudos cuando los buques de navegación marítima se encuentren en aguas costeras y se acerquen a una zona portuaria.
<b>Consideraciones técnicas</b>	No se necesitan cambios operativos en las máquinas del buque, dado que las velocidades bajas ya se utilizan con frecuencia con motivos de navegación y operativos. Las consideraciones técnicas pueden incluir la actualización de los radares existentes y de los dispositivos de comunicación para contactar a los centros locales de navegación y de comunicación. Existen datos limitados sobre la velocidad del buque a la que se generan las emisiones netas más bajas. Sin embargo, un estudio <sup>14</sup> concluyó que, al reducir la velocidad de los buques de crucero a 12 nudos o menos, las emisiones disminuían alrededor del 61 % para el CO <sub>2</sub> , el 56 % en el caso del NO <sub>x</sub> y el 69 % para la MP <sub>2,5</sub> . Puede que los beneficios particulares de la VSR varíen según el tipo de motor.
<b>Opciones para la implementación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Incentivos de reducción arancelaria</li> <li>– Requisitos de arrendamiento para los acuerdos de arrendamiento renovados</li> <li>– Programas voluntarios</li> </ul>
<b>Otras consideraciones</b>	Las reducciones totales del consumo de combustible acarrear reducciones netas de NO <sub>x</sub> , MP y otros contaminantes de la calidad del aire. Estas pueden implementarse con costos netos negativos a lo largo del tiempo si se estructuran correctamente. Los ahorros que genera la VSR se equilibran con una gran variedad de costos operativos adicionales y deben ser gestionados para obtener resultados más amplios en la cadena de suministro si aumentan los tiempos de transporte. Luego de la crisis económica de 2008, muchos transportistas utilizaron la VSR como una manera de reducir los costos operativos. Los programas obligatorios de VSR se han implementado en la costa este de los Estados Unidos para proteger las especies de ballenas en peligro de extinción. Los programas voluntarios y de incentivo se están utilizando cada vez más en los puertos de gran concurrencia para reducir las emisiones procedentes de los buques.

### 3.3.2 Mejoras operativas en tierra

Medida	Mejoras en la eficiencia de las terminales
<b>Descripción</b>	Reconfiguración de las terminales existentes, profundización de los canales y los puestos de atraque, y mejora del acceso terrestre por ferrocarril y por gabarras; instalación de infraestructura que soporte las grúas eléctricas regenerativas; mejora de las capacidades en el muelle y las capacidades regionales de los ferrocarriles; inversiones en mejoras para las puertas y aumento de la velocidad de carga y descarga del buque. Este último aspecto mejora aún más la calidad del aire porque reduce el tiempo de permanencia del buque en el puerto.
<b>Consideraciones técnicas</b>	La mayoría de los puertos puede aprovechar los nuevos diseños y tecnologías de alguna manera. Cada terminal es diferente, por lo que los nuevos diseños deben implementarse de manera que también brinden un rendimiento razonable de la inversión mediante la eficiencia operativa.
<b>Otras consideraciones</b>	Un diseño apropiado respaldará la estrategia empresarial y, por tanto, la acción voluntaria. Cuando ocurre esto, se logra una mayor eficiencia y se generan menos emisiones; es decir, una situación en la que todos salen ganando.

La siguiente tabla ofrece un resumen de las diferentes medidas de reducción de las emisiones que se describen más arriba.

<sup>14</sup> CARB 2012. In-use Emissions Test Program at VSR Speeds for Oceangoing Container Ship [Programa de prueba de las emisiones existentes a velocidades de VSR para buques portacontenedores de navegación marítima]; preparado por la Universidad de California, Riverside, Facultad de Ingeniería - Centro para la Investigación y la Tecnología Ambientales, para la Junta de Recursos del Aire de California, junio de 2012.

	Buques de navegación marítima	Buques de navegación nacional, buques de navegación interior y embarcaciones de servicio portuario	Equipo de manipulación de la carga	Camiones de carretera	Locomotoras	Mejoras en tierra
<b>Medidas para los equipos</b>	Mejoras del motor (por medio de)	Remotorización	Reemplazo del equipo		Reemplazo del motor	
	Tecnologías de control de las emisiones (ECT)					
<b>Medidas energéticas</b>	Combustibles más limpios					
	Electrificación o suministro en tierra					
<b>Medidas operativas</b>	Reducción de la velocidad del buque (VSR)					Mejoras de la eficiencia de la terminal

### 3.4 Conclusión

Las medidas de control de las emisiones son el pilar de los planes de ERS. Si se aplican aquellas que se ejemplificaron previamente y se evalúan las medidas de las otras fuentes que aparecen en esta sección y en la siguiente, se puede personalizar una serie de medidas según las necesidades de un puerto. Tomarse el tiempo para desarrollar las medidas individuales de control, e identificar las particularidades de cómo se aplicará e implementará cada una con tanto detalle como sea práctico, facilitará la implementación de la ERS una vez que esté lista.

Posibilitar la participación de las partes interesadas de la industria y de la comunidad en el desarrollo de las medidas de control y en el plan de ERS será útil para que el puerto identifique las cuestiones importantes para ambos grupos y permitirá que el puerto reconozca y, potencialmente, aborde dichas cuestiones en el plan de ERS. En particular, revisar las medidas potenciales de control con las partes interesadas del sector ayudará a identificar los problemas técnicos que conlleva implementar las medidas en las operaciones y en los equipos, de modo que se tengan en cuenta antes de incluirlos en el plan de ERS.

La sección Recursos que aparece a continuación ofrece una lista de referencias. El Anexo 1 ofrece una lista de control de los puntos a considerar durante la elaboración de una ERS.

## 4 Recursos

Esta sección ofrece una lista de los recursos que se utilizaron para elaborar esta guía.

- CARB 2018. *Draft Technology Assessment: Ocean-Going Vessels* [Evaluación de borrador de tecnología: buques de navegación marítima]; Junta de Recursos del Aire de California, mayo de 2018<sup>15</sup>.
- CARB 2012. *In-use Emissions Test Program at VSR Speeds for Oceangoing Container Ship* [Programa de prueba de las emisiones reales a velocidades de VSR para buques portacontenedores de navegación marítima]; preparado por la Universidad de California, Riverside, Facultad de Ingeniería - Centro de Investigación y Tecnología Ambientales para la Junta de Recursos del Aire de California, junio de 2012.
- ENVIRON 2004. *Cold Ironing Cost Effectiveness Study: Volume I - Report* [Estudio de costo-beneficio del suministro eléctrico en puerto: Volumen I - Informe]; preparado para el Puerto de Long Beach por ENVIRON International Corporation, Los Ángeles, California, marzo de 2004<sup>16</sup>.
- IAPH 2018. *IAPH Toolbox for Port Clean Air Programs* [Herramientas de la IAPH para los Programas portuarios de aire limpio]; sitio web, Asociación Internacional de Puertos (IAPH), preparado por miembros de la Iniciativa Mundial de Puertos para la Protección Climática (WPCI) de la IAPH, 2018<sup>17</sup>.
- ICCT 2012. *Developing Port Clean Air Programs: A 2012 update to the International Association of Ports and Harbor's Air Quality Toolbox* [Desarrollo de programas portuarios de aire limpio: Actualización de 2012 de las Herramientas para la calidad del aire, de la Asociación Internacional de Puertos]; Consejo Internacional sobre Transporte Limpio (ICCT), preparado por Starcrest Consulting Group, LLC, junio de 2012<sup>18</sup>.
- SPBP 2006. *2006 San Pedro Bay Ports Clean Air Action Plan - Technical Report* [Plan de acción de aire limpio de los puertos de la Bahía de San Pedro, de 2006]; preparado en conjunto por el Puerto de Los Ángeles y el Puerto de Long Beach, noviembre de 2006<sup>19</sup>.
- SPBP 2010. *2010 San Pedro Bay Ports Clean Air Action Plan Update* [Actualización del plan de acción de aire limpio de los puertos de la Bahía de San Pedro, de 2010]; preparado en conjunto por el Puerto de Los Ángeles y el Puerto de Long Beach, octubre de 2010<sup>20</sup>.
- SPBP 2017. *2017 San Pedro Bay Ports Clean Air Action Plan Update* [Actualización del plan de acción de aire limpio de los puertos de la Bahía de San Pedro, de 2017]; preparado en conjunto por el Puerto de Los Ángeles y el Puerto de Long Beach, noviembre de 2017<sup>21</sup>.

---

<sup>15</sup> Visite el sitio web [https://www.arb.ca.gov/msprog/tech/techreport/ogv\\_tech\\_report.pdf](https://www.arb.ca.gov/msprog/tech/techreport/ogv_tech_report.pdf).

<sup>16</sup> Visite el sitio web <https://polb.com/download/20/shore-power-cold-ironing-resources/6622/cold-ironing-cost-effectiveness-study-volume-i-and-ii-100710.pdf>.

<sup>17</sup> Visite el sitio web <https://sustainableworldports.org/>, consultado en abril de 2018.

<sup>18</sup> Visite el sitio web [https://www.theicct.org/sites/default/files/ICCT\\_SCG\\_Developing-Clean-Air-Programs\\_June2012.pdf](https://www.theicct.org/sites/default/files/ICCT_SCG_Developing-Clean-Air-Programs_June2012.pdf), consultado en abril de 2018.

<sup>19</sup> Visite el sitio web <https://www.cleanairactionplan.org/documents/2006-clean-air-action-plan-update-tech-report.pdf>, consultado en abril de 2018.

<sup>20</sup> Visite el sitio web <https://www.cleanairactionplan.org/documents/2010-final-clean-air-action-plan-update.pdf>, consultado en marzo de 2018.

<sup>21</sup> Visite el sitio web <https://www.cleanairactionplan.org/documents/final-2017-clean-air-action-plan-update.pdf>, consultado en abril de 2018.

- PANYNJ 2014. *A Clean Air Strategy for the Port of New York & New Jersey - 2014 Update* [Una estrategia de aire limpio para los puertos de Nueva York y Nueva Jersey - Actualización de 2014]; puertos de Nueva York y Nueva Jersey, 2014<sup>22</sup>.
- OMI 2015. *Study of Emissions Controls and Energy Efficiency Measures for Ships in the Port Area* [Estudio del control de las emisiones y de las medidas de eficiencia energética para los buques que se encuentran en las zonas portuarias]; Organización Marítima Internacional (OMI), preparado por Starcrest Consulting Group, LLC, CE Delft, Civic Exchange, febrero de 2015<sup>23</sup>.
- Sharma DC. *Ports in a Storm: Environmental Health Perspectives*; [Los puertos en una tormenta; Perspectivas de la salud ambiental]. 2006; 114(4):A222-A231.
- US EPA 2017. *Shore Power Technology Assessment at U.S. Ports* [Evaluación de la tecnología de suministro de energía eléctrica desde tierra en los puertos de los Estados Unidos]; preparado para EPA por Eastern Research Group, Inc. y Energy & Environmental Research Associates, LLC, marzo de 2017.
- Westmar 2007. *Deltaport Third Berth Container Terminal Cold Ironing Feasibility Study* [Estudio de viabilidad del suministro de energía eléctrica desde tierra para la terminal de contenedores del tercer muelle de Deltaport]; preparado para TSI Terminal Systems, Inc. por Westmar Consultants, Inc., mayo de 2007.
- Yorke 2007. *Port of San Diego: Cold Ironing Study* [Puerto de San Diego: estudio sobre el suministro de energía eléctrica desde tierra]; preparado para el Puerto de San Diego por Yorke Engineering, mayo de 2007.

---

<sup>22</sup> Visite el sitio web [http://cleanports-nykj.com/wp-content/uploads/2020/04/PANYNJ\\_CAS\\_2014\\_FINAL2.pdf](http://cleanports-nykj.com/wp-content/uploads/2020/04/PANYNJ_CAS_2014_FINAL2.pdf), consultado en abril de 2018.

<sup>23</sup> Visite el sitio web <https://greenvoyage2050.imo.org/wp-content/uploads/2021/01/STUDY-OF-EMISSION-CONTROL-AND-ENERGY-EFFICIENCY-MEASURES-FOR-SHIPS-IN-THE-PORT-AREA.pdf>, consultado en marzo de 2018.

# Anexo 1

## Lista de control del plan de estrategias para la reducción de las emisiones en los puertos



### Generar apoyo

- Apoyo de las autoridades portuarias Lista: \_\_\_\_\_
- Presupuesto para la planificación de las ERS Lista: \_\_\_\_\_
- Líder asignado para el proyecto Lista: \_\_\_\_\_
- Equipo asignado para el proyecto Lista: \_\_\_\_\_

### Determinar los contaminantes que deben reducirse

Contaminantes de la calidad del aire:

- Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)
- Materia particulada (MP)
  - MP <10-micrones (MP<sub>10</sub>) y
  - MP fina <2,5-micrones (MP<sub>2,5</sub>)
  - MP de diésel (MPD)
- Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>)

Gases de efecto invernadero y contaminantes que generan cambio climático:

- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)
- Equivalentes del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>e)

### Establecer objetivos de reducción de los contaminantes

- Objetivos del proyecto Lista: \_\_\_\_\_
- Objetivos de las categorías de fuentes Lista: \_\_\_\_\_

### Ámbitos de operación

- Control portuario directo Lista: \_\_\_\_\_
- Control del arrendatario Lista: \_\_\_\_\_
- Control de terceros Lista: \_\_\_\_\_

### Evaluar los datos del inventario de emisiones

- Categoría de fuente con mayor cantidad de emisiones Lista: \_\_\_\_\_
- Clase con mayor cantidad de emisiones dentro de la categoría de fuente Lista: \_\_\_\_\_
- Población para lo precedente Lista: \_\_\_\_\_
- Detalles del motor para lo precedente Lista: \_\_\_\_\_
- Detalles del combustible para lo precedente Lista: \_\_\_\_\_
- Detalles del propietario u operador para lo precedente Lista: \_\_\_\_\_

### Analizar los programas implementados por terceros

- Puerto similar con una ERS en curso Lista: \_\_\_\_\_
- Revisión del plan de ERS Lista: \_\_\_\_\_
- Puerto de contacto Lista: \_\_\_\_\_





# Anexo 2

## Análisis de costo-beneficio

Como se menciona en la sección 2.7.4, el análisis de costo-beneficio (CEA) es un enfoque evaluativo que brinda una herramienta a los organismos de control de la contaminación a nivel portuario, gubernamental y ambiental para comparar los costos relativos de dos o más medidas de control de las emisiones y sus efectos o resultados. El CEA es especialmente beneficioso cuando se comparan medidas de control relacionadas con una categoría de fuente en particular.

Los resultados se cuantifican en términos de la cantidad de contaminantes que se reducen en gramos, kilogramos, libras, toneladas, toneladas métricas, etc. El costo-beneficio suele evaluarse en una proporción de unidad monetaria por masa del contaminante (\$/tonelada, €/tonelada métrica, £/tonelada métrica), pero algunos organismos prefieren comparar las medidas utilizando una proporción de masa del contaminante por unidad monetaria (libras/\$, kilogramos/€) u otras variaciones, tales como \$/tonelada métrica para las reducciones de GEI. El análisis de costo-beneficio permite que las medidas enfrentadas se clasifiquen según la cantidad de emisiones que reducen en relación con la inversión en financiamiento. Las más eficientes se clasifican como la mejor opción.

Sin embargo, lo importante de este proceso de toma de decisiones es reconocer que, mientras una medida puede tener una jerarquía menor que otras en la clasificación por no ser la más eficiente, su impacto aún debe tenerse en cuenta cuando se evalúe en forma individual. Si, de un grupo de medidas, una tiene una eficiencia de \$1 000 000/tonelada (en otras palabras, su costo es de \$1 000 000 por cada tonelada de emisiones que se reduce), por lo general, no se implementaría sin una justificación cualitativa considerable, dado que hay otras medidas con una rentabilidad mucho mayor. Sin embargo, si esta es la única medida de control disponible y viable para abordar un riesgo grave para la salud y que afecta a buena parte de la población, podría ser tenida en cuenta de cualquier modo.

Nótese que el CEA, como se explica aquí, se considera «prospectivo» o como un análisis que se realiza antes de seleccionar e implementar una medida. Un enfoque evaluativo que vuelva a la medida una vez que concluyó para evaluar los resultados reales sería útil para compararlos con los supuestos y las expectativas originales. Si son sustancialmente diferentes, las lecciones aprendidas pueden aplicarse en los nuevos esfuerzos de implementación.

### **Comentario sobre el análisis del costo del ciclo de vida**

Como se planteó anteriormente, el CEA se suele utilizar para comparar las medidas de control de las emisiones cuando se debe decidir la forma de asignar los recursos financieros. El CEA constituye un enfoque simplificado para comparar medidas, que tiene en cuenta los costos iniciales de capital y los beneficios de reducción asociados. Cuando las entidades reguladoras evalúan una nueva reglamentación o requisito, suelen utilizar un enfoque comparativo más detallado para seleccionar las estrategias de reducción de las emisiones. Este análisis más profundo a menudo incluye la evaluación del ciclo de vida de las emisiones y las consecuencias económicas de una reglamentación propuesta, así como las consideraciones respecto de la justicia ambiental y una evaluación de las alternativas. El análisis del costo del ciclo de vida toma en cuenta todos los beneficios y los costos durante todo el período de aplicación de una medida. Aplica una tasa de descuento a todos los beneficios y los costos de la medida para acercarlos a un valor actual y compararlos sobre una base equitativa. El ciclo de vida constituye un enfoque de evaluación completo, pero es mucho más complejo que la metodología simple del CEA que se describe previamente. Un CEA básico brinda una buena base para comparar las medidas similares de reducción de las emisiones para clasificarlas según su prioridad.

## Ejemplos de la metodología del CEA

A continuación, se presentan los aspectos destacados de distintos programas que utilizan el CEA como criterio fundamental de selección. No se resumen todos los detalles de cada programa, pero se ofrecen enlaces que podrá visitar para consultar más información de interés.

### California: Programa Carl Moyer

El Programa para el cumplimiento de las normas de calidad del aire en memoria de Carl Moyer (Programa Moyer) de la Junta de Recursos del Aire de California (CARB) es un programa consolidado de subvenciones para la reducción de las emisiones. En la actualidad, cursa su vigésimo año y ha asignado más de \$950 000 000 dólares del Estado para limpiar más de 50 000 motores. Como resultado, se redujeron 178 000 toneladas de emisiones de NO<sub>x</sub> y gases orgánicos reactivos (GOR), y 6500 toneladas de emisiones de MP. El Programa Moyer ha servido como precursor de diversos programas de subvenciones en California, y su enfoque de CEA sienta las bases para muchos programas de reducción de las emisiones en California y los Estados Unidos. Aunque su metodología para el CEA se desarrolló como una forma de seleccionar proyectos para un programa de subvenciones gubernamentales, el enfoque Moyer también resulta útil para comparar las medidas para los planes de ERS.

La metodología para el CEA del Programa Moyer anualiza el costo y lo divide por las toneladas totales de contaminantes atmosféricos que se redujeron por año gracias a la medida. Este programa define el costo como una parte del costo total del proyecto (p. ej., el costo incremental que supone implementar una tecnología moderna y más costosa), pero a fin de comparar las diferentes medidas de control, se utiliza el costo total de la medida. Hay una explicación detallada de la metodología de cálculo del Programa Moyer disponible en línea en <https://www.arb.ca.gov/msprog/moyer/moyer.htm>.

La metodología del CEA de Moyer se puede ilustrar mejor con las ecuaciones principales del programa, que se resumen a continuación:

Calcule el costo-beneficio mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{CE (\$/tonelada)} = \frac{\text{Costo anualizado (\$/año)}}{\text{Reducción adicional de las emisiones ponderadas anuales (tonelada/año)}}$$

### Costo anualizado (\$) = FRC \* costo incremental de la medida (\$)

El factor de recuperación de capital (FRC) se calcula basándose en la vida de la medida de control (es decir, cuánto tiempo la medida reducirá las emisiones anuales) y de la tasa de interés. En esencia, el uso del costo anualizado permite que se justifique el valor tiempo del dinero durante la vida de una medida.

### Reducción adicional de las emisiones ponderadas anuales (toneladas/año) = (reducción de NO<sub>x</sub>) + (reducción de ROG) + (20 \* reducción de MP)

Se debe tener en cuenta que la MP se pondera por un factor de 20 para reflejar su toxicidad en comparación con otros contaminantes. Esta es una manera de reconocer la importancia adicional de reducir la MP tóxica en comparación con el NO<sub>x</sub> y los GOR. El Programa Moyer determinó prioridades para el NO<sub>x</sub>, los GOR y la MP, pero este enfoque podría abordar cualquier combinación de contaminantes atmosféricos.

Una vez que se evalúa una serie de medidas utilizando esta metodología para el CEA, se pueden comparar las medidas para decidir cuál se seleccionará. A modo de contexto para las medidas que se implementan con el Programa Moyer, en un primer momento, el costo-beneficio más alto fue \$12 000 dólares por tonelada ponderada de emisiones reducida. Hoy en día, las medidas pueden recibir una subvención de hasta \$30 000 por tonelada para actualizar la tecnología según las normas actuales, mientras que aquellas que más aplican la tecnología avanzada y de cero emisiones pueden recibir una subvención de hasta \$100 000 por tonelada para el incremento entre la tecnología actual y la tecnología superadora. El costo-beneficio de las medidas aumenta a medida que disminuye la cantidad de emisiones por reducir. En las regiones del mundo que aún no se han implementado medidas de control, debería ser posible alcanzar reducciones rentables, pero, a medida que se reemplacen, renueven o reformen los equipos más contaminantes con tecnología limpia, el costo-beneficio

del control adicional aumentará. Con este enfoque de dos niveles, la brecha entre la tecnología actual y la tecnología avanzada sería respaldada con un límite mucho más alto en términos de costo-beneficio que la medida básica de actualizar los motores y los equipos viejos para que cumplan con las normas actuales.

### **California - Programa de Tecnología y Vehículos y de Combustibles Renovables y Alternativos (ARFVTP)**

La Comisión de Energía de California (CEC) implementa el ARFVTP, un programa destinado a «desarrollar e implementar combustibles alternativos y renovables y tecnologías de transporte avanzadas para ayudar a cumplir las metas del Estado de reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero y la dependencia del petróleo en el sector del transporte». A diferencia del programa mencionado anteriormente, que se centra en reducir los contaminantes atmosféricos, el ARFVTP se concentra en reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero (por lo general, mediante el uso de un equivalente del CO<sub>2</sub>, o CO<sub>2</sub>e) y el consumo de combustible de petróleo (galones de gasolina o diésel) como mediciones clave. Por tanto, el análisis de costo-beneficio para el ARFVTP difiere levemente en los sistemas de medición utilizados para comparar las medidas, aunque el enfoque básico es similar al descrito anteriormente en términos conceptuales. A continuación se presentan las diversas formas en las que el ARFVTP utiliza la relación costo-beneficio como una herramienta para la toma de decisiones, que suele requerir todos los sistemas de medición mencionados a continuación para seleccionar las medidas.

- El puntaje Beneficio/Costo de la CEC se define como la cantidad de emisiones de GEI del ciclo de vida reducidas durante el tiempo que se aplica la medida por dólar de financiación de la CEC, expresada en gramos de reducción del CO<sub>2</sub>e por \$1,00 del ARFVTP.
- La CEC también emplea una relación más típica de costo-beneficio, definida como dólares por tonelada de reducción de las emisiones ponderadas (WER), donde WER = reducción de NO<sub>x</sub> + reducciones de gases orgánicos reactivos (ROG) + 20 \* reducción de materia particulada (MP), expresada en toneladas reducidas durante el ciclo de vida completo de implementación de la medida. Se debe tener en cuenta que, a diferencia del Programa Moyer, estos dólares (y la reducción de las emisiones) no están anualizados, sino que se divide el total de dólares del ARFVTP por el total de toneladas reducidas en el tiempo de implementación de la medida.

### **Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos**

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos define la relación costo-beneficio como una evaluación destinada a identificar los beneficios, los resultados o las consecuencias de las medidas y los compara con sus costos internos y externos. El Programa de la Ley de reducción de las emisiones de diésel (DERA) de la EPA ofrece su herramienta en línea del Cuantificador de las emisiones de diésel (DEQ) en <https://www.epa.gov/cleandiesel/diesel-emissions-quantifier-deq>. Esta herramienta resulta útil para evaluar las medidas destinadas a reducir las emisiones procedentes de los motores diésel. Calcula la reducción de las emisiones para cuatro contaminantes atmosféricos (NO<sub>x</sub>, PM<sub>2,5</sub>, HC, y CO y CO<sub>2</sub>) cuando una medida abarca una reducción del consumo de combustible. La herramienta calcula la rentabilidad del capital para una medida por medio de la suma de la unidad y de los costos de instalación de cada vehículo o tecnología, y de la división del resultado por las toneladas totales reducidas durante el ciclo de vida para los cinco contaminantes. En este caso, no se aplican factores de ponderación.

### **Índice Ambiental de Buques**

El Índice Ambiental de Buques (ESI) es una medida que forma parte de la Iniciativa Mundial de Puertos para la Protección Climática (WPCI) de la IAPH. A pesar de que no es una herramienta para el CEA en sí misma, proporciona un mecanismo para identificar los buques de navegación marítima (BNM) con emisiones atmosféricas más bajas que lo requerido por las normas actuales de la OMI en ese ámbito. El ESI tiene en cuenta las emisiones de NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub> procedentes de los BNM y les asigna un puntaje del 0 al 100, con un extra por informar la eficiencia energética (el término CO<sub>2</sub>, que vale de 5 a 15 puntos) y la existencia de un suministro de energía eléctrica desde tierra (OPS), fijado en 10 puntos. A los fines de este documento, los detalles que surgen de derivar el ESI específico tienen una importancia menor que marcar la ponderación relativa de la información de los puntajes. El NO<sub>x</sub> se pondera al doble del SO<sub>x</sub>, lo que indica que «el daño ambiental medio

relativo provocado por el NO<sub>x</sub> de las emisiones atmosféricas procedentes de los buques es, aproximadamente, el doble del daño provocado por el SO<sub>x</sub><sup>24</sup>». El ESI es considerado un buen indicador del rendimiento ambiental de los buques de navegación marítima y ofrece una forma generalizada de identificar los buques limpios. A continuación, se presenta la fórmula del ESI para ilustrar la ponderación relativa de cada término.

### **Fórmula del ESI para el puntaje ESI de un buque de navegación marítima<sup>25</sup>:**

$$\text{puntaje ESI} = \frac{2 \times \text{ESI}_{\text{NOx}}}{3} + \frac{\text{ESI}_{\text{SOx}}}{3} + \text{ESI}_{\text{CO2}} + \text{OPS}$$

El puntaje ESI asigna un factor de ponderación de dos al NO<sub>x</sub> comparado con el SO<sub>x</sub> y proporciona una buena perspectiva del valor de la WPCI para las reducciones de NO<sub>x</sub>, en comparación con las reducciones de SO<sub>x</sub>. El puntaje ESI podría ser utilizado como un modo de evaluar el valor de una inversión o una prioridad portuaria para atraer a los buques con los mejores puntajes de ESI.

### **Calificación de las clasificaciones de costo-beneficio**

En el análisis precedente, se ofrecen ejemplos de metodologías de evaluación del impacto ambiental que pueden utilizarse para clasificar un conjunto de medidas en función del costo de aplicación de las estrategias de reducción de las emisiones. Cada puerto puede establecer la metodología para el CEA que se ajuste mejor a su plan de ERS. Un importante paso final antes de proceder con una medida o conjunto de medidas en una lista clasificada es clasificarlas en términos de la eficiencia de la inversión. Es posible que se pueda clasificar un conjunto de medidas, pero incluso la medida mejor clasificada puede no ser una inversión rentable que genere el mayor beneficio. No obstante, se podría seguir adelante con esa medida si las preocupaciones en materia de salud o las consideraciones no monetarias (como la política o la normativa local, las iniciativas de creación de empleo u otros calificativos) apoyan el avance de todas formas.

---

<sup>24</sup> Visite el sitio web <https://www.environmentalshipindex.org/info>, consultado el 27 de marzo de 2017.

<sup>25</sup> *Ibíd.*





**¿DESEA OBTENER**  
**MÁS**  
**INFORMACIÓN?**

Unidad de Coordinación del proyecto  
GloMEEP  
Organización Marítima Internacional  
4 Albert Embankment, London SE1 7SR,  
Reino Unido. <http://glomeep.imo.org>