



**Mediterranean  
Action Plan**  
Barcelona  
Convention

6 de octubre de 2021  
Original: inglés

22ª Reunión de las Partes Contratantes del  
Convenio para la Protección del Medio Marino  
y de la Región Costera del Mediterráneo y sus Protocolos

Antalya, Turquía, del 7 al 10 de diciembre de 2021

**Tema 3 del programa: Decisiones temáticas**

**Proyecto de decisión IG.25/14: Designación del Mar Mediterráneo, en su conjunto, como Zona de Control de Emisiones de Óxidos de Azufre (MED SO<sub>x</sub> ECA) de conformidad con el Anexo VI del MARPOL**

Por motivos ambientales y de ahorro, la tirada del presente documento es limitada. Se ruega a las delegaciones que lleven sus ejemplares a las reuniones y no soliciten copias adicionales.

## Nota de la Secretaría

De acuerdo con la Estrategia Regional para la Prevención y la Respuesta a la Contaminación Marina por los Buques (2016-2021), se creó un comité técnico de expertos, que trabajó por correspondencia, nombrado por las Partes Contratantes del Convenio de Barcelona, para realizar un estudio técnico y de viabilidad para estudiar la posibilidad de designar el Mar Mediterráneo o partes del mismo como Zona de Control de Emisiones (ECA) de Óxidos de Azufre (SO<sub>x</sub>) con arreglo al Anexo VI de MARPOL.

Sobre la base del resultado del trabajo del Comité Técnico de Expertos de la ECA SO<sub>x</sub> durante el período 2018-2019, incluido el Estudio Técnico y de Viabilidad y el proyecto inicial de presentación a la OMI preparado por REMPEC, la 21ª Reunión Ordinaria de las Partes Contratantes del Convenio de Barcelona y sus Protocolos (COP 21) (Nápoles, Italia, del 2 al 5 de diciembre de 2019) adoptó la Decisión IG.24/8 sobre la hoja de ruta para una propuesta de posible designación del Mar Mediterráneo, en su conjunto, como Zona de Control de Emisiones de Óxidos de Azufre de conformidad con el Anexo VI de MARPOL, en el marco del Convenio de Barcelona, en lo sucesivo denominada "hoja de ruta".

La COP 21 acordó prorrogar el mandato del Comité Técnico de Expertos de ECA(s) de SO<sub>x</sub>, hasta el 30 de abril de 2021, para supervisar la finalización de la recopilación de conocimientos y la preparación de nuevos estudios, especialmente los impactos socioeconómicos en las Partes Contratantes individuales, entre otras cosas, como se indica en la hoja de ruta, incluyendo el desarrollo de sus respectivos términos de referencia, a través de la correspondencia coordinada por REMPEC, al examinar la posibilidad de designar el Mar Mediterráneo, en su conjunto, como un Área de Control de Emisiones de Óxidos de Azufre (Med SO<sub>x</sub> ECA).

La COP 21 también acordó finalizar, bajo la dirección del Comité Técnico de Expertos de la(s) ECA(s) de SO<sub>x</sub>, el desarrollo de una propuesta conjunta y coordinada de mutuo acuerdo para la posible designación por parte de la OMI de la Med SO<sub>x</sub> ECA de conformidad con el Anexo VI de MARPOL, en lo sucesivo denominada "la propuesta".

Tras el debate en la Reunión Regional de Expertos sobre la posible designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA (en línea, 27 y 28 de abril de 2021), la propuesta fue examinada y aprobada por la Decimocuarta Reunión de los Puntos Focales de REMPEC (en línea, del 31 de mayo al 2 de junio de 2021). La reunión pidió a la Secretaría que lo presentara para su aprobación en la próxima Reunión de los Puntos Focales del PNUMA/PAM.

Tal y como se solicitó en la Decimocuarta Reunión de los Puntos Focales del REMPEC (en línea, del 31 de mayo al 2 de junio de 2021), la Secretaría emprendió las siguientes acciones:

- ha llevado a cabo la edición final y las correcciones editoriales que pudieran ser necesarias;
- se ha puesto en contacto con la Secretaría de la OMI para completar la información necesaria para ultimar la portada de la misma, así como para preparar el Anexo 4, que establece el proyecto de enmiendas al reglamento 14.3 y al Apéndice VII del Anexo VI de MARPOL, designando la Med SO<sub>x</sub> ECA como nueva Zona de Control de Emisiones, y ha reflejado dicha información y el anexo en la misma;
- consultas bilaterales con las Partes Contratantes con el fin de hacer valer la lista de copatrocinadores de la propuesta, así como la situación exacta de las ratificaciones de las Partes Contratantes del Convenio de Barcelona que aún no han ratificado el Anexo VI de MARPOL,

La aplicación de esta decisión está relacionada con el Resultado 1.4.2 y 3.2.3 del Programa de Trabajo propuesto. Tiene implicaciones presupuestarias en el MTF y en los recursos externos, que quedan reflejadas en la propuesta de presupuesto. La aplicación de esta Decisión está vinculada a todos los Resultados del Programa Fundamental sobre "Gobernanza" del Programa de Trabajo propuesto para 2022-2023. Tiene implicaciones presupuestarias en el MTF y en los recursos externos, que quedan reflejadas en la propuesta de presupuesto.

El proyecto de decisión y sus anexos fueron presentados y revisados por la Reunión de los Puntos Focales del Plan de Acción para el Mediterráneo (PAM) 2021 (teleconferencia, del 10 al 17 de septiembre de 2021) que decidió su transmisión, tal y como se recoge en este documento, a la 22ª Reunión de las Partes Contratantes (COP 22) (Antalya, Turquía, del 7 al 10 de diciembre de 2021).

La Secretaría desea llamar la atención de las Partes Contratantes sobre el hecho de que hay dos opciones entre corchetes que definen el calendario de entrada en vigor del SECA en el proyecto de decisión. En el anexo hay dos secciones que deben completarse con la lista de los copatrocinadores de la propuesta.

**Proyecto de decisión IG.25/14**

**Designación del Mar Mediterráneo, en su conjunto, como Zona de Control de Emisiones de Óxidos de Azufre (Med SO<sub>x</sub> ECA) con arreglo al Anexo VI de MARPOL**

*Las Partes Contratantes del Convenio para la Protección del Medio Marino y de la Región Costera del Mediterráneo (Convención de Barcelona) y sus Protocolos en su 22ª Reunión,*

*Recordando* la resolución 70/1 de la Asamblea General de las Naciones Unidas de 25 de septiembre de 2015, titulada "Transformando nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible",

*Recordando además* la resolución de la Asamblea de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente UNEP/EA.4/Res. 21, de 15 de marzo de 2019, titulada "Hacia un planeta sin contaminación",

*Visto* el Convenio de Barcelona y, en particular, su artículo 6, en virtud del cual las Partes Contratantes adoptarán todas las medidas conformes con el derecho internacional para prevenir, reducir, combatir y, en la mayor medida posible, eliminar la contaminación de la Zona del Mar Mediterráneo provocada por las descargas de los buques y para garantizar la aplicación efectiva en dicha Zona de las normas generalmente reconocidas a nivel internacional relativas a la lucha contra este tipo de contaminación,

*Visto además* el Protocolo sobre cooperación para prevenir la contaminación provocada por los buques y, en situaciones de emergencia, combatir la contaminación del Mar Mediterráneo, en particular, el párrafo 2 del artículo 4, en virtud del cual las Partes adoptarán medidas de conformidad con el derecho internacional para prevenir la contaminación de la zona del Mar Mediterráneo provocada por los buques a fin de garantizar la aplicación efectiva en dicha Zona de los convenios internacionales pertinentes en calidad de Estado del pabellón, Estado portuario y Estado ribereño, así como de su legislación aplicable,

*Reconociendo* el papel de la Organización Marítima Internacional (OMI) y la importancia de cooperar con dicha organización, en particular para promover el establecimiento y el desarrollo de normas internacionales para prevenir, reducir y controlar la contaminación del medio marino provocada por los buques,

*Considerando asimismo* el Convenio Internacional para prevenir la contaminación provocada por los buques de 1973, modificado por el Protocolo de 1978 relativo al mismo, y modificado nuevamente por el Protocolo de 1997 (MARPOL), en particular su Anexo VI, relativo a las reglas para la prevención de la contaminación atmosférica provocada por los buques, y su regla 14, relativa a los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) y la materia particulada, así como su Apéndice III, relativo a los criterios y procedimientos para la designación de las zonas de control de emisiones (ECA),

*Recordando* la Decisión IG.24/8 sobre la hoja de ruta para una propuesta de posible designación del Mar Mediterráneo, en su conjunto, como Zona de Control de las Emisiones de Óxidos de Azufre con arreglo al Anexo VI de MARPOL, en el marco del Convenio de Barcelona, en lo sucesivo denominada "hoja de ruta", adoptada por las Partes Contratantes en su 21ª Reunión (COP 21) (Nápoles, Italia, del 2 al 5 de diciembre de 2019), que esboza el proceso hacia una propuesta para la posible designación del Mar Mediterráneo, en su conjunto, tal como se define en el artículo 1 del Convenio de Barcelona, como Zona de Control de Emisiones (ECA) para los Óxidos de Azufre (SO<sub>x</sub>) con arreglo al Anexo VI de MARPOL, en el marco del Convenio de Barcelona, en lo sucesivo denominada la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta,

*Recordando también* los mandatos del Centro Regional de Emergencia para la Lucha contra la Contaminación en el Mar Mediterráneo (REMPEC), el Programa de Evaluación y Control de la Contaminación en el Mediterráneo (MED POL), así como el Centro de Actividad Regional del Plan Bleu (PB/RAC) del Plan de Acción para el Mediterráneo (PAM) del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), tal como se establece en la Decisión IG.19/5 sobre los mandatos de los componentes del PAM, adoptada por las Partes Contratantes en su 16ª Reunión (COP 16) (Marrakech, Marruecos, del 3 al 5 de noviembre de 2009), y su importancia para la aplicación de la Decisión IG.24/8,

*Observando con preocupación* los efectos de las emisiones de SO<sub>x</sub> de los buques en la salud de las personas y en el medio ambiente en la zona del Mediterráneo, y *subrayando* la importancia de adoptar medidas para hacer frente a esta cuestión, incluso mediante la designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta,

*Reconociendo* la voluntad y los beneficios de designar el Mar Mediterráneo, en su conjunto, como Zona de Control de Emisiones de Óxidos de Azufre (SO<sub>x</sub> ECA) de conformidad con el Anexo VI de MARPOL,

*Observando con satisfacción* que el Comité Técnico de Expertos del Plan de Acción para el Mediterráneo (PAM) de la Zona de Control de Emisiones (ECA) de Óxidos de Azufre (SO<sub>x</sub>), que está compuesto por representantes de las veintidós Partes Contratantes del Convenio de Barcelona, ha cumplido plenamente su mandato en tiempo y forma, de acuerdo con la hoja de ruta,

*Observando con reconocimiento* que el proyecto inicial de presentación a la Organización Marítima Internacional (OMI) de una propuesta para la posible designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta se ha actualizado de acuerdo con la hoja de ruta y ha sido acordado por el Comité Técnico de Expertos del Plan de Acción para el Mediterráneo (PAM) de la Zona de Control de Emisiones (ECA) de Óxidos de Azufre (SO<sub>x</sub>),

*Recordando* que la hoja de ruta se adoptó con el fin de presentar formalmente la propuesta para la posible designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA a la septuagésima octava (78ª) sesión del Comité de Protección del Medio Marino (MEPC 78) de la Organización Marítima Internacional (OMI) prevista para 2022,

*Recordando también* que, según la hoja de ruta, el objetivo del proceso es, entre otras cosas, que la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta entre efectivamente en vigor en un plazo razonable y práctico, según lo definido por las Partes Contratantes en el Convenio de Barcelona, y recomendando que esta fecha sea el [1 de marzo de 2024] [1 de enero de 2025],

*Conscientes* de que las Partes Contratantes están plenamente comprometidas con la reducción de las emisiones de los buques, tanto para luchar contra el cambio climático como contra la contaminación atmosférica, animan al PAM del PNUMA a que, bajo la coordinación del REMPEC, avance en el estudio de la viabilidad de una ECA de NO<sub>x</sub> en el conjunto del Mar Mediterráneo durante el bienio 2022-2023,

*Habiendo examinado* el informe de la Decimocuarta Reunión de los Puntos Focales del REMPEC (en línea, del 31 de mayo al 2 de junio de 2021),

1. *Acuerdan* presentar la propuesta conjunta y coordinada sobre la designación del Mar Mediterráneo, en su conjunto, como Zona de Control de Emisiones de Óxidos de Azufre (Med SO<sub>x</sub> ECA), en lo sucesivo denominada "la propuesta", que figura en el Anexo de la presente Decisión, a la septuagésima octava (78ª) sesión del Comité de Protección del Medio Marino (MEPC 78) de la Organización Marítima Internacional (OMI), prevista para 2022;

2. *Exhortan* a las Partes Contratantes a que coordinen el proceso de presentación a la Organización Marítima Internacional (OMI) para que con el apoyo del REMPEC y, en consulta con la Secretaría, se presente la propuesta ante la Organización Marítima Internacional (OMI), de manera oportuna y eficaz y de acuerdo con las normas y procedimientos pertinentes, para designar formalmente el Mar Mediterráneo, en su conjunto, como Zona de Control de Emisiones de Óxidos de Azufre (Med SO<sub>x</sub> ECA) con su entrada en vigor efectiva el [1 de marzo de 2024] [1 de enero de 2025];

3. *Animan a* las Partes Contratantes a participar activamente en las deliberaciones sobre la propuesta y sobre los proyectos de enmienda a la regla 14 y al Apéndice VII del Anexo VI de MARPOL relacionados con la designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta, en la septuagésima octava (78ª) sesión del Comité de Protección del Medio Marino (MEPC 78) de la Organización Marítima Internacional (OMI) prevista para 2022, así como en los siguientes períodos de sesiones del Comité de Protección del Medio Marino de la Organización Marítima Internacional (OMI), según proceda, de acuerdo con la hoja de ruta;

4. *Instan* a las Partes Contratantes a que ratifiquen y apliquen de manera efectiva, lo antes posible, el Anexo VI del MARPOL, si aún no lo han hecho;

5. *Solicitan* a la Secretaría (REMPEC) que proporcione apoyo técnico para la aplicación de esta Decisión, en sinergia con la Organización Marítima Internacional (OMI), y otras partes interesadas pertinentes, a través de actividades de cooperación técnica y creación de capacidades, incluyendo apoyo financiero y actividades de movilización de recursos;

6. *Animan* a todas las partes interesadas, incluido el sector del transporte marítimo y otros socios, a que contribuyan y apoyen la designación y aplicación de la Med SO<sub>x</sub> ECA.

**ANEXO**

**Propuesta conjunta y coordinada sobre la designación del Mar Mediterráneo, en su conjunto,  
como Zona de Control de Emisiones de Óxidos de Azufre (Med SO<sub>x</sub> ECA)**

COMITÉ DE PROTECCIÓN DEL MEDIO  
AMBIENTE MARINO  
COMMITTEE  
78ª sesión  
Tema del programa N

MEPC 78/N/I  
Fecha del documento  
Idioma: es decir, original: inglés  
Publicación previa a la sesión:

### TÍTULO DEL TEMA DEL PROGRAMA

**Propuesta de designación del Mar Mediterráneo, en su conjunto, como Zona de Control de las Emisiones de Óxidos de Azufre**

Presentado por **[lista de copatrocinadores]**

#### RESUMEN

*Resumen ejecutivo:*

El presente documento expone una propuesta para designar el Mar Mediterráneo, en su conjunto, como Zona de Control de Emisiones de Óxidos de Azufre, en lo sucesivo la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta, de conformidad con la regla 14 y el Apéndice III del Anexo VI de MARPOL, que entrará en vigor a partir del [1 de marzo de 2024] / [1 de enero de 2025].

Esta propuesta muestra que la designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta está respaldada por una necesidad demostrada de prevenir, reducir y controlar las emisiones de óxidos de azufre y partículas de los buques. Además, la adopción de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta dará lugar a reducciones significativas de los niveles de contaminación atmosférica en el Mar Mediterráneo, en su conjunto, y en los Estados costeros del Mediterráneo, lo que supondrá importantes beneficios para la salud humana y el medio ambiente.

Los copatrocinadores invitan al Comité a revisar esta propuesta en esta sesión con vistas a la adopción por las Partes del Anexo VI de MARPOL, en el MEPC 79, de las enmiendas a la regla 14.3 y al Apéndice VII del Anexo VI de MARPOL, designando la Med SO<sub>x</sub> ECA como una nueva Zona de Control de Emisiones.

*Dirección estratégica,* 4  
*si procede:*

*Producto:* 4.1

*Medida que se debe* Párrafo 24  
*tomar:*

*Documento* MEPC 76/INF.63  
*relacionado:*

## Introducción

1 Con este documento, los [XXX/número] países ribereños del Mar Mediterráneo - [lista de Estados costeros del Mediterráneo pertinentes] presentan una propuesta para la designación del Mar Mediterráneo, en su conjunto, como Zona de Control de Emisiones (ECA) para prevenir, reducir y controlar las emisiones de óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) y de partículas (PM) procedentes de los buques, de conformidad con la regla 14 y el Apéndice III del Anexo VI del Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques (MARPOL), en lo sucesivo denominada Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta.

2 La designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta es necesaria para proteger la salud pública y el medio ambiente en el Mar Mediterráneo, las aguas regionales y las costas, y en las comunidades de los Estados costeros del Mediterráneo, ya que reduce la exposición a los niveles nocivos de contaminación atmosférica resultantes de estas emisiones. La designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta proporciona beneficios adicionales necesarios más allá de los que ofrece la aplicación de las normas globales de calidad de los combustibles de conformidad con el Anexo VI de MARPOL, en lo sucesivo denominadas normas MARPOL VI. La carga para el transporte marítimo internacional es pequeña en comparación con las mejoras en la calidad del aire, la reducción de la mortalidad prematura y de las incidencias sanitarias asociadas a esta contaminación atmosférica, y los demás beneficios para el medio ambiente resultantes de la designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta.

3 El **Anexo 1** de esta propuesta proporciona un análisis completo de cómo esta satisface cada uno de los ocho criterios para la designación de una ECA, establecidos en el Apéndice III del Anexo VI de MARPOL, así como una bibliografía completa de toda la información considerada en la preparación de esta propuesta. El **Anexo 2** de esta propuesta contiene una descripción detallada de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta. El **Anexo 3** de esta propuesta presenta un gráfico del ámbito de aplicación propuesto para la designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta. Los copatrocinadores también han preparado un proyecto de enmiendas, presentado en el **Anexo 4** de esta propuesta, para incluir la propuesta de Med SO<sub>x</sub> ECA en la regla 14.3 y en el Apéndice VII del Anexo VI de MARPOL.

## Resumen de la propuesta

4 La designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta reducirá significativamente las emisiones de los buques y aportará beneficios sustanciales a grandes segmentos de la población, así como a los ecosistemas marinos y terrestres. La contaminación atmosférica de los buques no solo se produce en los puertos y costas del Mediterráneo, sino que también se transporta cientos de kilómetros hacia el interior. Cuando las personas respiran este aire contaminado, su salud se ve afectada negativamente, lo que conlleva una pérdida de productividad debido al aumento de enfermedades, hospitalizaciones e incluso muertes prematuras. En la región mediterránea, 507 millones de personas viven en zonas con niveles de contaminación atmosférica que superan las respectivas normas nacionales de calidad del aire ambiente y/o niveles que son insalubres según la Organización Mundial de la Salud (OMS). Además, los científicos no han identificado ningún umbral ambiental de PM por debajo del cual no se observen daños para la salud. Así pues, la contaminación atmosférica por debajo de los niveles de la OMS sigue siendo perjudicial y la salud de millones de personas en todas las zonas puede mejorar si se sigue aumentando la calidad del aire. Además, los logros alcanzados por las amplias normativas nacionales para controlar las emisiones procedentes de fuentes terrestres durante las últimas cuatro décadas podrían verse mermados o incluso anulados por el crecimiento previsto de la actividad humana y económica, incluido el transporte marítimo. Para mantener y mejorar la calidad del aire, la salud pública y el medio ambiente, hay que tomar medidas decisivas para aprovechar los beneficios que pueden obtenerse de la reducción de emisiones adicionales.

5 Los copatrocinadores han coordinado esta propuesta, de acuerdo con los intereses comunes, la geografía compartida y las economías interrelacionadas. Los gobiernos copatrocinadores han consultado a las partes interesadas, incluidos los representantes de la industria naval, los puertos, los capitanes de barco, los intereses medioambientales y los representantes de los gobiernos estatales y provinciales. Esta propuesta tiene en cuenta las cuestiones planteadas durante las consultas y se esfuerza por minimizar el impacto en la comunidad marítima, al tiempo que logra la necesaria protección del medio ambiente. Se cree que, al actuar a nivel internacional para reducir los impactos del transporte marítimo en la calidad del aire, la salud humana y los ecosistemas, la designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta eliminará la presión sobre las jurisdicciones regionales, nacionales y subnacionales para que estudien medidas de reglamentación para reducir las emisiones de los buques.

### **Poblaciones y zonas de riesgo**

6 Millones de personas y muchos ecosistemas importantes de la región mediterránea están expuestos a daños o perjuicios por las emisiones de los buques y corren el riesgo de sufrir daños adicionales en el futuro. La región mediterránea cuenta con más de 500 millones de habitantes, de los cuales más de la mitad residen en comunidades costeras. Además, dado que la contaminación de los buques recorre grandes distancias, gran parte de la población del interior también se ve afectada por las emisiones de los buques y se beneficiará de un aire más limpio gracias a los controles del combustible y los motores previstos en la ECA. Estas poblaciones corren el riesgo de sufrir un mayor daño a causa del transporte marítimo si no se designa una ECA.

7 En el **Anexo 1** de la presente propuesta se describen las formas en que la contaminación atmosférica procedente de los buques contribuye al deterioro de diversos ecosistemas, entre ellas: la deposición de sulfato acidificante y los cambios en la visibilidad. Las emisiones de SO<sub>x</sub> de los buques son transportadas por tierra y sus derivados (incluyendo las PM y los compuestos que contienen azufre) se depositan en las aguas superficiales, los suelos y la vegetación. Es importante destacar que la contaminación atmosférica puede aportar una parte importante de la carga de azufre que recibe un ecosistema. Algunas zonas son más sensibles que otras, y muchas tienen múltiples factores de estrés. Los ecosistemas mediterráneos son sensibles especialmente a la acidificación debida a los ácidos sulfúricos formados a partir del SO<sub>x</sub>, que contribuye a la eutrofización acuática que altera los ciclos biogeoquímicos y perjudica la vida animal y vegetal. Las zonas donde se depositan las emisiones de los buques corren el riesgo de sufrir más daños en el futuro. La designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta ayudará a reducir las tensiones en muchos ecosistemas sensibles, como bosques, praderas, humedales, ríos, lagos, estuarios y aguas costeras.

8 Tal y como se establece en el Anexo VI de MARPOL, la designación de una ECA tiene como objetivo prevenir y reducir los efectos adversos para la salud humana y el medio ambiente en zonas que puedan demostrar la necesidad de prevenir, reducir y controlar las emisiones de SO<sub>x</sub> y PM. Las Partes del Anexo VI de MARPOL eligieron este objetivo debido a los efectos conocidos sobre la salud pública y el medio ambiente asociados a las emisiones de SO<sub>x</sub> y PM. La designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta favorece directamente este objetivo al reducir las emisiones de SO<sub>x</sub> y PM de los buques que operan en la zona de aplicación propuesta para dicha designación. La propuesta de Med SO<sub>x</sub> ECA está dirigida a los controles de SO<sub>x</sub> y PM.

## Contribución de los buques a los efectos adversos

9 Al elaborar esta propuesta, los copatrocinadores realizaron un análisis exhaustivo para cuantificar el grado de riesgo para la salud humana y la degradación del medio ambiente que suponen las emisiones atmosféricas de los buques que operan en el Mar Mediterráneo. Para calibrar el riesgo para las poblaciones humanas, se utilizaron herramientas de evaluación de última generación para aplicar métodos ampliamente aceptados con técnicas avanzadas de modelización informática, y dichos métodos produjeron resultados altamente fiables y reproducibles. La estimación del impacto del transporte marítimo sobre la salud humana y el medio ambiente requiere el análisis de datos detallados sobre el tráfico de buques, estimaciones del uso de combustible, estimaciones de las emisiones contaminantes, datos meteorológicos detallados, datos sobre dispersión física y reacciones fotoquímicas, datos sobre deposición de contaminantes en los ecosistemas sensibles y modelización epidemiológica de los efectos sobre la salud atribuibles a los niveles de exposición a los contaminantes. Según el análisis realizado para esta propuesta, la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta logra reducciones de la contaminación y beneficios para la salud similares a los reportados para las SECA previamente designadas. Los beneficios anuales incluyen más de 1.000 muertes prematuras y más de 2.000 casos de asma infantil evitados, además de jugar a favor de muchos ecosistemas sensibles.

10 Las emisiones de los buques contribuyen a aumentar considerablemente las concentraciones de contaminantes atmosféricos en las zonas terrestres y marítimas del Mediterráneo. La OMS informa de que los "*niveles más altos de contaminación del aire ambiente se dan en la región del Mediterráneo oriental..., con niveles medios anuales que a menudo superan más de 5 veces los límites de la OMS*"<sup>1</sup>. Además, la base de datos de la OMS sobre la calidad del aire ambiente<sup>2</sup> indica que el 72,7 % de las ciudades de los Estados costeros del Mediterráneo superan las directrices de la OMS en cuanto a contaminación anual por PM con un diámetro medio de masa inferior a 2,5 micras (µm) (PM<sub>2,5</sub>) de 10 µg/m<sup>3</sup>. **La sección 3 del Anexo 1** de la presente propuesta presenta un mapa que muestra el impacto de las emisiones del transporte marítimo en las concentraciones de PM en el ambiente. Los modelos de dispersión física utilizados para crear estos mapas tienen en cuenta la variación de los patrones de viento a lo largo de un año representativo y simulan las trayectorias que recorren el SO<sub>x</sub> o las PM una vez emitidos desde la chimenea de un buque que opere en el Mar Mediterráneo. Los modelos de destino y transporte químicos y físicos predicen hasta qué punto las moléculas de SO<sub>x</sub> reaccionan para formar partículas muy pequeñas, conocidas como PM<sub>2,5</sub>. Estos mapas muestran que el aumento de las concentraciones ambientales de PM<sub>2,5</sub> por las emisiones de los buques es mayor a lo largo de las principales rutas marítimas y de las costas mediterráneas cercanas, donde se encuentran muchas de las ciudades más pobladas. El aumento de las partículas (aerosoles) también deteriora la visibilidad, medida por la reducción de la profundidad óptica de los aerosoles; esta contaminación puede afectar a la claridad de las vistas y los paisajes importantes para las personas que viven cerca o los turistas que visitan las atracciones históricas y naturales del Mediterráneo. Las emisiones también se transportan a grandes distancias y tienen consecuencias significativas en el interior de los países europeos y del norte de África.

11 Las emisiones de los buques contribuyen a los efectos adversos para la salud humana en los Estados costeros del Mediterráneo, especialmente en las zonas costeras densamente pobladas. Los buques generan emisiones que conducen a elevadas concentraciones ambientales de PM<sub>2,5</sub>, que contribuyen a enfermedades evitables y a la muerte prematura. En la **tabla 1** se presenta la reducción anual de los efectos nocivos para la salud relacionados con los buques en 2020, que resultaría de la aplicación de las Normas SECA. Las cifras de este cuadro ilustran claramente los beneficios para la salud de la designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta. El análisis realizado para esta propuesta muestra que se evitarían más de 1.000 muertes prematuras y más de 2.000 casos de asma infantil cada año. Estas estimaciones también corresponden a la mortalidad cardiovascular y por cáncer de pulmón y a la morbilidad por asma. Estudios independientes, que tienen en cuenta la enfermedad y la muerte por todas

<sup>1</sup> <https://www.ccacoalition.org/en/news/world-health-organization-releases-new-global-air-pollution-data>.

<sup>2</sup> [https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/concentrations-of-fine-particulate-matter-\(pm2-5\)](https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/concentrations-of-fine-particulate-matter-(pm2-5)).

las causas, indican que las estimaciones aquí presentadas subestiman los beneficios totales de la Med SO<sub>x</sub> ECA.

12 Los copatrocinadores también han determinado que los daños a los ecosistemas sensibles atribuibles a las emisiones de los buques se reducirán con la designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta. Cada ecosistema puede ser sensible y verse perjudicado por diferentes contaminantes, como la acidificación o la eutrofización. La sensibilidad de un ecosistema a la acidificación depende de la capacidad de los suelos y las aguas para neutralizar (o amortiguar) los contaminantes ácidos depositados que se forman a partir del SO<sub>x</sub> (véase la **tabla 2**). Los modelos que apoyan la designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta predicen que la mejora de las emisiones de los buques entre el desempeño actual y los estándares SECA reducirá significativamente la cantidad de deposición de azufre en los ecosistemas sensibles. La designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta ayudará a las Partes Contratantes del Convenio para la Protección del Medio Marino y la Región Costera del Mediterráneo (Convenio de Barcelona) a cumplir sus objetivos en el marco del Plan de Acción para el Mediterráneo (PAM) del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

### Descripción de la zona de aplicación propuesta

13 El área de aplicación propuesta para la designación de la propuesta de Med SO<sub>x</sub> ECA se ilustra en la **sección 2 del Anexo 1** de la presente propuesta. En el **Anexo 2** de la presente propuesta se ofrece una descripción detallada de la zona de aplicación propuesta, incluidas las coordenadas seleccionadas, y en el **Anexo 3** se presenta un gráfico. El área de aplicación propuesta se ajusta a la definición de la Organización Hidrográfica Internacional (OHI) del Mar Mediterráneo<sup>3</sup>, que limita al sureste con la entrada del Canal de Suez, al noreste con la entrada de los Dardanelos, trazada como una línea que une los faros de Mehmetcik y Kumkale, y al oeste con el meridiano que pasa por el faro de Cabo Espartel, que también define el límite occidental del Estrecho de Gibraltar. La zona de aplicación propuesta es idéntica a la zona geográfica descrita en el artículo 1.1 del Convenio de Barcelona, que en lo sucesivo se denominará zona del Mar Mediterráneo. Las aguas de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta afectan a las veintidós (22) Partes Contratantes del Convenio de Barcelona, a saber, Albania, Argelia, Bosnia y Herzegovina, Croacia, Chipre, Egipto, Francia, Grecia, Israel, Italia, Líbano, Libia, Malta, Marruecos, Mónaco, Montenegro, Eslovenia, España, la República Árabe Siria, Túnez, Turquía y la Unión Europea.

*Tabla 1. Resumen de los beneficios para la salud evaluados para la Med SO<sub>x</sub> ECA (año de modelo 2020) propuesta*

<b>Resultados del supuesto (Modelo lineal C-R)</b>	<b>Reducción de la mortalidad (muertes anuales prematuras de adultos)</b>		<b>Asma infantil evitado (incidentes anuales evitados)</b>	
<b>Beneficios para la salud de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta</b>	<b>Reducción de la mortalidad</b>		<b>Reducción de la morbilidad por asma</b>	
	Mortalidad cardiovascular evitada	969 (IC 95 % 551; 1.412)	<b>Asma infantil evitado</b>	<b>2.314 (IC 95 % 1.211; 3.406)</b>
	Mortalidad por cáncer de pulmón evitada	149 (IC 95 % 32; 270)		
	<b>Mortalidad combinada evitada</b>	<b>1.118 (IC 95 % 583; 1.682)</b>		

<sup>3</sup> [https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-23/S-23\\_Ed3\\_1953\\_EN.pdf](https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-23/S-23_Ed3_1953_EN.pdf).

Tabla 2. Resumen de los indicadores de otros beneficios asociados a la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta

Indicador de beneficio ambiental	Rango relativo de variación (%)	Áreas de mayor beneficio mostradas:
Deposición húmeda de sulfatos	Reducción del 1 % al 15 %	Disminución porcentual de la deposición húmeda anual de sulfato entre MARPOL VI y Med SO <sub>x</sub> ECA
Deposición de sulfato en seco	Reducción del 1 % al 50 %	Disminución porcentual de la deposición anual de sulfato seco entre MARPOL VI y Med SO <sub>x</sub> ECA
Deposición húmeda de PM <sub>Total</sub>	Reducción del 0,5 % al 5 %	Disminución porcentual de la deposición húmeda anual de PM <sub>Total</sub> entre MARPOL VI y Med SO <sub>x</sub> ECA
Deposición en seco de PM <sub>Total</sub>	Reducción del 0 % al 10 %	Cambio porcentual en la deposición seca anual de PM <sub>Total</sub> entre MARPOL VI y Med SO <sub>x</sub> ECA
Profundidad óptica de los aerosoles (relacionados con las PM)	Aumento del 1 % al 6 %	Cambio porcentual en la profundidad óptica de los aerosoles (especies de PM) entre MARPOL VI y Med SO <sub>x</sub> ECA

### Tráfico de buques y condiciones meteorológicas

14 El tráfico marítimo en la zona del Mar Mediterráneo es considerable, ya que por él navegan más de treinta mil buques al año, la mayoría de los cuales hacen escala en puertos mediterráneos y se dedican al comercio regional entre los Estados costeros del Mediterráneo. Además, muchos buques transitan por la zona del Mar Mediterráneo cerca de zonas muy pobladas que, en conjunto, tienen cientos de millones de habitantes.

15 Las condiciones meteorológicas en la zona del Mar Mediterráneo transportan a tierra una parte importante de las emisiones de los buques en el mar y los consiguientes contaminantes que se forman en la atmósfera. Las emisiones de los buques de SO<sub>x</sub> y sus derivados (incluidas las PM) pueden permanecer en el aire durante un período de entre cinco y diez días antes de ser eliminadas de la atmósfera (por ejemplo, por deposición o transformación química). Durante el tiempo que transcurre entre la emisión y la eliminación del aire, los contaminantes pueden ser transportados cientos de millas náuticas sobre el agua y cientos de kilómetros tierra adentro por los vientos que se observan habitualmente en la zona del Mar Mediterráneo. El análisis realizado para esta propuesta indica que los vientos soplan frecuentemente en tierra en todas las zonas del Mar Mediterráneo. Algunos patrones de viento son más comunes que otros, por lo que el impacto de la contaminación atmosférica de los buques en el mar es mayor en algunas zonas que en otras. Además, el transporte aéreo de SO<sub>x</sub> y PM desde los buques cruza las fronteras nacionales, afectando negativamente a grandes partes de los Estados costeros del Mediterráneo.

### Controles de emisiones en tierra

16 Casi todos los Estados costeros mediterráneos han impuesto ya estrictas restricciones a las emisiones de SO<sub>x</sub>, PM y otros contaminantes atmosféricos procedentes de una amplia gama de actividades industriales, comerciales y de transporte. Algunos ejemplos de fuentes industriales y comerciales sujetas a restricciones de emisiones son las plantas de fabricación grandes y pequeñas, las instalaciones de fundición y refinado, las empresas químicas y farmacéuticas y las fuentes de combustión en fábricas y centrales eléctricas. Entre los ejemplos de fuentes de transporte sujetas a restricciones de emisiones y normas de calidad del combustible se encuentran los automóviles, los camiones, los autobuses, las locomotoras y las embarcaciones comerciales y de recreo domésticas. La **figura 1** ilustra la tendencia de las emisiones de SO<sub>x</sub> en tierra para los Estados costeros del Mediterráneo que son Estados miembros de la Unión Europea y Turquía.

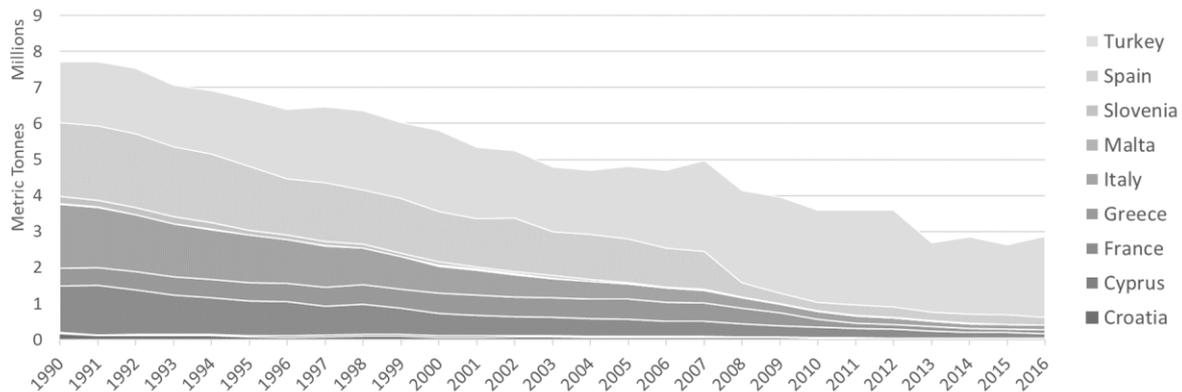


Figura 1: Tendencia de las emisiones de SO<sub>x</sub> en tierra de los Estados costeros mediterráneos que son Estados miembros de la Unión Europea y Turquía

17 Los programas nacionales de control de la contaminación atmosférica en Europa y el norte de África de otras fuentes de contaminación atmosférica aparte de los buques han tenido un gran éxito. Los países europeos redujeron sus emisiones de SO<sub>x</sub> en casi dos tercios desde 1990, en más de la mitad desde el año 2000 y en un 20 % adicional desde 2010, sin consecuencias económicas directas en el crecimiento neto y la recuperación de la recesión cíclica. Según los Presupuestos Nacionales de Contaminación (PNC) de las Naciones Unidas, países como Israel "reducirán las emisiones atmosféricas indirectas al medio ambiente marino de NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub> en un 90 % debido a la instalación prevista de depuradores en 6 unidades de carbón de las principales centrales eléctricas costeras, así como al cierre de 4 unidades de carbón", de aquí a 2022, en relación con la referencia de 2012. Los informes sobre el estado del medio ambiente de Egipto de 2012 y 2016 indican que las emisiones de SO<sub>x</sub> se han reducido más del 75 % desde 1999. Aun así, la OMS indica que la región del Delta egipcio supera sus directrices relativas a las PM<sub>2.5</sub> y el Anexo indica que las emisiones de SO<sub>x</sub> de los buques contribuyen a las PM<sub>2.5</sub> en esa región. Los Estados costeros mediterráneos siguen encontrando reducciones rentables que pueden lograrse con controles adicionales en las fuentes restantes. Lo más importante es que, a medida que los sectores terrestres controlan las emisiones, la contribución relativa de las emisiones de los buques a los problemas nacionales de calidad del aire aumenta la necesidad de los controles SECA. La designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta reducirá en gran medida las emisiones del sector del transporte marítimo, cada vez más importante.

### Estimación de costos, beneficios y rentabilidad

18 Dado que los costos marginales de las medidas posteriores suelen aumentar en el caso de las fuentes de emisiones terrestres, el control rentable de las emisiones de los buques parece ser técnicamente factible y rentable. Se espera que los costos de aplicación y cumplimiento de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta sean pequeños, tanto en términos absolutos como en comparación con los costos de conseguir reducciones de emisiones similares mediante controles adicionales en fuentes terrestres. Los copatrocinadores estiman que los costos totales de la mejora de las emisiones de los buques entre el desempeño actual y los estándares SECA serán de aproximadamente 1.700 millones de dólares en 2020; junto con las normas globales de MARPOL VI, esto logra una reducción neta del 95 % de SO<sub>x</sub> y una reducción neta del 62 % de PM<sub>2.5</sub> de los buques que operan en la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta. Si se pueden conseguir reducciones equivalentes o mayores utilizando tecnologías de reducción y/o combustibles avanzados (y si estas tecnologías pueden ahorrar dinero a algunos buques), los costos totales de cumplimiento pueden ser menores. En consonancia con la experiencia previa en otras regiones SECA y siguiendo las ideas y conclusiones del informe final de la Evaluación de la disponibilidad de fueloil (MEPC 70/INF.6) (Secretaría de la OMI, 2016), en lo sucesivo denominado Estudio de la OMI sobre la disponibilidad de combustible, se dispondrá de combustibles y tecnologías adecuados en cantidades suficientes para cumplir las fechas de aplicación de los límites de emisión SECA acordadas.

19 El valor monetario de los pequeños cambios en los riesgos de mortalidad utilizando los combustibles conformes a la SECA puede considerarse en términos de lo que en economía se denomina “valor de la vida estadística” (VVE, por sus siglas en inglés). Formalmente, el VVE es el valor monetario de los pequeños cambios en los riesgos de mortalidad, incrementado proporcionalmente para reflejar el valor asociado a una muerte esperada en una población grande. Se puede considerar que el valor de las consecuencias evitadas incluye la suma monetizada de:

*Value of avoided impacts*

$$= \text{Avoided Mortality } (\$V_{\text{Mortality}}) + \text{Avoided Morbidity } (\$V_{\text{Illness+Care}}) \\ + \text{Avoided Deposition Damages } (\$V_{\text{Acidification}}) \\ + \text{Improved Visibility } (\$V_{\text{Haze}}) + \text{etc.}$$

20 Mientras que el valor de todos estos beneficios se ha estimado en otros estudios utilizando valores monetarios europeos (tal y como se presenta en un modelo denominado Alpha RiskPol), esta propuesta presenta una estimación más conservadora limitada únicamente a los beneficios monetizados de la mortalidad evitada asociada a las enfermedades cardiovasculares y al cáncer de pulmón. Además, esta propuesta calibra el VVE a las economías de los Estados costeros del Mediterráneo. Por lo tanto, estos beneficios subestimados se presentan en términos de su suficiencia potencial para la designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta, reconociendo que los beneficios adicionales descritos anteriormente siguen sin ser monetizados. La **tabla 3** presenta los resultados de ese análisis, indicando que los beneficios monetizados de la mortalidad evitada superan por sí solos los costos totales de la aplicación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta.

*Tabla 3. VEV ponderado por la mortalidad de los Estados costeros mediterráneos*

Política	VEV ponderado por la mortalidad de los Estados costeros mediterráneos (millones de dólares)
Sin medida	2.157
MARPOL VI	1.094
Med SO <sub>x</sub> ECA	1.818

21 La rentabilidad indica también el respaldo a la designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta, como se ilustra en la **tabla 4**. Los costos de cada tonelada de SO<sub>x</sub> y PM evitada se estiman en 13.400 y 155.000 dólares, respectivamente. Estos costos por tonelada son una medida de la rentabilidad y son equiparables a la rentabilidad de los controles impuestos a muchas fuentes terrestres o comparativamente mejores. Si se compara con las propuestas SECA anteriores, como la ECA norteamericana, la rentabilidad neta para alcanzar los límites de combustible del 0,10 % de azufre (S) m/m de las normas de la OMI anteriores a 2020 es muy similar. La mejora de los niveles actuales de emisión de los buques según las normas SECA es una de las medidas más rentables disponibles para obtener las mejoras necesarias de la calidad del aire en la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta y para los Estados costeros mediterráneos individualmente.

Tabla 4. Comparación de la rentabilidad con la ECA de América del Norte<sup>4</sup>

Tipo de beneficio	Estimaciones de EE. UU. para la ECA de América del Norte	Resultados de la ECA de Norteamérica con precios de combustible ajustados <sup>5</sup>	Med SO <sub>x</sub> ECA que combina los resultados de MARPOL VI y SECA
<b>Objetivo de control</b>			
Reducción de las emisiones de SO <sub>x</sub>	4.500 \$/t SO <sub>x</sub>	14.000\$/t SO <sub>x</sub>	8.900\$/t SO <sub>x</sub>
Reducción de las emisiones de PM <sub>2,5</sub>	43.000 \$/t PM <sub>2,5</sub>	128.000\$/t PM <sub>2,5</sub>	94.000\$/t PM <sub>2,5</sub>
<b>Resultados sanitarios</b>			
Mortalidad evitada <sup>6</sup>	0,410 M\$/Δ Mortalidad	1,229 M\$/Δ Mortalidad	0,353 M\$/Δ Mortalidad
Enfermedades asmáticas evitadas <sup>7</sup>	16.000 \$/Δ Morbilidad	49.000 \$/Δ Morbilidad	21.000 \$/Δ Morbilidad

22 Se prevé que las repercusiones económicas del cumplimiento del programa en los buques dedicados al comercio internacional sean modestas. Al igual que en otras regiones SECA, se espera que los operadores de buques puedan repercutir los costos adicionales asociados al cumplimiento de las medidas de control del azufre del combustible SECA a los compradores de servicios de transporte marítimo. Los costos de transporte se integran en última instancia en los precios de las mercancías que se envían. Se espera que el impacto potencial sobre los precios sea pequeño, ya que el transporte solo representa una pequeña parte de los costos totales de producción de los productos acabados.

### Conclusión

23 Las emisiones de los buques contribuyen significativamente a la contaminación atmosférica, a los resultados adversos para la salud humana y a los daños al ecosistema en la zona del Mar Mediterráneo. La designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta reducirá estos efectos y mejorará la salud pública y el medio ambiente en los Estados costeros del Mediterráneo. Los Estados costeros mediterráneos ya han aplicado controles de emisión en las fuentes terrestres de contaminación atmosférica. La aplicación de las normas SECA a los buques dedicados al transporte marítimo internacional en la zona del Mar Mediterráneo permitirá obtener beneficios sustanciales con costos comparables y razonables.

### Acción solicitada al Comité

24 Se invita al Comité a considerar la información presentada en este documento y a aprobar la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta, con vistas a la adopción por las Partes del Anexo VI de MARPOL, en el MEPC 79, de las enmiendas a la regla 14.3, y al Apéndice VII del Anexo VI de MARPOL, como se muestra en el **Anexo 4**, para designar formalmente el Mar Mediterráneo, en su conjunto, como una Zona de Control de Emisiones de Óxidos de Azufre que entrará en vigor el [1 de marzo de 2024] / [1 de enero de 2025].

<sup>4</sup> Costos combinados de MARPOL VI y de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta para el análisis realizado para esta propuesta, comparados con los datos de NO<sub>x</sub> y PM de Estados Unidos para reducir el combustible de los buques desde las condiciones anteriores a MARPOL VI hasta las condiciones de la Med SO<sub>x</sub> ECA del 0,10 % de S m/m.

<sup>5</sup> Dado que la propuesta norteamericana de 2009 para designar una ECA utilizó una diferencia de precio del combustible de 145 \$/t para pasar del HFO al combustible que cumple con la SECA, y el análisis realizado para esta propuesta utiliza una diferencia de precio del combustible de ~434 \$/t, las estimaciones de rentabilidad de EE. UU. (columna 2 anterior) se multiplicaron por la relación de estas diferencias de precio para que coincidieran con las variaciones del precio del combustible utilizadas para el análisis realizado para esta propuesta.

<sup>6</sup> Los métodos de mortalidad norteamericanos son similares a los utilizados aquí, aunque es posible que utilicen una ecuación de riesgo para la salud similar a la ecuación logarítmica lineal analizada y comparada en Sofiev et al, Nature Communications 2018 (1).

<sup>7</sup> A efectos de comparación con los resultados de las enfermedades relacionadas con el asma infantil del análisis realizado para esta propuesta, se sumó el conjunto de enfermedades relacionadas con el asma infantil notificadas por separado por los EE. UU.

## ANEXO 1

Información que responde a los criterios del Apéndice III del Anexo VI de MARPOL<sup>8</sup>

## Índice

<b>Índice</b> .....	10
<b>Índice de tablas</b> .....	13
<b>Índice de figuras</b> .....	15
<b>Abreviaturas y definiciones</b> .....	18
1    Introducción .....	20
1.1    Países que presentan esta propuesta.....	20
1.2    Criterios de designación de una zona de control de emisiones.....	21
1.3    Contenido de azufre de los combustibles y terminología.....	21
2    Descripción de la zona de aplicación propuesta.....	23
2.1    Zona de aplicación propuesta .....	23
2.2    Tipos de emisiones que se propone controlar.....	24
2.2.1    Contaminación por SO <sub>x</sub> y PM.....	24
2.3    Poblaciones y zonas de riesgo por exposición a las emisiones de los buques.....	24
2.4    Resumen de la descripción de la zona de aplicación propuesta.....	25
3    Contribución de los buques a la contaminación atmosférica y otros problemas medioambientales.....	26
3.1    Resumen de la evaluación .....	26
3.2    Resumen del inventario de emisiones de la zona del Mar Mediterráneo .....	26
3.2.1    Modelización del inventario de emisiones y datos para el supuesto de 2020 y años futuros 27	
3.3    Contribución del transporte marítimo a la calidad del aire ambiente.....	28
3.3.1    Contribución del transporte marítimo a la contaminación atmosférica por PM <sub>2,5</sub> en la zona del Mar Mediterráneo .....	28
3.3.2    Mejora de la calidad del aire ambiente con la Med SO <sub>x</sub> ECA propuesta (PM <sub>2,5</sub> ) .....	28
3.4    Resumen de la contribución del transporte marítimo a la calidad del aire ambiente .....	28
4    Consecuencias de las emisiones de los buques en la salud humana .....	29
4.1    Efectos en la salud relacionados con la exposición a los contaminantes atmosféricos .....	29
4.2    Naturaleza de los efectos de las PM.....	29
4.3    Metodología para estimar los efectos sobre la salud.....	29
4.4    Efectos cuantificados en la salud humana por la exposición a las emisiones de los buques	32
4.4.1    Mortalidad cardiovascular y por cáncer de pulmón evitada.....	32
4.4.2    Morbilidad del asma infantil.....	33
4.4.3    Resumen de las prestaciones sanitarias evaluadas.....	33
4.5    Resumen de las consecuencias de las emisiones de los buques en la salud humana .....	34
5    Consecuencias de las emisiones de los buques en los ecosistemas .....	35

<sup>8</sup> Las denominaciones empleadas y la presentación del material en esta publicación no implican la expresión de ninguna opinión por parte de la Secretaría de las Naciones Unidas, el Plan de Acción para el Mediterráneo (PAM) del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), el Programa para la Evaluación y Control de la Contaminación en la Región del Mediterráneo (MED POL), el Centro de Actividades Regionales del Plan Bleu (PB/RAC), el Centro Regional de Emergencia para la Lucha contra la Contaminación en el Mar Mediterráneo (REMPEC), o la Organización Marítima Internacional (OMI), en relación con la condición jurídica de cualquier país, territorio, ciudad o área o de sus autoridades, o en relación con la delimitación de sus fronteras o límites.

5.1	Visión global de la deposición resultante de las emisiones de SO <sub>x</sub> y PM de los buques.....	35
5.2	Consecuencias medioambientales y ecosistémicas y zonas de riesgo.....	35
5.2.1	Deposición de sulfato (SO <sub>4</sub> ) .....	35
5.2.2	Deposición de PM <sub>Total</sub> .....	37
5.2.3	Cambio en la visibilidad.....	39
5.3	Efectos asociados a la deposición de PM <sub>2,5</sub> y a los agentes tóxicos del aire.....	39
5.4	Resumen de los beneficios medioambientales.....	40
5.5	Resumen de las consecuencias de las emisiones de los buques en el medio ambiente .....	41
6	El papel de las condiciones meteorológicas en la contaminación atmosférica.....	42
7	Tráfico marítimo en la zona de aplicación propuesta .....	43
7.1	Patrones de tráfico marítimo.....	43
7.2	Resumen del tráfico marítimo en la zona de aplicación propuesta .....	44
8	Control de las fuentes terrestres.....	45
8.1	Identificación de las medidas terrestres existentes para el control de las emisiones de SO <sub>x</sub> y PM en los Estados costeros del Mediterráneo .....	45
8.1.1	Albania.....	46
8.1.2	Argelia.....	46
8.1.3	Bosnia y Herzegovina .....	47
8.1.4	Egipto.....	47
8.1.5	Unión Europea.....	47
8.1.5.1	Normas de calidad del aire ambiente de la UE.....	48
8.1.5.2	Compromisos nacionales de reducción de emisiones de la UE.....	49
8.1.5.3	Normas de emisión y eficiencia energética .....	50
8.1.6	Israel.....	50
8.1.7	Líbano .....	51
8.1.8	Libia.....	51
8.1.9	Mónaco.....	51
8.1.10	Montenegro .....	52
8.1.11	Marruecos.....	52
8.1.12	República Árabe Siria .....	52
8.1.13	Túnez .....	52
8.1.14	Turquía.....	53
8.2	Evaluación de la reducción de las emisiones de SO <sub>x</sub> y PM a partir de las medidas en tierra .....	53
8.3	Evaluación de la reducción de las emisiones de SO <sub>x</sub> y PM con medidas en tierra.....	54
8.3.1	Observaciones regionales de la calidad del aire ambiente.....	56
8.3.2	Albania.....	57
8.3.3	Argelia.....	58
8.3.4	Bosnia y Herzegovina .....	58
8.3.5	Croacia .....	59
8.3.6	Chipre.....	61
8.3.7	Egipto.....	62
8.3.8	Francia.....	62
8.3.9	Grecia.....	64
8.3.10	Israel .....	65
8.3.11	Italia.....	66
8.3.12	Líbano .....	67
8.3.13	Libia.....	68
8.3.14	Malta .....	68
8.3.15	Mónaco .....	70
8.3.16	Montenegro .....	70
8.3.17	Marruecos.....	71
8.3.18	Eslovenia.....	72

8.3.19	España.....	73
8.3.20	República Árabe Siria.....	75
8.3.21	Túnez.....	75
8.3.22	Turquía.....	76
8.4	Resumen del control de las fuentes terrestres.....	77
9	Costos de la reducción de las emisiones de los buques.....	78
9.1	Resumen de los costos estimados en 2020.....	78
9.2	Costos de combustible.....	78
9.2.1	Fueloil con bajo contenido de azufre (0,50 % S m/m).....	78
9.2.2	Gasóleo para usos marinos (0,10 % S m/m).....	79
9.2.3	Diferencias de precios.....	80
9.2.4	Precios del crudo.....	80
9.2.5	Resumen estadístico de los precios del combustible.....	81
9.2.6	Disponibilidad de combustible.....	82
9.3	Costos de los buques.....	84
9.3.1	Análisis de la adopción de la limpieza de los gases de escape.....	84
9.3.2	Combustibles alternativos.....	86
9.3.3	Comparación de los costos específicos de los buques.....	89
9.4	Costo para el sector marítimo en comparación con las medidas terrestres.....	90
9.4.1	Estimación de la rentabilidad.....	90
9.4.2	Precio virtual de la contaminación.....	90
9.4.3	Estimación de la rentabilidad de aplicaciones anteriores de la ECA.....	91
9.4.4	Rentabilidad de la Med SO <sub>x</sub> ECA.....	92
9.5	Rentabilidad de los beneficios cuantificados.....	92
9.5.1	Análisis beneficio-costos de la mortalidad (cáncer de pulmón y causas cardiovasculares) . .....	94
10	Repercusiones económicas del transporte marítimo en el comercio internacional.....	95
10.1	Tarifas de transporte marítimo de mercancías y pasajeros.....	95
10.1.1	Evaluación de los fletes.....	95
10.1.2	Evaluación de la tasa de pasajeros.....	98
10.2	Tarifas de transporte de mercancías y pasajeros por vía terrestre.....	99
10.3	Distancias del par O-D.....	100
10.4	Precios de los productos básicos.....	101
10.5	Modelización de los efectos socioeconómicos.....	102
10.5.1	Evaluación del costo del viaje.....	102
10.5.2	Evaluación de los fletes marítimos.....	103
10.5.3	Posibilidades de cambio de modo de transporte de mercancías.....	104
10.6	Efectos de los precios de las materias primas y los productos.....	106
10.6.1	Efecto del precio del combustible en el servicio de transporte de mercancías a zonas remotas y comunidades insulares.....	107
10.6.2	Efecto del precio del combustible en el servicio de pasajeros a zonas remotas y comunidades insulares.....	108
10.7	Elasticidad del precio de la demanda para bienes y productos básicos.....	110
10.8	Debate sobre los costos totales.....	112
10.9	Resumen de los costos de reducción de las emisiones de los buques.....	112
11	Referencias.....	113

## Índice de tablas

<i>Tabla 1.1-1. Situación de la ratificación del Anexo VI de MARPOL por parte de los Estados costeros del Mediterráneo (a fecha de [10 de septiembre de 2021])</i> .....	20
<i>Tabla 1.3-1. Definiciones de fueloil para uso marino de la resolución MEPC.320(74)</i> .....	22
<i>Tabla 3.2-1. Emisiones contaminantes de gases de efecto invernadero y criterios de referencia y supuesto 2020</i> .....	27
<i>Tabla 4.3-1. Tasas de mortalidad por enfermedades cardiovasculares y de cáncer de pulmón y de morbilidad por asma infantil de la OMS</i> .....	31
<i>Tabla 4.4-1. Resumen de los beneficios para la salud evaluados para la Med SO<sub>x</sub> ECA (año de modelo 2020) propuesta</i> .....	34
<i>Tabla 5.4-1. Resumen de los indicadores de otros beneficios asociados a la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta</i> .....	41
<i>Tabla 7.1-1. Uso de combustible en el año de referencia (2016) y uso de combustible previsto para 2020 según los supuestos de MARPOL VI y la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta</i> .....	44
<i>Tabla 7.1-2. Porcentajes de mezcla de combustible para la zona del Mar Mediterráneo en 2016 y según los supuestos de MARPOL VI y la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta</i> .....	44
<i>Tabla 8.1-1. Medidas terrestres identificadas a nivel nacional para el control de la contaminación por SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub></i> .....	46
<i>Tabla 8.1-2. Normas de calidad del aire ambiente de PM<sub>10</sub> y SO<sub>2</sub> en Egipto</i> .....	47
<i>Tabla 8.1-3. Selección de normas de concentración de la contaminación de la Directiva sobre la calidad del aire ambiente de la UE</i> .....	49
<i>Tabla 8.1-4. Normas de calidad del aire ambiente de PM<sub>10</sub> y SO<sub>2</sub> en el Líbano</i> .....	51
<i>Tabla 9.2-1. Coeficientes de correlación de Pearson entre los precios del combustible marino internacional y los del petróleo crudo</i> .....	81
<i>Tabla 9.2-2. Resumen estadístico de los precios de los combustibles para usos marinos evaluados (fechas incluidas)</i> .....	82
<i>Tabla 9.3-1. El recuento de la flota se tiene en cuenta para la tecnología de limpieza de los gases de escape</i> .....	84
<i>Tabla 9.3-2. Análisis de costos que relaciona los costos de capital y los años de inversión de las SLGE con el porcentaje de la flota que las utiliza</i> .....	85
<i>Tabla 9.3-3. Uso de SLGE por tipo de buque en el supuesto de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta</i> .....	86
<i>Tabla 9.3-4. Resumen del análisis de viabilidad económica de los combustibles alternativos para los principales tipos de buques en la zona del Mar Mediterráneo</i> .....	88
<i>Tabla 9.3-5. Recuento de la flota considerada para la sustitución del combustible alternativo, y el número que podría reducir los costos de cumplimiento de la SECA</i> .....	88
<i>Tabla 9.3-6. Análisis de costos que relaciona el precio del GNL y el diferencial de precios GNL-MGO con el porcentaje de la flota (todos los tipos de buques) que adopta el combustible alternativo</i> .....	89
<i>Tabla 9.3-7. Resumen del costo medio anual de cumplimiento por buque, por tipo</i> .....	89
<i>Tabla 9.4-1. Costos marginales de reducción del SO<sub>2</sub> (\$/t) adaptados a partir de Mekaroonreung and Johnson (2012)</i> .....	91
<i>Tabla 9.4-2. Rentabilidad de la Med SO<sub>x</sub> ECA a partir del estudio técnico y de viabilidad</i> .....	92
<i>Tabla 9.5-1. Rentabilidad de los beneficios cuantificados</i> .....	93
<i>Tabla 10.1-1. Lista de países (y grupo de países de la UE 15) para los que se consultaron los datos del CTM</i> .....	96
<i>Tabla 10.1-2. Resumen de los CTM por tipo de buque para una serie de productos seleccionados</i> .....	97
<i>Tabla 10.1-3. Análisis de sensibilidad de los CTM por grupo de productos y tipo de buque</i> .....	97
<i>Tabla 10.1-4. Rutas, distancias, precios, número de pasajeros de los transbordadores</i> .....	98
<i>Tabla 10.2-1. Costos medios por pasajero-km (ferrocarril), tonelada-km de mercancías (ferrocarril, LDV y HDV por carretera)</i> .....	100
<i>Tabla 10.3-1. Distancias marítimas, por carretera y ferrocarril entre pares de origen y destino (km)</i> .....	101
<i>Tabla 10.4-1. Precios seleccionados de alimentos, bebidas y productos básicos (\$ de 2019) de la UNCTAD</i> .....	101
<i>Tabla 10.5-1. Estimación del costo del combustible en el viaje diario y del incremento del costo utilizando la relación de precios del combustible del TCE de 1,29</i> .....	103
<i>Tabla 10.5-2. Relación entre el aumento del costo del viaje (valores de la tabla en porcentaje), el precio base del combustible (columna) y la relación del precio del combustible de la ECA (fila) utilizando el ejemplo del portacontenedor de 10.000 TEU de la Tabla 10.5-1</i> .....	103
<i>Tabla 10.5-3. Porcentaje de aumento de los costos de combustible por grupo de productos y tipo de buque</i> .....	104

<i>Tabla 10.5-4. Repercusión del costo del combustible en los CTM por tipo de buque para una gama seleccionada de productos básicos</i> .....	104
<i>Tabla 10.5-5. Costos de flete de referencia entre los pares de origen y destino (USD/tonelada de carga)</i> .....	105
<i>Tabla 10.5-6. Mayores costos de transporte entre pares O-D en comparación con el modo terrestre (USD/tonelada de carga)</i> .....	106
<i>Tabla 10.5-7. Fletes de equilibrio entre los pares de origen y destino (USD/tonelada de carga)</i> .....	106
<i>Tabla 10.6-1. Ejemplo de cómo el precio del combustible modifica el costo del viaje, las tarifas, el costo de la ruta y el precio del producto</i> .....	107
<i>Tabla 10.6-2. Rutas de transbordadores, distancias, precios y variación del precio del billete con el cambio al 0,10 % S m/m de combustible</i> .....	109
<i>Tabla 10.7-1. Elasticidad del precio de la demanda de 8 grupos de alimentos y bebidas en los Estados costeros del Mediterráneo que son Partes Contratantes del Convenio de Barcelona del USDA</i> .....	110
<i>Tabla 10.7-2. Elasticidad del precio de la demanda de determinados productos consumibles y duraderos (Fally y Sayre, 2018)</i> .....	111
<i>Tabla 10.7-3. Cambio estimado en la demanda de productos básicos basado en el cambio estimado en el precio y la elasticidad del precio de la demanda</i> .....	112

## Índice de figuras

<i>Figura 2.1-1: Partes contratantes del Convenio de Barcelona (en gris) y zona propuesta de la Med SO<sub>x</sub> ECA (en azul oscuro)</i> .....	24
<i>Figura 2.3-1: Datos reticulares de población de los Estados costeros mediterráneos</i> .....	25
<i>Figura 3.3-1: Diferencia en la concentración de PM<sub>2,5</sub> entre MARPOL VI y los supuestos de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta</i> .....	28
<i>Figura 4.4-1: Combinación de cáncer de pulmón y mortalidad cardiovascular evitados con la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta</i> .....	32
<i>Figura 4.4-2: Morbilidad por asma infantil evitada con la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta</i> .....	33
<i>Figura 5.2-1: Disminución de la deposición húmeda anual de sulfato entre MARPOL VI y la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta</i> .....	36
<i>Figura 5.2-2: Disminución porcentual de la deposición húmeda anual de sulfato entre MARPOL VI y la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta</i> .....	36
<i>Figura 5.2-3: Disminución de la deposición anual de sulfato seco entre MARPOL VI y la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta</i> .....	36
<i>Figura 5.2-4: Disminución porcentual de la deposición anual de sulfato seco entre MARPOL VI y la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta</i> .....	37
<i>Figura 5.2-5: Disminución de la deposición húmeda anual de PM<sub>Total</sub> entre MARPOL VI y la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta</i> .....	37
<i>Figura 5.2-6: Disminución porcentual de la deposición húmeda anual de PM<sub>Total</sub> entre MARPOL VI y la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta</i> .....	38
<i>Figura 5.2-8: Cambio porcentual en la deposición seca anual de PM<sub>Total</sub> entre MARPOL VI y la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta</i> .....	38
<i>Figura 5.2-9: Cambio porcentual en la profundidad óptica de los aerosoles (especies de PM) entre MARPOL VI y la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta</i> .....	39
<i>Figura 7.1-1: Uso de combustible en el año 2016 de referencia</i> .....	43
<i>Figura 8.1-1: Compromisos de techos de emisión nacionales de la UE-28 1990-2018</i> .....	49
<i>Figura 8.3-1: Todas las fuentes de emisión de SO<sub>2</sub> entre los Estados costeros mediterráneos que son Partes Contratantes del Convenio de Barcelona</i> .....	55
<i>Figura 8.3-2: Emisiones de SO<sub>2</sub> en el transporte en los Estados costeros del Mediterráneo que son Partes Contratantes del Convenio de Barcelona (excluyendo la navegación fluvial y la aviación)</i> .....	55
<i>Figura 8.3-3: Calidad media anual del aire (PM<sub>2,5</sub> µg/m<sup>3</sup>) observada en las estaciones de observación de la costa (a menos de 100 km del litoral)</i> .....	56
<i>Figura 8.3-4: Histograma de la calidad media anual del aire de la OMS (PM<sub>2,5</sub> µg/m<sup>3</sup>) observada en las estaciones de observación de la costa (a menos de 100 km del litoral)</i> .....	57
<i>Figura 8.3-5: Emisiones de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> en el transporte (izquierda) y no en el transporte (derecha) en Albania</i> .....	57
<i>Figura 8.3-6: Observaciones de la concentración media anual de PM<sub>2,5</sub> de la OMS en Albania (2016)</i> .....	58
<i>Figura 8.3-7: Emisiones de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Argelia</i> .....	58
<i>Figura 8.3-8: Emisiones de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Bosnia y Herzegovina</i> .....	59
<i>Figura 8.3-9: Observaciones de la OMS sobre la concentración media anual de PM<sub>2,5</sub> en Bosnia y Herzegovina (2016)</i> .....	59
<i>Figura 8.3-10: Emisiones de SO<sub>x</sub> y PM<sub>2,5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Croacia</i> .....	60
<i>Figura 8.3-11: Concentraciones medias anuales de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> en Croacia (las áreas sombreadas muestran el IC del 95 %)</i> .....	60
<i>Figura 8.3-12: Observaciones de la concentración media anual de PM<sub>2,5</sub> de la OMS en Croacia (2016)</i> .....	61
<i>Figura 8.3-13: Emisiones de SO<sub>x</sub> y PM<sub>2,5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Chipre</i> .....	61
<i>Figura 8.3-14: Concentraciones medias anuales de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> en Chipre (las áreas sombreadas muestran el IC del 95 %)</i> .....	61
<i>Figura 8.3-15: Observaciones de la concentración media anual de PM<sub>2,5</sub> de la OMS en Chipre (2016)</i> .....	62
<i>Figura 8.3-16: Emisiones de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Egipto</i> .....	62

<i>Figura 8.3-17: Emisiones de SO<sub>x</sub> y PM<sub>2,5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Francia</i> .....	63
<i>Figura 8.3-18: Concentraciones medias anuales de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> en Francia (las áreas sombreadas muestran el IC del 95 %)</i> .....	63
<i>Figura 8.3-19: Observaciones de la concentración media anual de PM<sub>2,5</sub> de la OMS en Francia (2016)</i> .....	64
<i>Figura 8.3-20: Emisiones de SO<sub>x</sub> y PM<sub>2,5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Grecia</i> .....	64
<i>Figura 8.3-21: Concentraciones medias anuales de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> en Grecia (las áreas sombreadas muestran el IC del 95 %)</i> .....	65
<i>Figura 8.3-22: Observaciones de la concentración media anual de PM<sub>2,5</sub> de la OMS en Grecia (2016)</i> .....	65
<i>Figura 8.3-23: Emisiones de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Israel</i> .....	66
<i>Figura 8.3-24: Emisiones de SO<sub>x</sub> y PM<sub>2,5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Italia</i> .....	66
<i>Figura 8.3-25: Concentraciones medias anuales de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> en Italia (las áreas sombreadas muestran el IC del 95 %)</i> .....	67
<i>Figura 8.3-26: Observaciones de la concentración media anual de PM<sub>2,5</sub> de la OMS en Italia (2016)</i> .....	67
<i>Figura 8.3-27: Emisiones de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en el Líbano</i> .....	68
<i>Figura 8.3-28: Emisiones de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Libia</i> .....	68
<i>Figura 8.3-29: Emisiones de SO<sub>x</sub> y PM<sub>2,5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Malta</i> .....	69
<i>Figura 8.3-30: Concentraciones medias anuales de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> en Malta (las áreas sombreadas muestran el IC del 95 %)</i> .....	69
<i>Figura 8.3-31: Observaciones de la concentración media anual de PM<sub>2,5</sub> de la OMS en Malta (2016)</i> .....	69
<i>Figura 8.3-32: Observaciones de la concentración media anual de PM<sub>2,5</sub> de la OMS en Mónaco (2016)</i> .....	70
<i>Figura 8.3-33: Emisiones de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Montenegro</i> .....	70
<i>Figura 8.3-34: Observaciones de la concentración media anual de PM<sub>2,5</sub> de la OMS en Montenegro (2016)</i> .....	71
<i>Figura 8.3-35: Emisiones de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Marruecos</i> .....	71
<i>Figura 8.3-36: Observaciones de la concentración media anual de PM<sub>2,5</sub> de la OMS en Marruecos (2016)</i> .....	72
<i>Figura 8.3-37: Emisiones de SO<sub>x</sub> y PM<sub>2,5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Eslovenia</i> .....	72
<i>Figura 8.3-38: Concentraciones medias anuales de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> en Eslovenia (las áreas sombreadas muestran el IC del 95 %)</i> .....	73
<i>Figura 8.3-39: Observaciones de la concentración media anual de PM<sub>2,5</sub> de la OMS en Eslovenia (2016)</i> .....	73
<i>Figura 8.3-40: Emisiones de SO<sub>x</sub> y PM<sub>2,5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en España</i> .....	74
<i>Figura 8.3-41: Concentraciones medias anuales de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> en España (las áreas sombreadas muestran el IC del 95 %)</i> .....	74
<i>Figura 8.3-42: Observaciones de la concentración media anual de PM<sub>2,5</sub> de la OMS en España (2016)</i> .....	75
<i>Figura 8.3-43: Emisiones de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en la República Árabe Siria</i> .....	75
<i>Figura 8.3-44: Emisiones de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Túnez</i> .....	76
<i>Figura 8.3-45: Emisiones de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Turquía</i> .....	76
<i>Figura 8.3-46: Observaciones de la concentración media anual de PM<sub>2,5</sub> de la OMS en Turquía (2016)</i> .....	77

<i>Figura 9.2-1: Índices de precios del LSFO en el mundo y en la región EMEA</i> .....	79
<i>Figura 9.2-2: Índices de precios del MGO en el mundo y en la región EMEA</i> .....	79
<i>Figura 9.2-3: Diferencia de precios entre el MGO y el LSFO para la región EMEA y el mundo</i> .....	80
<i>Figura 9.2-4: Precios mundiales del petróleo (Brent, WTI) y de los combustibles para usos marinos (IFO 380, LSFO, MGO) en \$/t (eje izquierdo) y \$/bbl (eje derecho)</i> .....	81
<i>Figura 9.2-5: La capacidad neta de refinado para producir gas/diésel es mayor que la demanda de consumo, suficiente para el suministro de Med SO<sub>x</sub> ECA</i> .....	83
<i>Figura 9.2-6: La capacidad neta de refinado y la producción de fueloil superan la demanda de consumo, incluido el combustible marino internacional</i> .....	83
<i>Figura 9.2-7: La capacidad neta de refinado y la producción de fueloil y gas/diésel superan la demanda de consumo</i> .....	84
<i>Figura 9.5-1: Rentabilidad del control de las reducciones de SO<sub>x</sub> y PM<sub>2.5</sub> basada en los precios de este documento</i> .....	93
<i>Figura 9.5-2: Rentabilidad de los resultados sanitarios en términos de mortalidad prematura evitada y asma infantil evitada</i> .....	94
<i>Figura 9.5-3: Comparación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta por mortalidad evitada y el VEV ponderado del Mediterráneo</i> .....	94
<i>Figura 10.1-1: Gráfico de los CTM para grupos de productos y tipos de buques</i> .....	96
<i>Figura 10.1-2: Actividad RoPax internacional y nacional</i> .....	99
<i>Figura 10.1-3: Actividad internacional y nacional de buques de pasajeros</i> .....	99
<i>Figura 10.6-1: Ejemplo para el café del precio del combustible incluido en el costo del viaje, los fletes, los costos de la ruta y los precios de los productos</i> .....	107
<i>Figura 10.7-1: Elasticidad de precios de la demanda de 8 grupos de productos básicos en los Estados costeros mediterráneos disponibles que son Partes Contratantes del Convenio de Barcelona</i> .....	111

**Abreviaturas y definiciones**

<b>Duración</b>	<b>Explicación</b>
AIE	Agencia Internacional de la Energía
cm	Centímetro
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CO <sub>2</sub> e	Dióxido de carbono equivalente
DM	Combustibles destilados para usos marinos
ECA	Zona de control de emisiones
EE. UU.	Estados Unidos (de América)
EERA	Energy and Environmental Research Associates, LLC
EMEA	Europa, Oriente Medio y África
FMI	Instituto Meteorológico de Finlandia
g	Gramos
GEI	Gases de efecto invernadero
GHO	Observatorio Mundial de la Salud
GNL	Gas natural licuado
HFO	Fueloil pesado
HSHFO	Fueloil pesado con contenido alto de azufre
IER	Respuesta a la exposición integrada
IFO	Fueloil intermedio
IIASA	Instituto Internacional de Análisis de Sistemas Aplicados
k	Miles (como, por ejemplo, miles de dólares)
km	Kilómetros
kW	Kilovatios
kWh	Kilovatios-hora
LSFO	Fueloil con bajo contenido de azufre
M	Millones (como, por ejemplo, millones de dólares)
m/m	Masa por masa
MARPOL	Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación Provocada por los Buques
MARPOL VI	Anexo I de MARPOL
MDO	Combustible destilado para usos marinos
Med SO <sub>x</sub> ECA	ECA de SO <sub>x</sub> del Mar Mediterráneo
MEPC	Comité de Protección del Medio Marino
MGO	Gasóleo marino
mm	Milímetro
Mt	Millones de toneladas métricas
MTC	Costos del transporte marítimo
NECA	Zona de control de emisiones de NO <sub>x</sub>
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno
OHI	Organización Hidrográfica Internacional
OMI	Organización Marítima Internacional
OMS	Organización Mundial de la Salud
pasajeros-km o p-km	Pasajeros-kilómetros

pH	Medida de la acidez de una solución
PM	Partículas en suspensión
PM <sub>10</sub>	PM con un diámetro medio de la masa inferior a 10 µm
PM <sub>2,5</sub>	PM con un diámetro medio de la masa inferior a 2,5 µm
PM <sub>Total</sub>	PM total
ppm	Partes por millón
REMPEC	Centro Regional de Emergencia para la Lucha contra la Contaminación en el Mar Mediterráneo
RM	Combustibles marinos residuales
RoPax	Roll-on de pasajeros
S	Azufre
SECA	Zona de control de emisiones de SO <sub>x</sub>
SILAM	Sistema de modelación integrada de la composición atmosférica
SLGE	Sistema de limpieza de gases de escape
SO <sub>2</sub>	Dióxido de azufre
SO <sub>x</sub>	Óxidos de azufre
STEAM	Modelo de evaluación de las emisiones del tráfico marítimo
T	Tonelada métrica (1.000 kg)
tonelada-km, ton-km o t-km	Toneladas-kilómetro
UE	Unión Europea
ULSFO	Fueloil con contenido de azufre extremadamente bajo
VEV	Valor de la vida estadística (o valor monetario para reducir el riesgo de una muerte prematura estadística)
VLSFO	Fueloil con muy bajo contenido de azufre
µm	micrómetro o micra

## 1 Introducción

La información contenida en este Anexo apoya la propuesta de [lista de copatrocinadores] para la designación del Mar Mediterráneo, en su conjunto, como Zona de Control de Emisiones (ECA) para prevenir, reducir y controlar las emisiones de óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) y de partículas (PM) procedentes de los buques, de conformidad con la regla 14 y el Apéndice III del Anexo VI del Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques (MARPOL), en lo sucesivo denominada Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta.

### 1.1 Países que presentan esta propuesta

Los [XXX/número] países que bordean el Mar Mediterráneo –[lista de Estados costeros mediterráneos relevantes]– comparten un interés común en el Mar Mediterráneo y en abordar las emisiones de los buques a lo largo de sus costas. Estos países piden al Comité que considere esta propuesta en el MEPC 78 y la remita para su adopción por las Partes del Anexo VI de MARPOL, reunidas bajo los auspicios del MEPC 79.

El [10 de septiembre de 2021], entre los Estados costeros del Mediterráneo, Albania, Croacia, Chipre, Francia, Grecia, Italia, Malta, Mónaco, Montenegro, Marruecos, Eslovenia, España, la República Árabe Siria, Túnez y Turquía, ratificaron el Anexo VI de MARPOL. Argelia, Bosnia y Herzegovina, Egipto, Israel, Líbano y Libia aún no han ratificado el Anexo VI de MARPOL (**Tabla 1.1-1.** ).

[MARCADOR DE POSICIÓN PARA LA DESCRIPCIÓN DE OTRAS MEDIDAS PARA LA RATIFICACIÓN]

*Tabla 1.1-1. Situación de la ratificación del Anexo VI de MARPOL por parte de los Estados costeros del Mediterráneo (a fecha de [10 de septiembre de 2021])*

País	Parte del Anexo VI de MARPOL
Albania	X
Argelia	
Bosnia y Herzegovina	
Chipre	X
Croacia	X
Egipto	
Eslovenia	X
España	X
Francia	X
Grecia	X
Israel	
Italia	X
Líbano	
Libia	
Malta	X
Marruecos	X
Mónaco	X
Montenegro	X
República Árabe Siria	X
Túnez	X
Turquía	X

## 1.2 Criterios de designación de una zona de control de emisiones

De acuerdo con el Anexo VI de MARPOL, la Organización Marítima Internacional (OMI) puede considerar una ECA si está respaldada por una necesidad demostrada de prevenir, reducir y controlar la contaminación atmosférica de los buques. En la sección 3 del Apéndice III del Anexo VI de MARPOL, tal como se cita, se establecen los ocho criterios siguientes:

3.1.1	una clara delimitación de la zona de aplicación propuesta junto con una carta de referencia donde se indique dicha zona;
3.1.2	el tipo o tipos de emisiones que se proponen para su control (es decir, NO <sub>x</sub> o SO <sub>x</sub> y partículas o los tres tipos de emisiones);
3.1.3	una descripción de las poblaciones humanas y de las zonas medioambientales en riesgo por los efectos de las emisiones de los buques;
3.1.4	una evaluación de que las emisiones de los buques que operan en la zona de aplicación propuesta están contribuyendo a las concentraciones de contaminación atmosférica en el entorno o a los efectos medioambientales adversos. Dicha evaluación incluirá una descripción de los efectos de las emisiones pertinentes sobre la salud humana y el medio ambiente, como los efectos adversos sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos, las zonas de productividad natural, los hábitats críticos, la calidad del agua, la salud humana y las zonas de importancia cultural y científica, si procede. Se identificarán las fuentes de datos pertinentes, incluidas las metodologías utilizadas;
3.1.5	la información pertinente relativa a las condiciones meteorológicas en la zona de aplicación propuesta, a las poblaciones humanas y a las zonas medioambientales de riesgo, en particular los patrones de viento predominantes, o a las condiciones topográficas, geológicas, oceanográficas, morfológicas o de otro tipo que contribuyan a las concentraciones ambientales de contaminación atmosférica o a los efectos medioambientales adversos;
3.1.6	la naturaleza del tráfico de buques en la zona de control de emisiones propuesta, incluidas las pautas y la densidad de dicho tráfico;
3.1.7	una descripción de las medidas de control adoptadas por la Parte o Partes proponentes en relación con las fuentes terrestres de emisiones de NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> y partículas que afecten a las poblaciones humanas y a las zonas medioambientales de riesgo, que estén en vigor y funcionen al mismo tiempo que el examen de las medidas que deben adoptarse en relación con las disposiciones de las reglas 13 y 14 del Anexo VI; y
3.1.8	los costos relativos de la reducción de las emisiones de los buques en comparación con los controles en tierra, y las repercusiones económicas en el transporte marítimo dedicado al comercio internacional.

## 1.3 Contenido de azufre de los combustibles y terminología

Antes de su aplicación, la mayoría de los análisis partían del supuesto de que los combustibles destilados para usos marinos (MDO) serían la principal vía de combustible para cumplir con el límite global de azufre de 0,50 % S m/m de la OMI para 2020. Posteriormente, el mercado ha satisfecho la demanda de combustibles con 0,50 % de S m/m utilizando mezclas de combustible que contienen varias corrientes de residuos y productos más ligeros, denominadas fueloil con bajo contenido de azufre (LSFO). El fueloil con muy bajo contenido de azufre (VLSFO) tiene un contenido máximo de azufre de 0,50 % S m/m y el fueloil con contenido de azufre extremadamente bajo (ULSFO) tiene un contenido máximo de azufre de 0,10 % S m/m. Los combustibles destilados para usos marinos (DM) incluyen el MDO y el gasoil para usos marinos (MGO). Mientras que los trabajos anteriores se referían a los MDO como la vía de cumplimiento para los combustibles de 0,50 % S m/m de la OMI 2020, el mercado ha pasado a los LSFO como vías de cumplimiento, y las referencias a los MDO son paralelas a los combustibles LSFO de 0,50 % S m/m.

Generalmente, las referencias al fueloil pesado (HFO) o fueloil intermedio (IFO) en trabajos anteriores se refieren a combustibles con un contenido de azufre  $\geq 0,50$  % S m/m. MDO se refiere generalmente a combustibles  $\leq 0,50$  % S m/m pero  $\geq 0,10$  % S m/m, y MGO se refiere a combustibles  $\leq 0,10$  % S m/m.

La terminología ha variado entre los reglamentos de la OMI, las normas ISO y los precios de los combustibles descritos en el mercado, lo que complica aún más la comparación de los combustibles y los precios a lo largo del tiempo. Según la resolución MEPC.320(74) sobre las *Directrices de 2019 para la implantación uniforme del límite del contenido de azufre del 0,50 % en virtud del Anexo VI de MARPOL* (IMO, 2020)<sup>9</sup> los combustibles para usos marinos se describen como se indica en **Tabla 1.3-1**.

Como se indica en la resolución MEPC.320(74), los armadores/operadores deben ser conscientes de que la viscosidad de los combustibles residuales mezclados (LSFO) es tal que requieren calentamiento para su limpieza y combustión, y por lo tanto no pueden ser utilizados en sistemas de combustible solo destilado, recomendándose sistemas totalmente segregados para los combustibles destilados y los LSFO. La OMI recomienda que los buques dispongan de un procedimiento de mezclado, en el que, en la medida de lo posible, los combustibles nuevos se carguen en tanques vacíos y la mezcla a bordo solo se realice cuando se haya determinado la compatibilidad entre los combustibles.

Tabla 1.3-1. Definiciones de fueloil para uso marino de la resolución MEPC.320(74)

Categoría de combustible	Norma ISO	Límite de azufre del combustible	Terminología alternativa
DM	ISO 8217:2017	1,0 % S m/m máximo	MGO si $\leq 0,10$ % S m/m MDO si $\leq 0,50$ % S m/m
Combustibles marinos residuales (RM)	ISO 8217:2017	De acuerdo con los requisitos legales	IFO HFO
Fueloil pesado con contenido alto de azufre (HSHFO)		$> 0,50$ % S m/m	HFO
VLSFO	ISO 8217:2017	$\leq 0,50$ % S m/m	MDO Mezcla de conformidad
ULSFO	ISO 8217:2017	$\leq 0,10$ % S m/m	MGO MDO Mezcla de conformidad

<sup>9</sup> <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/10-MEPC-74-sulphur-2020.aspx>.

## 2 Descripción de la zona de aplicación propuesta

Esta sección presenta información que aborda los criterios 3.1.1, 3.1.2 y 3.1.3 del Apéndice III del Anexo VI de MARPOL, según se cita:

Criterio 3.1.1	una clara delimitación de la zona propuesta para la aplicación, junto con una carta de referencia en la que se indique dicha zona;
Criterio 3.1.2	el tipo o tipos de emisiones que se proponen para su control (es decir, NO <sub>x</sub> o SO <sub>x</sub> y partículas o los tres tipos de emisiones);
Criterio 3.1.3	una descripción de las poblaciones humanas y de las zonas medioambientales en riesgo por los efectos de las emisiones de los buques;

### 2.1 Zona de aplicación propuesta

El Mediterráneo es una región importante para la navegación internacional y comercial. El Mar Mediterráneo representa aproximadamente el 0,7 % de los mares y océanos navegables, y el tráfico marítimo mediterráneo representa alrededor del 7 % de la actividad marítima mundial, el uso de energía y las emisiones. A partir de las observaciones del AIS, se observa que más de 30.000 buques operan anualmente en el Mar Mediterráneo. Según el análisis realizado para esta propuesta, las emisiones de CO<sub>2</sub> del transporte marítimo representan aproximadamente el 10 % de los inventarios de CO<sub>2</sub> de los Estados costeros del Mediterráneo, según lo declarado a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

El área de aplicación propuesta para la designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta, según el modelo de este documento, se ilustra en **Figura 2.1-1**. El área de aplicación propuesta sigue la definición de la Organización Hidrográfica Internacional (OHI) del Mar Mediterráneo<sup>10</sup>, que limita al sureste con la entrada del Canal de Suez, al noreste con la entrada de los Dardanelos, trazada como una línea que une los faros de Mehmetcik y Kumkale, y al oeste con el meridiano que pasa por el faro de Cabo Espartel, que también define el límite occidental del Estrecho de Gibraltar. La zona de aplicación propuesta es idéntica a la zona geográfica descrita en el artículo 1.1 del Convenio de Barcelona, que en lo sucesivo se denominará zona del Mar Mediterráneo. Las aguas de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta afectan a las veintidós (22) Partes Contratantes del Convenio de Barcelona, a saber, Albania, Argelia, Bosnia y Herzegovina, Croacia, Chipre, Egipto, Francia, Grecia, Israel, Italia, Líbano, Libia, Malta, Mónaco, Montenegro, Eslovenia, España, la República Árabe Siria, Túnez, Turquía y la Unión Europea. En el **Anexo 2** de esta propuesta se incluye información adicional sobre el área de aplicación propuesta.

<sup>10</sup> [https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-23/S-23\\_Ed3\\_1953\\_EN.pdf](https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-23/S-23_Ed3_1953_EN.pdf).



Figura 2.1-1: Partes contratantes del Convenio de Barcelona (en gris) y zona propuesta de la Med SO<sub>x</sub> ECA (en azul oscuro)

## 2.2 Tipos de emisiones que se propone controlar

Esta propuesta apoya la designación de una ECA para controlar las emisiones de SO<sub>x</sub> y PM de los buques. El SO<sub>x</sub> es un precursor de la formación de partículas finas. La **sección 4** ofrece detalles sobre las consecuencias en la salud relacionadas con las PM, y la **sección 5** proporciona información sobre las consecuencias en los ecosistemas de la deposición de PM y compuestos que contienen sulfato húmedo y seco.

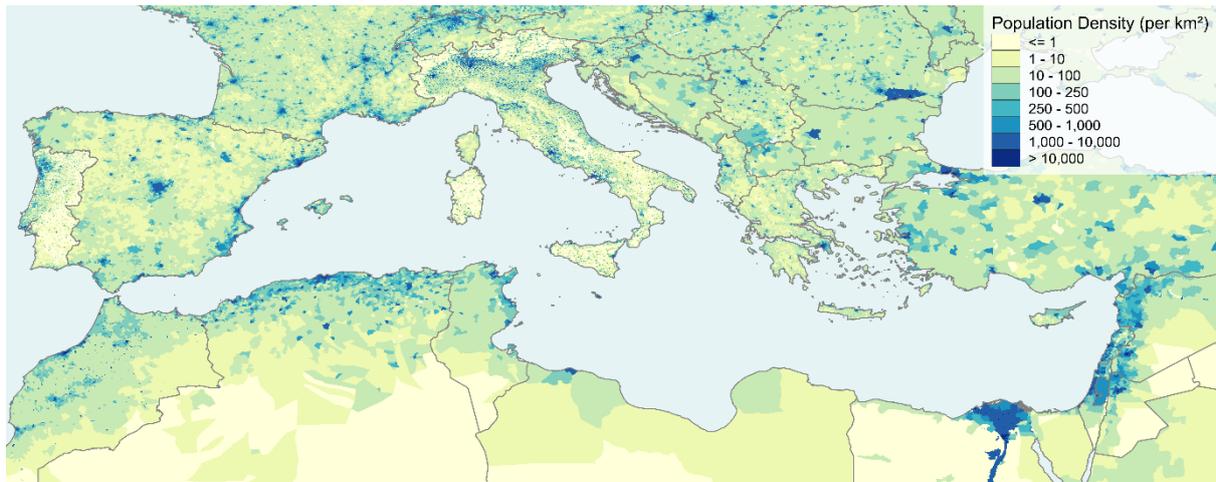
### 2.2.1 Contaminación por SO<sub>x</sub> y PM

La contaminación por SO<sub>x</sub> se forma durante la combustión de los motores marinos, a partir del azufre disponible en el combustible para usos marinos. Las emisiones de SO<sub>x</sub> de los tubos de escape de los buques contribuyen a la formación de aerosoles de sulfato (SO<sub>4</sub>), que son pequeñas partículas. Las pequeñas partículas de aerosol de sulfato, junto con otras especies de PM, son capaces de penetrar profundamente en los pulmones de los organismos vivos, incluidos los seres humanos, contribuyendo a aumentar la mortalidad por cáncer de pulmón y enfermedades cardiovasculares y la morbilidad por asma. Además, la deposición de partículas de SO<sub>4</sub> contribuye a aumentar la acidificación de las aguas superficiales y de los sistemas terrestres, lo cual es perjudicial para el medio ambiente.

## 2.3 Poblaciones y zonas de riesgo por exposición a las emisiones de los buques

La zona del Mar Mediterráneo está rodeada por todas partes por masas de tierra con importantes poblaciones costeras. En los Estados costeros del Mediterráneo viven 507,5 millones de personas, muchas de ellas en pueblos y ciudades costeras (**Figura 2.3-1**). El Mar Mediterráneo es una ruta marítima esencial para las mercancías que viajan desde Asia oriental a los mercados europeos, de Asia occidental y del norte de África, lo que significa que muchas personas viven cerca de una de las principales puertas de entrada del transporte marítimo mundial.

La zona del Mar Mediterráneo alberga muchos lugares de importante patrimonio cultural, como ecosistemas sensibles y ruinas antiguas. Dado que la contaminación de los buques puede recorrer grandes distancias, transportada por los procesos atmosféricos, las grandes poblaciones y ecosistemas del interior se beneficiarán de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta, además de las poblaciones, los emplazamientos y los ecosistemas de las localidades costeras.



*Figura 2.3-1: Datos reticulares de población de los Estados costeros mediterráneos*

## **2.4 Resumen de la descripción de la zona de aplicación propuesta**

Sobre la base de la información presentada en la **sección 2.1**, la **sección 2.2** y la **sección 2.3** anteriores, esta propuesta cumple los criterios 3.1.1, 3.1.2 y 3.1.3 del Apéndice III del Anexo VI de MARPOL.

### 3 Contribución de los buques a la contaminación atmosférica y otros problemas medioambientales

En esta sección se presenta información que responde al criterio 3.1.4 del Apéndice III del Anexo VI de MARPOL, tal como se cita:

Criterio 3.1.4	una evaluación de que las emisiones de los buques que operan en la zona de aplicación propuesta están contribuyendo a las concentraciones de contaminación atmosférica en el entorno o a los efectos medioambientales adversos. Dicha evaluación incluirá una descripción de los efectos de las emisiones pertinentes sobre la salud humana y el medio ambiente, como los efectos adversos sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos, las zonas de productividad natural, los hábitats críticos, la calidad del agua, la salud humana y las zonas de importancia cultural y científica, si procede. Se identificarán las fuentes de datos pertinentes, incluidas las metodologías utilizadas;
----------------	--

#### 3.1 Resumen de la evaluación

Las emisiones de SO<sub>x</sub> y PM de los buques tienen unas consecuencias significativas en la calidad del aire en la zona del Mar Mediterráneo. Además, la modelización muestra que la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta supondría amplios beneficios en toda la zona del Mar Mediterráneo y en el interior, debido a la naturaleza de largo alcance de la contaminación procedente de los buques. Las emisiones de SO<sub>x</sub> y PM<sub>2,5</sub> procedentes de los buques se reducirían en un 78,7 % y un 23,7 %, respectivamente, con la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta, lo que supondría beneficios para la salud y el medio ambiente gracias a la reducción de la exposición ambiental a los contaminantes. Se espera que la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta conduzca a una mejora de la calidad del aire en toda la región del Mar Mediterráneo y más allá, lo que permitirá evitar miles de muertes prematuras e incidencias de asma infantil cada año. La Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta mejorará la visibilidad en la región y reducirá la deposición de sulfatos y PM, que causan daños en lugares de importante patrimonio cultural y perjudican a ecosistemas sensibles y a la pesca.

#### 3.2 Resumen del inventario de emisiones de la zona del Mar Mediterráneo

Los combustibles con menor contenido de azufre que se exigirían en el marco de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta darían lugar a emisiones más bajas que las prácticas actuales, y a emisiones más bajas en comparación con los límites globales de MARPOL VI 2020. Las reducciones de SO<sub>x</sub> son directamente proporcionales al cambio de combustible de 0,50 % S m/m a 0,10 % S m/m. Las reducciones de PM dependen principalmente de la fracción de PM emitida por los buques que se deriva del contenido de azufre del combustible.

Las normas MARPOL VI reducirán las emisiones de SO<sub>x</sub> en aproximadamente un 75 % en las operaciones típicas que utilizan combustibles residuales. La aplicación de las normas SECA permitiría reducir en un 95 % las emisiones de SO<sub>x</sub> de los buques en comparación con las operaciones actuales. Las reducciones de PM asociadas a MARPOL VI son de aproximadamente un 51 %, y las normas SECA aumentarían esa cifra hasta el 62 % de reducción de las emisiones.

Las emisiones de referencia de SO<sub>x</sub> y PM<sub>2,5</sub> se estiman en 681.000 y 97.500 toneladas en 2016. En la hipótesis de MARPOL VI, esas clases de emisiones disminuyen un 75,3% y un 50,7% respectivamente. Los resultados del inventario de emisiones en el supuesto de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta de 2020 para SO<sub>x</sub> y PM<sub>2,5</sub> se reducen en un 78,7 % y un 23,7 % más en comparación con MARPOL VI 2020 (**Tabla 3.2-1**).

### 3.2.1 Modelización del inventario de emisiones y datos para el supuesto de 2020 y años futuros

En la actualidad, los sistemas de energía de los buques internacionales consumen principalmente productos y subproductos del petróleo, con un uso limitado de gas natural licuado. La mayor parte de la flota consume combustible residual, también conocido como HFO, que incluye varios grados de mezcla de subproductos del petróleo del refinado (2). Los límites actuales prescritos por MARPOL VI obligarán a los buques marinos a adoptar combustibles que cumplan un límite global de 0,50 % de S m/m en 2020. Esta propuesta expone el cumplimiento por defecto de MARPOL VI como resultado de un cambio de combustible no conforme (media de 2,40 % de S m/m) a combustible conforme a MARPOL VI (0,50 % de S m/m). Todos los supuestos de años futuros tienen en cuenta la viabilidad técnica y económica de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta para ser comparada con las condiciones definidas utilizando el combustible que cumple con MARPOL VI.

*Tabla 3.2-1. Emisiones contaminantes de gases de efecto invernadero y criterios de referencia y supuesto 2020*

T	Referencia Med 2016	MARPOL VI 2020	Med SO <sub>x</sub> ECA 2020 propuesta
SO <sub>x</sub> total	681,000	168,000	35,800
PM <sub>2,5</sub> total	97,500	48,100	36,700
NO <sub>x</sub> total	1,330,000	1,160,000	1,170,000
CO <sub>2</sub> total	58,070,000	51,700,000	51,880,000

Al considerar la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta, las alternativas de cumplimiento expuestas en este documento comienzan asumiendo un cambio de combustible que cumple con MARPOL VI a un combustible que cumple con SECA. En otras palabras, la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta supondría un cambio del 0,50 % de S m/m al 0,10 % de S m/m en el combustible para usos marinos. Reconociendo que el cumplimiento de la SECA puede lograrse mediante mecanismos de cumplimiento alternativos, este documento los considera principalmente como parte de la viabilidad económica (**sección 9.3.1 y sección 9.3.2**); se espera que los operadores de flotas adopten alternativas de cumplimiento al cambio de combustible cuando se reduzcan los costos a largo plazo del cumplimiento de la SECA. Los enfoques alternativos para el cumplimiento de la SECA consideran la adopción de tecnología de reducción de gases de escape o alternativas avanzadas de combustible. Este documento expone los sistemas de limpieza de los gases de escape de azufre a bordo (SLGE), también denominados depuradores, como la tecnología principal de reducción de los gases de escape para cumplir los límites de azufre más bajos de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta. Este documento expone el gas natural licuado (GNL) como la alternativa de combustible avanzada para cumplir con los límites de azufre más bajos de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta. Reconociendo que pueden especificarse otras tecnologías y combustibles, este documento utiliza un marco analítico que puede aplicarse para investigar más específicamente otras estrategias de cumplimiento (por ejemplo, varios diseños de SLGE, metanol, hidrógeno u otras combinaciones de combustible para usos marinos y energía).

Este documento utiliza el Modelo de Evaluación de las Emisiones del Tráfico Marítimo (STEAM) para exponer el consumo de combustible y las emisiones basadas en la actividad de más de 30.000 buques que operan anualmente en la zona del Mar Mediterráneo. El modelo STEAM, que se basa en el Sistema de Identificación Automática de Buques (AIS) para el año 2016, integra la actividad de los buques, las características tecnológicas y de diseño, y las entradas del tipo de combustible para estimar los requisitos energéticos específicos de los buques, el consumo de combustible y las emisiones. Estas estimaciones se agregan por tipo de buque y dentro del área del Mar Mediterráneo para producir estimaciones anuales de combustible y emisiones para un año base 2016. El modelo STEAM también produce un conjunto de estimaciones para los años futuros 2020, 2030, 2040 y 2050, empleando hipótesis sobre la demanda futura de la flota, las economías de escala de los buques, las mejoras en el ahorro de combustible y las tasas de sustitución de la flota.

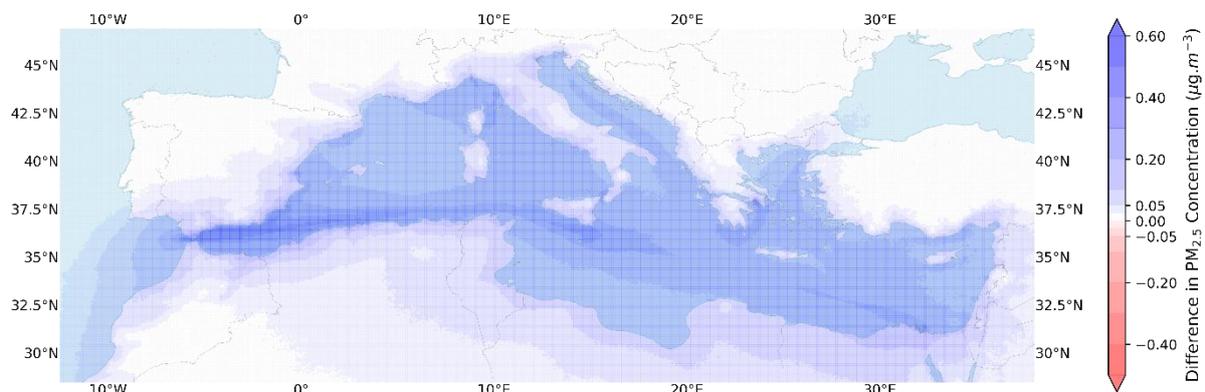
### 3.3 Contribución del transporte marítimo a la calidad del aire ambiente

#### 3.3.1 Contribución del transporte marítimo a la contaminación atmosférica por $PM_{2.5}$ en la zona del Mar Mediterráneo

La modelización de la calidad del aire muestra que las emisiones de  $SO_x$  y PM de los buques tienen un impacto significativo en la calidad del aire en la zona del Mar Mediterráneo. Además, la modelización muestra que la Med  $SO_x$  ECA propuesta supondría amplios beneficios en toda la zona del Mar Mediterráneo y en el interior, debido a la naturaleza de largo alcance de la contaminación procedente de los buques.

#### 3.3.2 Mejora de la calidad del aire ambiente con la Med $SO_x$ ECA propuesta ( $PM_{2.5}$ )

**Figura 3.3-1** muestra la diferencia media anual modelizada geoespacialmente en la concentración de  $PM_{2.5}$  por la aplicación de la Med  $SO_x$  ECA propuesta en comparación con la referencia MARPOL VI 2020. Las áreas en azul muestran los lugares en los que las  $PM_{2.5}$  según MARPOL VI son mayores que en el supuesto propuesto de la Med  $SO_x$  ECA, es decir, donde la Med  $SO_x$  ECA propuesta conduce a una reducción de las  $PM_{2.5}$ . Tal como se muestra, todas las zonas acuáticas del Mar Mediterráneo experimentan reducciones de la concentración de  $PM_{2.5}$  de entre 0,05 y 0,6  $\mu g/m^3$ , y los beneficios de las zonas terrestres costeras se obtienen principalmente en el litoral del norte de África, España, Francia, Italia, Malta y Grecia. Las zonas en las que se espera una mayor reducción de las concentraciones de  $PM_{2.5}$  atribuibles a los buques son en el Mediterráneo occidental, a lo largo de las costas de España y Marruecos, en el Mediterráneo central al sur de Sicilia y sobre Malta, al sur y al este de Grecia, y a lo largo de la costa norte de Egipto, cerca de la entrada del Canal de Suez.



*Figura 3.3-1: Diferencia en la concentración de  $PM_{2.5}$  entre MARPOL VI y los supuestos de la Med  $SO_x$  ECA propuesta*

### 3.4 Resumen de la contribución del transporte marítimo a la calidad del aire ambiente

Como muestran los datos de la **Figura 3.3-1**, una SECA establecida en virtud de la norma 14 produciría beneficios para todas las comunidades costeras alrededor de la Med  $SO_x$  ECA propuesta, y también beneficiaría a las comunidades situadas muy al interior. Los beneficios para la calidad del aire de la Med  $SO_x$  ECA propuesta han sido claramente demostrados y cumplen la parte de las contribuciones de los buques a la calidad del aire del criterio 3.1.4 del Apéndice III del Anexo VI de MARPOL.

#### 4 Consecuencias de las emisiones de los buques en la salud humana

Esta sección complementa la información presentada en la **sección 3**, que aborda el criterio 3.1.4 del Apéndice III del Anexo VI de MARPOL, tal y como se cita:

Criterio 3.1.4	una evaluación de que las emisiones de los buques que operan en la zona de aplicación propuesta están contribuyendo a las concentraciones de contaminación atmosférica en el entorno o a los efectos medioambientales adversos. Dicha evaluación incluirá una descripción de los efectos de las emisiones pertinentes sobre la salud humana y el medio ambiente, como los efectos adversos sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos, las zonas de productividad natural, los hábitats críticos, la calidad del agua, la salud humana y las zonas de importancia cultural y científica, si procede. Se identificarán las fuentes de datos pertinentes, incluidas las metodologías utilizadas;
----------------	--

##### 4.1 Efectos en la salud relacionados con la exposición a los contaminantes atmosféricos

La mortalidad por cáncer de pulmón y enfermedades cardiovasculares y la morbilidad por asma infantil que se esperan evitar, relacionadas con la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta, se estimaron utilizando el modelo de salud más avanzado, publicado recientemente en *Nature Communications* (1) y al que se hace referencia en el documento MEPC 70/INF.34. Este modelo produce estimaciones de mortalidad y morbilidad de alta resolución (10 km x 10 km), correspondientes a la resolución de las cuadrículas de concentración subyacentes proporcionadas por el modelo Sistema de modelación integrada de la composición atmosférica (SILAM). El enfoque de modelización de alta resolución reduce la subestimación y la sobreestimación de la mortalidad y la morbilidad inherentes a modelos más gruesos (50 km x 50 km) de emisiones y población. Los resultados del modelo incluyen estimaciones reticulares de alta resolución de la mortalidad y la morbilidad, y la carga de morbilidad específica de cada país para los países que se muestran en **Figura 2.1-1**. Se utilizaron las estimaciones de crecimiento de la población, las tasas de incidencia de las enfermedades y las estructuras de edad específicas de cada país, así como los datos socioeconómicos y de población globales reticulares de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) del Centro de Datos y Aplicaciones Socioeconómicas (SEDAC) (3) de la NASA.

##### 4.2 Naturaleza de los efectos de las PM en la salud

Las PM con un diámetro medio de masa inferior a 10 micras ( $\mu\text{m}$ ) (PM<sub>10</sub>) pueden ser aspiradas profundamente por los pulmones y contribuir a enfermedades. En concreto, las PM con un diámetro medio de masa inferior a 2,5  $\mu\text{m}$  (PM<sub>2,5</sub>) pueden atravesar la barrera pulmonar y entrar en el torrente sanguíneo, lo que aumenta el riesgo de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, incluido el cáncer de pulmón. La exposición crónica a altas concentraciones de PM se asocia a un mayor riesgo de enfermedad cardiovascular y de cáncer de pulmón que la exposición a bajas concentraciones. Sin embargo, no se ha identificado un umbral inferior; existe un mayor riesgo de enfermedad en todos los niveles de exposición a PM.

##### 4.3 Metodología para estimar los efectos sobre la salud

La metodología de modelización de las repercusiones en la salud sigue el enfoque expuesto en trabajos anteriores (4, 5). El trabajo anterior aplicó las funciones de riesgo de mortalidad identificadas en Ostro (2004) (6) que, a su vez, se basa en el trabajo desarrollado a partir del estudio de las Seis Ciudades de Harvard de Estados Unidos, realizado anteriormente por Pope, et al. (7-9).

Las concentraciones de exposición a las  $PM_{2,5}$  en la zona del Mar Mediterráneo son similares a las del estudio Harvard Six Cities, lo que indica que las funciones de riesgo de mortalidad prematura derivadas del estudio Harvard Six Cities pueden aplicarse a dicha zona.

Esta evaluación de las consecuencias en la salud sigue el trabajo publicado en *Nature Communications* en 2018 que emplea una función de concentración-respuesta (C-R) de Lepeule, et al. (2012), que actualiza la epidemiología del estudio Harvard Six Cities (10). Los resultados de salud se estiman utilizando una función lineal C-R, que refleja la comprensión actualizada de la relación entre la salud y la exposición a la contaminación atmosférica y proporciona mejores estimaciones de los resultados de salud cuando las concentraciones ambientales de  $PM_{2,5}$  superan las directrices de la OMS ( $> 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Las estimaciones de los resultados de salud se centran en las respuestas de mortalidad cardiovascular y por cáncer de pulmón en poblaciones de más de 30 años, en consonancia con Lepeule, et al. (2012). Al igual que en un trabajo anterior (Sofiev et al., 2018), se incluyó una evaluación de la morbilidad del asma infantil ( $< 14$  años), que utiliza ecuaciones de concentración-respuesta similares, basadas en las tasas de incidencia de asma notificadas por país (11).

Los datos reticulares de población para 2020 proceden de “Population of the world” del SEDAC, versión 4.10(3). Estos datos proporcionan recuentos de la población reticulares, que fueron remuestreados a una resolución de  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$  ( $\sim 10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ ) para reflejar las diferencias regionales en los recuentos de población. Estos datos de población se basan en las estadísticas de la ONU y aplican tasas subnacionales de cambio de población (crecimiento/decrecimiento) para estimar los recuentos de población en el futuro. Se aplicaron fracciones de cohorte de edad a nivel de país directamente a los recuentos de población de cada Estado miembro de las Naciones Unidas para determinar las poblaciones de cohorte de edad por país (12). Se asumió una estructura de edad de la población uniforme en cada país, multiplicando la malla de población por la fracción de población específica del país menor de 14 años y entre 30 y 99 años. Este enfoque probablemente no tiene en cuenta las diferencias regionales en las cohortes de edad, pero representa la mejor práctica disponible dada la escasez de datos de cohortes de edad específicos de cada país.

Las tasas de incidencia de las enfermedades cardiovasculares y del cáncer de pulmón específicas de cada país proceden de los datos del Observatorio Mundial de la Salud (GHO) de la Organización Mundial de la Salud (**Tabla 4.3-1**) (13, 14). Para determinar los resultados globales en materia de salud asociados a las emisiones de los buques y a la Med  $SO_x$  ECA propuesta, calculamos la mortalidad evitada en función del cambio en la concentración de  $PM_{2,5}$  entre el supuesto MARPOL VI de 2020 (0,50 % S m/m) y el supuesto propuesto de la Med  $SO_x$  ECA (0,10 % S m/m).

Tabla 4.3-1. Tasas de mortalidad por enfermedades cardiovasculares y de cáncer de pulmón y de morbilidad por asma infantil de la OMS

País	Cardiovascular (Enfermedad por 100.000)	Cáncer de pulmón (Enfermedad por 100.000)	Asma (Porcentaje de enfermedad, edad < 14)
Albania	330.0	26.0	3.6
Argelia	220.3	8.7	7.1
Bosnia y Herzegovina	277.8	29.1	9.9
Chipre	142.3	20.7	9.9
Croacia	208.0	22.9	5.2
Egipto	412.3	7.6	5.2
Eslovenia	138.5	28.7	9.9
España	82.1	23.8	13.9
Francia	70.6	27.8	12.6
Grecia	135.1	31.8	9.8
Israel	77.1	20.3	10.3
Italia	103.2	22.9	11.4
Líbano	295.0	17.0	11.6
Libia	324.0	19.0	9.9
Malta	138.5	20.9	14.1
Marruecos	260.3	12.8	13.3
Mónaco	70.6	27.8	9.9
Montenegro	329.2	36.6	9.9
República Árabe Siria	377.5	17.0	5.1
Túnez	278.5	15.7	9.3
Turquía	202.6	29.8	9.9

Las tasas de incidencia del asma infantil específicas de cada país se ofrecen en el Informe Mundial sobre el Asma 2014 (15). Para la enfermedad del asma, se utilizaron los datos de "asma alguna vez" en el grupo de edad de 13 a 14 años que figuran en el Informe mundial sobre el asma 2014 (15), y este porcentaje se aplicó a la fracción de población menor de 14 años. Zheng et al (11) proporcionan factores de riesgo relativo (RR) de asma infantil por exposición a la contaminación por PM<sub>2.5</sub> (Tabla 2 de Zheng), que se convirtieron en coeficientes  $\beta$ .

La mortalidad y la morbilidad evitadas por los cambios en las concentraciones de partículas totales (PM<sub>Total</sub>) se calcularon utilizando los enfoques mencionados anteriormente, en consonancia con otros trabajos recientes en este ámbito (5, 16). El efecto total (E) de los cambios para cada celda de la malla viene dado por:

$$E = AF \cdot B \cdot P$$

donde  $B$  representa la tasa de incidencia del efecto sanitario dado (Tabla 4.3-1);  $P$  es la población pertinente, ponderada por la cohorte de edad; y  $AF$  es la fracción atribuible de la enfermedad debida a la contaminación por PM relacionada con el transporte marítimo, y viene dada por:

$$AF = \frac{RR-1}{RR}$$

Para un modelo C-R "lineal", la respuesta RR viene dada por la función (17):

$$RR = e^{\beta \cdot (C_1 - C_0)}$$

Y por lo tanto,

$$AF = 1 - e^{\beta \cdot (C_0 - C_1)}$$

lo que lleva a:

$$E = [1 - e^{\beta \cdot (C_0 - C_1)}] \cdot B \cdot P$$

donde  $\beta = 0,023111$  (IC 95 % = 0,013103, 0,033647) para la mortalidad cardiovascular;  $\beta = 0,031481$  (IC 95 % = 0,006766, 0,055962) para la mortalidad relacionada con el cáncer de pulmón (8, 10, 18) y donde  $\beta = 0,002469$  (IC del 95 % = 0,001291, 0,003633) para la morbilidad por asma infantil (11).

Este enfoque sigue las directrices de la OMS en la carga mundial de morbilidad de 2016 (19) combinando los datos de incidencia sanitaria derivados de la OMS con los datos reticulares de población y de calidad del aire ambiental. La forma funcional de la respuesta de exposición integrada (IER) sigue una forma modificada, pero similar funcionalmente, de la IER recomendada por la OMS.

#### 4.4 Efectos cuantificados en la salud humana por la exposición a las emisiones de los buques

##### 4.4.1 Mortalidad cardiovascular y por cáncer de pulmón evitada

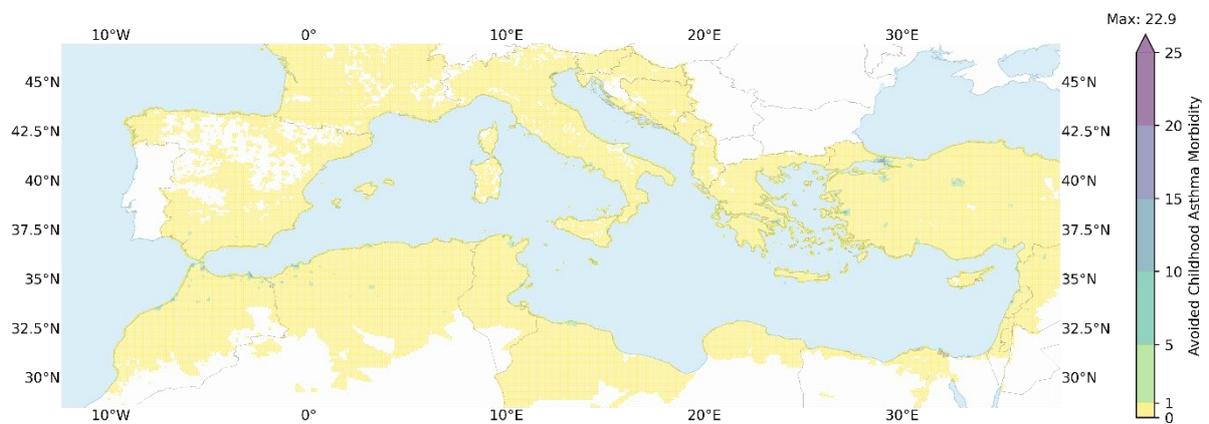
Los resultados sanitarios mejoran en todas las zonas costeras de todos los Estados costeros del Mediterráneo. La **Figura 4.4-1** muestra la mortalidad combinada evitada por cáncer de pulmón y cardiovascular asociada a la aplicación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta. En muchos casos, los resultados sanitarios mejoran a cientos de kilómetros del interior. Los resultados de la modelización muestran una reducción de la mortalidad por enfermedades cardiovasculares de ~970 muertes/año y una reducción de la mortalidad por cáncer de pulmón de ~150 muertes/año. Debido a la interacción entre las mejoras de la calidad del aire, los núcleos de población y las tasas de incidencia específicas de cada país, se observan puntos calientes en los que la mortalidad evitada por la reducción de las emisiones de los buques es mayor. En el norte de África, así como en zonas del Mediterráneo oriental, se pueden observar grupos de estos puntos calientes.



Figura 4.4-1: Combinación de cáncer de pulmón y mortalidad cardiovascular evitados con la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta

#### 4.4.2 Morbilidad del asma infantil

Los resultados sanitarios del asma infantil mejoran en todos los Estados costeros mediterráneos. La **Figura 4.4-2** muestra la morbilidad por asma infantil evitada asociada a la aplicación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta. La morbilidad evitada en este caso se refiere al número de niños que experimentan uno o más episodios de asma inducidos por la contaminación de los buques cada año. En muchos casos, la mejora de los resultados sanitarios se observa a cientos de kilómetros tierra adentro, y en muchos Estados costeros mediterráneos se experimentan los beneficios de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta en la totalidad de su superficie. Los resultados de la modelización muestran una reducción de la morbilidad por asma infantil de unos 2.300 niños que experimentan uno o más episodios de asma inducidos por la contaminación de los buques al año. En cuanto a la morbilidad, los resultados sanitarios mejoran en amplias zonas de los Estados costeros del Mediterráneo, con un punto álgido de morbilidad por asma evitada en el norte de África y el Mediterráneo oriental.



*Figura 4.4-2: Morbilidad por asma infantil evitada con la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta*

#### 4.4.3 Resumen de las prestaciones sanitarias evaluadas

Los efectos sobre la salud estimados en este documento se muestran en la **Tabla 4.4-1**, junto con los intervalos de confianza del 95 %. Se calcula que la mejora de las normas SECA de MARPOL VI permitiría evitar 969 casos de mortalidad cardiovascular y 149 casos de mortalidad por cáncer de pulmón. Además, la morbilidad por asma infantil se reduciría en 2.314 niños menores de 14 años cada año.

Tabla 4.4-1. Resumen de los beneficios para la salud evaluados para la Med SO<sub>x</sub> ECA (año de modelo 2020) propuesta

<b>Resultados del supuesto (Modelo lineal C-R)</b>	<b>Reducción de la mortalidad (muertes anuales prematuras de adultos)</b>		<b>Asma infantil evitado (incidentes anuales evitados)</b>	
<b>Beneficio para la salud de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta</b>	<b>Reducción de la mortalidad</b>		<b>Reducción de la morbilidad por asma</b>	
	Mortalidad cardiovascular evitada	969 (IC 95 % 551; 1412)	<b>Asma infantil evitado</b>	<b>2.314 (IC 95 % 1.211; 3.406)</b>
	Mortalidad por cáncer de pulmón evitada	149 (IC 95 % 32; 270)		
	<b>Mortalidad combinada evitada</b>	<b>1.118 (IC 95 % 583; 1.682)</b>		

#### 4.5 Resumen de las consecuencias de las emisiones de los buques en la salud humana

Como se ha descrito anteriormente, las emisiones de los buques contribuyen a muchos efectos adversos para la salud humana. La designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta reduciría el riesgo de mortalidad prematura y contribuiría a evitar muchos efectos en la salud relacionados con la morbilidad. Por lo tanto, esta propuesta cumple la parte de salud humana del criterio 3.1.4 del Apéndice III del Anexo VI de MARPOL.

## 5 Consecuencias de las emisiones de los buques en los ecosistemas

Esta sección presenta información adicional basada en la **sección 3** y la **sección 4**, que aborda el criterio 3.1.4 del Apéndice III del Anexo VI de MARPOL, tal como se cita:

Criterio 3.1.4	una evaluación de que las emisiones de los buques que operan en la zona de aplicación propuesta están contribuyendo a las concentraciones de contaminación atmosférica en el entorno o a los efectos medioambientales adversos. Dicha evaluación incluirá una descripción de los efectos de las emisiones pertinentes sobre la salud humana y el medio ambiente, como los efectos adversos sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos, las zonas de productividad natural, los hábitats críticos, la calidad del agua, la salud humana y las zonas de importancia cultural y científica, si procede. Se identificarán las fuentes de datos pertinentes, incluidas las metodologías utilizadas;
----------------	--

### 5.1 Visión global de la deposición resultante de las emisiones de SO<sub>x</sub> y PM de los buques

La modelización de la calidad del aire muestra reducciones generalizadas de la deposición húmeda y seca de SO<sub>x</sub> y PM<sub>2,5</sub> como resultado de las reducciones de azufre en los combustibles por la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta. Esto indica que los ecosistemas sensibles y las zonas de patrimonio cultural alrededor de la zona del Mar Mediterráneo se beneficiarían de las mejoras en la salud ambiental resultantes de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta.

### 5.2 Consecuencias medioambientales y ecosistémicas y zonas de riesgo

La contaminación por SO<sub>x</sub> se forma durante la combustión de los motores marinos, a partir del azufre disponible en el combustible para usos marinos. Las emisiones de SO<sub>x</sub> de los tubos de escape de los buques contribuyen a la formación de aerosoles de sulfato (SO<sub>4</sub>), que son pequeñas partículas. Los aerosoles de sulfato son ácidos. Pueden ser transportados en el aire sobre la tierra o el agua, donde pueden depositarse a través de procesos húmedos (por ejemplo, la lluvia) o secos (por ejemplo, la sedimentación gravitacional). El aumento de la deposición ácida asociado a las emisiones de SO<sub>x</sub> provoca efectos nocivos en los ecosistemas acuáticos y terrestres. La deposición de sulfatos en el agua provoca una disminución de los niveles de pH en los medios acuáticos. Unos niveles de pH más bajos ocasionan la alteración de los ecosistemas sensibles, ya que las especies de flora y fauna intolerantes al ácido se ven afectadas negativamente, lo que puede provocar cambios tróficos más amplios y desplazamientos del ecosistema. La deposición de sulfatos en entornos terrestres es perjudicial para las plantas, ya que el aumento de la deposición ácida puede provocar la reducción de los minerales y nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, además de dañar el follaje, lo que reduce la capacidad fotosintética. Asimismo, el sulfato atmosférico tiene un efecto de dispersión de la luz, lo que puede provocar un aumento de la niebla y una reducción de la visibilidad. Además de las consecuencias medioambientales, la deposición ácida puede dañar el material de las estructuras construidas y las estatuas.

#### 5.2.1 Deposición de sulfato (SO<sub>4</sub>)

Las disminuciones de la deposición húmeda (**Figura 5.2-1** y **Figura 5.2-2**) y seca (**Figura 5.2-3** y **Figura 5.2-4**) de sulfato (SO<sub>4</sub>) asociada a la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta muestran órdenes de magnitud similares, pero siguen patrones diferentes. Las disminuciones de la deposición húmeda de sulfato son mayores en el Mediterráneo occidental y septentrional y muestran reducciones de la deposición de SO<sub>4</sub> muy en el interior. Las reducciones en la deposición de sulfato seco están más estrechamente correlacionadas con las vías marítimas de alto tráfico. Considerando el Mar Mediterráneo en su conjunto, la reducción media de la deposición húmeda sulfato es de 43,3 g.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>, y la reducción máxima observada es de 3.127,8 g.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>. La máxima disminución porcentual de la deposición

húmeda de sulfato observada es del 14,23 % (**Figura 5.2-2**), que se produjo sobre el Estrecho de Gibraltar. La disminución porcentual media de la deposición húmeda de sulfato estimado para la zona del Mar Mediterráneo es del 1,16 %.

La máxima disminución porcentual de la deposición de sulfato seco observada es del 48,13 % (**Figura 5.2-4**), que se produjo sobre el Estrecho de Gibraltar y se extendió hacia el este, hacia Argel en Argelia. El porcentaje medio de disminución de la deposición de sulfato seco estimado para la zona del Mar Mediterráneo es del 1,95 %.

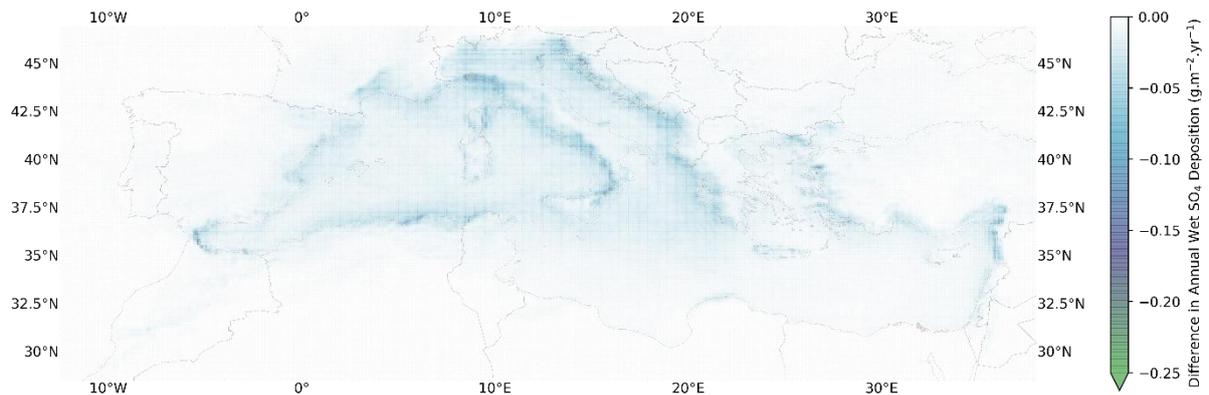


Figura 5.2-1: Disminución de la deposición húmeda anual de sulfato entre MARPOL VI y la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta

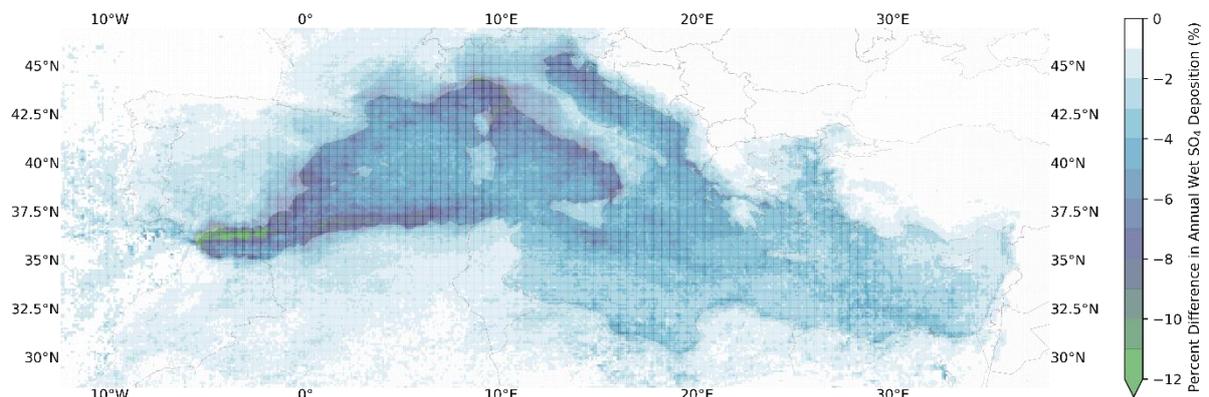


Figura 5.2-2: Disminución porcentual de la deposición húmeda anual de sulfato entre MARPOL VI y la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta

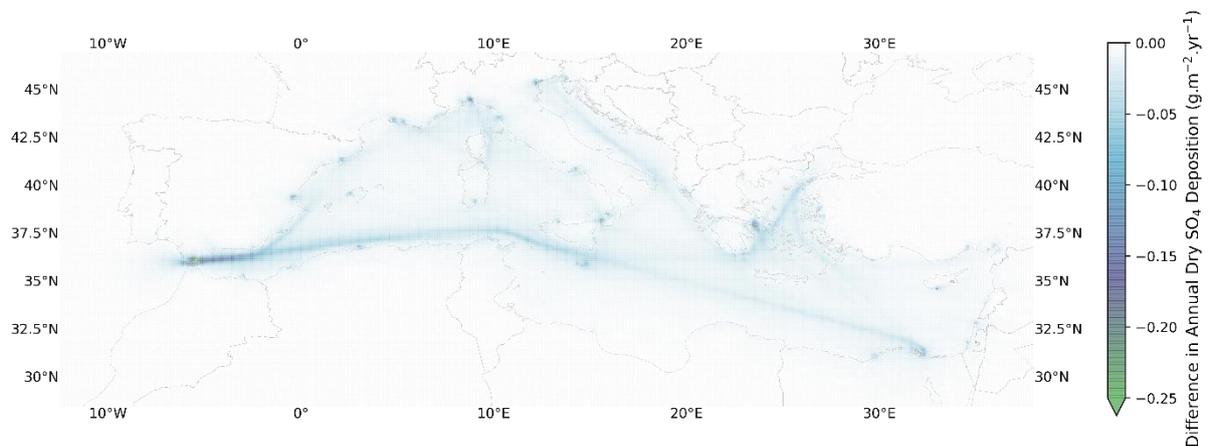


Figura 5.2-3: Disminución de la deposición anual de sulfato seco entre MARPOL VI y la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta

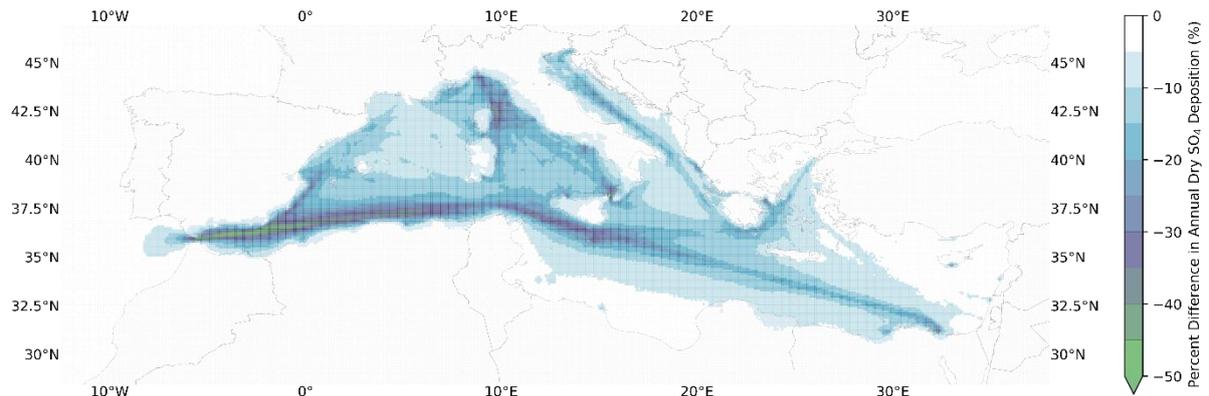


Figura 5.2-4: Disminución porcentual de la deposición anual de sulfato seco entre MARPOL VI y la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta

### 5.2.2 Deposición de PM<sub>Total</sub>

Los cambios en la deposición húmeda (**Figura 5.2-5** y **Figura 5.2-6**) de PM<sub>Total</sub> asociados a la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta son dos órdenes de magnitud mayores que las disminuciones de la deposición seca y siguen distribuciones geográficas diferentes. Las disminuciones de la deposición húmeda de PM<sub>Total</sub> son mayores en el Mediterráneo occidental y septentrional y muestran reducciones en la deposición de PM<sub>Total</sub> en el interior. Las reducciones de la deposición seca de PM<sub>Total</sub> (Error! Reference source not found. y **Figura 5.2-7**) se limitan más geográficamente al oeste de España, al norte de Argelia, a los Alpes y a zonas aisladas de Grecia, y la deposición seca de PM<sub>Total</sub> aumenta sobre el agua, a lo largo de la principal vía de navegación, a través del Estrecho de Gibraltar, pasando por Malta y hacia el Canal de Suez.

La máxima disminución porcentual de la deposición húmeda de PM<sub>Total</sub> observada es del 4,58 % (**Figura 5.2-6**), que se produjo sobre el Estrecho de Gibraltar. La disminución porcentual media de la deposición húmeda de PM<sub>Total</sub> estimada para la zona del Mar Mediterráneo es del 0,25 %.

El máximo aumento porcentual de la deposición seca de PM<sub>Total</sub> observado es del 8,45 % (**Figura 5.2-7**), que se produjo sobre el Estrecho de Gibraltar y se extendió hacia el este en dirección a Argel. El cambio porcentual medio en la deposición seca de sulfato estimado para la zona del Mar Mediterráneo es del 0,66 %, lo que indica que la deposición seca de PM<sub>Total</sub> aumenta en general al pasar de MARPOL VI a la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta, pero muestra una variación geográfica significativa.

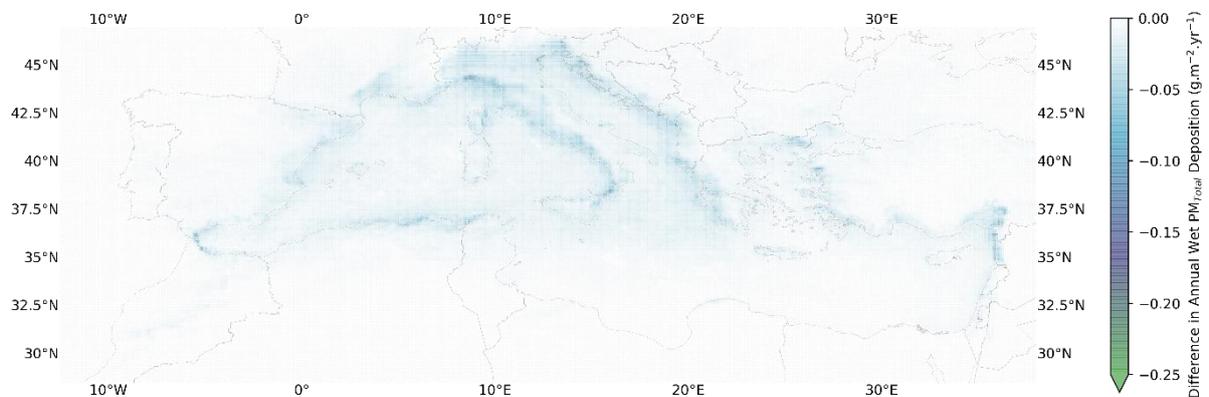


Figura 5.2-5: Disminución de la deposición húmeda anual de PM<sub>Total</sub> entre MARPOL VI y la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta

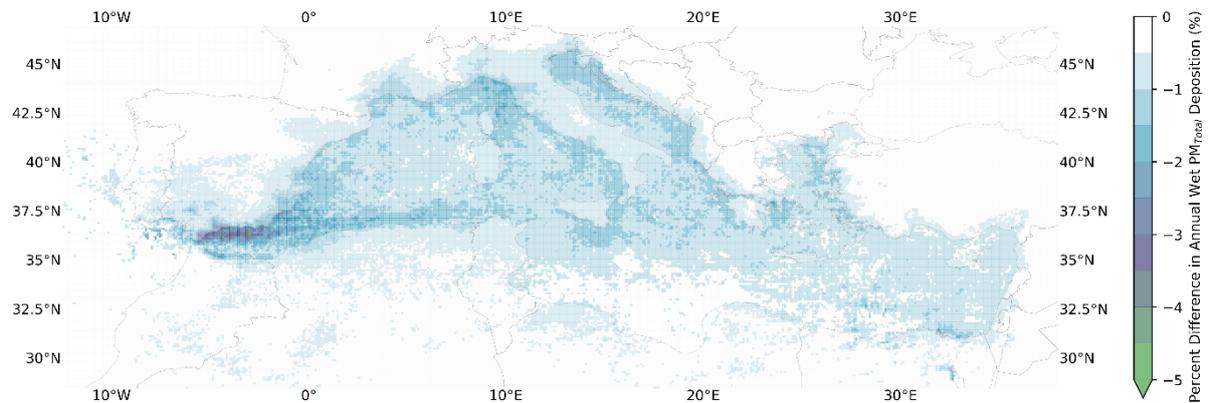


Figura 5.2-6: Disminución porcentual de la deposición húmeda anual de  $PM_{Total}$  entre MARPOL VI y la Med  $SO_x$  ECA propuesta

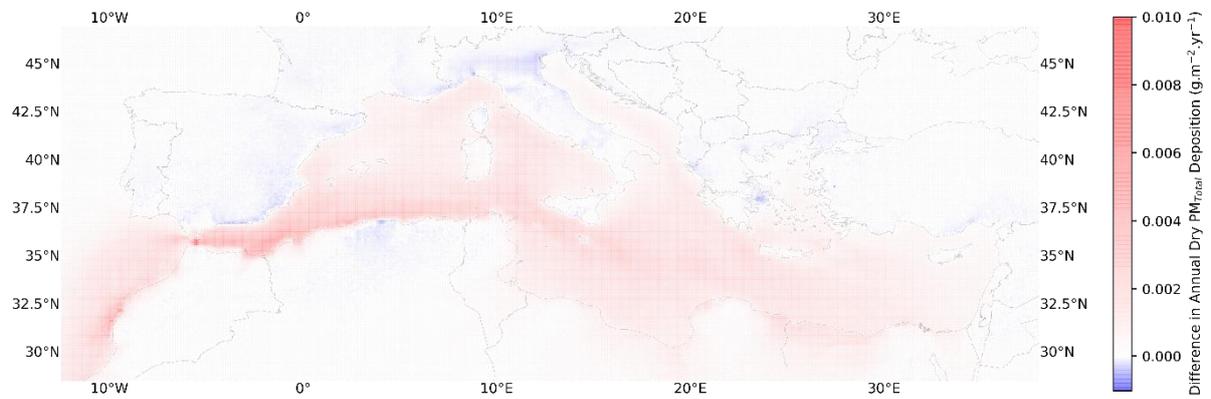


Figura 5.2 7: Cambio en la deposición seca anual de  $PM_{Total}$  entre MARPOL VI y la Med  $SO_x$  ECA propuesta

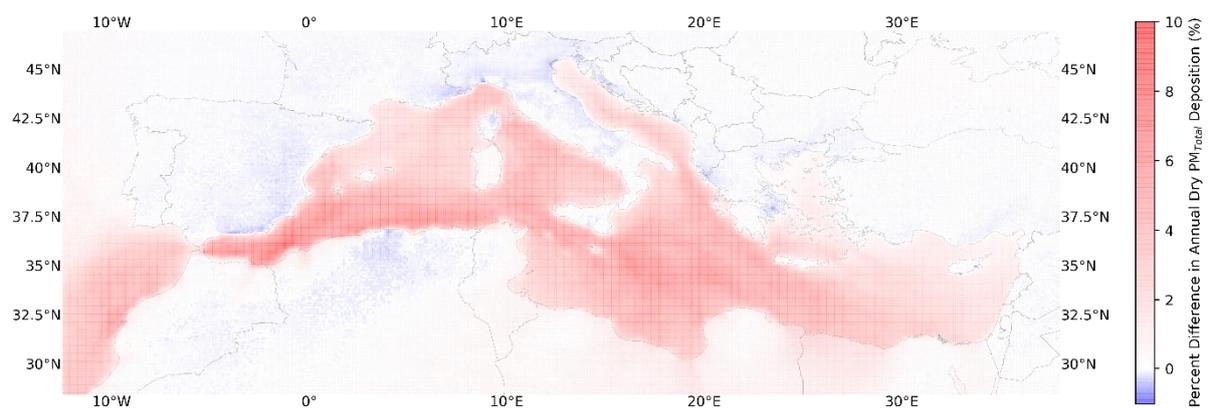
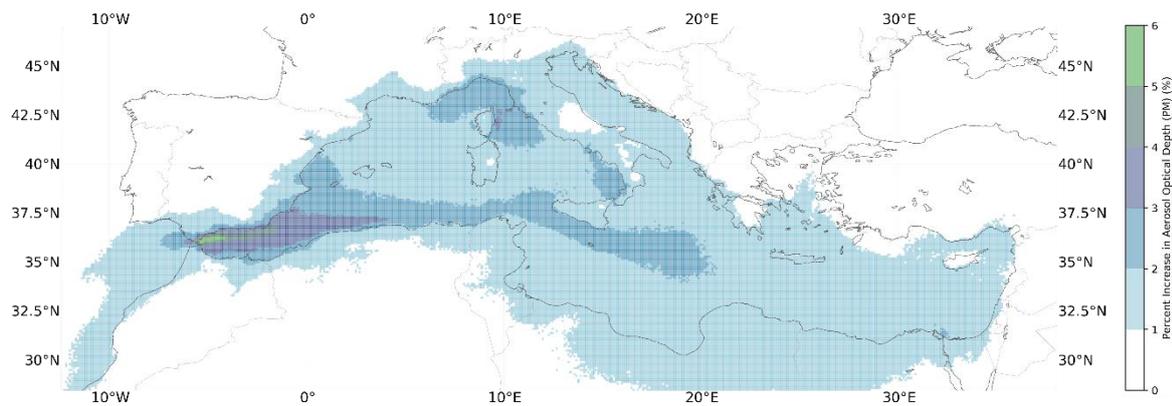


Figura 5.2-7: Cambio porcentual en la deposición seca anual de  $PM_{Total}$  entre MARPOL VI y la Med  $SO_x$  ECA propuesta

### 5.2.3 Cambio en la visibilidad

El aumento porcentual estimado de la profundidad óptica de los aerosoles de PM se muestra en **Figura 5.2-8**. El aumento de la profundidad óptica de los aerosoles se asocia a la reducción de la niebla y al aumento de la visibilidad. Esta figura muestra un aumento generalizado de la profundidad óptica de los aerosoles sobre las zonas de agua del Mar Mediterráneo y que se extiende hacia el interior del norte de África. Estos mayores aumentos de la profundidad óptica de los aerosoles de PM se producen sobre el Estrecho de Gibraltar y el norte de Marruecos y Argelia, y a lo largo de la principal vía marítima que conecta el Estrecho de Gibraltar, Malta y hacia el Canal de Suez.



*Figura 5.2-8: Cambio porcentual en la profundidad óptica de los aerosoles (especies de PM) entre MARPOL VI y la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta*

### 5.3 Efectos asociados a la deposición de PM<sub>2.5</sub> y a los agentes tóxicos del aire

La deposición de PM<sub>2.5</sub> y de compuestos atmosféricos tóxicos puede contribuir a crear depósitos acidificantes, contribuir a la eutrofización, provocar la disminución de los niveles de pH en las aguas superficiales, los puertos y las dársenas y provocar el aumento de los metales pesados y de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). La deposición puede producirse en forma húmeda o seca. La deposición húmeda se produce cuando las PM, los compuestos acidificantes y las sustancias tóxicas se depositan a través de las precipitaciones, que sirven como núcleos de condensación de las nubes, y la deposición seca se produce cuando las partículas transmitidas por los procesos atmosféricos se depositan en entornos terrestres o marinos. Las zonas costeras son las que reciben la mayor deposición de azufre oxidado procedente de los buques, pudiendo llegar a un 70 %. A escala nacional, las zonas costeras de los países en los que puede producirse esta deposición procedente de los buques pueden representar entre el 5 % y el 70 % de la deposición total de azufre en los Estados costeros del Mediterráneo [CITE Jonson et al, 2020], dependiendo del país, del tamaño y de la proximidad al tráfico marítimo.

El Mediterráneo está identificado como un ecosistema sensible [Turley, 1999] y como una región de alta biodiversidad marina, con más de 17.000 especies marinas catalogadas en la región [Coll, 2010]. El Mediterráneo está sometido a una serie de retos antropogénicos para su biodiversidad, como la pérdida y degradación de hábitats, las consecuencias de la pesca, el cambio climático, las especies invasoras y la contaminación [Coll, 2010]. El pH del Mar Mediterráneo ha disminuido rápidamente [Flecha et al 2015] con la deposición ácida de los buques contribuyendo a la acidificación de la región [Jonson, 2020 y Teuchies, 2020].

La deposición de PM<sub>2.5</sub> y otras sustancias en las emisiones de los buques contribuye a la acidificación de las aguas marinas y dulces [CITE Hasselov et al., 2013; Jonson et al, 20] y de los ecosistemas terrestres [CITE Cerro2020]. La acidificación altera los ciclos biogeoquímicos y afecta a las especies animales y vegetales acuáticas y terrestres [Jakovljevic et al, 2019]. Además, la acidificación de los entornos marinos reduce la capacidad de amortiguación ácida de las aguas, lo que, unido a la fisiología alterada por la acidificación y al ciclo de los nutrientes, puede provocar la alteración de las cadenas alimentarias y de las poblaciones de peces [Hilmi et al, 2014, Dupont y Portner, 2013]. La pesca en el Mar Mediterráneo y el mar Negro genera unos ingresos anuales de 2.800 millones de dólares estadounidenses, emplea directamente a unas 250.000 personas a bordo de los buques pesqueros y alimenta a cientos de miles de personas en la región [FAO, 2018]. Alrededor de la mitad (47 %) de las poblaciones de peces del Mar Mediterráneo se caracterizan por tener una biomasa baja, y otro 31 % se caracteriza por tener una biomasa intermedia, y la mayoría de las poblaciones de la región están sobreexplotadas [FAO, 2018].

Los combustibles más limpios también pueden contener menos metales pesados y compuestos químicos tóxicos. Los tóxicos del aire incluyen compuestos químicos como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y los metales pesados, que están presentes en los combustibles para usos marinos y se liberan a la atmósfera durante la combustión. Los metales pesados liberados durante la combustión de los combustibles para usos marinos incluyen níquel, vanadio, cadmio, hierro, plomo, cobre, zinc y aluminio [Agrawal, 2008]. Se sabe que los HAP y los metales pesados causan varias condiciones perjudiciales en los organismos terrestres y acuáticos, entre las que se encuentran las deficiencias fisiológicas, la alteración negativa del crecimiento y la dinámica de la población y la mortalidad. Se sabe que los HAP y los metales pesados se bioacumulan, afectando a múltiples niveles de las redes tróficas [Hasselov, 2020, Logan, 2007], y que los mamíferos marinos depredadores del ápice acumulan altos niveles de HAP y metales en sus tejidos [Monteiro, 2020].

Los Estados costeros del Mediterráneo albergan numerosas zonas de patrimonio cultural, entre las que se encuentran muchos lugares con miles de años de antigüedad. Se sabe que la deposición húmeda y seca de sustancias ácidas reacciona con la piedra carbonatada, incluyendo el mármol y las calizas [Livingstone, 2016], que se encuentran en todo el Mediterráneo y se utilizan ampliamente en la construcción de sitios del patrimonio cultural [Calvo y Regueiro, 2010]. El efecto kárstico, la piedra de carbonato que se disuelve de forma natural en el agua de lluvia, ya que la calcita es soluble en agua, puede acelerarse por la deposición de la contaminación atmosférica antropogénica. La reducción de las emisiones de azufre y PM de los buques mitiga este efecto.

La zona del Mar Mediterráneo alberga una abundante biodiversidad en ecosistemas terrestres y acuáticos, pesquerías que generan miles de millones de dólares al año para la economía regional y emplean y alimentan a cientos de miles de personas, y un rico patrimonio cultural. Las ventajas de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta resumidas en la **sección 5.4** y la **Tabla 5.4-1** muestran reducciones generalizadas de la deposición húmeda y seca de sulfato y PM, así como una mejora de la visibilidad. Las consecuencias de las reducciones en la deposición de sulfatos y PM son claras. La Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta permitirá mejorar la salud de los ecosistemas y las pesquerías, reducir el impacto en la sensible biodiversidad de la región y mejorar la longevidad de importantes lugares del patrimonio cultural de la región.

#### **5.4 Resumen de los beneficios medioambientales**

Las reducciones de las deposiciones de sulfato son un indicador indirecto del cambio potencial de la acidificación del pH en los ecosistemas acuáticos y terrestres. Las reducciones de la deposición de PM<sub>Total</sub> son un indicador indirecto del cambio potencial de otros efectos de las partículas y los nutrientes. Nótese que la deposición seca de PM<sub>Total</sub> evidenció algunas regiones con pequeños incrementos en la deposición, debido a respuestas no lineales de formación de PM con la reducción de sulfatos, consistente con los hallazgos reportados en la literatura científica. La profundidad óptica de los aerosoles es un

indicador del aumento de las partículas en suspensión que afectan a la niebla regional y al deterioro de la visibilidad; un aumento de la profundidad óptica de los aerosoles indica una mejora de la visibilidad.

También se señala que, aunque este análisis se centra en los beneficios para los Estados costeros del Mediterráneo, los beneficios para la salud humana y el medio ambiente pueden extenderse a países fuera de la zona del Mar Mediterráneo.

*Tabla 5.4-1. Resumen de los indicadores de otros beneficios asociados a la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta*

<b>Indicador de beneficio ambiental</b>	<b>Rango relativo de variación (%)</b>
Deposición húmeda de sulfato	Reducción del 1 % al 15 %
Deposición seca de sulfato	Reducción del 1 % al 50 %
Deposición húmeda de PM <sub>Total</sub>	Reducción del 0,5 % al 5 %
Deposición seca de PM <sub>Total</sub>	Reducción del 0 % al 10 %
Profundidad óptica de los aerosoles (relacionados con las PM)	Aumento del 1 % al 6 %

### **5.5 Resumen de las consecuencias de las emisiones de los buques en el medio ambiente**

Como se ha descrito anteriormente, las emisiones de los buques contribuyen a un mayor depósito de especies acidificantes y de PM. La designación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta reduciría la deposición de especies acidificantes y de partículas en toda la zona del Mar Mediterráneo y permitiría mejorar la visibilidad. Por lo tanto, esta propuesta cumple la parte de salud ambiental del criterio 3.1.4 del Apéndice III del Anexo VI de MARPOL.

## 6 El papel de las condiciones meteorológicas en la contaminación atmosférica

Criterio 3.1.5	la información pertinente relativa a las condiciones meteorológicas en la zona de aplicación propuesta, a las poblaciones humanas y a las zonas medioambientales de riesgo, en particular los patrones de viento predominantes, o a las condiciones topográficas, geológicas, oceanográficas, morfológicas o de otro tipo que contribuyan a las concentraciones ambientales de contaminación atmosférica o a los efectos medioambientales adversos;
----------------	---

Las condiciones meteorológicas en la zona del Mar Mediterráneo transportan a tierra una parte importante de las emisiones de los buques en el mar y los consiguientes contaminantes que se forman en la atmósfera. Las emisiones de los buques de SO<sub>x</sub> y sus derivados (incluidas las PM) pueden permanecer en el aire durante un período de entre cinco y diez días antes de ser eliminadas de la atmósfera (por ejemplo, por deposición o transformación química). Durante el tiempo que transcurre entre la emisión y la eliminación del aire, los contaminantes pueden ser transportados cientos de millas náuticas sobre el agua y cientos de kilómetros tierra adentro por los vientos que se observan habitualmente en la zona del Mar Mediterráneo. El análisis realizado para esta propuesta indica que los vientos soplan frecuentemente en tierra en todas las zonas del Mar Mediterráneo. Algunos patrones de viento son más comunes que otros, por lo que el impacto de la contaminación atmosférica de los buques en el mar es mayor en algunas zonas que en otras. Además, el transporte aéreo de SO<sub>x</sub> y PM desde los buques cruza las fronteras nacionales, afectando negativamente a grandes partes de los Estados costeros del Mediterráneo.

## 7 Tráfico marítimo en la zona de aplicación propuesta

En esta sección se presenta información que responde al criterio 3.1.6 del Apéndice III del Anexo VI de MARPOL, tal como se cita:

Criterio 3.1.6	la naturaleza del tráfico de buques en la zona de control de emisiones propuesta, incluidas las pautas y la densidad de dicho tráfico;
----------------	--

### 7.1 Patrones de tráfico marítimo

Desde el punto de vista geográfico, el consumo de combustible se rige por los patrones regionales de transporte. El mayor consumo de combustible se observa en el extremo occidental del Mar Mediterráneo a la entrada del Estrecho de Gibraltar, en el Mar Mediterráneo central frente a la costa norte de Túnez y en el extremo oriental del Mar Mediterráneo a la entrada del Canal de Suez (**Figura 7.1-1**). Los patrones relativos de consumo de combustible no cambian en los distintos años del supuesto.

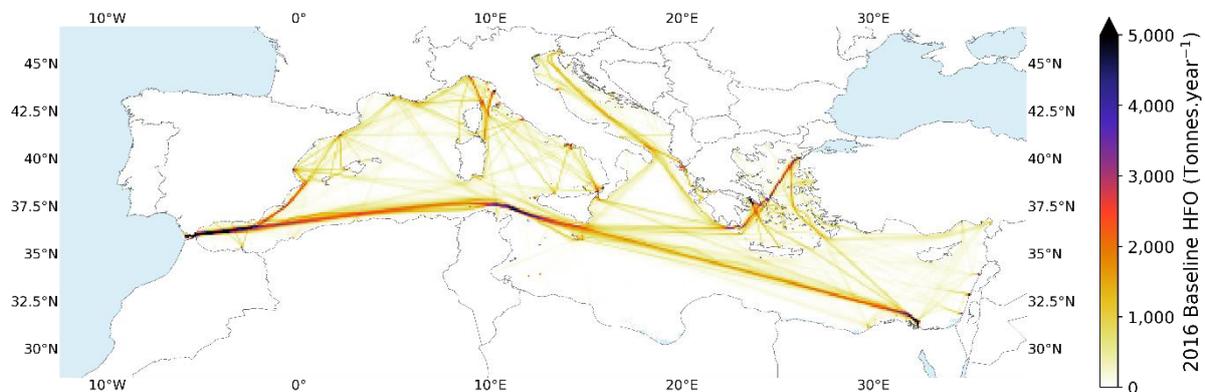


Figura 7.1-1: Uso de combustible en el año 2016 de referencia

Los inventarios de uso de combustible de referencia (2016) muestran un uso total de combustible de 19,16 millones de toneladas en la zona del Mar Mediterráneo (**Tabla 7.1-1**). Los datos del AIS muestran 33.163 buques únicos operando en el Mediterráneo en el año de referencia 2016.

El combustible dominante utilizado en 2016 fue el HFO (78,8 %). El siguiente combustible más utilizado fue el MDO (17,2 %), y el MGO y el GNL representaron una pequeña fracción del uso total de combustible (2,8 % y 1,3 %, respectivamente). El modelo STEAM predice que, en el marco de MARPOL VI, la combinación global de combustibles en la zona del Mar Mediterráneo pasará a ser de un 95,5 % de MDO y un 3,1 % de MGO, y de un 0,8 % de GNL. El uso de combustible HFO se reduce al 0,6 % en el marco de MARPOL VI, y sigue siendo utilizado por un pequeño número de buques actualmente equipados con SLGE. Los resultados de la modelización STEAM indican que las mejoras en el ahorro de combustible del sistema eléctrico y las economías de escala de los buques dan lugar a una disminución del 10,8 % del consumo global de combustible en 2020 con respecto a 2016, acompañada del cambio de combustible.

En el supuesto de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta, el modelo STEAM estima el uso total de combustible equivalente al supuesto de MARPOL VI, pero cambia a una mezcla de combustible 97,7 % MGO y 1 % MDO. El uso de combustible HFO y GNL no se modifica en los supuestos de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta en comparación con el consumo de combustible de MARPOL VI (**Tabla 7.1-2**).

Tabla 7.1-1. Uso de combustible en el año de referencia (2016) y uso de combustible previsto para 2020 según los supuestos de MARPOL VI y la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta

t	Referencia Med 2016	MARPOL VI 2020	Med SO <sub>x</sub> ECA propuesta 2020
<b>Combustible total</b>	19,160,000	17,100,000	17,100,000
<b>MGO</b>	542,000	522,000	16,700,000
<b>MDO</b>	3,290,000	16,340,000	164,000
<b>HFO</b>	15,090,000	99,900	94,700
<b>GNL</b>	243,000	141,000	138,000

Tabla 7.1-2. Porcentajes de mezcla de combustible para la zona del Mar Mediterráneo en 2016 y según los supuestos de MARPOL VI y la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta

Asignación de combustible	Mezcla de combustible de referencia antes de MARPOL VI	Mezcla de combustible MARPOL VI	Combustible Med SO <sub>x</sub> ECA propuesta
<b>MGO</b>	2.8%	3.1%	97.7%
<b>MDO</b>	17.2%	95.5%	1.0%
<b>HFO</b>	78.8%	0.6%	0.6%
<b>GNL</b>	1.3%	0.8%	0.8%

## 7.2 Resumen del tráfico marítimo en la zona de aplicación propuesta

Se han descrito la naturaleza, las pautas y la densidad del tráfico de buques en la propuesta de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta. Estas pautas de transporte constituyen la base de la modelización del uso de combustible y del inventario de emisiones, que es una aportación a la modelización de la calidad del aire. Así pues, esta propuesta cumple el criterio 3.1.6 del Apéndice III del Anexo VI de MARPOL.

## 8 Control de las fuentes terrestres

En esta sección se presenta información que responde al criterio 3.1.7 del Apéndice III del Anexo VI de MARPOL, según se cita:

Criterio 3.1.7	una descripción de las medidas de control adoptadas por la Parte o Partes proponentes en relación con las fuentes terrestres de emisiones de NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> y partículas que afecten a las poblaciones humanas y a las zonas medioambientales de riesgo, que estén en vigor y funcionen al mismo tiempo que el examen de las medidas que deben adoptarse en relación con las disposiciones de las reglas 13 y 14 del Anexo VI; y
----------------	---

### 8.1 Identificación de las medidas terrestres existentes para el control de las emisiones de SO<sub>x</sub> y PM en los Estados costeros del Mediterráneo

Esta sección presenta una revisión sistemática de las políticas de calidad del aire y de reducción de la contaminación llevadas a cabo país por país para los Estados costeros del Mediterráneo que son Partes Contratantes del Convenio de Barcelona.

Todos los Estados costeros del Mediterráneo han adoptado medidas para el control de las emisiones procedentes de fuentes terrestres. El alcance y la aplicación de estas medidas varían en la región, siendo las normas de la Unión Europea (UE) las más estrictas en cuanto a calidad del aire ambiente y reducción de emisiones. En total, el efecto de las normativas terrestres ha hecho que las emisiones procedentes de fuentes de transporte y otros sectores en los Estados costeros mediterráneos se reduzcan globalmente a cerca de la mitad desde 1975, con reducciones mayores según el país.

Las medidas en tierra incluyen las que regulan las fuentes de contaminación fijas y móviles en tierra. El análisis de las medidas terrestres se presenta en tres fases. En primer lugar, una revisión sistemática de las políticas públicas, leyes y reglamentos disponibles identifica el conjunto de políticas, por país, destinadas a reducir la contaminación por SO<sub>x</sub> y PM procedentes de fuentes terrestres. Las fuentes terrestres de contaminación incluyen las fuentes fijas, como las instalaciones de generación de energía y las plantas industriales, y las fuentes móviles, como los camiones, los coches y los autobuses. Las emisiones terrestres también incluyen las emisiones de fuentes no puntuales, aunque estas no suelen ser relevantes para las emisiones antropogénicas de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y PM<sub>2.5</sub>. En segundo lugar, el análisis de los datos de los inventarios de emisiones identifica las reducciones sectoriales de las emisiones de SO<sub>2</sub> y PM. En tercer lugar, el análisis de los datos regionales de las estaciones de control de la calidad del aire identifica el cumplimiento de las normas de PM<sub>2.5</sub>.

El criterio 3.1.7 del Apéndice III del Anexo VI de MARPOL exige una descripción de las medidas de control adoptadas por las partes proponentes para hacer frente a las fuentes terrestres de emisiones de SO<sub>x</sub> y PM que afectan a las poblaciones humanas. Esta sección presenta una síntesis de las políticas a nivel nacional e internacional, describiendo los esfuerzos realizados en tierra para la reducción de SO<sub>x</sub> y PM en los Estados costeros del Mediterráneo, que son Partes Contratantes del Convenio de Barcelona, incluyendo los relevantes para el transporte y las fuentes estacionarias. Las medidas existentes se presentan según la situación particular de cada país, cuando se dispone de ellas.

Las Partes Contratantes del Convenio de Barcelona son Albania, Argelia, Bosnia y Herzegovina, Croacia, Chipre, Egipto, Francia, Grecia, Israel, Italia, Líbano, Libia, Malta, Mónaco, Montenegro, Marruecos, Eslovenia, España, la República Árabe Siria, Túnez, Turquía y la Unión Europea. Hay ocho países que son a la vez Partes Contratantes del Convenio de Barcelona y Estados miembros de la Unión Europea. Estos países son Croacia, Chipre, Francia, Grecia, Italia, Malta, Eslovenia y España.

Las descripciones a nivel de país se incluyen en las siguientes secciones y se resumen en la **Tabla 8.1-1**, las cuales indican la presencia de leyes y reglamentos relacionados con el control de las fuentes fijas y móviles de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub>.

*Tabla 8.1-1. Medidas terrestres identificadas a nivel nacional para el control de la contaminación por SO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub>*

País	Estado miembro de la Unión Europea	Transporte	Fuentes fijas
<b>Albania</b>	País candidato	X	X
<b>Argelia</b>		X	
<b>Bosnia y Herzegovina</b>		X	X
<b>Chipre</b>	X	X	X
<b>Croacia</b>	X	X	X
<b>Egipto</b>		X	X
<b>Eslovenia</b>	X	X	X
<b>España</b>	X	X	X
<b>Francia</b>	X	X	X
<b>Grecia</b>	X	X	X
<b>Israel</b>		X	X
<b>Italia</b>	X	X	X
<b>Líbano</b>		X	X
<b>Libia</b>		X	
<b>Malta</b>	X	X	X
<b>Marruecos</b>		X	X
<b>Mónaco</b>		X	X
<b>Montenegro</b>	País candidato	X	X
<b>República Árabe Siria</b>		X	
<b>Túnez</b>		X	X
<b>Turquía</b>	País candidato	X	X

### 8.1.1 Albania

Albania está en proceso de solicitar su ingreso como Estado miembro de la Unión Europea. Albania ha dado prioridad a las medidas para alinear la legislación nacional sobre la calidad del aire con las políticas de la UE y ha transpuesto plenamente la Directiva 2008/50/CE de la UE a la legislación nacional mediante la adopción de la ley núm. 162/2014 "sobre la protección de la calidad del aire ambiente" y el DCM núm. 352 de 29.04.2015 "sobre las evaluaciones de la calidad del aire y los requisitos relativos a determinados contaminantes" que prescribe los métodos de referencia para la evaluación de la calidad del aire. El 21 de marzo de 2007 se adoptó la Decisión 147, que regula el contenido de azufre en los combustibles. La Decisión 147 limitó el contenido de azufre de los combustibles a 10 ppm, en consonancia con las normas de la UE.

### 8.1.2 Argelia

El contenido medio de azufre de los combustibles para el transporte es de 100 a 150 ppm y el del gasóleo está limitado a 2.500 ppm en Argelia<sup>11</sup>. Esto equivale a las normas de emisiones Euro 3/III para la gasolina, y Euro 1/I para el diésel. Solo se admiten vehículos nuevos de fábrica para la venta en el territorio argelino.

<sup>11</sup><https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25233/FuelQualityEmissionStandardDevelopments.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

### 8.1.3 Bosnia y Herzegovina

Las normas de calidad del aire ambiente en Bosnia y Herzegovina se ajustan a las normas de la UE, aunque la aplicación y el cumplimiento del marco jurídico de la calidad del aire están en desarrollo (UN 2017). La Ley de Protección de la Atmósfera (GO FBiH núm. 33/03, 4/10) prevé el control de las emisiones de las fuentes fijas, la elaboración de planes de control y el desarrollo de redes de control. Además, la medición continua de las emisiones en las grandes instalaciones de combustión está prevista en el artículo 18.

### 8.1.4 Egipto

La principal ley que regula la contaminación atmosférica en Egipto es la Ley 4/1994<sup>12</sup>. El artículo 35 de la Ley 4 establece que las emisiones de contaminantes atmosféricos no deben superar las permitidas por la normativa. La Ley 4 no especifica esas normas directamente, y en su lugar se prescriben mediante reglamentos ejecutivos. El Proyecto de Reglamento Ejecutivo de la Ley 9/2009 establece las normas de calidad del aire ambiente para Egipto, como se muestra en la **Tabla 8.1-2**.

*Tabla 8.1-2. Normas de calidad del aire ambiente de PM<sub>10</sub> y SO<sub>2</sub> en Egipto*

Contaminante	Período	Criterio
PM <sub>10</sub>	24 h	150 µg/m <sup>3</sup>
	1 año	100 µg/m <sup>3</sup>
PM <sub>2,5</sub>	24 h	100 µg/m <sup>3</sup>
	1 año	70 µg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	1 h, industrial	300 µg/m <sup>3</sup>
	1h, urbano	350 µg/m <sup>3</sup>
	24 h, industrial	125 µg/m <sup>3</sup>
	24 h, urbano	125 µg/m <sup>3</sup>
	1 año, industrial	50 µg/m <sup>3</sup>
	1 año, urbano	60 µg/m <sup>3</sup>

En 2004, Egipto formuló el marco de la estrategia nacional de calidad del aire en colaboración con USAID para mejorar la calidad del aire urbano (World Bank 2013). Egipto ha puesto en marcha una legislación que exige el uso de catalizadores en los vehículos importados y ha respaldado el uso de gas natural comprimido (GNC) como combustible para el transporte debido a su menor perfil de emisiones contaminantes (Abbass, Kumar, and El-Gendy 2018). Egipto puso en marcha una estrategia para abordar el problema de la quema de residuos a cielo abierto y, desde 1994, la industria del cemento está sujeta a la normativa sobre emisiones establecida por la Ley 4/1994 (Abbass, Kumar, and El-Gendy 2018).

### 8.1.5 Unión Europea

La Unión Europea introdujo su primera directiva sobre la calidad del aire en 1970. Desde entonces, la UE ha puesto en marcha políticas para mejorar la calidad del aire, mediante el control de la emisión de contaminantes a la atmósfera, la mejora de la calidad de los combustibles para el transporte y medidas intersectoriales de protección del medio ambiente. La política de aire limpio se basa en tres principios fundamentales:

1. Normas de calidad del aire ambiente.
2. Compromisos nacionales de reducción de emisiones.
3. Normas de emisión y eficiencia energética para las principales fuentes de contaminación atmosférica.

<sup>12</sup> <http://www.ecaa.gov.eg/en-us/laws/envlaw.aspx>.

Las legislaciones sobre calidad del aire de Croacia, Chipre, Francia, Grecia, Italia, Malta, Eslovenia y España están totalmente armonizadas y en consonancia con la legislación de la Unión Europea, descrita en esta sección.

El Programa Aire Limpio para Europa<sup>13</sup> tiene como objetivo atajar la mala calidad del aire a corto plazo mediante una serie de medidas, entre las que se encuentran los motores diésel ligeros, el endurecimiento de la legislación vigente, la mejora de las capacidades técnicas y la directiva sobre calidad del aire ambiente. A largo plazo, se espera que el Programa Aire Limpio para Europa reduzca la mortalidad prematura en un 37 % y los daños a los ecosistemas por eutrofización en un 21 % en 2025.

Hay ocho países que son a la vez Partes Contratantes del Convenio de Barcelona y Estados miembros de la Unión Europea. Estos países son Croacia, Chipre, Francia, Grecia, Italia, Malta, Eslovenia y España. Las legislaciones nacionales de estos países transponen y están plenamente armonizadas con las disposiciones legales de la UE.

Recientemente, la UE ha emprendido el Pacto Verde Europeo de 2019 (COM/2019/640 final), la ambición climática de Europa para 2030 (COM(2020) 562) y la Estrategia de Movilidad Sostenible e Inteligente (COM(2020) 789 final, SWD(2020) 331 final), y se compromete a actuar en un conjunto de políticas medioambientales, entre las que se encuentran el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la economía circular y la salud de los océanos, incluyendo la reducción de la contaminación de los buques. En el marco del Pacto Verde, la revisión en curso de la Directiva sobre la calidad del aire ambiente (DCA) establecerá normas cada vez más estrictas sobre la calidad del aire y proporcionará orientaciones para facilitar el cumplimiento de esas normas. Un reciente informe de la Agencia Europea para el Medio Ambiente muestra que una proporción significativa de la carga de enfermedades en Europa sigue atribuyéndose a la contaminación ambiental derivada de la actividad humana<sup>14</sup>. Para hacer frente a esta situación, en junio de 2021 la UE adoptará el plan de acción "Contaminación cero".

Las embarcaciones marinas están incluidas en la política de la UE. En cuanto a los buques marítimos, la Directiva de Azufre de la UE (Directiva (UE) 2016/802) relativa a la reducción del contenido de azufre de determinados combustibles líquidos exige que los buques que hagan escala en cualquier puerto europeo tengan la obligación de pasar al 0,10 % de S m/m en el atraque para las escalas de más de 2 horas. Esta obligación de utilizar fueloil menos contaminante en los puertos está en vigor desde 2005 (Directiva 1999/32). Además de los requisitos de amarre, antes de la entrada en vigor de la OMI 2020, los buques de pasajeros en servicio regular debían utilizar combustibles con un 1,50 % de S m/m. Por lo que respecta a los puertos, la iniciativa marítima de la UE sobre combustibles<sup>15</sup> y la revisión de la Directiva sobre infraestructuras de combustibles alternativos incluirá disposiciones obligatorias sobre la energía en tierra y los combustibles alternativos para reducir considerablemente las emisiones de los buques en los puertos y las zonas costeras.

#### 8.1.5.1 Normas de calidad del aire ambiente de la UE

La Directiva sobre la calidad del aire ambiente (2008/50/CE) establece límites para las concentraciones atmosféricas de especies contaminantes en la UE, entre ellas el SO<sub>2</sub> y las PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> en suspensión. Estas normas están implícitamente vinculadas a las normas sobre emisiones de fuentes fijas y de transporte (EEA 2020b).

Las directivas sobre la calidad del aire ambiente exigen a los Estados miembros de la Unión Europea que evalúen la calidad del aire en sus territorios y apliquen planes para mantener una calidad del aire conforme a la normativa o reducir las emisiones y mejorar la calidad del aire en las regiones donde no se cumplen las normas.

<sup>13</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013DC0918&from=EN>.

<sup>14</sup> <https://www.eea.europa.eu/publications/healthy-environment-healthy-lives>.

<sup>15</sup> <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12312-FuelEU-Maritime->.

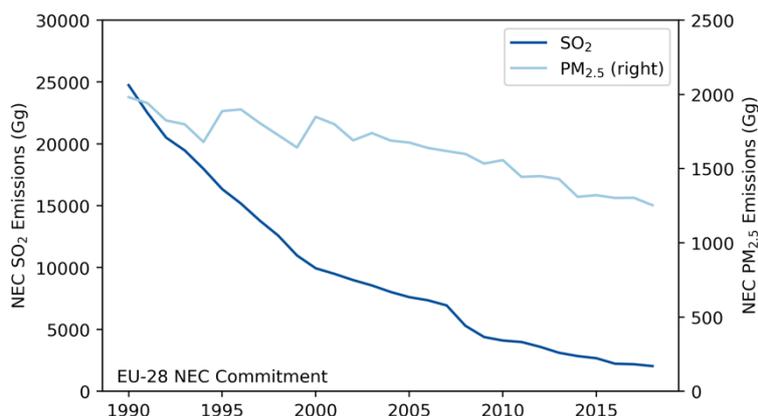
Las concentraciones atmosféricas de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> y SO<sub>2</sub> se rigen por las Directivas de la UE sobre calidad del aire ambiente y están sujetas a las normas temporales establecidas en la **Tabla 8.1-3**.

*Tabla 8.1-3. Selección de normas de concentración de la contaminación de la Directiva sobre la calidad del aire ambiente de la UE*

Contaminante	Período	Concentración	Notas
PM <sub>10</sub>	1 día	Límite de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Durante un máximo de 35 días al año
	Año natural	Límite de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
PM <sub>2,5</sub>	Año natural	Límite de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
		20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Obligación de exposición a la concentración
SO <sub>2</sub>	1 hora	Límite de 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Durante no más de 24 horas al año
		500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Umbral de alerta durante 3 horas en una zona de 100 km <sup>2</sup>
	1 día	Límite de 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Durante un máximo de 3 días al año

#### 8.1.5.2 Compromisos nacionales de reducción de emisiones de la UE

Los compromisos nacionales de reducción de emisiones se establecieron en la Directiva sobre techos nacionales de emisión (TNE) de 2016 (EU 2016), que obliga a los Estados miembros de la Unión Europea a desarrollar medidas de control de la contaminación atmosférica para cumplir sus compromisos<sup>16</sup>. En virtud de la Directiva NEC, la UE-28 se comprometió a reducir las emisiones de SO<sub>2</sub> de 24.747 Gg<sup>17</sup> en 1990 a 2.031,4 Gg en 2018, y las emisiones de PM<sub>2,5</sub> de 1.981,7 Gg en 1990 a 1.253,5 Gg en 2018 (**Figura 8.1-1**). Estos compromisos representan reducciones de emisiones del 91,8 % para el SO<sub>2</sub> y del 36,7 % para las PM<sub>2,5</sub> (UNECE 2019).



*Figura 8.1-1: Compromisos de techos de emisión nacionales de la UE-28 1990-2018*

Todos los Estados miembros de la Unión Europea están trabajando para seguir cumpliendo sus compromisos en materia de SO<sub>2</sub>. Chipre es el único Estado miembro de la Unión Europea y Parte Contratante del Convenio de Barcelona que no está en vías de cumplir su compromiso de 2020 para el SO<sub>2</sub>. Además, Chipre y Eslovenia no están en vías de cumplir sus compromisos de PM<sub>2,5</sub> en 2020

<sup>16</sup> <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/necd-directive-data-viewer-3>.

<sup>17</sup> 1 Gg = 1.000 toneladas métricas.

(European Commission 2020). Se prevé que España cumpla sus compromisos de NEC para las PM<sub>2,5</sub> en 2020 con sus políticas y medidas actuales, y con sus compromisos para 2030 con el supuesto de medidas adicionales<sup>18</sup>. La segunda perspectiva de “Aire Limpio”<sup>19</sup> presenta los pronósticos para la contaminación atmosférica en la UE hasta 2030 y en los años posteriores.

### 8.1.5.3 Normas de emisión y eficiencia energética

La Directiva 98/70/CE de la UE establece las normas de emisión iniciales para la gasolina y el gasóleo destinados a la propulsión de vehículos. En virtud de los artículos 3 y 4, la directiva exige un contenido máximo de azufre de 10 mg/kg (10 ppm) para la gasolina y el gasóleo en Estados miembros de la Unión Europea.

Desde el 1 de enero de 2016, las grandes instalaciones de combustión están reguladas en la UE a través de la Directiva de Emisiones Industriales (DEI) (2010/75/UE), que impone requisitos mínimos para las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), SO<sub>2</sub> y polvo. Según la Directiva 2010/75/UE, las instalaciones de combustión deben utilizar las mejores técnicas disponibles (MTD) o técnicas equivalentes para el control de las emisiones. Dado que los límites de emisión están vinculados a las MTD, que se actualizan periódicamente, no existe ninguna norma prescriptiva general más allá de las indicadas en los documentos de referencia sobre las MTD (BREF).

La eficiencia energética se rige por la Directiva de Eficiencia Energética (2012/27/UE) en la UE, que establece un objetivo de eficiencia energética del 20 % para 2020, en relación con la referencia de 2005. La Directiva de Eficiencia Energética fue revisada al alza en 2018 (Directiva (EU) 2018/2002), estableciendo un nuevo objetivo de eficiencia energética del 32,5 % para 2030, incluyendo una reducción anual del 1,5 % en las ventas nacionales de energía. En 2017, 16 estados estaban en consonancia con sus trayectorias de consumo de energía, lo que, de mantenerse, permitiría a esos estados cumplir sus objetivos energéticos finales para 2020. En general, el consumo de energía final en la UE-28 fue un 5,7 % menor en 2017 que en 2005<sup>20</sup>.

Las políticas relacionadas con las grandes instalaciones de combustión (GIC) redujeron el uso total de combustible en la UE en una quinta parte, mientras que la capacidad térmica aumentó en una décima parte entre 2004 y 2015. Las instalaciones con más GIC alimentadas con combustibles sólidos y líquidos fueron, en general, menos eficientes que las GIC con mayor proporción de biomasa y gas natural. Estas políticas condujeron a una disminución del 77 % de las emisiones de SO<sub>2</sub> entre 2004 y 2015<sup>21</sup>.

### 8.1.6 Israel

La Ley de Aire Limpio<sup>22</sup> entró en vigor en enero de 2011 en Israel (Ministry of Environmental Protection 2019). La ley establece un marco global para la reducción y prevención de la contaminación atmosférica mediante el establecimiento de límites de emisión, la creación de un sistema de autorización de emisiones, la publicación de datos y previsiones sobre la calidad del aire y el control de los contaminantes atmosféricos. La Ley de Aire Limpio establece una concentración media de SO<sub>2</sub> en el aire ambiente de 350 µg/m<sup>3</sup> en una hora, 50 µg/m<sup>3</sup> en un período de 24 horas y 20 µg/m<sup>3</sup> anualmente. Los límites medios de PM<sub>10</sub> se fijaron en 50 µg/m<sup>3</sup> durante un año y en 130 µg/m<sup>3</sup> durante 24 horas. (Negev, 2020)

En cuanto al transporte, las normas de emisión de los vehículos se ajustan a las de la UE, con un contenido de azufre en el gasóleo y la gasolina limitado a 10 ppm.

<sup>18</sup> [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:7199e9c2-b7bf-11ea-811c-01aa75ed71a1.0007.02/DOC\\_2&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:7199e9c2-b7bf-11ea-811c-01aa75ed71a1.0007.02/DOC_2&format=PDF).

<sup>19</sup> [https://ec.europa.eu/environment/air/clean\\_air/outlook.htm](https://ec.europa.eu/environment/air/clean_air/outlook.htm).

<sup>20</sup> <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/final-energy-consumption-by-sector-11/assessment>.

<sup>21</sup> <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/industrial-reporting-under-the-industrial-2>.

<sup>22</sup> <https://main.knesset.gov.il/Activity/Legislation/Laws/Pages/LawPrimary.aspx?t=lawlaws&st=lawlaws&lawite mid=2000055>.

### 8.1.7 Líbano

En el sector del transporte, el Decreto 8.442/2002 define los estándares de azufre para la gasolina en 0,05 % (500 ppm) en peso, y el gasóleo en 0,035 % (350 ppm), modificado por el decreto núm. 3.795 de fecha 30/6/2016 que establece la modificación de la tabla núm. 3 de la ley núm. 8.442, exigiendo una prueba adicional la relación/porcentaje de biodiésel FAME hasta un límite máximo que no supere el 7 % volumétrico de las pruebas de laboratorio aplicables para el gasóleo según el método de prueba ASTM D7371 o ASTM D7963; junto con las leyes adicionales destinadas a reducir la contaminación atmosférica del sector del transporte desincentivando la importación de vehículos antiguos (Ley 341, Ley 380 y Ley 453) e incentivando el uso del transporte público (Decreto 8.941/2012)) (MoE 2017).

En los sectores de la energía y la industria, la Decisión 8/1-2001 del Ministerio de Medio Ambiente define los límites de emisión de las chimeneas y los efluentes de las instalaciones de combustión nuevas y existentes y de los establecimientos industriales que generan emisiones.

Las normas de calidad del aire ambiente para el Líbano se muestran en la **Tabla 8.1-4**.

*Tabla 8.1-4. Normas de calidad del aire ambiente de PM<sub>10</sub> y SO<sub>2</sub> en el Líbano*

Contaminante	Período	Criterio
PM <sub>10</sub>	24 h	80 µg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	1 h	350 µg/m <sup>3</sup>
	24 h	120 µg/m <sup>3</sup>
	1 año	80 µg/m <sup>3</sup>

### 8.1.8 Libia

Libia se ha visto muy afectada por el cambio de régimen en los últimos años. La contaminación atmosférica en Libia estaba regulada anteriormente por el artículo 10-17 de la Ley núm. 15 de 2003 (UNEP 2015a). La ley medioambiental 15 estipula que los vehículos deben pasar pruebas de combustión interna y de calidad del combustible, aunque no se realicen pruebas de gases de escape. El PNUMA identifica un límite de azufre de 10.000 ppm en Libia, aunque también señala que el combustible dominante en el mercado tiene un contenido de azufre de 1.500 ppm.

### 8.1.9 Mónaco

El desarrollo sostenible en Mónaco se refleja en la Ley núm. 1.456 de 12/12/2017 relativa al Código de Medio Ambiente, que abarcó todos los aspectos de la contaminación, la energía y la gestión ambiental (Principaute de Monaco 2019). En el marco del Protocolo de Kioto, Mónaco se fijó el objetivo de mejorar la eficiencia energética en un 20 % de aquí a 2020 y de pasar el 20 % del consumo final de energía a fuentes renovables. Además, Mónaco se ha fijado el objetivo de ser neutro en carbono para 2050, con un objetivo intermedio del 50 % para 2030, en comparación con los niveles de 1990.

En la Parte II del Código del Mar, el capítulo V especifica que todos los buques equipados con motores diésel deben utilizar combustibles que cumplan las normas del 0,10 % de S m/m, o bien estar equipados con SLGE de circuito cerrado<sup>23</sup>

<sup>23</sup> <https://journaldemonaco.gouv.mc/en/Journaux/2018/Journal-8393/Ordonnance-Souveraine-n-7.004-du-20-juillet-2018-relative-a-la-prevention-de-la-pollution-de-l-atmosphere-par-les-navires-et-completant-certaines-dispositions-du-Code-de-la-mer>.

#### 8.1.10 Montenegro

Montenegro es un país candidato a la entrada en la UE y está en proceso de integrar la legislación comunitaria en el sistema de leyes nacionales. Una vez que sea miembro de la UE, las políticas de calidad del aire en Montenegro se armonizarán con el sistema de leyes de la UE.

En 2010, Montenegro promulgó la Ley de Protección del Aire (OG 25/10, 40/11) para definir un marco de protección del aire. La ley establece una serie de medidas para mejorar la calidad del aire, entre las que se incluyen la fijación de límites de emisión para fuentes fijas y móviles y el establecimiento de techos nacionales de emisión para contaminantes específicos (UNECE 2015). Cuando no se cumplan los objetivos de calidad del aire, las autoridades regionales deben adoptar planes de calidad del aire para mitigar las emisiones.

Montenegro también ha promulgado una ley de 2005 sobre la prevención y el control integrados de la contaminación ambiental (OG 80/5, 54/09, 40/11), que establece las políticas de autorización de las posibles fuentes de contaminación ambiental.

#### 8.1.11 Marruecos

A partir de 2018, el contenido máximo de azufre en los combustibles de gasolina en Marruecos era de 50 ppm, y de 15 ppm para el gasóleo<sup>24</sup>. Marruecos también ha puesto en marcha un conjunto de iniciativas de transporte urbano destinadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en hasta 50 Mt de CO<sub>2</sub>e (dióxido de carbono equivalente). Estas estrategias incluyen la ampliación de los tranvías, el cambio modal hacia sistemas de transporte con bajas emisiones de carbono y la expansión de los combustibles alternativos y las energías renovables.

Aunque no se dispone de detalles sobre los beneficios de estos programas para la calidad del aire, es probable que tengan efectos beneficiosos para la calidad del aire en Marruecos, además de los beneficios cuantificados de los GEI.

#### 8.1.12 República Árabe Siria

El sector energético de la República Árabe Siria se ha visto muy afectado por los conflictos, que han causado daños y destrucción en las infraestructuras energéticas, incluidas las plantas de producción, las instalaciones de tratamiento y los oleoductos. Además, el sector energético se ha visto afectado por las sanciones económicas impuestas al país. Paralelamente a estos acontecimientos, la República Árabe Siria ha visto cómo las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector energético han descendido de unos 75 Mt de CO<sub>2</sub> en 2011 a unos 30,5 Mt de CO<sub>2</sub> en 2016. Del mismo modo, la demanda de energía se ha reducido en más de un 50 %, pasando de 25 Mt en 2011 a 10 Mt en 2016.

La República Árabe Siria adoptó normas nacionales de calidad del aire ambiente en 2011 y en 2012 en virtud de la Ley de Medio Ambiente núm. 12. Aunque los límites de azufre de los combustibles son elevados en la República Árabe Siria (6.500 ppm) (UNEP 2015b), el país está poniendo en marcha una estrategia de transporte para mitigar las emisiones en las normas de emisión del sector del transporte, la mejora de la calidad del combustible y el fomento del uso de autobuses de gas y vehículos de combustible alternativo (Syrian Arab Republic 2018).

#### 8.1.13 Túnez

El artículo 8 de la Ley de Contaminación Atmosférica y Emisiones Sonoras núm. 88-91 de Túnez dicta que todo establecimiento industrial, agrícola o comercial, así como toda persona física o jurídica que

---

<sup>24</sup> Véase la nota a pie de página 11.

ejerza una actividad susceptible de contaminar el medio ambiente, está obligado a eliminar o reducir los vertidos. Túnez es miembro de la ISO y ha adoptado las normas de la serie ISO 14.000<sup>25</sup>.

A partir de 2018, el contenido máximo de azufre en los combustibles de gasolina en Túnez era de < 10 ppm<sup>26</sup>, y el contenido de azufre del diésel está limitado a 50 ppm. Túnez tiene una restricción a la importación de vehículos de más de 5 años.

#### 8.1.14 Turquía

En el sector del transporte, las normas de emisiones de los vehículos Euro 6 empezaron a aplicarse en Turquía en 2017, y el azufre de los combustibles está en consonancia con las directivas de la UE y regulado a 10 ppm (UNEP 2015c).

Según la información facilitada por Turquía para este informe, el Ministerio de Medio Ambiente y Urbanismo empezó a preparar mapas estratégicos de la calidad del aire para facilitar el proceso de toma de decisiones. Los Planes de Acción para un Aire Limpio de las provincias están siendo supervisados electrónicamente en relación con las medidas adoptadas para la calidad del aire.

Para cumplir la normativa de la UE, Turquía está integrando paso a paso las políticas en materia de calidad del aire en la legislación nacional. El proyecto "Asistencia técnica para la transposición de la Directiva sobre grandes instalaciones de combustión para mejorar la calidad del aire" se centró en abordar la situación y las necesidades de cumplimiento de las grandes instalaciones de combustión en el ámbito de la Directiva sobre emisiones industriales (DEI). En este proyecto se preparó un inventario de las grandes instalaciones de combustión de Turquía, una base de datos en la web para la presentación de informes y un informe ERI.

El proyecto "Apoyo a la aplicación de la Directiva de Prevención y Control Integrados de la Contaminación en Turquía" (IPPC) ha sido llevado a cabo por el MoEU durante 2011-2014. Para determinar el estado de cumplimiento de la DEI por parte de las instalaciones de Turquía, se realizaron proyectos sectoriales (grandes instalaciones de combustión, automoción, cemento, siderurgia, vidrio y papel). Según la correspondencia de Turquía para este informe, se está revisando el sector de la gestión de residuos.

El "Proyecto para la determinación de la estrategia de emisiones industriales de Turquía de acuerdo con la prevención y el control integrados de la contaminación (Proyecto DIES)" comenzó en 2020. El proyecto DIES tiene como objetivo aumentar la capacidad técnica e institucional de las autoridades competentes para la aplicación efectiva del enfoque IPPC en Turquía en línea con la Directiva de Emisiones Industriales de la UE.

## 8.2 Evaluación de la reducción de las emisiones de SO<sub>x</sub> y PM a partir de las medidas en tierra

La evaluación de las reducciones de emisiones, basada en inventarios a nivel nacional, utiliza dos fuentes de datos primarias, la Base de Datos de Emisiones para la Investigación Atmosférica Global (EDGAR)<sup>27</sup> (Crippa et al. 2020) y los datos de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA)<sup>28</sup>. La AEMA consolidó las emisiones nacionales totales y sectoriales de contaminantes atmosféricos de acuerdo con la metodología de inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos de la Unión Europea para su presentación al Convenio sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia (LRTAP). Los contaminantes relevantes para este análisis incluyen tanto el SO<sub>x</sub> como las PM<sub>2,5</sub>. Los inventarios del LRTAP de la AEMA representan las estimaciones más actualizadas y mejores

<sup>25</sup> <http://www.infoprod.co.il/country/tunis2i.htm>.

<sup>26</sup> Véase la nota a pie de página 11.

<sup>27</sup> [https://data.europa.eu/doi/10.2904/JRC\\_DATASET\\_EDGAR](https://data.europa.eu/doi/10.2904/JRC_DATASET_EDGAR).

<sup>28</sup> <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/air-pollutant-emissions-data-viewer-3>.<sup>29</sup>  
<https://www.who.int/airpollution/data/en/>.

disponibles de la actividad de emisiones de los Estados miembros de la Unión Europea. Tanto los conjuntos de datos de EDGAR como los de la AEMA delimitan los inventarios de manera que podamos evaluar las emisiones de las fuentes fijas y móviles.

Los datos del EDGAR son útiles para comparar las emisiones en la zona del Mar Mediterráneo por varias razones. En primer lugar, la fuente de datos es coherente, lo que significa que se aplican metodologías similares para todas las regiones, lo que reduce la posibilidad de que se produzcan sesgos o inexactitudes al comparar las estimaciones de emisiones generadas con metodologías diferentes. En segundo lugar, la serie temporal disponible en EDGAR es larga, con datos disponibles desde 1975 hasta 2015. Aunque esta serie de datos no cubre los años más recientes, permite analizar y discutir las tendencias a largo plazo de las emisiones. En tercer lugar, el conjunto de datos tiene una elevada calidad, al haber sido desarrollado por el Centro Común de Investigación (CCI) de la Comisión Europea y revisado por homólogos (Crippa et al. 2020) durante muchos años, lo que supone un alto nivel de confianza en la calidad de los datos. Las estimaciones de emisiones del EDGAR se calculan utilizando un enfoque de factor de emisión basado en la tecnología, en el que las emisiones sectoriales específicas de cada país se estiman por especies a partir de inventarios de actividad humana reticulados geoespacialmente. Los datos del EDGAR se utilizan para describir las tendencias temporales de las emisiones cuando no se dispone de inventarios a nivel de país. En los casos en que se dispone de datos del inventario del LRTAP de la AEMA, las estimaciones de las emisiones se presentan mediante gráficos de líneas sólidas. En el caso de los Estados costeros mediterráneos en los que no se dispone de datos del LRTAP de la AEMA, las estimaciones de emisiones del EDGAR se presentan mediante gráficos de líneas discontinuas.

A continuación, las políticas de reducción de emisiones basadas en la tierra, y sus reducciones de emisiones asociadas, se sitúan en el contexto de los cambios en la calidad del aire, utilizando datos geoespaciales a nivel de estación disponibles en la base de datos de calidad del aire de 2018 de la Organización Mundial de la Salud (OMS)<sup>29</sup>. Los datos a nivel de estación de 2016, el año completo más reciente de datos disponibles, se trazan geográficamente municipio por país para ilustrar las áreas de cumplimiento de las directrices de PM<sub>2,5</sub> de la OMS ( $\leq 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y las normas de la UE ( $\leq 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Los datos de las series temporales de los países de la Unión Europea también se evalúan con respecto a las normas de la UE y las directrices de la OMS.

### 8.3 Evaluación de la reducción de las emisiones de SO<sub>x</sub> y PM con medidas en tierra

El criterio 3.1.7 del Apéndice III del Anexo VI de MARPOL (MEPC.176(58)) exige una descripción de las medidas de control adoptadas por las partes proponentes para abordar las fuentes terrestres de emisiones de SO<sub>x</sub> y PM que afectan a las poblaciones humanas. Esta sección presenta los resultados del análisis de las tendencias de las emisiones a nivel nacional, con el fin de describir los esfuerzos realizados en tierra para la reducción de SO<sub>x</sub> y PM. Las tendencias analizadas en esta sección se centran en las emisiones específicas del transporte terrestre<sup>30</sup>, y en las emisiones de todas las fuentes terrestres, sin incluir la navegación acuática<sup>31</sup> ni la aviación<sup>32</sup>.

Los datos de EDGAR muestran que las emisiones globales de SO<sub>2</sub> de todas las fuentes, sin incluir el transporte por barco<sup>33</sup>, están disminuyendo entre los Estados costeros del Mediterráneo que son Partes Contratantes del Convenio de Barcelona. Desde un pico de 9.567 Gg en 1980, las emisiones de SO<sub>2</sub> se redujeron a 5.068 Gg en 2015, una reducción global del 47 % en comparación con el pico de emisiones. Sin embargo, las reducciones de las emisiones no son uniformes en la región, ya que la tendencia a la baja está impulsada por las mayores reducciones en Estados miembros de la Unión Europea. Mientras

<sup>29</sup> <https://www.who.int/airpollution/data/en/>.

<sup>30</sup> Sectores 1.A.3.b, 1.A.3.c y 1.A.3.e del IPCC.

<sup>31</sup> Código del sector de emisiones del IPCC 1.A.3.d.

<sup>32</sup> Código del sector de emisiones del IPCC 1.A.3.a.

<sup>33</sup> Código del sector de emisiones del IPCC 1.A.3.d.

tanto, las emisiones globales de SO<sub>2</sub> de otros Estados costeros mediterráneos se mantienen estables o aumentan ligeramente desde aproximadamente el año 2000.

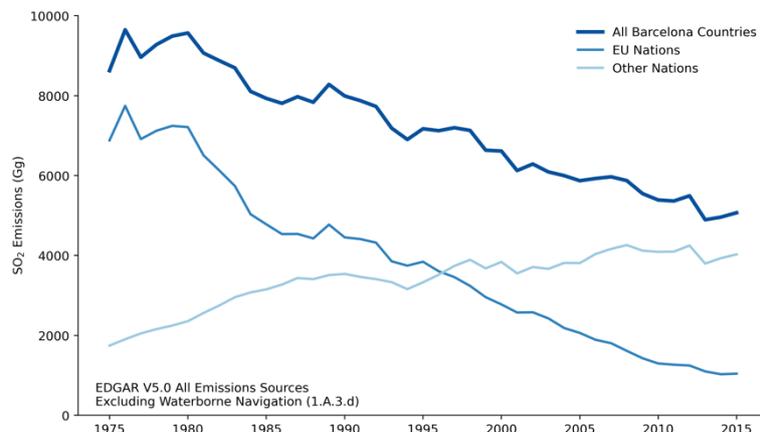


Figura 8.3-1: Todas las fuentes de emisión de SO<sub>2</sub> entre los Estados costeros mediterráneos que son Partes Contratantes del Convenio de Barcelona

Si se examina con más detalle el sector del transporte, excluyendo el tránsito marítimo y la aviación, los datos del EDGAR muestran que las emisiones globales de SO<sub>2</sub> relacionadas con el transporte han disminuido en los últimos años en los Estados costeros del Mediterráneo que son Partes Contratantes del Convenio de Barcelona. Las emisiones globales de SO<sub>2</sub> han disminuido de 222 Gg en 1978 a 70 Gg en 2015, una reducción global de más del 68 %.

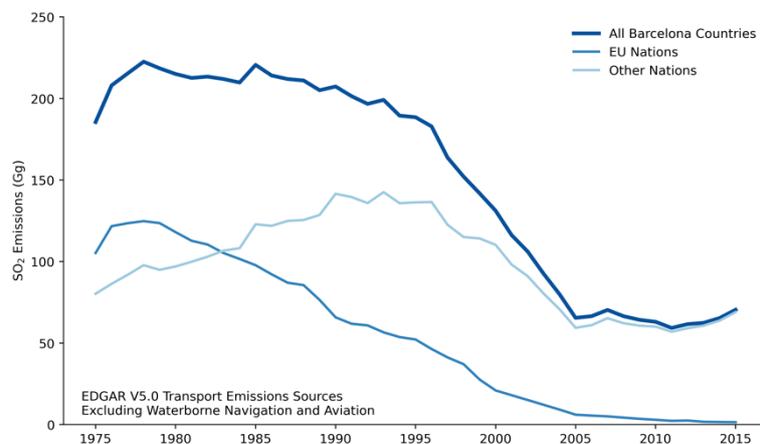


Figura 8.3-2: Emisiones de SO<sub>2</sub> en el transporte en los Estados costeros del Mediterráneo que son Partes Contratantes del Convenio de Barcelona (excluyendo la navegación fluvial y la aviación)

La **Figura 8.3-1** y la **Figura 8.3-2** muestran una gran reducción global de las emisiones de SO<sub>2</sub> entre los Estados costeros del Mediterráneo que son Partes Contratantes del Convenio de Barcelona, tanto en las fuentes fijas como en el sector del transporte. Estos resultados muestran que, a nivel regional, los Estados costeros del Mediterráneo que son Partes Contratantes del Convenio de Barcelona están adoptando medidas en tierra para controlar las fuentes terrestres de emisiones de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub>. En las siguientes secciones se ofrece un breve resumen de las tendencias de las emisiones en cada país.

Como se muestra en la **Figura 8.3-2**, las emisiones de SO<sub>2</sub> del sector del transporte han disminuido en toda la región, tanto en los Estados miembros de la Unión Europea como en otros Estados costeros del Mediterráneo. Las emisiones de SO<sub>2</sub> de los Estados miembros de la Unión Europea han descendido a niveles muy bajos en los últimos años, y las emisiones de otros Estados costeros del Mediterráneo disminuyeron hasta 2005 y no están aumentando desde entonces.

## 8.3.1 Observaciones regionales de la calidad del aire ambiente

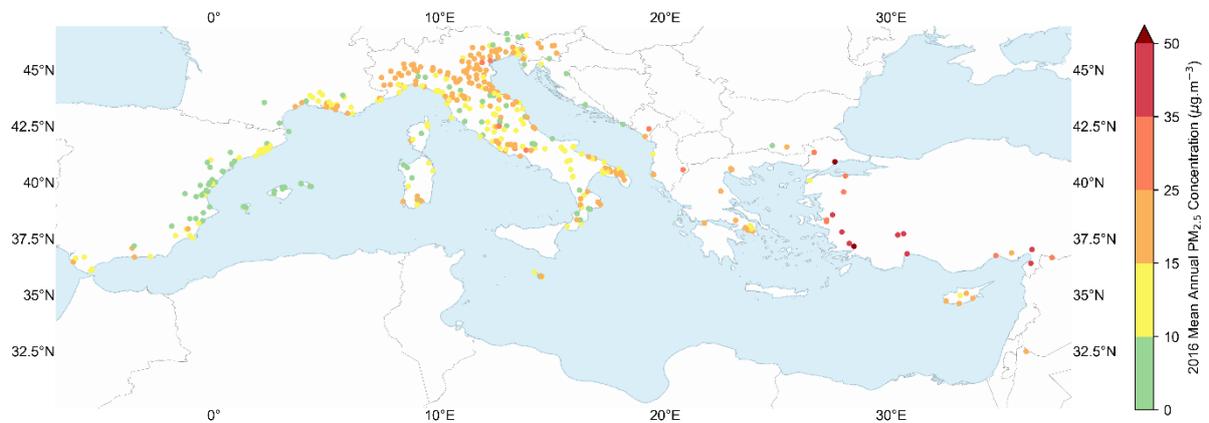


Figura 8.3-3: Calidad media anual del aire ( $PM_{2.5}$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) observada en las estaciones de observación de la costa (a menos de 100 km del litoral)

**Figura 8.3-3** muestra la calidad media anual del aire ambiente ( $PM_{2.5}$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) observada en las estaciones situadas en un radio de 100 km del litoral del Mar Mediterráneo a partir de la base de datos de la Organización Mundial de la Salud sobre contaminación atmosférica, concentraciones de partículas finas ( $PM_{2.5}$ )<sup>34</sup>. Las secciones siguientes presentan observaciones a nivel de país a partir de los datos de la OMS, cuando están disponibles, y no limitan las observaciones únicamente a las estaciones situadas a menos de 100 km de la costa. Los datos de la OMS son el conjunto más completo de observaciones para los Estados costeros del Mediterráneo, siendo 2016 el año más reciente de datos disponibles. Todos los mapas mostrados en esta sección se basan en la base de datos de la OMS sobre la calidad del aire ambiente. Como se ha visto, la calidad del aire en la región varía mucho, y en un gran número de estaciones costeras las concentraciones de  $PM_{2.5}$  superan las directrices de la OMS de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Los datos de las series temporales a nivel de país que se muestran en esta sección proceden de los datos a nivel de estación proporcionados por la Agencia Europea de Medio Ambiente<sup>35</sup>.

**Figura 8.3-4** muestra un histograma de los recuentos de las estaciones según sus concentraciones anuales de  $PM_{2.5}$ . La mayoría de las estaciones de observación costera informan de mediciones ambientales que no cumplen las directrices de la OMS de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ya que solo el 19,9 % de las estaciones cumplen ese umbral. La norma de la UE está fijada en  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , que cumplen el 94,4 % de las estaciones. En particular, la distribución geográfica de las estaciones no es uniforme, con una alta concentración de estaciones de control en los Estados costeros del norte y del oeste del Mediterráneo y un número comparativamente menor en los Estados costeros del sur y el este del Mediterráneo. Por lo tanto, las mediciones en estas observaciones de la calidad del aire se toman mejor en su contexto, teniendo en cuenta las diferencias en el muestreo entre los Estados costeros del Mediterráneo.

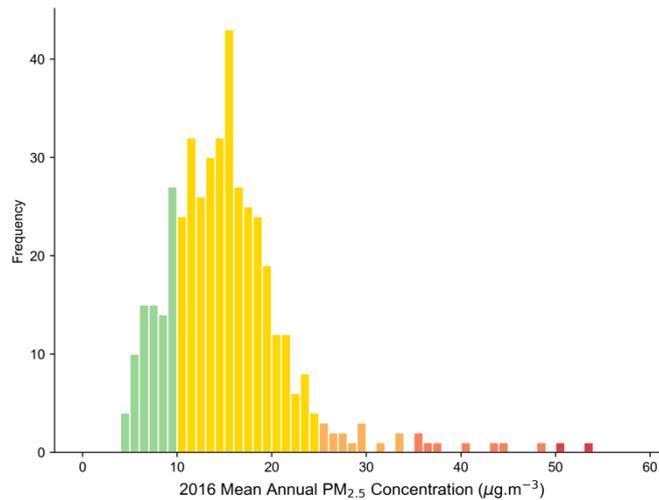


Figura 8.3-4: Histograma de la calidad media anual del aire de la OMS ( $PM_{2.5}$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) observada en las estaciones de observación de la costa (a menos de 100 km del litoral)

### 8.3.2 Albania

Las emisiones de  $\text{SO}_2$  relacionadas con el transporte en Albania alcanzaron un máximo en 1980 con 0,94 Gg y posteriormente han disminuido a niveles muy bajos (0,008 Gg en 2015). La tendencia de reducción de las emisiones de  $\text{SO}_2$  ha sido constante desde 1999 y demuestra un alto nivel de control de las emisiones de  $\text{SO}_2$  procedentes de fuentes de transporte. En total, las emisiones en 2015 habían disminuido en más de un 99 % con respecto a su pico en 1980.

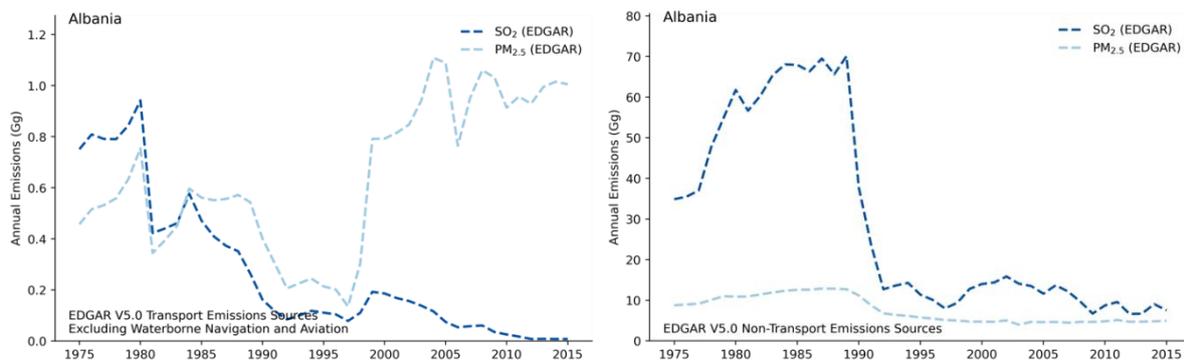


Figura 8.3-5: Emisiones de  $\text{SO}_2$  y  $PM_{2.5}$  en el transporte (izquierda) y no en el transporte (derecha) en Albania

Las emisiones de  $PM_{2.5}$  relacionadas con el transporte no han seguido una trayectoria similar a la de las emisiones de  $\text{SO}_2$  en Albania. Después de 1997, las emisiones de  $PM_{2.5}$  aumentaron considerablemente, aunque se han mantenido estables desde mediados de la década de 2000.

Todas las fuentes de emisiones de  $\text{SO}_2$  disminuyeron drásticamente en Albania después de 1990 y se han mantenido estables desde entonces. Esta reducción del  $\text{SO}_2$  fue acompañada de un descenso similar de las  $PM_{2.5}$  no procedentes del transporte, que también se han mantenido estables en Albania desde aproximadamente el año 2000 (Figura 8.3-5).

Las concentraciones medias anuales de  $PM_{2.5}$  de 2016 (Figura 8.3-6) muestran que todas las estaciones cumplen las concentraciones de  $PM_{2.5}$  de la UE ( $< 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), aunque las tres estaciones superan las directrices de  $PM_{2.5}$  de la OMS ( $< 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

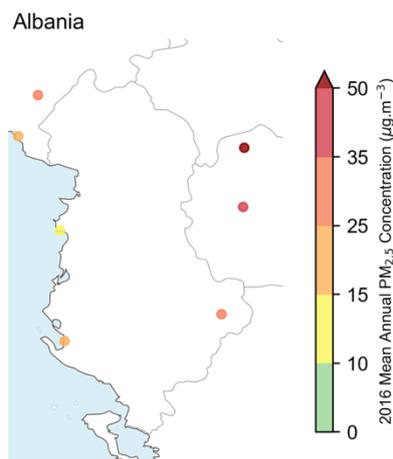


Figura 8.3-6: Observaciones de la concentración media anual de  $PM_{2,5}$  de la OMS en Albania (2016)

### 8.3.3 Argelia

Las emisiones de  $SO_2$  relacionadas con el transporte en Argelia alcanzaron un máximo en 1991, con 27,70 Gg, seguido de un descenso a 8,26 Gg en 2005, lo que supone una reducción del 70 % en ese período. La tendencia de las emisiones de  $SO_2$  ha ido en aumento desde 2005, hasta llegar a 12,93 Gg en 2015, lo que equivale a una reducción del 53,3 % en comparación con los picos de 1991. Las  $PM_{2,5}$  relacionadas con el transporte también han aumentado en Argelia desde 1975.

Las emisiones de  $SO_2$  de todas las fuentes disminuyeron en los últimos años, de 2012 a 2015, aunque la tendencia general tanto de las emisiones de  $SO_2$  como de  $PM_{2,5}$  en Argelia es al alza (**Figura 8.3-7**).

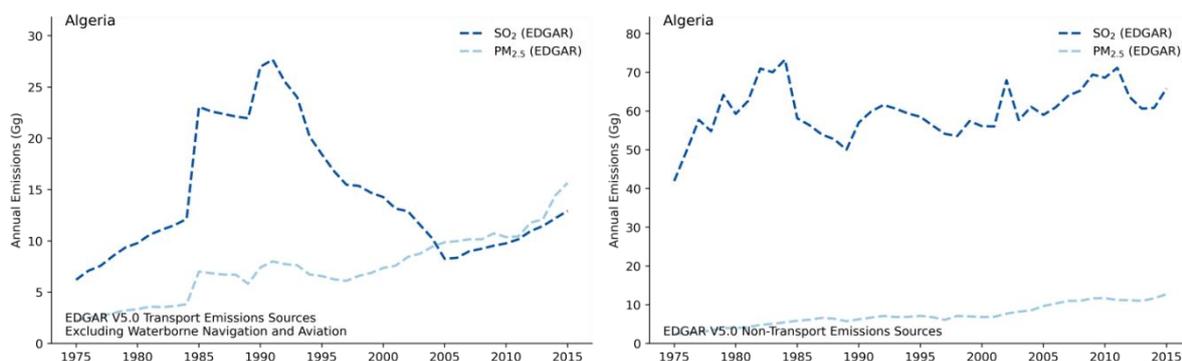


Figura 8.3-7: Emisiones de  $SO_2$  y  $PM_{2,5}$  en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Argelia

### 8.3.4 Bosnia y Herzegovina

Las emisiones de  $SO_2$  relacionadas con el transporte en Bosnia y Herzegovina alcanzaron un máximo en 1979 con 1,74 Gg y posteriormente han disminuido a niveles muy bajos (0,01 Gg en 2015). La tendencia de reducción de las emisiones de  $SO_2$  ha sido constante desde 1999 y demuestra un alto nivel de control de las emisiones de estos gases procedentes de fuentes de transporte. En total, las emisiones en 2015 habían disminuido en más de un 99 % con respecto a su pico en 1979. Las emisiones de  $PM_{2,5}$

relacionadas con el transporte han disminuido desde 2010, aunque han aumentado ligeramente desde 1975.

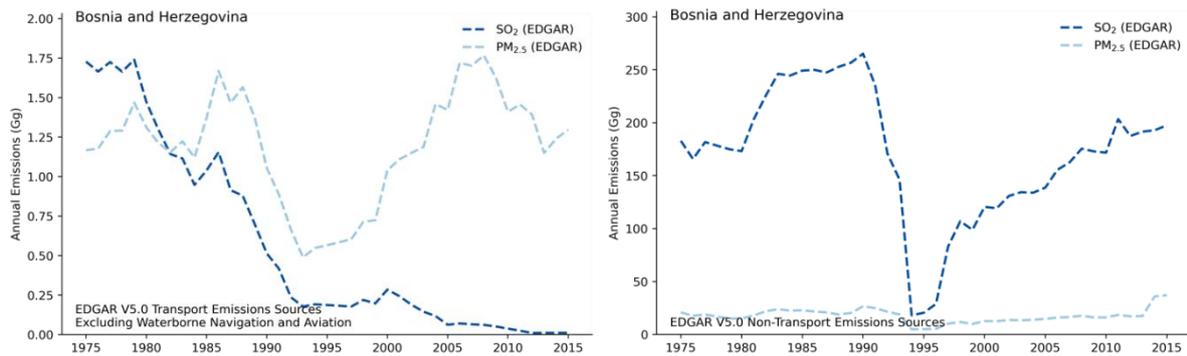


Figura 8.3-8: Emisiones de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Bosnia y Herzegovina

Las emisiones globales de PM<sub>2.5</sub> han sido bajas en Bosnia y Herzegovina desde 1975, pero las emisiones globales de SO<sub>2</sub> han aumentado constantemente desde 1994 (Figura 8.3-8).

Las concentraciones medias anuales de PM<sub>2.5</sub> de 2016 (Figura 8.3-9) muestran que 1 de las 5 estaciones de Bosnia y Herzegovina cumple con las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> de la UE (< 25 µg/m<sup>3</sup>), y las concentraciones de todas las estaciones superan las directrices de la OMS sobre PM<sub>2.5</sub> (< 10 µg/m<sup>3</sup>).



Figura 8.3-9: Observaciones de la OMS sobre la concentración media anual de PM<sub>2.5</sub> en Bosnia y Herzegovina (2016)

### 8.3.5 Croacia

Las emisiones de SO<sub>x</sub> relacionadas con el transporte en Croacia alcanzaron su máximo (en esta serie temporal) en 2003 con 5,95 Gg y posteriormente han disminuido a niveles muy bajos (0,03 Gg en 2018). La tendencia de reducción de las emisiones de SO<sub>x</sub> ha sido constante desde 2003 y demuestra un alto nivel de control de las emisiones de SO<sub>x</sub> procedentes de fuentes de transporte.

Las emisiones de PM<sub>2.5</sub> no procedentes del transporte se han mantenido estables en Croacia desde 1990 y las de SO<sub>x</sub> no procedentes del transporte han disminuido en torno a un 90 % con respecto a los niveles de 1990. Las emisiones de SO<sub>x</sub> no relacionadas con el transporte disminuyeron de 162,83 Gg en 1990 a 10,25 Gg en 2018 (Figura 8.3-10).

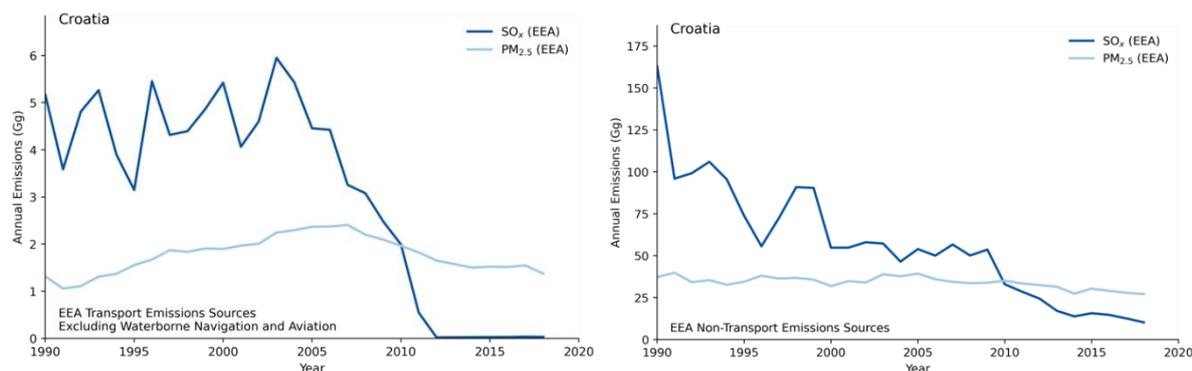


Figura 8.3-10: Emisiones de SO<sub>x</sub> y PM<sub>2.5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Croacia

Las concentraciones medias de PM<sub>2.5</sub> en el ambiente de Croacia (**Figura 8.3-11**) han cumplido con las normas de calidad del aire ambiente de la UE desde 2013, aunque el intervalo de confianza del 95 % ha tenido un límite superior por encima de 25 µg/m<sup>3</sup> desde 2014, y las concentraciones medias en todo el país han sido superiores a las directrices de la OMS desde el inicio de la serie de datos (EEA 2020a).

Si se observan las mediciones de las estaciones, que se muestran en la **Figura 8.3-12**, los datos indican que 4 de las 12 estaciones de Croacia cumplen las directrices de la OMS para las PM<sub>2.5</sub>, y 8 de las 12 estaciones cumplen la normativa de la UE sobre las PM<sub>2.5</sub>.

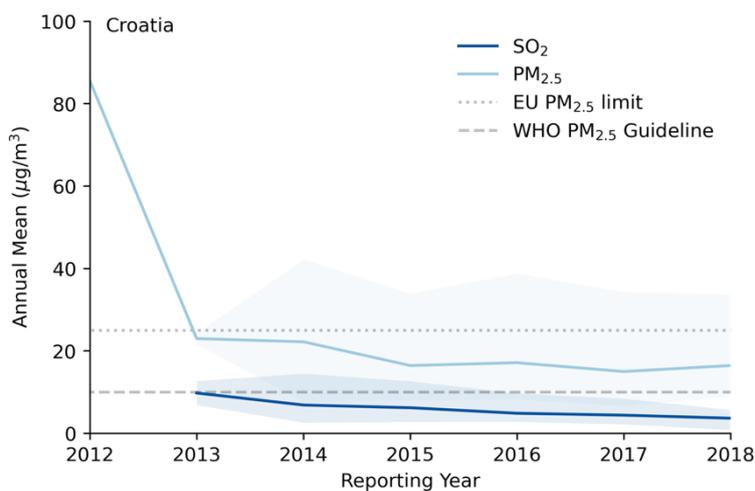


Figura 8.3-11: Concentraciones medias anuales de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> en Croacia (las áreas sombreadas muestran el IC del 95 %)

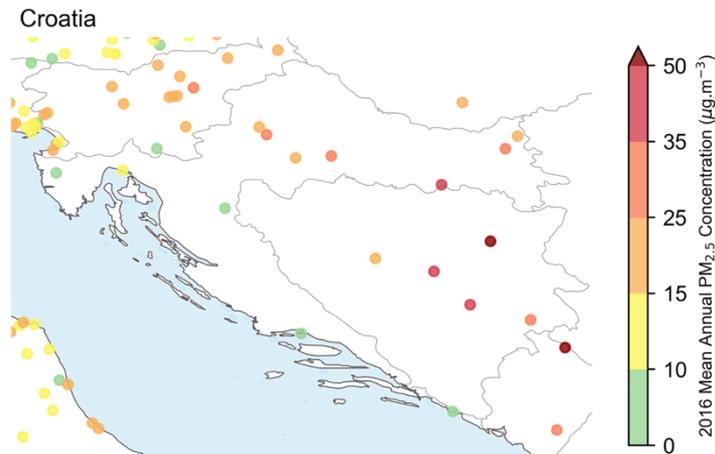


Figura 8.3-12: Observaciones de la concentración media anual de  $PM_{2.5}$  de la OMS en Croacia (2016)

### 8.3.6 Chipre

Las emisiones de  $SO_x$  relacionadas con el transporte en Chipre alcanzaron un máximo en 1999 con 7,32 Gg y posteriormente han disminuido a niveles bajos (0,01 Gg en 2018). La tendencia a la reducción de las emisiones de  $SO_x$  experimentó un fuerte descenso a partir del año 2001. Estos resultados demuestran el control de las emisiones de  $SO_x$  procedentes de fuentes de transporte.

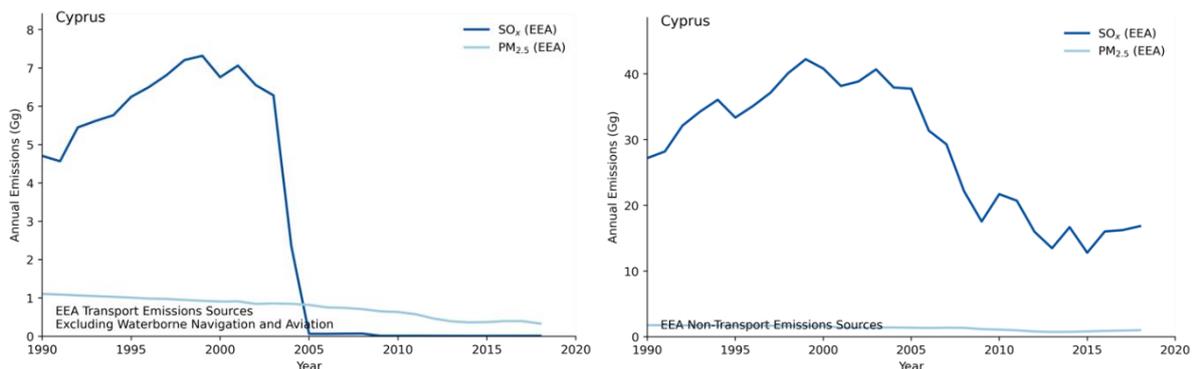


Figura 8.3-13: Emisiones de  $SO_x$  y  $PM_{2.5}$  en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Chipre

Las emisiones de  $SO_x$  no relacionadas con el transporte también alcanzaron un máximo en 1999, con 42,23 Gg, y posteriormente disminuyeron a 16,83 Gg en 2018 (Figura 8.3-13).

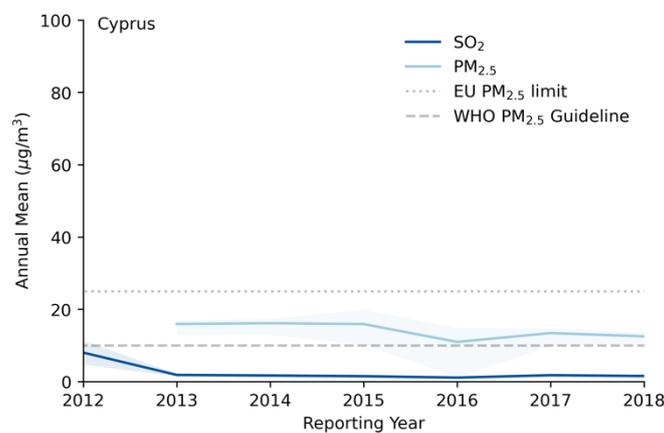


Figura 8.3-14: Concentraciones medias anuales de  $SO_2$  y  $PM_{2.5}$  en Chipre (las áreas sombreadas muestran el IC del 95 %)

Como se muestra en **Figura 8.3-14**, las concentraciones medias de  $\text{SO}_2$  y  $\text{PM}_{2.5}$  en Chipre cumplen las normas de calidad del aire ambiente de la UE, pero no las directrices de la OMS. Las mediciones a nivel de estación (**Figura 8.3-15**), respaldan los datos anuales, demostrando que ninguna estación de Chipre tuvo concentraciones medias anuales de  $\text{PM}_{2.5}$  inferiores a  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 2016.



Figura 8.3-15: Observaciones de la concentración media anual de  $\text{PM}_{2.5}$  de la OMS en Chipre (2016)

### 8.3.7 Egipto

Las emisiones de  $\text{SO}_2$  relacionadas con el transporte en Argelia alcanzaron un máximo en 1991, con 29,73 Gg, seguido de un descenso a 10,28 Gg en 2005, lo que supone una reducción del 65,4 % en ese período. La tendencia de las emisiones de  $\text{SO}_2$  ha ido en aumento desde 2005, hasta llegar a 13,59 Gg en 2015, lo que equivale a una reducción del 54 % en comparación con los picos de 1991. La tendencia de las emisiones de  $\text{SO}_2$  y  $\text{PM}_{2.5}$  no relacionadas con el transporte ha aumentado desde 2004 en Egipto (**Figura 8.3-16**).

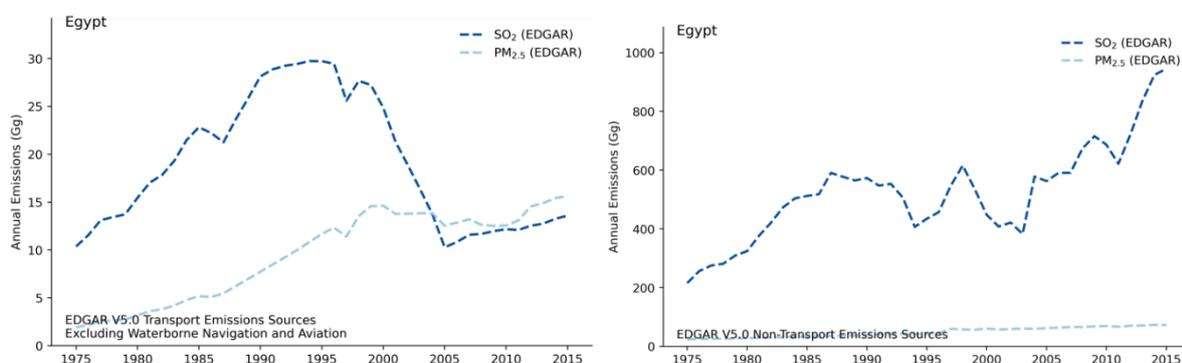


Figura 8.3-16: Emisiones de  $\text{SO}_2$  y  $\text{PM}_{2.5}$  en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Egipto

### 8.3.8 Francia

Las emisiones de  $\text{SO}_x$  relacionadas con el transporte en Francia alcanzaron un máximo de 158,94 Gg en 1993 y posteriormente han disminuido a 0,84 Gg en 2018. La tendencia a la reducción de las emisiones de  $\text{SO}_x$  ha sido descendente sistemáticamente desde 1993. Estos resultados demuestran el control de las emisiones de  $\text{SO}_x$  procedentes de fuentes de transporte. En total, las emisiones en 2015 se redujeron en más de un 80 % con respecto a 1991. Las emisiones de  $\text{SO}_x$  procedentes de fuentes distintas del transporte han disminuido de 1.225,28 Gg en 1991 a 133,36 Gg en 2018 (**Figura 8.3-17**).

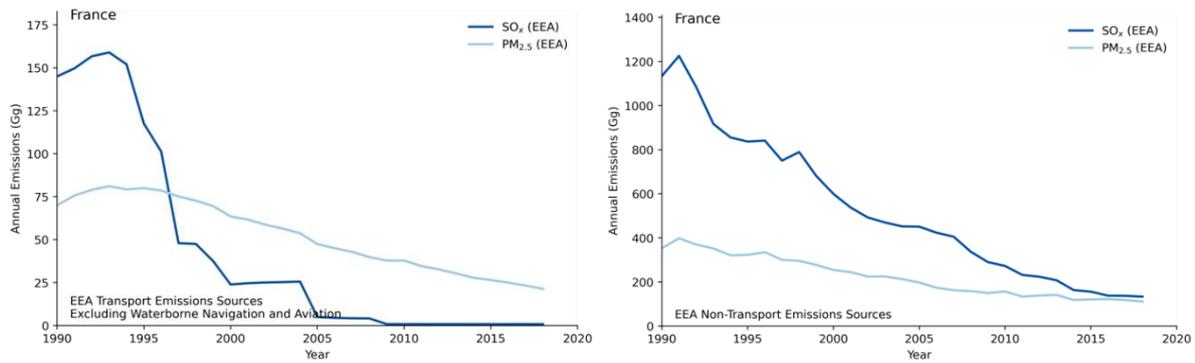


Figura 8.3-17: Emisiones de  $SO_x$  y  $PM_{2.5}$  en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Francia

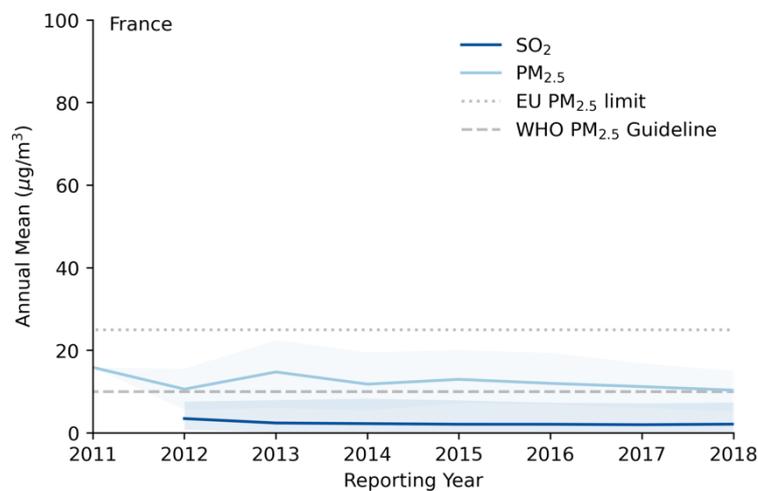


Figura 8.3-18: Concentraciones medias anuales de  $SO_2$  y  $PM_{2.5}$  en Francia (las áreas sombreadas muestran el IC del 95 %)

Como se muestra en **Figura 8.3-18**, las concentraciones medias de  $SO_2$  y  $PM_{2.5}$  a nivel nacional cumplen las normas de calidad del aire ambiente de la UE (EEA 2020a), pero no las directrices de la OMS sobre las  $PM_{2.5}$ . Los datos a nivel de estación muestran que todas las estaciones de Francia cumplieron las normas de  $PM_{2.5}$  de la UE en 2016, pero solo 65 de 282 (23 %) estaciones de Francia cumplieron las directrices de  $PM_{2.5}$  de la OMS de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En particular, las estaciones situadas a lo largo de la costa sur de Francia registraron algunas de las concentraciones de  $PM_{2.5}$  más elevadas del país (**Figura 8.3-19**).

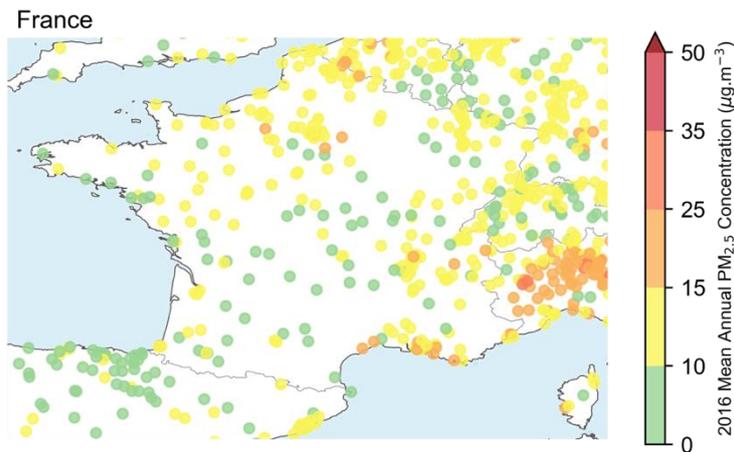


Figura 8.3-19: Observaciones de la concentración media anual de  $PM_{2,5}$  de la OMS en Francia (2016)

### 8.3.9 Grecia

Las emisiones de  $SO_x$  relacionadas con el transporte en Grecia alcanzaron un máximo en 1994 con 21,85 Gg y posteriormente han disminuido a niveles bajos (0,14 Gg en 2018). Estos resultados demuestran un alto nivel de control de las emisiones de  $SO_x$  procedentes de fuentes de transporte. Las fuentes no relacionadas con el transporte aumentaron gradualmente hasta alcanzar un máximo de 548,41 Gg en 2005, tras lo cual las emisiones disminuyeron rápidamente hasta 64,12 Gg en 2018 (**Figura 8.3-20**).

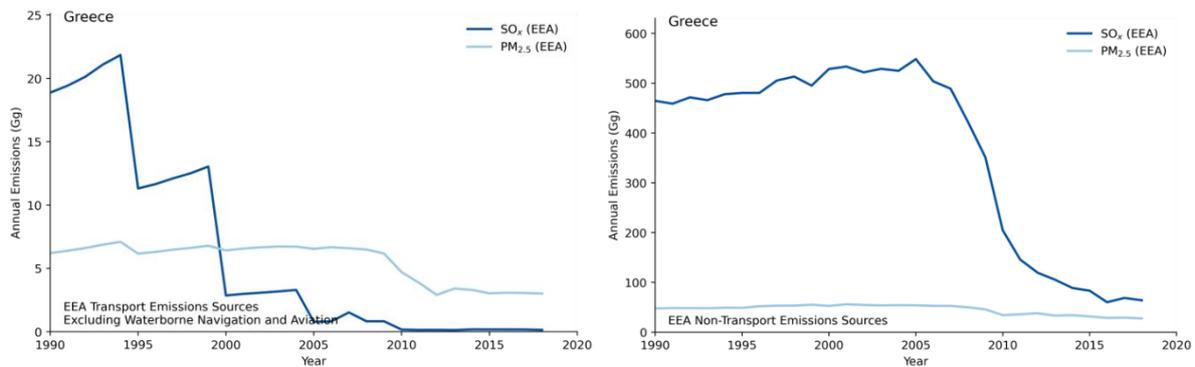


Figura 8.3-20: Emisiones de  $SO_x$  y  $PM_{2,5}$  en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Grecia

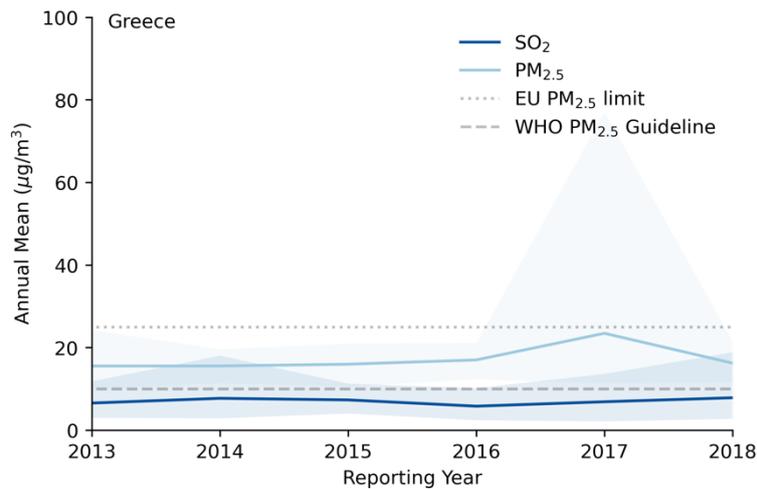


Figura 8.3-21: Concentraciones medias anuales de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> en Grecia (las áreas sombreadas muestran el IC del 95 %)

Como se muestra en la **Figura 8.3-21**, las concentraciones medias de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> a nivel de país en Grecia cumplen las normas de calidad del aire ambiente de la UE, aunque el IC del 95 % para 2017 no cumple la norma de la UE de 25 µg/m<sup>3</sup> para las PM<sub>2.5</sub> y las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> no cumplen las directrices de la OMS (EEA 2020a). Los datos a nivel de estación (**Figura 8.3-22**) muestran que todas las estaciones de Grecia cumplieron las normas de PM<sub>2.5</sub> de la UE en 2016, pero ninguna estación cumplió las directrices de PM<sub>2.5</sub> de la OMS de 10 µg/m<sup>3</sup>.

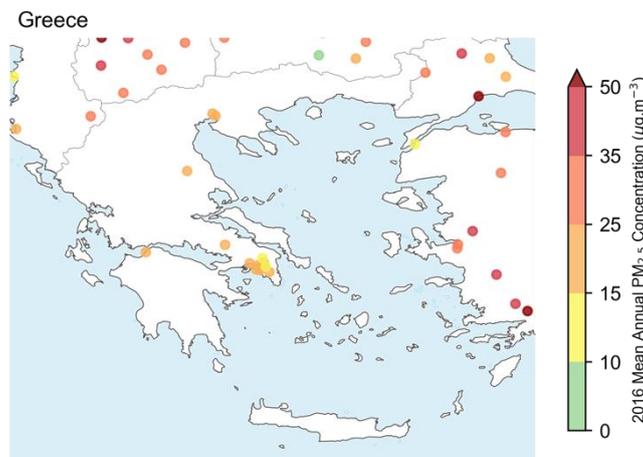


Figura 8.3-22: Observaciones de la concentración media anual de PM<sub>2.5</sub> de la OMS en Grecia (2016)

### 8.3.10 Israel

Antes de 1990, las emisiones de SO<sub>2</sub> en Israel se mantenían estables. De 1989 a 1997, las emisiones de SO<sub>2</sub> aumentaron un 90 %, hasta 11,84 Gg. Desde 1997, Israel ha experimentado un fuerte y constante descenso anual de las emisiones de SO<sub>2</sub>, que se redujeron a 4,17 Gg en 2015, lo que supone un descenso del 64,8 % desde el máximo de 1997. Las emisiones de PM<sub>2.5</sub> y SO<sub>2</sub> procedentes de fuentes de transporte han disminuido en el año 2000 en Israel, y las emisiones de SO<sub>2</sub> no procedentes del transporte han disminuido en general en más del 80 % desde el año 2000 (**Figura 8.3-23**).

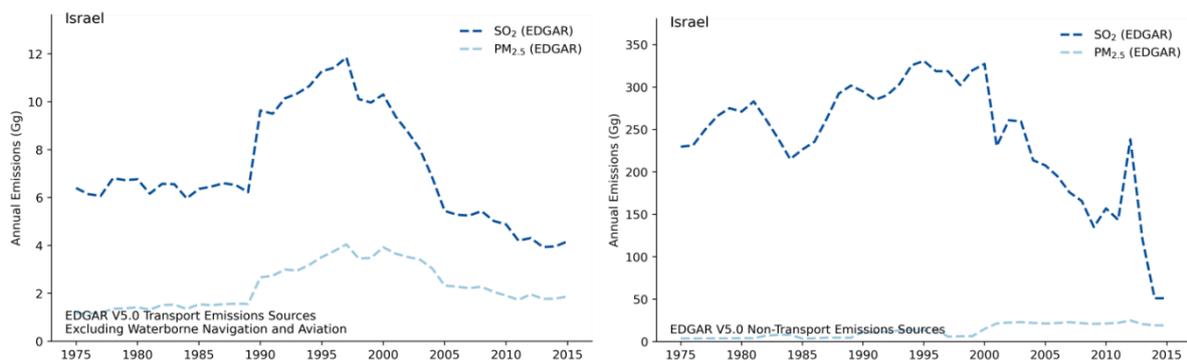


Figura 8.3-23: Emisiones de  $SO_2$  y  $PM_{2,5}$  en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Israel

### 8.3.11 Italia

Las emisiones de  $SO_x$  relacionadas con el transporte en Italia alcanzaron un máximo en 1992 con 135,71 Gg y posteriormente han disminuido a niveles muy bajos (0,41 Gg en 2018). La tendencia anual de las reducciones de las emisiones de  $SO_x$  ha sido descendente sistemáticamente desde 1992. Estos resultados demuestran un alto nivel de control de las emisiones de  $SO_x$  procedentes de fuentes de transporte. En total, las emisiones en 2015 se redujeron en más de un 99 % con respecto a 1979. Las emisiones de  $SO_x$  procedentes de fuentes distintas del transporte han disminuido significativamente, pasando de 1574,99 Gg en 1990 a 87,60 Gg en 2018 en Italia (**Figura 8.3-24**).

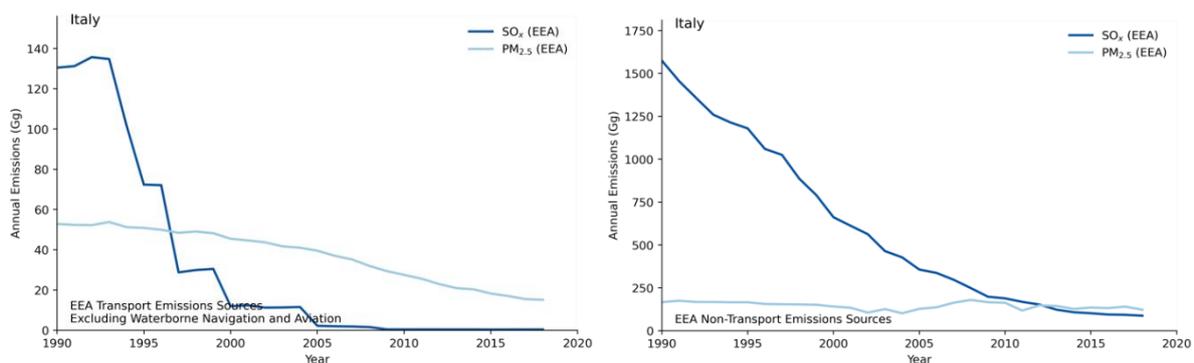


Figura 8.3-24: Emisiones de  $SO_x$  y  $PM_{2,5}$  en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Italia

Como se muestra en la **Figura 8.3-25**, las concentraciones medias nacionales de  $SO_x$  y  $PM_{2,5}$  en Italia cumplen las normas de calidad del aire ambiente de la UE (EEA 2020a), aunque las medias anuales del país no cumplen las directrices de la OMS sobre las  $PM_{2,5}$ . Los datos a nivel de estación (**Figura 8.3-26**) muestran que 320 de 334 (95,8 %) estaciones en Italia cumplieron las normas de  $PM_{2,5}$  de la UE en 2016, pero solo 36 de 334 (10,85) de las estaciones cumplieron las directrices de  $PM_{2,5}$  de la OMS de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

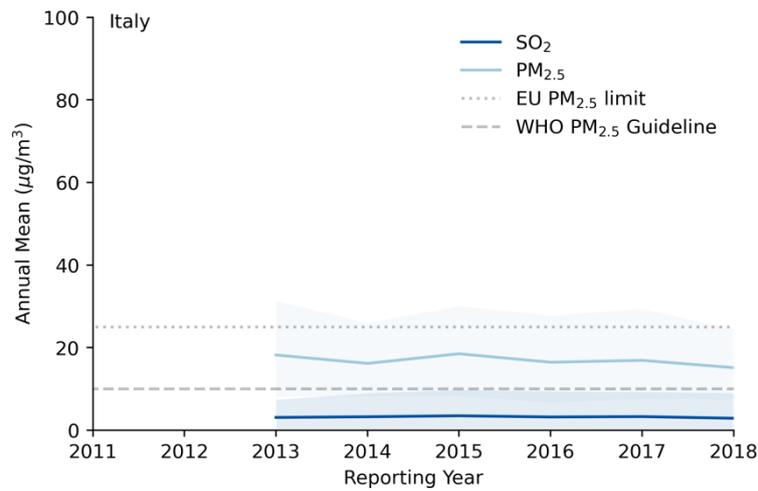


Figura 8.3-25: Concentraciones medias anuales de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> en Italia (las áreas sombreadas muestran el IC del 95 %)

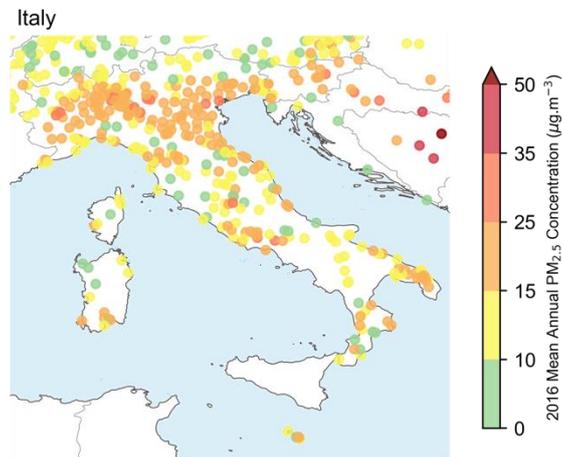


Figura 8.3-26: Observaciones de la concentración media anual de PM<sub>2.5</sub> de la OMS en Italia (2016)

### 8.3.12 Líbano

De 1988 a 1998, las emisiones de SO<sub>2</sub> procedentes de fuentes de transporte aumentaron un 184 %, pasando de 0,90 Gg a 2,56 Gg. Desde 1998, las emisiones anuales de SO<sub>2</sub> en el Líbano han disminuido en su mayor parte, hasta llegar a 0,97 Gg en 2015, aproximadamente los mismos niveles anteriores al aumento registrado en la década de 1990. Mientras que las emisiones de SO<sub>2</sub> procedentes del transporte han disminuido, las emisiones no procedentes del transporte han aumentado en el Líbano desde 1975 (Figura 8.3-27).

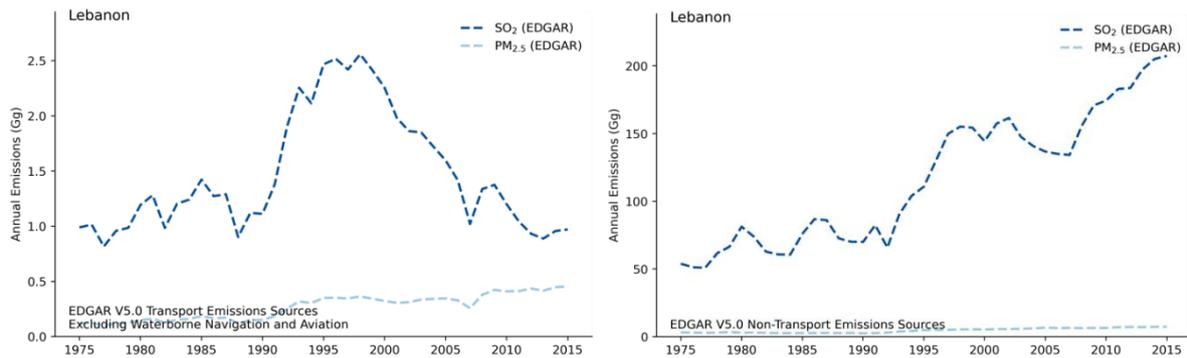


Figura 8.3-27: Emisiones de  $SO_2$  y  $PM_{2,5}$  en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en el Líbano

### 8.3.13 Libia

Las emisiones de  $SO_2$  relacionadas con el transporte en Libia han experimentado un fuerte descenso desde su pico de 12,76 Gg en 1996. En 2015, las emisiones de  $SO_2$  en el transporte en Libia se redujeron a 4,03 Gg, un descenso del 68 %. Las emisiones de  $PM_{2,5}$  relacionadas con el transporte han disminuido desde 2010, y tanto el  $SO_2$  como las  $PM_{2,5}$  no relacionadas con el transporte han experimentado un descenso desde mediados de la década de 2000 en Libia (**Figura 8.3-28**).

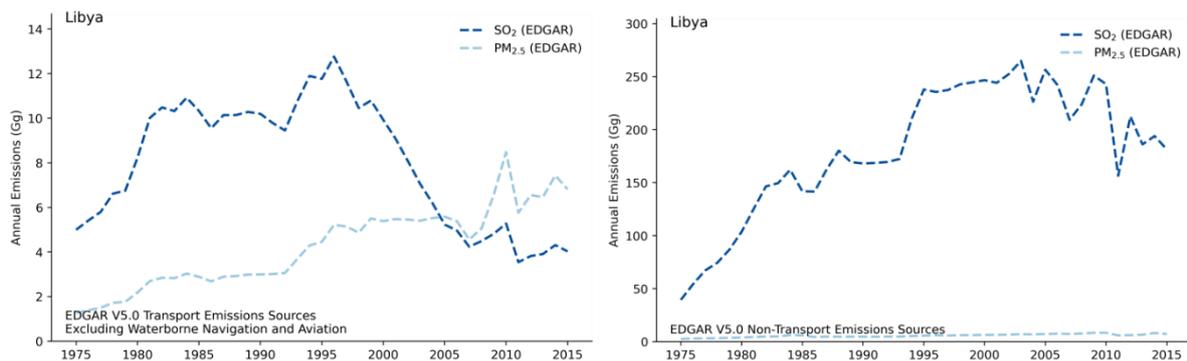


Figura 8.3-28: Emisiones de  $SO_2$  y  $PM_{2,5}$  en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Libia

### 8.3.14 Malta

Las emisiones de  $SO_x$  en el transporte en Malta han sido de 0,005 Gg al año desde 2005. Las emisiones de  $SO_x$  no relacionadas con el transporte han disminuido de 12,61 Gg en 2007 a 0,15 Gg en 2018 (**Figura 8.3-30**).

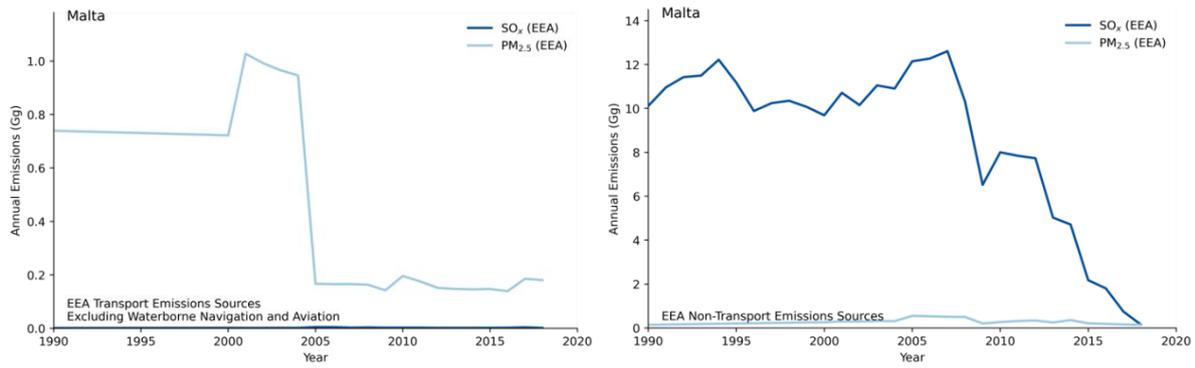


Figura 8.3-29: Emisiones de SO<sub>x</sub> y PM<sub>2.5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Malta

Como se muestra en la **Figura 8.3-30**, las concentraciones medias de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> a nivel nacional en Malta cumplen las normas de calidad del aire ambiente de la UE (EEA 2020a) pero, con la excepción de 2017, superan las directrices de la OMS. Los datos a nivel de estación (**Figura 8.3-31**) muestran que las 5 estaciones de Malta cumplieron las normas de PM<sub>2.5</sub> de la UE en 2016, pero solo 1 de las 5 estaciones cumplió las directrices de PM<sub>2.5</sub> de la OMS de 10 µg/m<sup>3</sup>.

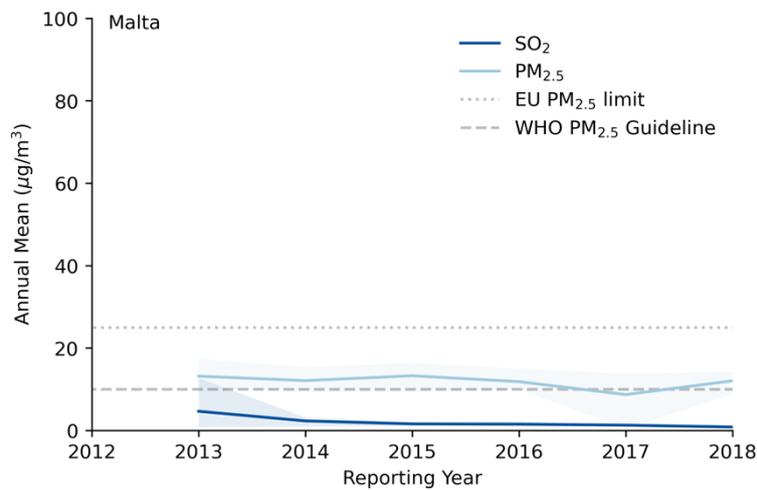


Figura 8.3-30: Concentraciones medias anuales de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> en Malta (las áreas sombreadas muestran el IC del 95 %)

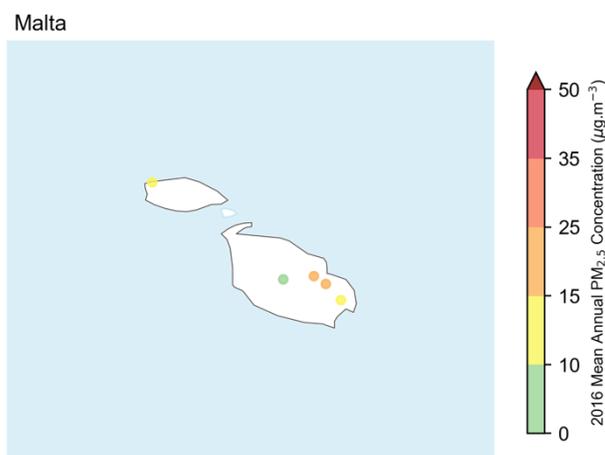


Figura 8.3-31: Observaciones de la concentración media anual de PM<sub>2.5</sub> de la OMS en Malta (2016)

### 8.3.15 Mónaco

No se dispone de datos del EDGAR ni de la AEMA sobre las estimaciones de emisiones de Mónaco. Los datos del nivel de la estación (**Figura 8.3-32**) muestran que la única estación de control notificada por la OMS en Mónaco cumple las normas de la UE, pero no cumple la directriz de la OMS de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para las concentraciones medias anuales de  $\text{PM}_{2.5}$ .

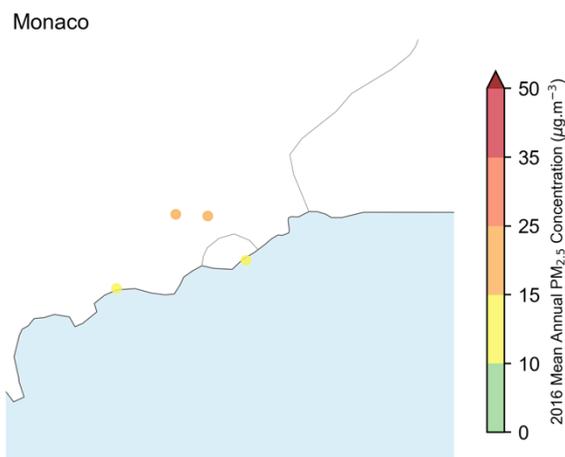


Figura 8.3-32: Observaciones de la concentración media anual de  $\text{PM}_{2.5}$  de la OMS en Mónaco (2016)

### 8.3.16 Montenegro

Las emisiones de  $\text{SO}_2$  relacionadas con el transporte en Montenegro alcanzaron un máximo en 1979 con 3,77 Gg y posteriormente han disminuido a niveles muy bajos (0,039 Gg en 2015). La tendencia general anual de reducción de las emisiones de  $\text{SO}_2$  en el transporte ha sido descendente desde 1978, con algunas excepciones a principios de los años 90 y en 2007. Estos resultados demuestran un alto nivel de control de las emisiones de  $\text{SO}_2$  procedentes de fuentes de transporte. En total, las emisiones de  $\text{SO}_2$  del transporte en 2015 habían disminuido un 99 % con respecto a 1979. Las emisiones de  $\text{SO}_2$  no procedentes del transporte han disminuido en Montenegro desde 1991 (**Figura 8.3-33**).

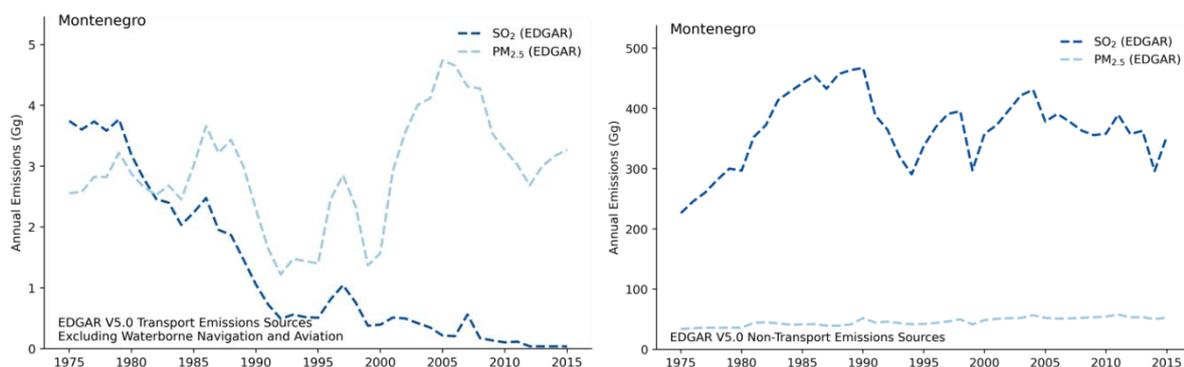


Figura 8.3-33: Emisiones de  $\text{SO}_2$  y  $\text{PM}_{2.5}$  en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Montenegro

Los datos a nivel de estación (**Figura 8.3-34**) muestran que las concentraciones medias anuales de  $\text{PM}_{2.5}$  en 1 de las 3 estaciones de notificación de Montenegro cumplieron las normas de la UE de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 2016.

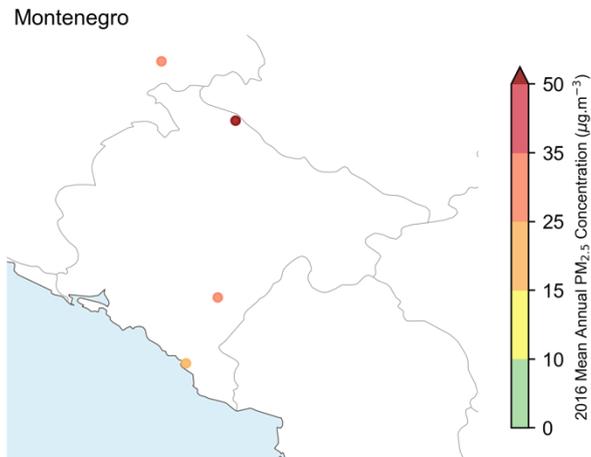


Figura 8.3-34: Observaciones de la concentración media anual de  $PM_{2.5}$  de la OMS en Montenegro (2016)

### 8.3.17 Marruecos

Antes de 1988, las emisiones de  $SO_2$  del sector del transporte en Marruecos se mantenían estables. De 1989 a 1995, las emisiones de  $SO_2$  aumentaron un 105 %, hasta 9,84 Gg. Desde 1995, Marruecos ha experimentado un fuerte descenso de las emisiones de  $SO_2$ , que se redujeron a 3,53 Gg en 2005, antes de aumentar a 4,9 Gg en 2015. Las  $PM_{2.5}$  no procedentes del transporte han disminuido en Marruecos desde 2004, aunque las emisiones de  $SO_2$  no procedentes del transporte han aumentado de manera constante en Marruecos desde 1975 (Figura 8.3-35).

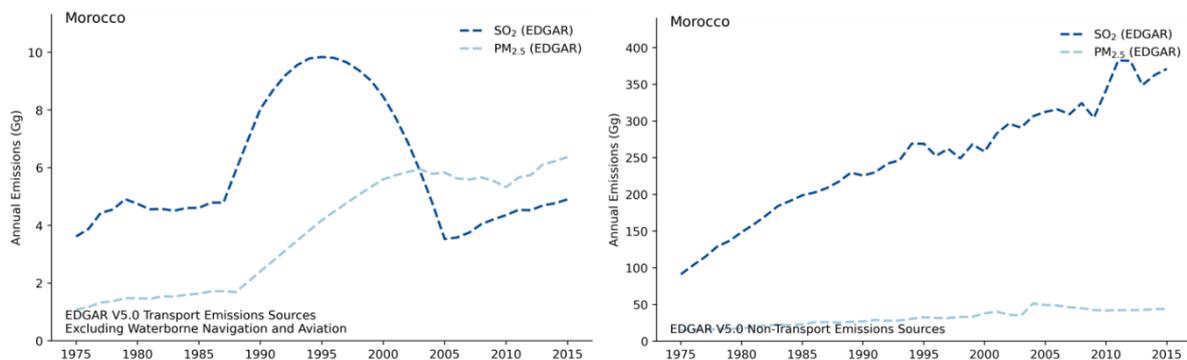


Figura 8.3-35: Emisiones de  $SO_2$  y  $PM_{2.5}$  en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Marruecos

Los datos a nivel de estación (Figura 8.3-36) muestran que ninguna estación de Marruecos cumplía las directrices de la OMS sobre las  $PM_{2.5}$  en 2016, y que 3 de 6 estaciones cumplían la norma de  $25 \mu g/m^3$ .

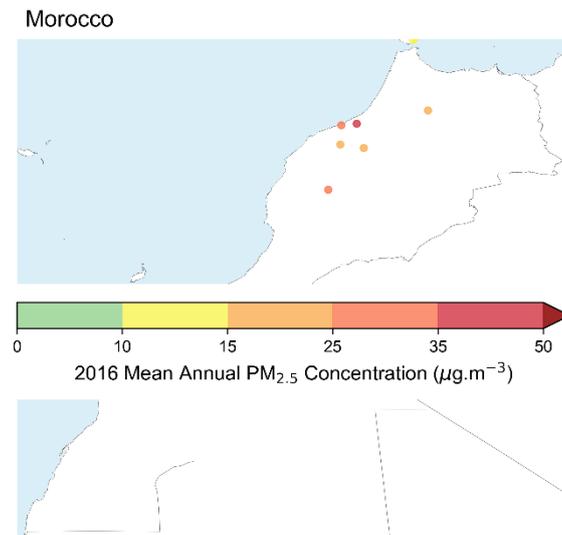


Figura 8.3-36: Observaciones de la concentración media anual de  $PM_{2.5}$  de la OMS en Marruecos (2016)

### 8.3.18 Eslovenia

Las emisiones de  $SO_x$  en el sector del transporte han disminuido de 7,29 Gg en 1994 a 0,04 Gg en 2018. Tanto las  $PM_{2.5}$  procedentes del transporte como las no procedentes del transporte han disminuido en Eslovenia desde 2009, junto con grandes reducciones globales de  $SO_x$ . El  $SO_x$  no relacionado con el transporte se redujo de 194,04 Gg en 1990 a 4,74 Gg en 2018 (**Figura 8.3-37**).

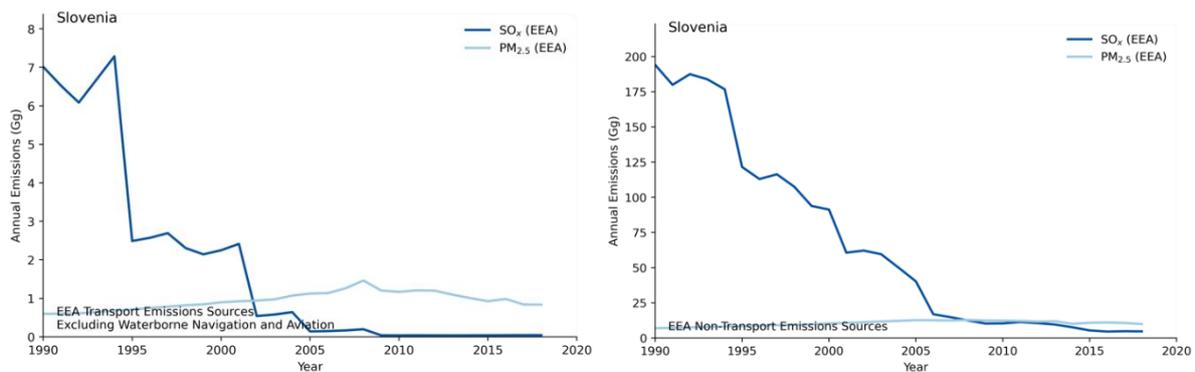


Figura 8.3-37: Emisiones de  $SO_x$  y  $PM_{2.5}$  en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Eslovenia

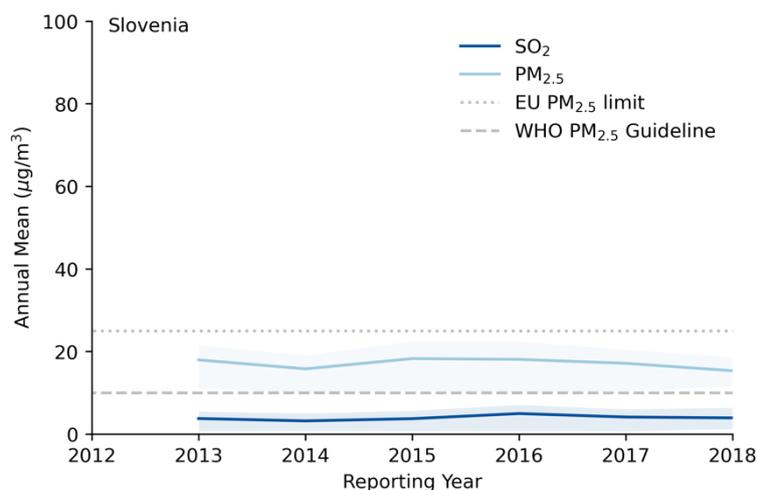


Figura 8.3-38: Concentraciones medias anuales de  $\text{SO}_2$  y  $\text{PM}_{2.5}$  en Eslovenia (las áreas sombreadas muestran el IC del 95 %)

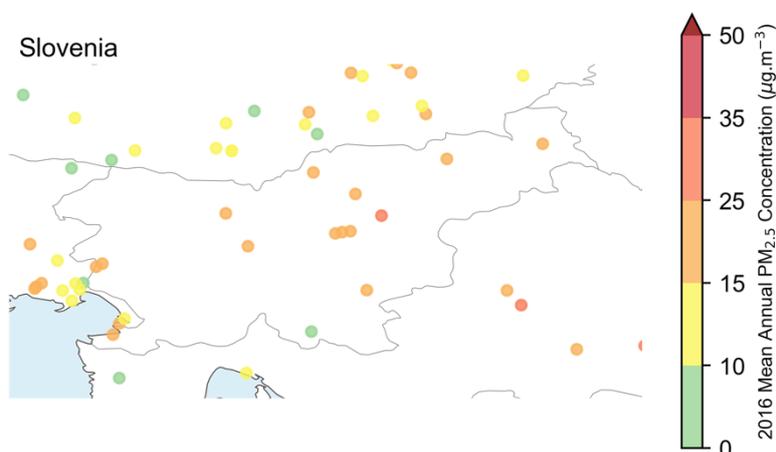


Figura 8.3-39: Observaciones de la concentración media anual de  $\text{PM}_{2.5}$  de la OMS en Eslovenia (2016)

Como se muestra en la **Figura 8.3-38**, las concentraciones medias de  $\text{SO}_2$  y  $\text{PM}_{2.5}$  en Eslovenia cumplen las normas de calidad del aire ambiente de la UE (EEA 2020a), pero superan las directrices de la OMS para las  $\text{PM}_{2.5}$  ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Los datos a nivel de estación (**Figura 8.3-39**) muestran que 1 de las 14 estaciones de Eslovenia cumplió las directrices de la OMS sobre las  $\text{PM}_{2.5}$  en 2016, mientras que 13 de las 14 estaciones cumplieron las normas de la UE ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

### 8.3.19 España

Las emisiones de  $\text{SO}_x$  en el sector del transporte han disminuido en España desde su pico en 63,36 Gg en 1994 hasta 0,43 Gg en 2018. Las emisiones de  $\text{SO}_x$  no relacionadas con el transporte han disminuido considerablemente desde principios de la década de 1990 (**Figura 8.3-40**).

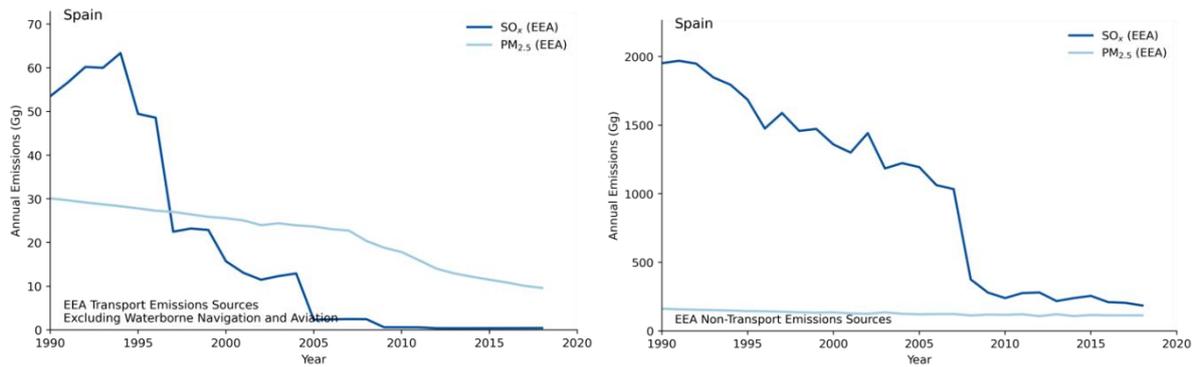


Figura 8.3-40: Emisiones de SO<sub>x</sub> y PM<sub>2.5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en España

Como se muestra en la **Figura 8.3-41**, las concentraciones medias a nivel nacional de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> en España cumplen las normas de calidad del aire ambiente de la UE (EEA 2020a) y están ligeramente por encima de las directrices de la OMS (10 µg/m<sup>3</sup>), con una concentración media anual de 10,3 µg/m<sup>3</sup> en 2018. Los datos a nivel de estación (**Figura 8.3-42**) muestran que 163 de 252 (64,7 %) estaciones en España cumplieron las directrices de la OMS en 2016, y todas las estaciones cumplieron las normas de la UE sobre PM<sub>2.5</sub>.

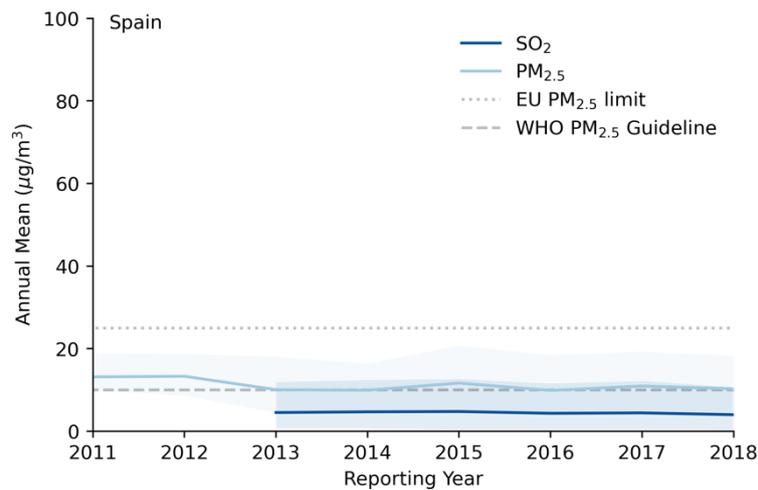


Figura 8.3-41: Concentraciones medias anuales de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> en España (las áreas sombreadas muestran el IC del 95 %)

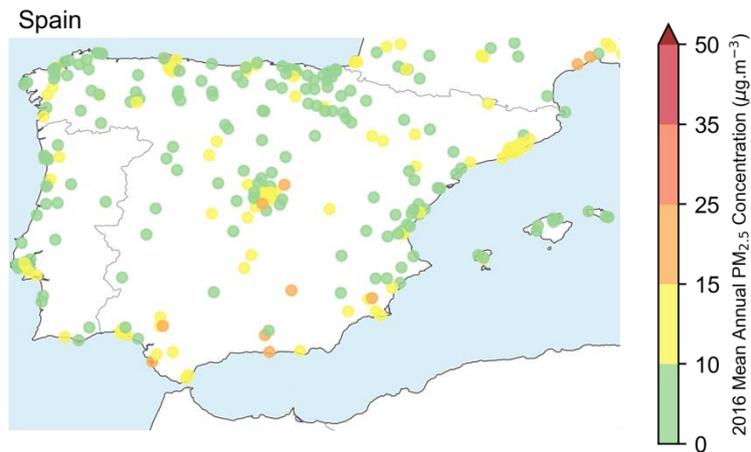


Figura 8.3-42: Observaciones de la concentración media anual de  $PM_{2.5}$  de la OMS en España (2016)

### 8.3.20 República Árabe Siria

Las emisiones de  $SO_2$  en el sector del transporte han disminuido un 84 % en la República Árabe Siria desde su máximo en 1991 (10,12 Gg). Las emisiones de  $SO_2$  del sector del transporte fueron de 1,61 Gg en 2015. Las emisiones de  $SO_2$  y  $PM_{2.5}$ , tanto las relacionadas con el transporte como las que no lo están, han disminuido considerablemente en la República Árabe Siria desde aproximadamente 2008 (**Figura 8.3-43**).

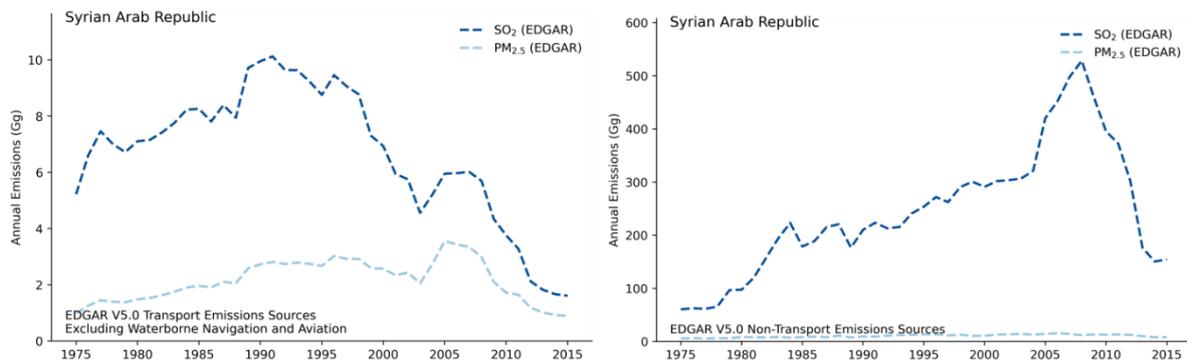


Figura 8.3-43: Emisiones de  $SO_2$  y  $PM_{2.5}$  en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en la República Árabe Siria

### 8.3.21 Túnez

Las emisiones de  $SO_2$  en el sector del transporte alcanzaron un máximo de 5,47 Gg en 1995 en Túnez y, desde entonces, se han reducido en un 65,6 % hasta 1,88 Gg en 2015. Las emisiones de  $SO_2$  en los sectores del transporte y distintos del transporte han disminuido significativamente en Túnez desde sus respectivos picos, aunque las emisiones de  $PM_{2.5}$  en han seguido aumentando en ambos ámbitos (**Figura 8.3-44**).

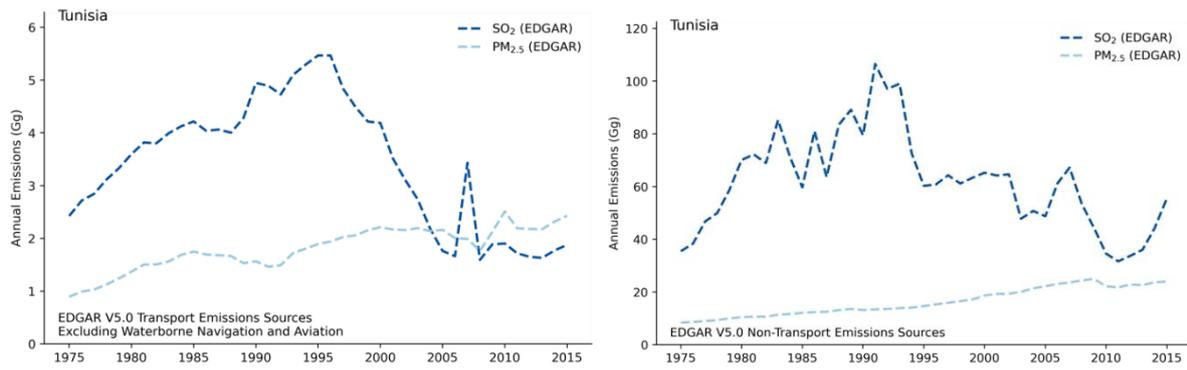


Figura 8.3-44: Emisiones de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Túnez

### 8.3.22 Turquía

Las emisiones de SO<sub>2</sub> han disminuido en general en Turquía desde 1986, aunque aumentaron ligeramente de 2011 a 2015. Las emisiones de SO<sub>2</sub> de los sectores no relacionados con el transporte se han mantenido estables o han disminuido ligeramente desde finales de la década de 2000. Del mismo modo, las emisiones de PM<sub>2.5</sub> tanto en el sector del transporte como en el de otros sectores se han mantenido estables desde finales de la década de 1990 (**Figura 8.3-45**).

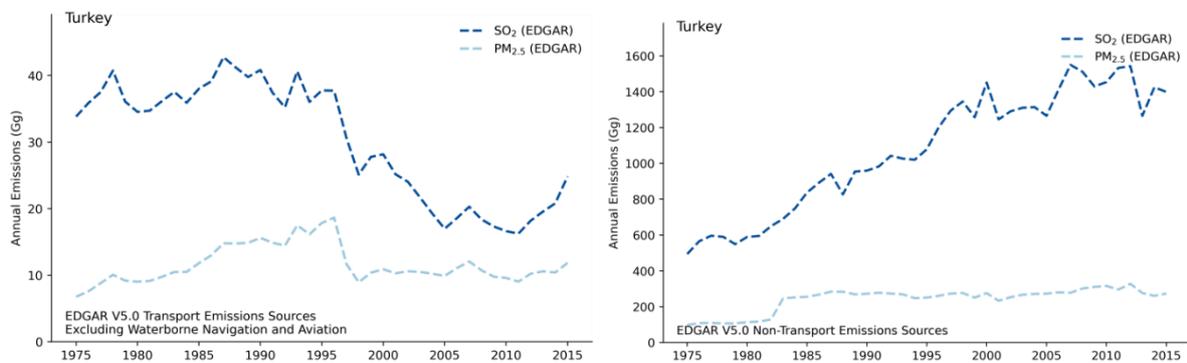


Figura 8.3-45: Emisiones de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> en el transporte (izquierda) y en otros sectores (derecha) en Turquía

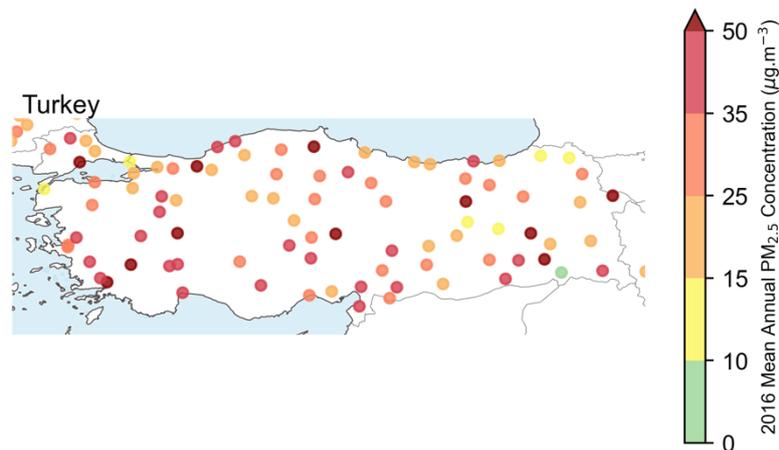


Figura 8.3-46: Observaciones de la concentración media anual de  $\text{PM}_{2.5}$  de la OMS en Turquía (2016)

Los datos a nivel de estación (**Figura 8.3-46**) muestran que solo 1 de las 87 estaciones notificadas por la OMS en Turquía cumple las directrices de la OMS sobre las  $\text{PM}_{2.5}$ , y 29 de las 87 (33 %) cumplen las normas de la UE sobre las  $\text{PM}_{2.5}$  medias anuales ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

#### 8.4 Resumen del control de las fuentes terrestres

Todos los Estados costeros mediterráneos han adoptado medidas de algún tipo para el control de las emisiones procedentes de fuentes terrestres. El alcance y la aplicación de estas medidas varían en la región, siendo las normas de la Unión Europea las más estrictas en cuanto a calidad del aire ambiente y reducción de emisiones. En total, las emisiones procedentes y no procedentes de fuentes de transporte en los Estados costeros del Mediterráneo se han reducido casi a la mitad (descenso  $> 46 \%$ ) desde 1975.

Las políticas de calidad del aire promulgadas por las Partes Contratantes del Convenio de Barcelona han permitido reducir las emisiones y mejorar la calidad del aire en muchos lugares de la región del Mar Mediterráneo. Sin embargo, las estaciones de control de la costa cercanas a los principales puertos y rutas con gran tráfico marítimo siguen superando las normas de la OMS, y el 80 % de las estaciones de control de la calidad del aire de la región situadas a menos de 100 km de la costa no cumplen las directrices de la OMS de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para las  $\text{PM}_{2.5}$ .

## 9 Costos de la reducción de las emisiones de los buques

En esta sección se presenta información que responde al criterio 3.1.8 del Apéndice III del Anexo VI de MARPOL, tal como se cita:

Criterio 3.1.8	los costos relativos de la reducción de las emisiones de los buques en comparación con los controles en tierra, y las repercusiones económicas en el transporte marítimo dedicado al comercio internacional.
----------------	--

### 9.1 Resumen de los costos estimados en 2020

En este documento se han estimado los costos de cumplimiento para el supuesto de la política Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta utilizando los mejores datos disponibles junto con hipótesis conservadoras sobre los precios de los combustibles y los costos de la SLGE, como se describe en secciones posteriores. Los resultados del análisis de costos llevado a cabo para esta propuesta demuestran que el paso a la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta utilizando el cambio de combustible añadiría 1.761 millones de dólares/año en 2020 (2016 dólares) en comparación con el simple cumplimiento de la norma MARPOL. El uso de SLGE añadiría 1.157 millones de dólares al año. Estos valores dependen en gran medida del diferencial de precios asumido entre los combustibles 0,50 % S m/m y 0,10 % S m/m. Las diferencias de precios se describen en la **sección 9.2**.

### 9.2 Costos de combustible

Esta sección analiza el historial disponible de precios de los combustibles en la zona del Mar Mediterráneo y también en un contexto global. Esta sección se centra en los precios del HFO con un contenido de azufre de hasta el 3,50 % m/m, el LSFO con un contenido de azufre del 0,50 % m/m que cumple con la normativa MARPOL VI de la OMI 2020, y los combustibles con un contenido de azufre del 0,10 % m/m, que cumple con la normativa MARPOL VI ECA, denominados VLSFO o MGO. Los costos de producción y transporte están incluidos en los precios de venta que se utilizan en estos análisis. Los precios de los combustibles reflejan aquí los precios MGO comunicados, por lo que utilizamos el término MGO para describir los precios de los combustibles que cumplen con la Med SO<sub>x</sub> ECA, aunque los precios de MGO y VLSFO están estrechamente alineados. También incluimos datos sobre las diferencias de precios y la comparación con los precios mundiales del barril de petróleo.

Este informe utiliza la terminología de las estadísticas de la Agencia Internacional de la Energía (AIE), que incluye las etiquetas de los combustibles de las refinerías, por ejemplo, gas/diésel. El término gas/diésel se utiliza en este informe principalmente porque el ámbito de la disponibilidad de combustible se ocupa necesariamente, si no de forma central, de la oferta y la demanda de refinado, incluida la demanda no marítima de gas/diésel. El gas/diésel incluye todos los combustibles destilados para usos marinos (DM) y los combustibles no destilados en la **Tabla 1.3-1**. En aras de la claridad, las estadísticas de la AIE sobre el gas/diésel no incluyen el gas natural o los productos del gas natural, que se presentan en series de datos separadas.

#### 9.2.1 Fueloil con bajo contenido de azufre (0,50 % S m/m)

Los historiales de precios que se describen a continuación corresponden tanto a la media de Europa, Oriente Medio y África (EMEA) como a la media mundial. Los precios se basan en los índices proporcionados por Bunker Index<sup>36</sup>.

<sup>36</sup> <https://bunkerindex.com>.

La **Figura 9.2-1** muestra la serie temporal de los precios del LSFO para la media de la región EMEA y la media mundial. Las dos series de datos se corresponden estrechamente, ya que los precios mundiales del LSFO son, por término medio, 46 \$/t superiores a los de la región EMEA. Aunque las series temporales son abreviadas, debido a la disponibilidad relativamente reciente del LSFO en los mercados mundiales, los precios del combustible LSFO en la región EMEA variaron mucho, oscilando entre un mínimo de 197 \$/t y un máximo de 666 \$/t. El precio medio del LSFO en la región EMEA desde noviembre de 2011 es de 344 \$/t.

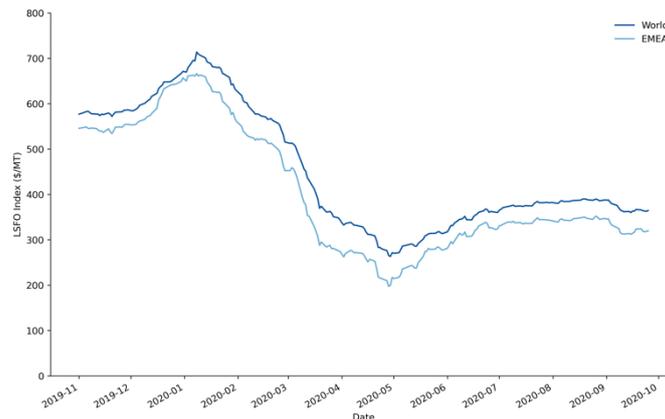


Figura 9.2-1: Índices de precios del LSFO en el mundo y en la región EMEA

### 9.2.2 Gasóleo para usos marinos (0,10 % S m/m)

La **Figura 9.2-2** muestra la serie temporal de los precios del MGO para la media de la región EMEA y la media mundial. Al igual que los precios del LSFO, los precios medios mundiales del MGO suelen ser mayores que los de la región EMEA. El diferencial de precio medio entre los precios del MGO en el mundo y en la región EMEA es de 50 \$/t, lo que coincide con el diferencial de precios del LSFO en el mundo y en la región EMEA. Los precios del combustible MGO han sido volátiles desde 2016, oscilando entre 297 \$/t y 777 \$/t, con un precio medio de 443 \$/t, y un rango de 2,6 veces desde los valores más bajos a los más altos.

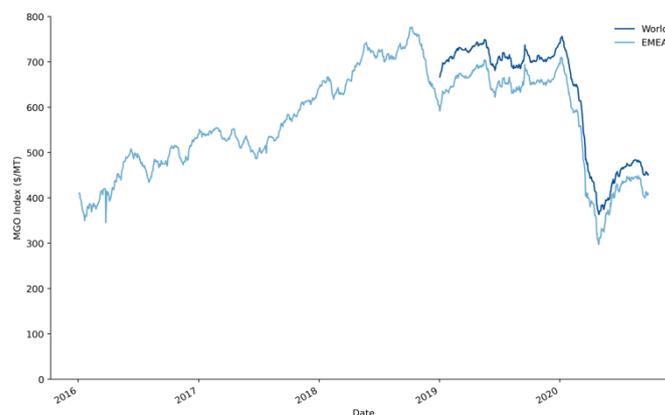


Figura 9.2-2: Índices de precios del MGO en el mundo y en la región EMEA

Antes de la entrada en vigor de las normas de combustible OMI 2020 del 0,50 % de S m/m, los precios del combustible HFO eran igualmente volátiles. Desde 2008 hasta diciembre de 2019, los precios del HFO oscilaron entre 152 \$/t y 742 \$/t, un rango de 4,9 veces más desde el precio más bajo hasta el más alto.

### 9.2.3 Diferencias de precios

Mientras que los costos totales son útiles para comprender el impacto total de los precios, los diferenciales de los precios de los combustibles son importantes para evaluar los costos adicionales del Med SO<sub>x</sub> ECA en comparación con los combustibles al 0,50 % de S m/m, es decir, el delta del precio entre los combustibles al 0,50 % de S m/m y al 0,10 % de S m/m. Como se muestra en la **Figura 9.2-3**, los datos de los precios del LSFO están disponibles a partir de noviembre de 2019. Los diferenciales de precios de la región EMEA y del mundo se han alineado estrechamente desde enero de 2020.

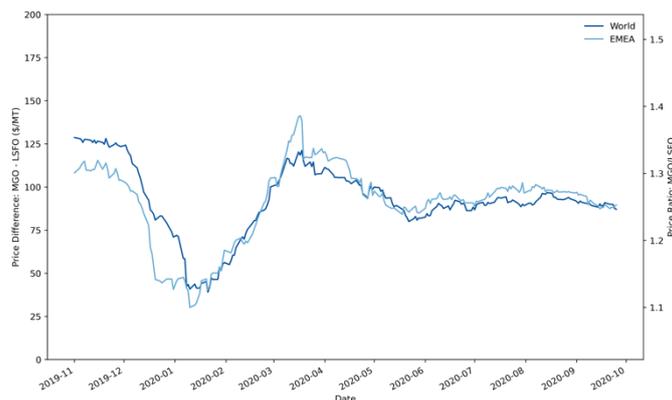


Figura 9.2-3: Diferencia de precios entre el MGO y el LSFO para la región EMEA y el mundo

El diferencial de precios entre el MGO y el LSFO se ha estabilizado desde junio de 2020 en torno a los 95 \$/t en la región EMEA. Durante el período de datos disponibles (noviembre de 2019 a octubre de 2020), la diferencia mediana es también de 95 \$/t, lo que se corresponde con el período de estabilización de precios posterior a junio de 2020.

La relación entre el precio del MGO y el del LSFO en la región EMEA ha oscilado entre 1,05 y 1,51, con un valor de la mediana de 1,29, es decir, el aumento de precio del LSFO al MGO se sitúa entre el 5 % y el 51 %, con un valor central del 29 %.

Es especialmente importante tener en cuenta la relación de precios a la hora de evaluar los costos de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta. Mientras que los precios de los combustibles están en constante cambio, siguiendo las fluctuaciones de los precios del crudo, el diferencial de precios entre el MGO y el LSFO es comparativamente estable, después del período de ajuste a principios de 2020. Por lo tanto, el diferencial de precios entre los dos combustibles permite un análisis sólido de los costos marginales de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta, es decir, los costos adicionales de la normativa propuesta.

### 9.2.4 Precios del crudo

También se analizaron los precios del barril de crudo, materia prima de los combustibles para usos marinos, a partir de los datos de series temporales disponibles en la EIA<sup>37</sup>. Los resultados de dos áreas de productos, el West Texas Intermediate (WTI) y el Brent, describen conjuntamente la gama de precios mundiales del crudo. Estos se muestran en la **Figura 9.2-4**, con los precios del barril de petróleo WTI y Brent en el eje de la derecha. Obsérvese que los ejes están escalados<sup>38</sup> de manera que se puede utilizar uno u otro eje para todas las series de datos, dependiendo de si el lector está interesado en los precios del combustible en \$/t o en \$/bbl.

<sup>37</sup> [https://www.eia.gov/dnav/pet/pet\\_pri\\_spt\\_s1\\_d.htm](https://www.eia.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_d.htm).

<sup>38</sup> Suponiendo que 1 bbl = 0,1364 t.

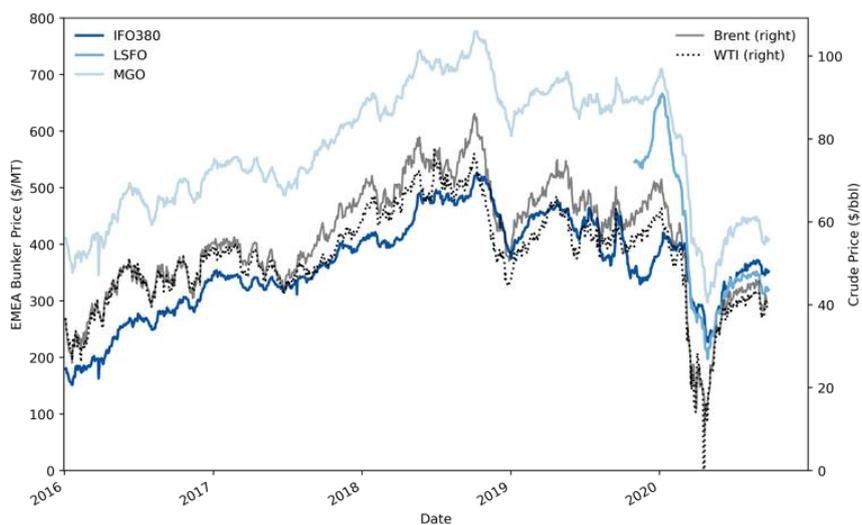


Figura 9.2-4: Precios mundiales del petróleo (Brent, WTI) y de los combustibles para usos marinos (IFO 380, LSFO, MGO) en \$/t (eje izquierdo) y \$/bbl (eje derecho)

Los datos de la **Figura 9.2-4** demuestran claramente la relación de los precios mundiales del petróleo con los combustibles del transporte marítimo internacional. Los coeficientes de correlación de Pearson para los precios del combustible marino internacional y del petróleo crudo se muestran en la **Tabla 9.2-1**. Los coeficientes de correlación muestran un alto grado de correlación entre todas las especies de la tabla y una fuerte correlación entre los precios del combustible Brent y WTI y los precios del combustible marino internacional.

Tabla 9.2-1. Coeficientes de correlación de Pearson entre los precios del combustible marino internacional y los del petróleo crudo

	<b>IFO380</b>	<b>LSFO (0,50 % S m/m)</b>	<b>MGO (0,10 % S m/m)</b>	<b>Brent</b>	<b>WTI</b>
<b>IFO380</b>	1.000	0.752	0.895	0.866	0.801
<b>LSFO (0,50 % S m/m)</b>	0.752	1.000	0.990	0.932	0.875
<b>MGO (0,10 % S m/m)</b>	0.895	0.990	1.000	0.961	0.913
<b>Brent</b>	0.866	0.932	0.961	1.000	0.972
<b>WTI</b>	0.801	0.875	0.913	0.972	1.000

Si bien el diferencial de precios asociado a la transición del combustible de 0,50 % S m/m al combustible de 0,10 % S m/m equivale a unos 95 \$/t de combustible, el sector del transporte marítimo ha observado regularmente una volatilidad de los precios del combustible superior a ese diferencial de precios, ajustando regularmente los fletes para adaptarse a la volatilidad de los precios del combustible.

### 9.2.5 Resumen estadístico de los precios del combustible

Los precios centrales de los combustibles de 0,50 % de S m/m y de 0,10 % de S m/m utilizados en este análisis son de 344 \$/t y 443 \$/t, que corresponden a los valores medios de las series de datos comunes disponibles para las dos especies de combustibles (**Tabla 9.2-2**). Estos precios se utilizarán como estimaciones centrales para la modelización del costo del viaje, la fijación de precios de los fletes y los efectos de los precios de las materias primas.

Tabla 9.2-2. Resumen estadístico de los precios de los combustibles para usos marinos evaluados (fechas incluidas)

EMEA USD por tonelada	> 0,50 % S m/m		0,50 % S m/m	0,10 % S m/m	
	IFO 380		LSFO	MGO/ULSFO	
Período	04-2008 a 09-2020	11-2019 a 09-2020	11-2019 a 09-2020	01-2016 a 09-2020	11-2019 a 09-2020
Mínimo	\$ 152	\$ 227	\$ 197	\$ 297	\$ 297
Percentil 10	\$ 269	\$ 277	\$ 263	\$ 409	\$ 363
Percentil 25	\$ 342	\$ 317	\$ 308	\$ 482	\$ 403
Mediana	\$ 450	\$ 349	\$ 344	\$ 579	\$ 443
Percentil 75	\$ 594	\$ 370	\$ 541	\$ 660	\$ 642
Percentil 90	\$ 645	\$ 398	\$ 608	\$ 709	\$ 666
Máximo	\$ 743	\$ 421	\$ 666	\$ 777	\$ 710

### 9.2.6 Disponibilidad de combustible

Existe suficiente capacidad y producción de las refinerías para satisfacer la demanda de la flota de combustible con un 0,10 % de S m/m en el marco Med SO<sub>x</sub> ECA. La oferta disponible es suficiente para satisfacer la demanda, incluso teniendo en cuenta una serie de estimaciones y tasas de crecimiento para el uso de combustible de la flota. Esta conclusión es previa a la consideración de la vía de cumplimiento adicional que utiliza el SLGE, que puede reducir aún más la demanda de combustibles de 0,10 % de S m/m. Por lo tanto, la adopción de tecnologías SLGE o de combustibles alternativos en los buques en los que esto es económicamente viable refuerza la solidez de la conclusión principal al diversificar la demanda para incluir los combustibles de petróleo no conformes y otros combustibles con un contenido de azufre intrínsecamente más bajo. Las proyecciones de exceso de capacidad (o excedente) indican además que la oferta seguirá estando disponible, quizás con una mayor capacidad de producción excedente que la evaluada en estudios anteriores.

Este análisis enmarca la cuestión de la disponibilidad de combustible a escala regional, luego considera los principales países de abastecimiento de combustible con puertos adyacentes a la zona del Mar Mediterráneo, después considera todos los principales países de abastecimiento de combustible, a continuación, todos los países que son importantes productores de producto relevante para el suministro, y, después, la producción mundial y la capacidad de producción. Evaluamos la disponibilidad potencial de combustible en cada escala, reconociendo que el transporte marítimo internacional depende de los mercados mundiales para la disponibilidad de combustible en la zona del Mar Mediterráneo.

**Figura 9.2-5** muestra que la capacidad de las refinerías para producir gas/diésel<sup>39</sup> es superior a la demanda de consumo (incluido el combustible marino internacional) en todas las escalas, incluso entre los Estados costeros del Mediterráneo. Como se muestra, a escala regional de los Estados costeros del Mediterráneo e incluyendo los países vecinos adyacentes, la **Figura 9.2-5** indica que la producción actual de gas/diésel no es suficiente para satisfacer la demanda actual de consumo; los Estados costeros mediterráneos que son Partes Contratantes del Convenio de Barcelona, de hecho, importan gas/diésel de otros países para satisfacer la demanda del mercado de gas/diésel. En otras palabras, aunque las refinerías de estos países tienen capacidad para producir más destilados medios, la configuración económicamente óptima produce más de otros productos de refinado para la exportación, lo que permite comprar gas/diésel en el mercado mundial. Se trata de un comportamiento típico de las refinerías para

<sup>39</sup> Este informe utiliza la terminología de las estadísticas de la AIE que incluyen las etiquetas de los combustibles de las refinerías, por ejemplo, gas/diésel. El gas/diésel incluye todos los combustibles destilados para usos marinos (DM) y los combustibles destilados para usos no marinos. En aras de la claridad, las estadísticas de la AIE sobre el gas/diésel no incluyen el gas natural o los productos del gas natural, que se presentan en series de datos separadas.

maximizar los beneficios en un mercado mundial del petróleo. La **Figura 9.2-6** muestra que la capacidad de las refinerías para producir fueloil y la producción de fueloil superan la demanda, en consonancia con la condición de subproducto de los aceites residuales. La producción de fueloil de las refinerías no satisface el consumo solo en las condiciones en que se maximizan las estimaciones de para el combustible marino internacional. Combinando el fueloil y el gas/diésel, tanto las estimaciones de capacidad de las refinerías como las estadísticas de producción demuestran que la oferta supera a la demanda de consumo en todas las escalas, salvo en el caso de los Estados costeros del Mediterráneo que son Partes Contratantes del Convenio de Barcelona, que deben comerciar con los productos, como se muestra en la **Figura 9.2-7**. Por lo tanto, hay suficiente disponibilidad de combustible, tanto de gas/diésel como de fueloil, para el suministro de combustibles con 0,10 % de S m/m para la Med SO<sub>x</sub> ECA mediante la combinación de combustibles destilados y productos mezclados para producir combustibles residuales con bajo contenido de azufre.

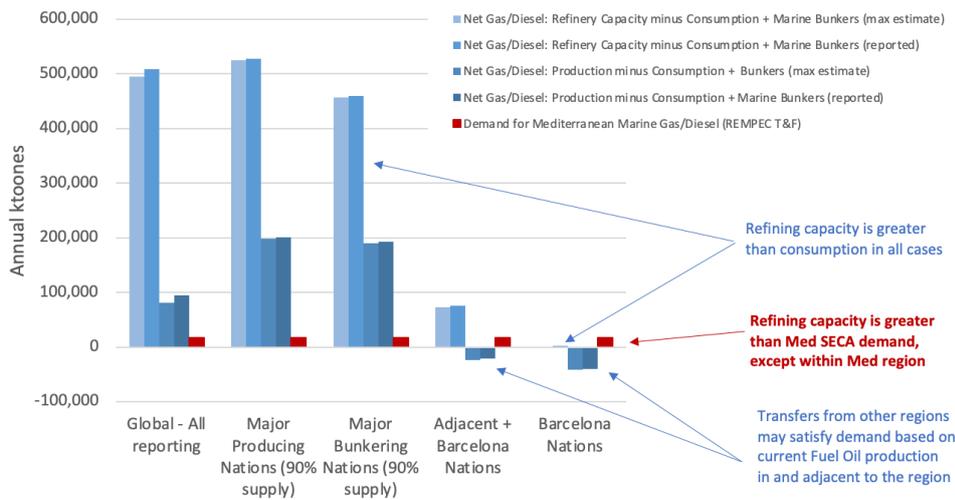


Figura 9.2-5: La capacidad neta de refinado para producir gas/diésel es mayor que la demanda de consumo, suficiente para el suministro de Med SO<sub>x</sub> ECA

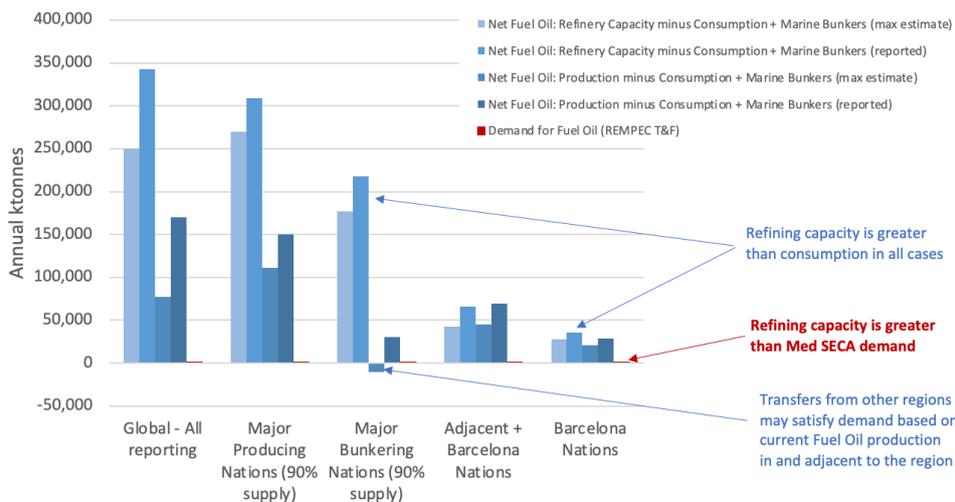


Figura 9.2-6: La capacidad neta de refinado y la producción de fueloil superan la demanda de consumo, incluido el combustible marino internacional

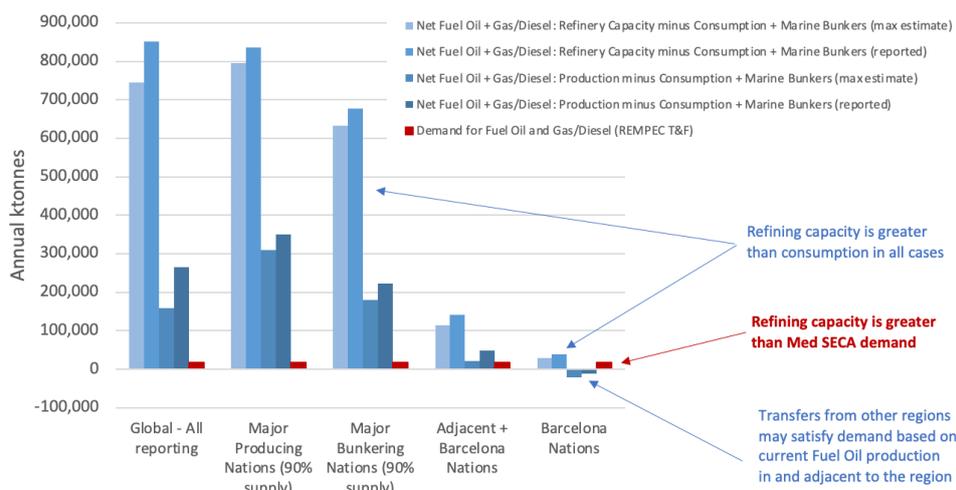


Figura 9.2-7: La capacidad neta de refinado y la producción de fueloil y gas/diésel superan la demanda de consumo

### 9.3 Costos de los buques

#### 9.3.1 Análisis de la adopción de la limpieza de los gases de escape

Las tecnologías SLGE representan una posible opción de cumplimiento para la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta. La **Tabla 9.3-1** indica que unos 5.900 buques, alrededor del 18 % de la flota que opera en la zona del Mar Mediterráneo, podrían adoptar estas tecnologías, con un horizonte de inversión conservador de 100 años y una tasa de inversión del 15 %. Se puede considerar que este horizonte de inversión conservador describe la opción de inversión menos costosa y, por tanto, define las condiciones más favorables para la inversión en tecnología de limpieza de gases de escape. Esta conclusión es coherente con algunas estimaciones, aunque no todas, publicadas en los medios especializados del sector o en otros estudios, fundamentalmente relacionadas con las condiciones de horizonte de inversión asumidas. Por lo tanto, se realizan algunos análisis de sensibilidad para seguir explorando las condiciones económicamente viables.

Tabla 9.3-1. El recuento de la flota se tiene en cuenta para la tecnología de limpieza de los gases de escape

	Recuento de la flota	Porcentaje de la flota total
SLGE	5,915	18%
Sin SLGE	27,248	82%

La **Tabla 9.3-2** muestra las tasas de inversión previstas de la SLGE en una serie de horizontes de inversión. Las decisiones de inversión suelen ser información comercial confidencial, por lo que la decisión se parametriza sobre una serie de vidas de inversión. Se han identificado 39 buques que operan actualmente con SLGE en la zona del Mar Mediterráneo, y no se espera que este número cambie en un horizonte de inversión de 1 año. Si los costos de las SLGE se amortizan en 10 años, los resultados muestran que las instalaciones de SLGE se multiplicarían por diez, pasando de 39 a 464. Suponiendo un horizonte de inversión de 15 años, los resultados indican que el 3,7 % de la flota podría invertir en una SLGE y ahorrar a la flota más de 260 millones de dólares.

Tabla 9.3-2. Análisis de costos que relaciona los costos de capital y los años de inversión de las SLGE con el porcentaje de la flota que las utiliza

Uso factible de la SLGE, incluido el capital			
Años de inversión	Ahorros con el cumplimiento de la Med SO <sub>x</sub> ECA propuesta (miles de millones de dólares)	Número de SLGE	Porcentaje de la flota que utiliza SLGE
Ninguno	\$0.61	39 en 2020	0.0%
1	\$0.00	0	0.0%
5	\$0.02	53	0.2%
10	\$0.10	464	1.4%
11	\$0.13	632	1.9%
12	\$0.15	767	2.3%
14	\$0.19	1,010	3.0%
15	\$0.26	1,226	3.7%
20	\$0.37	1,888	5.7%
25	\$0.47	2,702	8.1%
30	\$0.53	4,155	12.5%
50	\$0.60	5,726	17.3%
100	\$0.61	5,915	17.8%

La **Tabla 9.3-3** muestra que el SLGE puede ser viable para los buques que pasan una mayor cantidad de tiempo dentro de la zona del Mar Mediterráneo (y/u otra región SECA). Las SLGE requieren una mayor inversión de capital pero utilizan combustibles de menor costo, y la viabilidad económica aumenta con un funcionamiento menos costoso por el uso de unos combustibles más baratos. Estos resultados coinciden con los trabajos publicados anteriormente (23). Estos resultados indican que, en un supuesto de inversión ilimitada (100 años) en SLGE, cabría esperar que 5.900 buques (~18 % de la flota mediterránea) invirtieran en SLGE, mientras que la mayor parte de la flota (82 %) podría determinar que el cambio de combustible sigue siendo la opción menos costosa.

Tabla 9.3-3. Uso de SLGE por tipo de buque en el supuesto de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta

Tipo de buque	Sin SLGE		Adopción de la SLGE	
	Horas medias de funcionamiento [h] en el Mediterráneo	Recuento de buques	Horas medias de funcionamiento [h] en el Mediterráneo	Recuento de buques
Buques de carga	1,356	6,875	5,172	458
Buques portacontenedores	756	1,146	3,464	915
Cruceros	879	62	4,400	118
Barcos de pesca	1,472	1,000	3,683	268
Otros	1,202	6,749	4,148	1,183
Barcos de pasajeros	1,513	649	3,457	294
Buques RoPax	2,213	177	6,404	361
Barcos de servicio	1,265	652	3,910	207
Cisternas	1,049	3,586	5,096	723
Desconocido	370	5,875	2,469	1,190
Portadores de vehículos	749	477	5,597	198
<b>Total general</b>	<b>1,039</b>	<b>27,248</b>	<b>4,027</b>	<b>5,915</b>

Se siguen investigando los posibles efectos negativos de los vertidos de las SLGE, especialmente los efluentes no tratados, en el medio ambiente marino y la biota. Estas consecuencias negativas pueden tener efectos económicos a corto y largo plazo al modificar los equilibrios de los ecosistemas. Los estudios disponibles están proporcionando las primeras pruebas que confirman la preocupación por los efluentes no tratados de las SLGE. Los estudios indican que la SLGE puede mejorar la calidad del aire en las ciudades portuarias y en el mar, pero trasladará la contaminación atmosférica a la masa de agua marina (Schmolke et al., 2020). "Aunque un solo barco con un depurador instalado puede suponer un riesgo limitado y local para la salud del ecosistema marino, una comunidad naviera mundial que emplee depuradores para cumplir con los límites de emisiones atmosféricas es motivo de grave preocupación" (Hassellöv et al., 2020). El agua de lavado para las SLGE es ácida y presenta elevadas concentraciones de metales y otros contaminantes (Teuchies, Cox, Van Itterbeeck, Meysman, & Blust, 2020). Se reconoce el aumento de la acidificación, es decir, la disminución del pH, con mayores cambios de pH en las zonas de alta densidad de tráfico en la escala de los cambios de pH relacionados con el clima (Dulière, Baetens, & Lacroix, 2020). Desde el punto de vista de la metodología de costos, los costos no están bien diferenciados entre los sistemas SLGE de bucle cerrado y abierto. Las tasas de adopción mencionadas utilizan estimaciones de costos que pueden resultar optimistas si las futuras SLGE requieren un diseño más costoso para las operaciones cerradas o híbridas. Por lo tanto, no hay ninguna indicación de que este enfoque cuantitativo para evaluar las consecuencias socioeconómicas produzca resultados de mayores tasas de adopción.

### 9.3.2 Combustibles alternativos

Los combustibles alternativos y los sistemas energéticos avanzados pueden ofrecer alternativas económicamente viables para el cumplimiento de la SECA, sobre todo, si los costos netos de estos sistemas son menores que el cambio al combustible SECA. Por supuesto, hay otras razones más allá del ahorro de costos en una SECA que pueden respaldar la inversión en buques que utilicen combustibles avanzados, pero este documento solo evalúa los criterios de decisión para las tecnologías avanzadas de energía y combustible en el ámbito de la evaluación de los costos de cumplimiento de la SECA. Además, algunos combustibles alternativos pueden presentar otras contrapartidas medioambientales más allá del

cumplimiento de la SECA mediante un contenido muy bajo de azufre en el combustible, que merecen ser consideradas fuera del ámbito de este documento.

Se podría considerar una variedad de combustibles y configuraciones de potencia. Entre ellos se encuentran: a) el gas natural licuado (GNL); b) los combustibles para usos marinos de metanol; c) el combustible de hidrógeno; d) los sistemas de propulsión híbridos que pueden incluir la asistencia eólica, las pilas de combustible, las tecnologías de almacenamiento de energía, etc. Dado que el GNL es un combustible que se utiliza actualmente en un número significativo de buques de muchos tipos, los datos están más disponibles para llevar a cabo la evaluación de la viabilidad económica utilizando el GNL como ejemplo.

El aumento de los costos de instalación se compara con el ahorro de costos de combustible basado en la diferencia de precios entre el MGO y el GNL. Este análisis se aplica a los buques más antiguos, seleccionados para estar en la edad típica de sustitución en 2020 o más allá. Por lo tanto, este análisis se aplica a la sustitución de los buques al final de su vida útil y a los buques de nueva construcción a medida que se incorporan a la flota. Si los costos netos de un buque para cumplir con las condiciones SECA son menores utilizando GNL, entonces se considera que ese buque es económicamente viable. Se evalúa la fracción de la flota que se sustituye o que se puede sustituir en función de la edad en 2020, y la fracción de esos buques para los que el GNL sería económicamente viable.

El enfoque puede considerarse como una herramienta de selección para la viabilidad económica de la conversión a GNL, que se sabe por la experiencia de adopción de la flota que es técnicamente viable. Para la selección de combustibles alternativos por parte de los operadores de flotas o de los puertos se necesitarían más análisis de las infraestructuras, el suministro de energía y las condiciones económicas regionales.

El ahorro medio de costos de combustible para los buques podría ser superior al 30 %, dado el mayor costo del combustible MGO y el menor costo del GNL utilizado en este documento (**Tabla 9.3-4**). Cuando la prima media de instalación del GNL es inferior al valor actual de la posible ventana de inversión de capital derivada del ahorro de costos de combustible, este documento identifica aproximadamente 3.900 buques como candidatos viables para los combustibles alternativos (**Tabla 9.3-5**). Algunos de estos buques incluían buques de servicio más pequeños, buques de pesca, etc.; se reconoce que la conversión de estas operaciones de buques que operan localmente y en red puede incluir decisiones de inversión en infraestructura y en la flota compartida que no se recogen aquí. Por lo tanto, se presenta un resumen de los buques comerciales de transporte y de crucero más grandes que se consideran viables para el funcionamiento con combustibles alternativos en las condiciones e hipótesis aplicadas en este documento. Los índices de adopción de la flota que se muestran en la **Tabla 9.3-4** excluyen los buques de pesca, los transbordadores de pasajeros, los buques de servicio, los diversos y los tipos de buques desconocidos. La **Tabla 9.3-5** presenta un resumen del recuento global de la flota combinando todos los buques. En las condiciones básicas de entrada, alrededor de entre el 11 % y el 12 % de la flota que opera en la zona del Mar Mediterráneo podría considerar de forma viable los combustibles alternativos para el cumplimiento de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta con el fin de ahorrar costos.

Tabla 9.3-4. Resumen del análisis de viabilidad económica de los combustibles alternativos para los principales tipos de buques en la zona del Mar Mediterráneo

Tipo de buque	Recuento de los buques factibles	Porcentaje del tipo de buque	Edad media	Ahorro medio de combustible (porcentaje)	Prima media de instalación de GNL (millones de dólares)	Ventana de inversión de capital (millones de dólares)
Buques de carga	890	12%	33	32%	\$1.0	\$2.5
Buques portacontenedores	130	6%	28	33%	\$4.0	\$11.9
Cruceros	45	25%	37	37%	\$5.5	\$20.0
Buques RoPax	220	41%	35	40%	\$3.9	\$19.0
Cisternas	260	6%	30	36%	\$1.3	\$4.1
Portadores de vehículos	79	12%	33	39%	\$2.6	\$12.0
<b>Total<sup>1</sup></b>	<b>1,624</b>	<b>11%</b>				

Tabla 9.3-5. Recuento de la flota considerada para la sustitución del combustible alternativo, y el número que podría reducir los costos de cumplimiento de la SECA

Categoría de viabilidad	Recuento de la flota	Porcentaje de la flota total
Vida residual (> 20 años) alrededor de 2020	19,700	59.3%
Combustible alternativo-costo factible	3,900	11.8%
Otros criterios necesarios	15,800	47.5%

La viabilidad económica de los combustibles alternativos dependerá de varios factores, sobre todo del diferencial de precios entre el combustible que cumple las normas SECA y el combustible alternativo (el GNL en este análisis). La **Tabla 9.3-6** ilustra esta cuestión mediante un análisis de sensibilidad que utiliza el precio del combustible GNL desde el costo cero (0 \$) hasta un precio igual al del combustible SECA. Como se ilustra, las tasas de adopción de la flota, desde casi el 17 % hasta el 0 %, dependen del ahorro neto que supone la instalación de sistemas de alimentación y la explotación de combustibles alternativos. La fila sombreada representa los resultados de este análisis utilizando los precios de los combustibles descritos en la **sección 9.2**. El ahorro de costos de cumplimiento regional con la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta a través de la adopción de combustibles alternativos económicamente viables podría ser del orden de 1.400 millones de dólares al año, basándose en los precios de los combustibles descritos en la **sección 9.2**.

Tabla 9.3-6. Análisis de costos que relaciona el precio del GNL y el diferencial de precios GNL-MGO con el porcentaje de la flota (todos los tipos de buques) que adopta el combustible alternativo

Precio del GNL <sup>1</sup>	Precio del GNL-MGO $\Delta$	Costo de la Med SO <sub>x</sub> ECA propuesta con la alternativa del GNL (miles de millones de dólares al año)	Ahorro de la Med SO <sub>x</sub> ECA propuesta con el GNL (miles de millones de dólares al año)	Porcentaje de adopción de la flota <sup>2</sup>
\$0	\$858	\$13.4	\$2.2	16.7%
\$50	\$808	\$13.5	\$2.1	16.1%
\$100	\$758	\$13.7	\$2.0	15.5%
\$200	\$658	\$13.9	\$1.7	14.0%
\$300	\$558	\$14.2	\$1.4	12.3%
\$327	\$531	\$14.2	\$1.4	11.8%
\$350	\$508	\$14.3	\$1.3	11.3%
\$400	\$458	\$14.4	\$1.2	10.2%
\$450	\$408	\$14.6	\$1.1	9.2%
\$600	\$258	\$14.9	\$0.7	5.1%
\$700	\$158	\$15.2	\$0.4	2.5%
\$800	\$58	\$15.5	\$0.2	0.2%
\$858	\$0	\$15.6	\$0.0	0.0%

### 9.3.3 Comparación de los costos específicos de los buques

También se pueden estimar los costos de cumplimiento de los distintos tipos de buques. La **Tabla 9.3-7** proporciona los resultados de estos costos para MARPOL VI, la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta y la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta con SLGE. Los resultados muestran que los costos por buque son mayores para los buques más grandes y potentes, entre los que se encuentran los cruceros, los buques RoPax, los contenedores y los portavehículos. Las columnas representan los costos totales en cada supuesto; los incrementos de costos anuales serían la diferencia entre los precios de las columnas, por ejemplo, para los cruceros la diferencia entre el costo medio de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta y el costo medio de MARPOL VI sería de unos 550.000 dólares al año. Como se indica en la **Tabla 9.3-7**, el aumento del costo medio adicional por buque en comparación con el cumplimiento de MARPOL 2020 es modesto y probablemente no impondrá ninguna carga indebida de cumplimiento al sector.

Tabla 9.3-7. Resumen del costo medio anual de cumplimiento por buque, por tipo

Tipo de buque	Recuento de buques	Costo medio de MARPOL VI en 2020	Costo medio de la Med SO <sub>x</sub> ECA propuesta	Costo medio de la Med SO <sub>x</sub> ECA propuesta + SLGE
Buques de carga	7,333	\$290,000	\$327,000	\$325,000
Otros	7,932	\$48,400	\$54,000	\$52,200
Barcos de pasajeros	943	\$70,600	\$79,300	\$74,100
Cisternas	4,309	\$681,000	\$763,000	\$750,000
Desconocido	7,065	\$24,500	\$27,400	\$26,300
Barcos de servicio	859	\$110,000	\$123,000	\$118,000
Barcos de pesca	1,268	\$30,500	\$34,100	\$32,900
Portadores de vehículos	675	\$1,550,000	\$1,760,000	\$1,650,000
Cruceros	180	\$3,280,000	\$3,830,000	\$3,540,000
Buques RoPax	538	\$2,920,000	\$3,280,000	\$2,970,000
Buques portacontenedores	2,061	\$2,340,000	\$2,640,000	\$2,540,000

## 9.4 Costo para el sector marítimo en comparación con las medidas terrestres

El criterio 3.1.8 del Apéndice III del Anexo VI de MARPOL exige una descripción de los costos relativos de la reducción de las emisiones de los buques en comparación con los controles en tierra. Esta sección presenta los resultados de la experiencia internacional en materia de costos de control de la contaminación. No se dispone de información detallada sobre los costos de control país por país, y el análisis de los resultados de los estudios internacionales muestra que la gama de costos de control previstos, sobre la base de la contaminación reducida por unidad, están generalmente de acuerdo, lo que indica que las experiencias internacionales con los costos de control son similares.

### 9.4.1 Estimación de la rentabilidad

Existe una gran variedad de tecnologías y opciones operativas para la reducción de la contaminación. En cuanto a la reducción del azufre, estas opciones se dividen en cuatro grandes categorías: el uso de combustible con bajo contenido de azufre, la desulfuración del combustible, los procesos de combustión y la desulfuración de los gases de escape. Los costos de estas tecnologías, y la reducción de emisiones asociada, pueden estimarse de diversas maneras. En primer lugar, las estimaciones de ingeniería tienen en cuenta específicamente los costos tecnológicos y de explotación, así como los cambios asociados en los niveles de emisiones. Los enfoques de ingeniería son útiles cuando se aplican a plantas específicas, pero pueden plantear problemas cuando se aplican en general a una industria, debido a las muchas y variadas composiciones de las plantas individuales. Otro método para estimar los costos de cumplimiento de la normativa medioambiental es mediante encuestas al sector, en las que se pregunte a las instalaciones por sus costos directos de capital y operativos para reducir la contaminación. Una vez más, se cuestiona esta metodología, ya que los problemas con el tamaño de la muestra, la tasa de respuesta y la dificultad para separar con precisión los costos asociados a las diferentes especies contaminantes ponen en duda los resultados.

Un informe de 1999 del IIASA para la Comisión Europea (European Commission 1999) estima que los costos de reducción del SO<sub>2</sub> oscilan entre 586 y 860 dólares por tonelada de SO<sub>2</sub>. Un trabajo reciente en China (Zhang et al. 2020) calcula una reducción potencial de emisiones de 19,2 millones de toneladas de SO<sub>2</sub> mediante el cambio a tecnologías de energías renovables con un costo de 92 500 millones de CNY (yuanes chinos), o 4.818 CNY/t de SO<sub>2</sub> reducido, lo que equivale a unos 730 \$/t de SO<sub>2</sub> reducido.

La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA) está actualizando su Manual de Costos de Control de la Contaminación Atmosférica. La sección 5 de ese informe identifica las tecnologías y los costos más recientes para eliminar los gases acidificantes, como el SO<sub>x</sub>, de las emisiones. El manual de la EPA de EE. UU. proporciona un ejemplo de ingeniería de la rentabilidad, similar al MAC, de una unidad de FGD (desulfuración de gases de combustión) húmeda en una instalación de carbón de 500 MW a 681 \$/t de SO<sub>2</sub> reducido, y 945 \$/t de SO<sub>2</sub> para una unidad de FGD seca en una planta de tamaño similar. Para un absorbedor de torre húmeda, la estimación del informe de la EPA de EE. UU. es de 636 \$/t de SO<sub>2</sub>. En particular, estos ejemplos de ingeniería son solo eso, cálculos para instalaciones específicas de ejemplo, pero se alinean bien con otras estimaciones de la literatura para proporcionar una referencia adicional para los costos de reducción.

### 9.4.2 Precio virtual de la contaminación

Otro enfoque para estimar los costos de los controles de la contaminación es medir los costos indirectos y revelados. Utilizando técnicas econométricas para identificar los costos de reducción de la contaminación revelados en lugar de los declarados, se pueden estimar los costos de reducción que son más indicativos del costo total del cumplimiento de la normativa. Uno de estos enfoques que se aplica ampliamente es el uso de los precios virtuales.

El precio virtual es el costo de oportunidad de las reducciones incrementales de las especies contaminantes en términos de reducción de la producción. Los precios virtuales en EE. UU. para la

reducción del SO<sub>2</sub> de las centrales eléctricas de carbón oscilan entre 1.806 y 18.018 \$/t de SO<sub>2</sub> (Swinton 1998; Färe et al. 2005) y entre 2.044 y 21.749 \$/t de SO<sub>2</sub> para los procesos industriales en EE. UU., Corea y China (Coggins and Swinton 1996; Turner 1995; Boyd, Molburg, and Prince 1996; Lee, Park, and Kim 2002; Tu 2009; He and Ou 2017).

CE Delft publica un manual de precios virtuales (CE Delft 2010) en el que se encuentran precios virtuales del SO<sub>2</sub> de 6.461 a 12.943 \$/t de SO<sub>2</sub> y precios virtuales de PM<sub>10</sub> de 2.300 a 50.000 €/t de PM<sub>10</sub>. El Manual de Precios Medioambientales de CE Delft estima que el costo medioambiental, no el costo de reducción, de la contaminación por SO<sub>2</sub> es de 24.900 €/t de SO<sub>2</sub>, mientras que el costo medioambiental de las PM<sub>2,5</sub> es de 79.500 €/t de SO<sub>2</sub> (CE Delft 2018), valores que superan con creces los costos de reducción en tierra.

Un estudio de 2014 de las economías de la OCDE descubrió que los precios virtuales para la reducción de PM<sub>10</sub> eran muy variables, desde 5.079 \$/t de PM<sub>10</sub> a 295.832 \$/t de PM<sub>10</sub> (en dólares de 2005), con una media y mediana de 99.500 \$/t de PM<sub>10</sub> y 82.161 \$/t de PM<sub>10</sub>, respectivamente (Dang and Mourougane 2014).

*Tabla 9.4-1. Costos marginales de reducción del SO<sub>2</sub> (\$/t) adaptados a partir de Mekaroonreung and Johnson (2012)*

<b>Estudio</b>	<b>Precio medio de la reducción de SO<sub>2</sub> (\$/t)</b>
(Färe et al. 2005)	76 – 142
(Mekaroonreung and Johnson 2012)	201 – 343
(Coggins and Swinton 1996)	292
(EPA 2009) - Estacionario	300 – 6,000
(Mekaroonreung and Johnson 2012)	509 – 2,020
(European Commission 1999)	586 – 860
(Zhang et al. 2020)	730
(Turner 1995)	826
(Färe et al. 2005)	1,117 – 1,974
(Boyd, Molburg, and Prince 1996)	1,703
(Lee, Park, and Kim 2002)	3,107
(EPA 2009) - En carretera	6,400 – 6,600
(CE Delft 2010)	6,461 – 12,943

La **Tabla 9.4-1** muestra el rango de costos de reducción de SO<sub>2</sub> identificados en la bibliografía, indicados anteriormente. La rango de costos de reducción es amplio; va desde los 76 \$/t de SO<sub>2</sub> reducido hasta los 6.600 \$/t de SO<sub>2</sub> reducido. Estos rangos son coherentes con la bibliografía, ya que representan un conjunto de tecnologías y medidas operativas posibles para reducir las emisiones de SO<sub>2</sub>, así como un conjunto de sectores, incluidas las fuentes fijas y móviles, para los que las tecnologías de reducción pueden variar mucho.

#### 9.4.3 Estimación de la rentabilidad de aplicaciones anteriores de la ECA

La aplicación de la ECA norteamericana (EPA 2009) enumera un conjunto de controles de fuentes terrestres. Las fechas de los costos de control abarcan un amplio abanico, por lo que es mejor considerarlas como descriptivas y no como prescriptivas de los costos de reducción actuales, que probablemente sean diferentes debido a los cambios políticos de los últimos años y a las mejoras tecnológicas. El informe enumera unos costos de entre 11.000 y 16.000 \$/t de PM<sub>10</sub> (dólares de 2006) para las aplicaciones de motores diésel y de gasolina, tanto de carretera como no de carretera, y un rango de entre 4.000 y 46.000 \$/t de PM<sub>10</sub> (dólares de 2006) para los motores diésel fijos. Los costos de las

locomotoras y de las embarcaciones portuarias oscilan entre 9.300 \$/t PM<sub>10</sub> (2006 \$) para las nuevas construcciones y 50.000 \$/t PM<sub>10</sub> (2006 \$) para las modernizaciones. Los costos de reducción de las emisiones de SO<sub>x</sub> estimados por la EPA de EE. UU. son generalmente inferiores a los costos de reducción de las PM<sub>10</sub>. Los costos de reducción de SO<sub>x</sub> en fuentes fijas oscilan entre los 300 y los 6.000 \$/t de SO<sub>x</sub>, mientras que los costos de reducción de SO<sub>x</sub> en carretera se estiman en 6.400 \$/t de SO<sub>x</sub> en el caso de los motores diésel de gran potencia, y en 6.600 \$/t de SO<sub>x</sub> en el caso de los motores diésel de poca potencia.

#### 9.4.4 Rentabilidad de la Med SO<sub>x</sub> ECA

Los resultados de la bibliografía independiente revisada por homólogos y de la bibliografía gris constatan que los rangos de costos de reducción de PM<sub>10</sub> y SO<sub>x</sub> son amplios y se superponen. Los costos asignados a la eliminación de una sola especie (de SO<sub>x</sub> o de PM) no pueden tratarse como totalmente independientes, ya que las especies contaminantes de PM y SO<sub>x</sub> están entrelazadas. Por lo tanto, aunque los costos se atribuyan a un solo contaminante, en realidad es probable que se produzcan reducciones tanto de SO<sub>x</sub> como de PM con cualquier medida de reducción. Como se muestra en la **Tabla 9.4-2**, los costos marginales de reducción de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta están en consonancia con los costos marginales de reducción de SO<sub>x</sub> y PM, tanto para la hipótesis de base como para la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta con SLGE.

*Tabla 9.4-2. Rentabilidad de la Med SO<sub>x</sub> ECA a partir del estudio técnico y de viabilidad*

Tipo de beneficio	MARPOL VI	Med SO <sub>x</sub> ECA propuesta	Med SO <sub>x</sub> ECA propuesta con SLGE
<b>Objetivo de control</b>			
Emisiones de SO <sub>x</sub> reducido	7.730 \$/t de SO <sub>x</sub>	13.400\$/t de SO <sub>x</sub>	8.750\$/t de SO <sub>x</sub>
Emisiones de PM <sub>2,5</sub> reducido	80.300 \$/t de PM <sub>2,5</sub>	155.000\$/t de PM <sub>2,5</sub>	101.000\$/t de PM <sub>2,5</sub>

El Estudio Técnico y de Viabilidad para examinar la posibilidad de designar el Mar Mediterráneo, o partes del mismo, como zona(s) de control de emisiones (ECA) de óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) según el Anexo VI de MARPOL (Corbett & Carr, 2019) (en lo sucesivo, el Estudio Técnico y de Viabilidad), concluyó que la ECA de SO<sub>x</sub> propuesta en el Mediterráneo tiene una rentabilidad de entre 8.750 y 13.400 \$/t de SO<sub>x</sub> reducido (**Tabla 9.4-2**). A modo de comparación, la rentabilidad de la ECA norteamericana se estimó en 1.200 \$/t de SO<sub>x</sub>. Sin embargo, hay que recordar que la ECA norteamericana se implantó en un momento en el que el límite mundial de azufre en los combustibles era del 3,50 % de S m/m, por lo que la reducción al 0,10 % de S m/m representaba un paso mayor que la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta.

La relación beneficio-costado de la propuesta de Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta estimada en el Estudio Técnico y de Viabilidad es de 1,58 millones de dólares por mortalidad evitada. Estudios paralelos de Francia (Rouil et al. 2019) y la Comisión Europea (Cofala et al. 2018) constatan unos ratios de beneficio-costado de 3 y 4,8 respectivamente. La rentabilidad de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta se sitúa en el extremo superior de muchos de los costos de reducción de fuentes fijas identificados. Sin embargo, como se observa en el ratio de beneficio-costado, los beneficios para la salud y el medio ambiente de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta son mucho mayores que los costos.

## 9.5 Rentabilidad de los beneficios cuantificados

Al igual que en los anteriores análisis SECA, se asignó el mismo costo a cada una de estas dimensiones, lo que sobre asigna el costo por unidad de beneficio dado que el mismo costo es el que se consigue en todos estos beneficios. La **Tabla 9.5-1**, la **Figura 9.5-1** y la **Figura 9.5-2** resumen los resultados. Por ejemplo, la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta sin SLGE se muestra con un costo de unos 1,58 millones de dólares por muerte anual evitada, si todos los costos de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta se asignan a las estimaciones

de mortalidad evitada. Este costo se reduce a 1,035 millones de dólares por muerte evitada en un supuesto SLGE.

Tabla 9.5-1. Rentabilidad de los beneficios cuantificados

Tipo de beneficio	MARPOL VI	Med SO <sub>x</sub> ECA propuesta	Med SO <sub>x</sub> ECA propuesta con SLGE
<b>Objetivo de control</b>			
Emisiones de SO <sub>x</sub> reducido	7.730 \$/t SO <sub>x</sub>	13.400\$/t SO <sub>x</sub>	8.750\$/t SO <sub>x</sub>
Emisiones de PM <sub>2.5</sub> reducido	80.300 \$/t PM <sub>2.5</sub>	155.000\$/t PM <sub>2.5</sub>	101.000\$/t PM <sub>2.5</sub>
<b>Resultados sanitarios</b>			
Mortalidad evitada	0,263 \$ M/Δ Mortalidad	1,580 \$ M/Δ Mortalidad	1,035 \$ M/Δ Mortalidad
Asma infantil evitado	14.000 \$/Δ Morbilidad	763.000 \$/Δ Morbilidad	500.000 \$/Δ Morbilidad

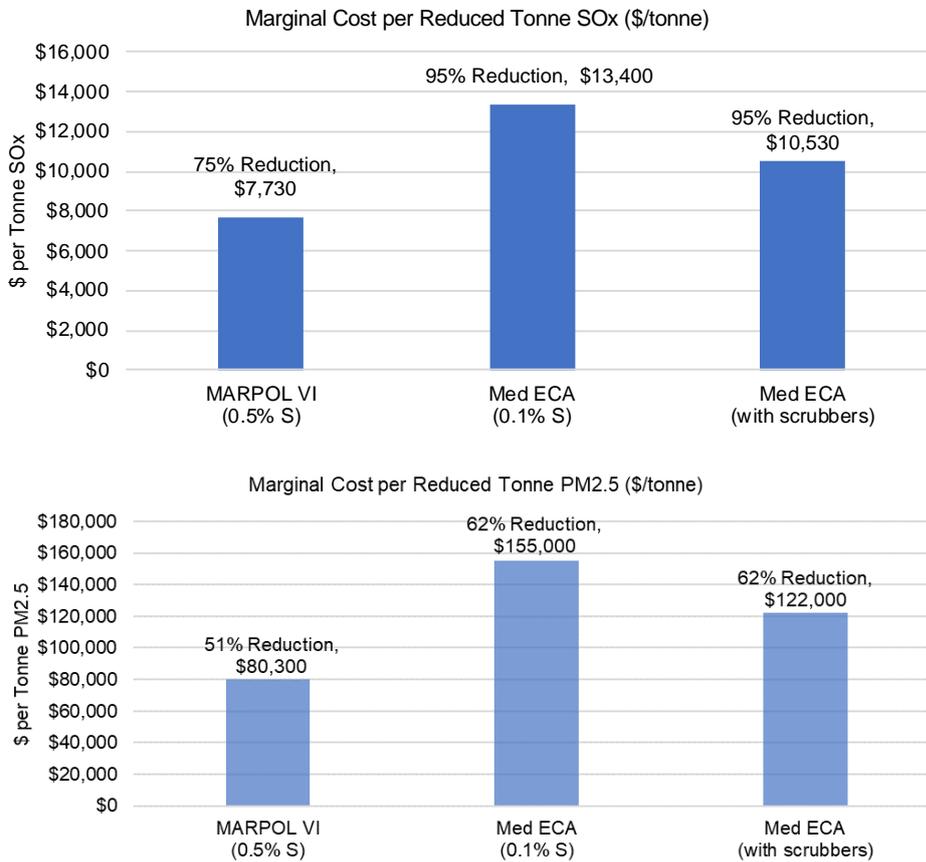


Figura 9.5-1: Rentabilidad del control de las reducciones de SO<sub>x</sub> y PM<sub>2.5</sub> basada en los precios de este documento

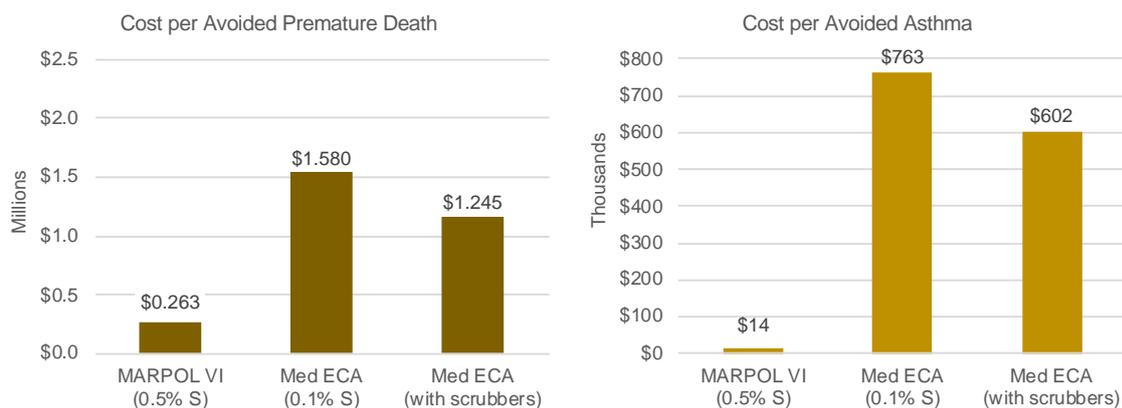


Figura 9.5-2: Rentabilidad de los resultados sanitarios en términos de mortalidad prematura evitada y asma infantil evitada

### 9.5.1 Análisis beneficio-costo de la mortalidad (cáncer de pulmón y causas cardiovasculares)

Un análisis beneficio-costo debe comparar los beneficios netos monetizados de todas las medidas de mitigación y los costos de todas las acciones de cumplimiento. Ninguna propuesta anterior para designar una SECA en el marco de MARPOL VI ha presentado análisis que moneticen todos los beneficios. Las propuestas anteriores de designación de SECA regionales en virtud del Anexo VI de MARPOL han presentado generalmente justificaciones de rentabilidad para los beneficios de interés dominante o han hecho referencia a un concepto denominado "cargas críticas", que generalmente significa la exposición ambiental máxima tolerable del ecosistema de una región (en su totalidad o en parte).

El VEV es el valor monetario de los pequeños cambios en los riesgos de mortalidad, incrementado proporcionalmente para reflejar el valor asociado a una muerte esperada en una población grande. Este análisis identificó un recurso clave, publicado en la bibliografía revisada por homólogos en 2017, que realiza un análisis del estado de la práctica de la VEV e incluye a casi todos los Estados costeros del Mediterráneo(26), como se describe en **Figura 9.5-3**.

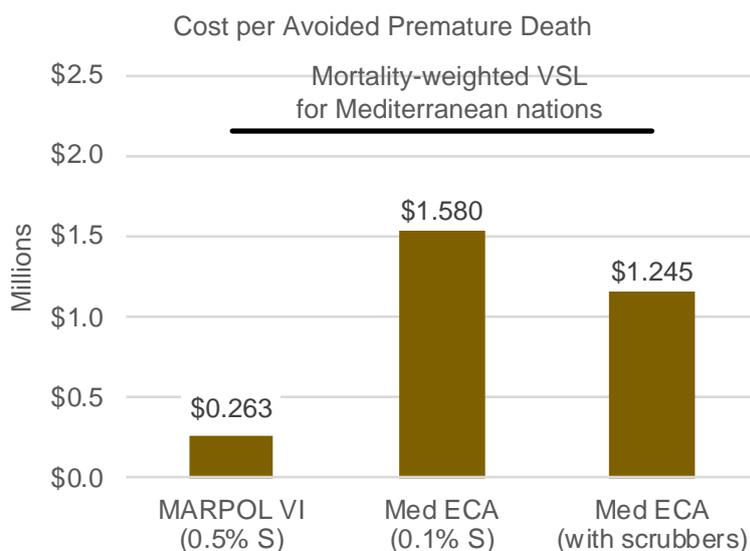


Figura 9.5-3: Comparación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta por mortalidad evitada y el VEV ponderado del Mediterráneo

## 10 Repercusiones económicas del transporte marítimo en el comercio internacional

### 10.1 Tarifas de transporte marítimo de mercancías y pasajeros

#### 10.1.1 Evaluación de los fletes

Los fletes basados en la carga incluyen los costos de combustible basados en el viaje y mucho más. Los fletes de carga representan el costo desde el origen hasta el destino, incluyendo la manipulación de la carga, el almacenamiento durante el tránsito, las transferencias de modo intermedio y el modo. Los costos de combustible del viaje se dividen por la carga (en toneladas netas o en TEU netos, según el caso). El modelo de costos multiplica por dos (2) este valor para tener en cuenta los costos de combustible asociados a un viaje de vuelta en vacío. El análisis de sensibilidad puede ajustar este ajuste de retorno en vacío entre un valor mínimo de cero (viaje de retorno con carga completa) y dos (sin retorno). Por lo tanto, el uso del ajuste de retorno vacío garantiza un análisis más robusto (por ejemplo, la estimación del impacto de los costos que puede probar mejor las hipótesis nulas).

Cuando un supuesto representa un movimiento de carga de puerto a puerto, estos enfoques describen los costos netos basados en los costos del viaje y los costos de transferencia. Cuando un supuesto represente movimientos de carga de origen a destino que requieran modos de transporte terrestre, el modelo sumará los costos en el tramo acuático y en el(los) tramo(s) terrestre(s) de la ruta. El modelo proporciona tarifas generalizadas en costos por distancia de carga (tonelada-kilómetro de carga o t-km). Estos índices generalizados permiten una aplicación eficaz a los escenarios de las rutas y facilitan el análisis de sensibilidad.

Las tarifas de carga proceden de la base de datos de estadísticas de costos de transporte marítimo (CTM) que mantiene la Dirección de Estadísticas y Datos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).

*"La base de datos de los costos del transporte marítimo (CTM) contiene datos desde 1991 hasta el año más reciente disponible de los costos del transporte marítimo bilateral. Los costos de transporte están disponibles para 43 países importadores (incluidos los países de la UE15 como unión aduanera) desde 218 países de origen a nivel de producto detallado (6 dígitos) del Sistema Armonizado de 1988".*

La base de datos se construye a partir de los datos de *"una combinación de los datos de las tarifas de envío realmente cobradas con las estadísticas Comtrade de la ONU para estimar los costos reales de transporte a nivel de producto. Las tarifas de envío se han recogido de fuentes seleccionadas, como: Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD), Containerisation International, Drewry Shipping Consultants, International Grains Council (IGC) y Baltic Exchange"*.

Para este trabajo, los datos de los CTM se extrajeron de la base de datos de los CTM para la agricultura, la industria manufacturera y los productos básicos de las materias primas para los países y grupos de países enumerados en la **Tabla 10.1-1**. Hemos intentado incluir todos los datos disponibles de los Estados costeros mediterráneos que son Partes Contratantes del Convenio de Barcelona, o su grupo de países representativos.

Tabla 10.1-1. Lista de países (y grupo de países de la UE 15) para los que se consultaron los datos del CTM

Países o grupo de países	
Albania	Malta
Argelia	Montenegro
Egipto	Eslovenia
Unión Europea (UE 15)	República Árabe Siria
Israel	Túnez
Líbano	Turquía
Libia	

Utilizando los CTM reportados por OECD.Stat, actualizamos los fletes reportados a dólares de 2020 y convertimos las unidades a costos por tonelada-km para poder aplicarlas a las distancias de las rutas y así obtener los costos de flete marítimo. **Figura 10.1-1** presenta la mediana de los fletes (marcadores de guiones), en gráficos de cajas y bigotes que representan los percentiles 25 y 75 (cajas) y 10 y 90 (bigotes). **Tabla 10.1-2** presenta el flete medio por productos seleccionados en los datos extraídos. La **Tabla 10.1-3** presenta un resumen estadístico de los fletes, incluyendo los rangos superior e inferior. El gráfico ilustra que los fletes de los portacontenedores suelen ser más altos que los de los buques graneleros (aunque hay un solapamiento), y que los fletes de los graneles limpios son más altos que los de los graneles sucios. Esto hace prever que las mercancías con fletes más elevados pueden estar menos influenciadas que las mercancías asociadas a fletes más bajos por los costos del viaje (o la influencia de los diferenciales del costo del combustible del viaje).

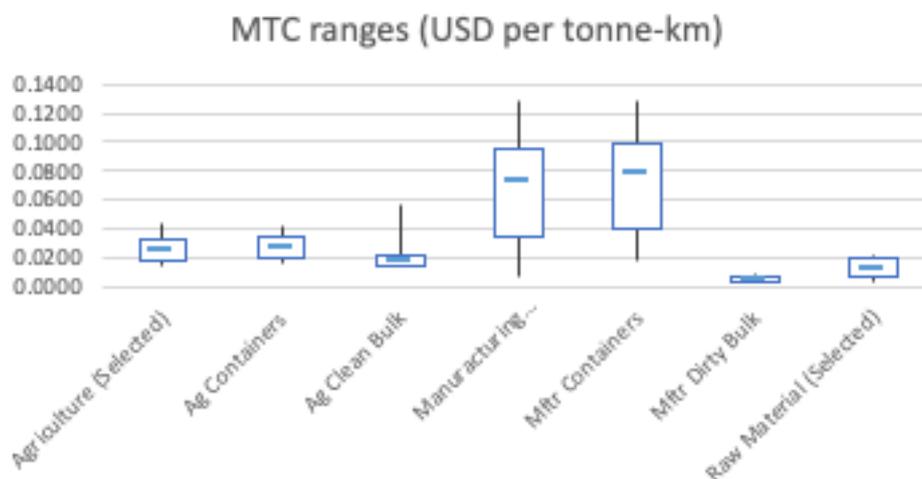


Figura 10.1-1: Gráfico de los CTM para grupos de productos y tipos de buques

Tabla 10.1-2. Resumen de los CTM por tipo de buque para una serie de productos seleccionados

Producto	MTC por tipo de buque (media de dólares por tonelada-km)		
	Graneles limpios	Contenedores	Graneles sucios
<b>Agricultura en general</b>	<b>0.0397</b>	<b>0.0299</b>	
07: Hortalizas y algunas raíces y tubérculos comestibles		0.0257	
08: Fruta, frutos secos, cáscaras de cítricos, melones comestibles		0.0354	
09: Café, té, mate y especias		0.0278	
10: Cereales	0.0246		
12: Semillas oleaginosas, frutos oleaginosos, granos, semillas, frutos, etc.	0.0549		
19: Cereales, harina, almidón, preparaciones y productos lácteos		0.0286	
22: Bebidas, licores y vinagre		0.0211	
<b>Producción general</b>		<b>0.0794</b>	<b>0.0060</b>
31: Fertilizantes			0.0060
47: Pulpa de madera, material fibroso celulósico, residuos, etc.		0.0164	
48: Papel y cartón, artículos de pasta, papel y cartón		0.0308	
52: Algodón		0.0486	
61: Prendas de vestir, accesorios, de punto o de ganchillo		0.1252	
62: Prendas de vestir, accesorios, no de punto		0.1501	
64: Calzado, polainas y similares, y partes de los mismos		0.1483	
73: Artículos de hierro o acero		0.0354	
84: Reactores nucleares, calderas, maquinaria, etc.		0.0522	
85: Equipos eléctricos y electrónicos		0.0616	
87: Vehículos que no sean de ferrocarril, tranvía		0.0702	
95: Juguetes, juegos y artículos deportivos		0.0873	
<b>Materia prima general</b>			<b>0.0128</b>
25: Sal, azufre, tierra, piedra, yeso, cal y cemento			0.0116
72: Hierro y acero			0.0142

Tabla 10.1-3. Análisis de sensibilidad de los CTM por grupo de productos y tipo de buque

USD por tonelada-km	Agricultura			Producción			Materia prima
	Combinado	Contenedores	Granel limpio	Combinado	Contenedores	Granel sucio	
Mínimo	0.0100	0.0100	0.0132	0.0000	0.0000	0.0042	0.0023
Percentil 10	0.0145	0.0172	0.0139	0.0075	0.0188	0.0042	0.0040
Percentil 25	0.0180	0.0199	0.0152	0.0343	0.0393	0.0043	0.0073
Mediana	0.0253	0.0266	0.0173	0.0740	0.0784	0.0060	0.0128
Percentil 75	0.0334	0.0339	0.0213	0.0957	0.0982	0.0074	0.0199
Percentil 90	0.0434	0.0421	0.0570	0.1287	0.1289	0.0086	0.0214
Máximo	0.2461	0.1044	0.2461	0.4348	0.4348	0.0096	0.0233

## 10.1.2 Evaluación de la tasa de pasajeros

Las tasas de pasajeros del transporte marítimo en este trabajo se refieren al servicio de transbordadores. No evaluamos el servicio de pasajeros de los cruceros porque esas excursiones son más de tipo social y de vacaciones. Los factores típicos en un contexto de elección de modo incluyen:

- El transporte marítimo de pasajeros suele ser una "modalidad premium", con un precio más elevado que el viaje por carretera en vehículo personal o en tránsito (quizás con un precio similar o superior al del ferrocarril).
- El transporte marítimo de pasajeros es a menudo un complemento de los viajes por ferrocarril y por carretera, que ofrece conectividad a través de Ro-Pax (el transporte marítimo de pasajeros rara vez compite con las modalidades terrestres).
- El costo del viaje de los pasajeros por unidad (por pasajero) suele ser mayor que el costo por unidad de carga. Por lo tanto, el efecto del precio esperado del combustible de 0,10 % S m/m de mayor precio sería necesariamente menor que los efectos del precio evaluados por unidad de carga.

Por lo tanto, el análisis se centra en las zonas remotas y en las comunidades insulares, donde el cambio modal no es una opción para las zonas remotas o insulares, ya que las conexiones intermodales no existen, o son limitadas. Por ello, todos los movimientos de mercancías y pasajeros deben realizarse por vía marítima o aérea. Los costos del transporte aéreo son más elevados que los de todos los demás modos, y para muchas mercancías el transporte por aire es inviable.

Los transbordadores de pasajeros, incluidos los buques RoPax, operan a lo largo de numerosas rutas en el Mar Mediterráneo, como se muestra en la **Figura 10.1-2** y la **Figura 10.1-3**. Como muestra la intensidad de las emisiones en las dos figuras, los buques RoPax son mucho más emisores de CO<sub>2</sub> y, por tanto, consumen mayores cantidades de combustible.

Este trabajo analiza un conjunto de diez rutas de transbordadores en el Mar Mediterráneo, incluyendo cuatro rutas nacionales y dos internacionales. Todas las rutas de transbordador analizadas son entre el continente y las islas, con una ruta costera adicional. Los precios de ida para un pasaje de cubierta reservado para un solo adulto se obtuvieron de las listas de tarifas publicadas para cada una de las rutas que se muestran en la **Tabla 10.1-4**. Se identificaron los buques RoPax que prestan servicio en cada ruta y las categorías de buques representativas que figuran en el informe final del Cuarto Estudio de la OMI sobre GEI 2020 (MEPC 75/7/15) (Faber et al., 202AD), en lo sucesivo denominado Cuarto Estudio OMI sobre GEI 2020, para el consumo de combustible, con las características de los buques transbordadores (por ejemplo, toneladas brutas).

Tabla 10.1-4. Rutas, distancias, precios, número de pasajeros de los transbordadores

Ruta del transbordador	Distancia (NM)	Costo de ida (EUR)	Costo (EUR/p-km)	Costo (USD/km)	Pasajeros
Nápoles - Cagliari	282	42.41 <sup>40</sup>	€ 0.0812	\$0.0967	1,845
Barcelona - Porto Torres	307	35 <sup>41</sup>	€ 0.0616	\$0.0733	2,794
Marsella - Argel	421	198 <sup>42</sup>	€ 0.2539	\$0.3023	2,400
El Pireo - Paros	107	33 <sup>43</sup>	€ 0.1665	\$0.1982	1,715
El Pireo - Kos	203	52.5 <sup>43</sup>	€ 0.1396	\$0.1662	2,000
El Pireo - Rodas	256	61.5 <sup>43</sup>	€ 0.1297	\$0.1544	2,000
Valetta - Pozzallo	53	68 <sup>44</sup>	€ 0.6928	\$0.8247	1,120
Mykonos - Naxos	26	14.5 <sup>45</sup>	€ 0.3011	\$0.3585	2,400
Famagusa - Mersin	112	42.93 <sup>46</sup>	€ 0.2070	\$0.2464	343
Barcelona - Génova	352	49 <sup>47</sup>	€ 0.0752	\$0.0895	2,230

<sup>40</sup> <https://en.tirrenia.it/ferry-sardinia/naples-cagliari/index.html>.

<sup>41</sup> <https://www.grimaldi-lines.com/>.

<sup>42</sup> <https://www.corsicalinea.com/>.

<sup>43</sup> <https://www.ferryhopper.com/>.

<sup>44</sup> <http://www.virtuferries.com>.

<sup>45</sup> <http://www.bluestarferries.com>.

<sup>46</sup> <https://www.akgunlerbilet.com/>.

<sup>47</sup> <https://www.gnv.it>.

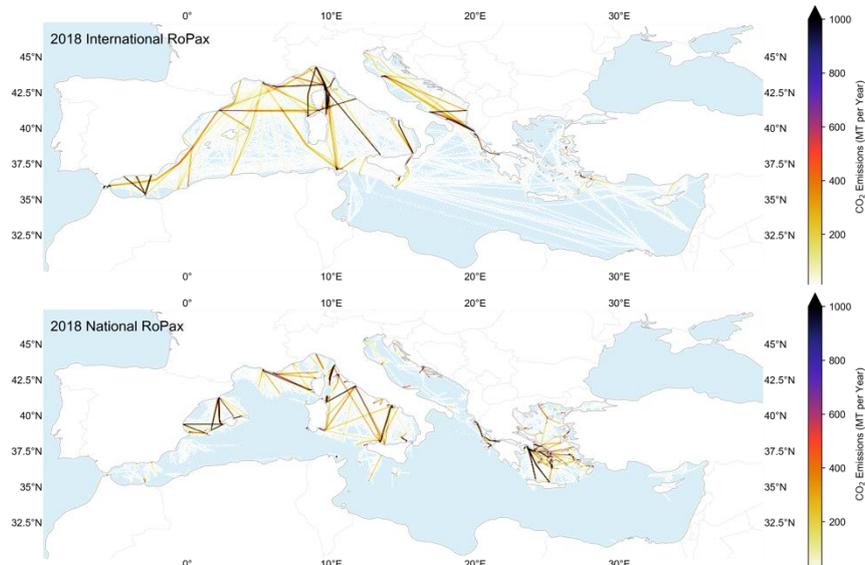


Figura 10.1-2: Actividad RoPax internacional y nacional

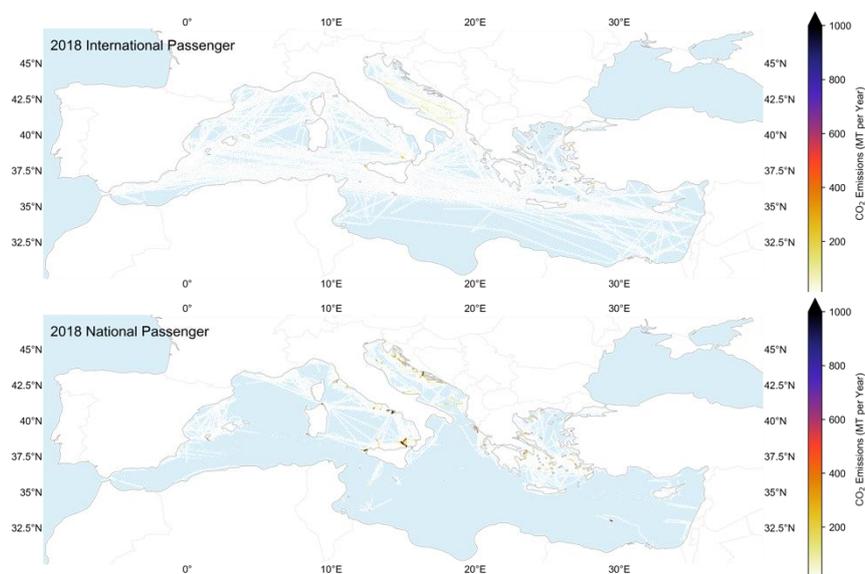


Figura 10.1-3: Actividad internacional y nacional de buques de pasajeros

## 10.2 Tarifas de transporte de mercancías y pasajeros por vía terrestre

Los costos de explotación de los modos terrestres varían según el modo, el país y la ruta. A partir de un análisis de los costos de explotación del transporte en la Unión Europea y en los Estados Unidos realizado por una colaboración de investigación financiada por la Comisión Europea (Maibach, Peter, et al., 2006), este análisis actualizó los costos a los equivalentes de 2020 en dólares estadounidenses y seleccionó costos representativos de los Estados costeros mediterráneos para los que este análisis proporcionó datos (**Tabla 10.2-1**).

Tabla 10.2-1. Costos medios por pasajero-km (ferrocarril), tonelada-km de mercancías (ferrocarril, LDV y HDV por carretera)

País	Ferrocarril		Carretera			
	Pasajeros (en 2020 USD/p-km)	Flete (en 2020 USD/t-km)	Autobuses (en 2020 USD/p-km)	Autocares (en 2020 USD/p-km)	Flete de LDV (en 2020 USD/t-km)	Flete de HDV (en 2020 USD/t-km)
Grecia	\$0.3410	\$0.3875	\$0.0930	\$0.0930	\$4.2160	\$0.1395
España	\$0.1860	\$0.1085	\$0.1395	\$0.1085	\$6.7115	\$0.1860
Francia	\$0.3100	\$0.0930	\$0.2325	\$0.2325	\$9.2535	\$0.2635
Italia	\$0.3100	\$0.1550	\$0.1705	\$0.1395	\$8.5250	\$0.1860
Eslovenia	\$0.1240	\$0.1085	\$0.0465	\$0.0310	\$4.6190	\$0.2015
UE 25 *	\$0.2635	\$0.1705	\$0.1705	\$0.1395	\$7.8275	\$0.2170

País	Ferrocarril		Carretera			
	Pasajeros (en 2020 USD/p-km)	Flete (en 2020 USD/t-km)	Autobuses de corta distancia (en 2020 USD/p-km)	Autocares (en 2020 USD/p-km)	Flete de LDV (en 2020 USD/t-km)	Flete de HDV (en 2020 USD/t-km)
Máx.	\$0.3875	\$0.4495	\$0.2000	\$0.1900	\$12.9270	\$0.2945
Mediana	\$0.3100	\$0.1550	\$0.1100	\$0.1000	\$6.8045	\$0.2015
Media	\$0.2550	\$0.2015	\$0.1064	\$0.0968	\$6.9680	\$0.2071
Mín.	\$0.0620	\$0.0620	\$0.0200	\$0.0100	\$2.4335	\$0.1085

### 10.3 Distancias del par O-D

Esta sección trata del conjunto de distancias de ruta entre pares identificados de Origen y Destino (O-D). La selección de los pares O-D se basó en una serie de criterios: en primer lugar, se evaluó el nivel de tráfico marítimo observado entre el origen y el destino sobre la base de las observaciones del AIS y, en segundo lugar, se evaluó la viabilidad económica de una ruta sobre la base de los horarios comerciales publicados entre el origen y el destino, ya sea de forma independiente o como parte de una cadena de viajes, haciendo escala en varios otros puertos a lo largo del camino.

Las distancias de las rutas de agua, ferrocarril y carretera se muestran en la **Tabla 10.3-1**. Todos los pares O-D fueron seleccionados por tener una ruta marítima viable entre los dos puertos, sin embargo no todos los casos tenían conexiones viables por ferrocarril o carretera entre los puertos. En los casos en los que no había una ruta viable por carretera o ferrocarril, la distancia se muestra como no disponible (NA). Las rutas O-D incluyen rutas de corta distancia, rutas de países insulares, rutas intramediterráneas y rutas que transitan por el Mediterráneo. Tenga en cuenta que, aunque se identifican los pares de puertos O-D, estas rutas pretenden ser representativas y no deterministas o prescriptivas. Las rutas dentro, hacia, a través y alrededor del Mar Mediterráneo son muchas y variadas, y es imposible modelar el conjunto total de pares O-D.

Tabla 10.3-1. Distancias marítimas, por carretera y ferrocarril entre pares de origen y destino (km)

Original	Destino	Distancia del agua (km)			Distancia en tren (km)	Distancia por carretera (km)
		In-Med	Ex-Med	Total		
Puerto Said	Gibraltar	3,591	0	3,591	N/A	7,431
Algeciras	Fos-sur-Mer	1,367	0	1,367	1,997	1,781
Algeciras	Koper	3,126	0	3,126	3,283	3,007
Génova	Gioia Tauro	909	0	909	1,277	1,348
Koper	Malta Freeport	1,422	0	1,422	N/A	1,955
Koper	Singapur	2,471	9,325	11,795	N/A	12,987
Puerto Said	Koper	2,471	0	2,471	N/A	3,498
Lisboa	Jeddah	3,591	1,917	5,508	N/A	8,602
El Pireo	Limassol	983	0	983	N/A	2,633
Puerto Said	Beirut	432	0	432	N/A	710
Shanghái	Róterdam	3,591	15,964	19,555	15,267	10,881
Shanghái	Fos-sur-Mer	2,895	13,386	16,281	15,983	11,671
Puerto Said	Fos-sur-Mer	2,895	0	2,895	N/A	4,413
Singapur	Nueva York	3,591	15,177	18,768	N/A	N/A
Tánger	Orán	485	0	485	1,022	745
Tánger	Túnez	1,515	0	1,515	2,531	2,221
Tesalónica	El Pireo	500	0	500	597	580
Xiamen	Beirut	432	12,323	12,755	13,966	N/A

#### 10.4 Precios de los productos básicos

Los precios de los productos alimentarios están disponibles en UNCTAD, como se muestra en la **Tabla 10.4-1**. Estos precios de los productos básicos representan una serie de productos comunes en diferentes puntos finales de la economía, desde las materias primas, pasando por los insumos para la fabricación, la construcción y el textil, hasta los precios de los alimentos. Los productos básicos se muestran en sus precios unitarios en USD y se convierten a precio por tonelada métrica a efectos de comparaciones unitarias entre dichos productos. Las conversiones de unidades de masa son sencillas, y se asumió que la masa de una hoja de madera contrachapada de lauan de 91 cm x 182 cm x 4 mm era de 3 kg.

Tabla 10.4-1. Precios seleccionados de alimentos, bebidas y productos básicos (\$ de 2019) de la UNCTAD

Producto	Unidad	Precio unitario	Precio (\$/t)
Salmón, fresco, criado en piscifactoría, precio de exportación, Noruega	(\$/kg)	6.94	\$6,940.0
Plátanos, América Central y del Sur, FOT, precio de importación en EE.UU.	(\$/kg)	1.14	\$1,140.0
Café, otros arábicas suaves, ex-dock UE	(¢/lb.)	125.52	\$2,767.2
Té, Kenya Mombasa/Nairobi, precio de subasta	(\$/kg)	2.2	\$2,200.0
Tabaco, sin manufacturar, valor unitario de las importaciones de EE.UU.	(\$/t)	4578.65	\$4,578.7
Roca fosfórica, Khouribga, 70 % BPL, contrato, FAS Casablanca	(\$/t)	87.95	\$88.0
Zinc, Prime Western, entregado, América del Norte	(¢/lb.)	124.13	\$2,736.6
Caucho, TSR 20, CIF de Nueva York	(\$/t)	1662.17	\$1,662.2
Madera contrachapada, África y SE de Asia, Lauan, 3 capas, 91 cm x 182 cm x 4 mm, al por mayor Tokio*	(¢/hoja)	500.93	\$1,669.8
Lana fina, 19 micras, precio de subasta AWEX, Australia	(\$/t)	14183.23	\$14,183.2

\* se supone que una hoja de madera contrachapada de 4 mm = 3 kg

## 10.5 Modelización de los efectos socioeconómicos

Esta sección expone el enfoque metodológico para describir el consumo de combustible y los cambios en los costos del mismo, identificando las principales rutas y corredores de transporte marítimo, y evaluando el potencial de cambio de modo y los costos económicos que afectan a las tarifas del transporte marítimo, proporcionando una señal económica relacionada con el potencial cambio de modo.

Los métodos de este análisis se basan en principios económicos en los que:

- i) los cambios en los costos pueden reflejarse en las tarifas que los proveedores presentan a los demandantes, es decir, los costos de los proveedores se trasladan a los compradores integrados en los precios del mercado; y
- ii) la demanda puede verse afectada cuando la señal del precio cambia junto con la elasticidad de la demanda del servicio de transporte y/o del producto entregado.

Hay tres etapas de análisis disponibles para evaluar el impacto socioeconómico de los cambios de precios resultantes de la adopción de los combustibles Med SO<sub>x</sub> ECA que cumplen con los límites de 0,10 % de S m/m. Esta sección describe cada una de estas tres etapas. En primer lugar, el efecto relativo del precio del combustible se evalúa en términos de costos de viaje, lo que implica el modelo de costos EERA (**sección 10.5.1**). En la segunda etapa se estudia cómo los fletes, que generalmente incluyen los servicios y el transporte además de los costos del viaje marítimo, pueden verse afectados por los cambios en los costos del viaje. Para ello, reunimos los datos publicados sobre los fletes y evaluamos cómo se reflejan los costos del viaje en estos (**sección 10.5.2**). En tercer lugar, los fletes incluidos en los precios de compra de un producto básico o de un producto deben evaluarse para determinar los posibles cambios directos en los precios de los productos y los posibles efectos indirectos en la demanda de consumo (**sección 10.6**).

### 10.5.1 Evaluación del costo del viaje

EERA aplicó su modelo de costos para los buques y los modos alternativos bajo supuestos cambiantes de costos de combustible (Winebrake et al., 2010)<sup>4849</sup>. La evaluación de la evolución de los costos del combustible en el transporte marítimo permite compararlos con las estadísticas de costos de los modos de transporte terrestre, incluidos el transporte por camión y por ferrocarril.

Los datos sobre el consumo y el precio del combustible se utilizan en el modelo de costos para determinar los fletes basados en los costos. Los combustibles para usos marinos pueden suponer entre el 30 % y el 50 % de los costos del viaje, dependiendo de los costos de financiación del capital del buque. Los combustibles para usos marinos también han mostrado una gran volatilidad en los últimos años, ligada en gran medida a la volatilidad de los precios del crudo. En el caso del transporte de mercancías por carretera, el combustible representa alrededor del 20 %-25 % de los costos de los viajes en camión<sup>50</sup>, y alrededor del 40 %-45 % de los costos ferroviarios<sup>51</sup>. Además, los fletes basados en los costos de transporte incluirían la asignación por carga de los costos de transferencia relacionados con la carga/descarga (manipulación de la carga) y el almacenamiento; los fletes basados en la demanda serían más altos que los basados en los costos. Además, los fletes varían en función de la densidad de la carga, la utilización del espacio de carga útil, el carácter perecedero, etc. Cabe señalar que la inclusión de más elementos de costo reduzca los efectos del precio del combustible. Los precios de los combustibles indicados en la **sección 9.2.5** se aplican en un *Caso Base* (utilizando precios de combustible de 0,50 % S m/m) y en el *Caso* (utilizando precios de combustible de 0,10 % S m/m). Este costo incremental del combustible se añade a los costos estimados del viaje para calcular el nuevo costo del viaje en las condiciones de la Med SO<sub>x</sub> ECA.

Utilizando una relación de precios del combustible de 1,29 (que representa una diferencia del 29 % en los precios observados entre los combustibles de 0,50 % S m/m y 0,10 % S m/m durante los últimos meses de 2020), los costos típicos del combustible representan entre el 22 % y el 38 % de los costos diarios del viaje para los portacontenedores y menos para los graneleros (**Tabla 10.5-1**).

Observamos que los costos de viaje por tonelada-km estimados por el modelo de costos EERA coinciden con otros trabajos, como el Informe COMPETE (Maibach, Martin, & Sutter, 2006)(Maibach, Martin, & Sutter, 2006) (tabla 6), que informa de los costos de transporte marítimo de corta distancia por tonelada-km. El análisis de sensibilidad sobre el impacto de los costos se presenta en la **Tabla 10.5-2**, donde el precio del combustible base varía de 150 a 700 dólares por tonelada de combustible (columna de la izquierda), y la relación de precios del combustible Med SO<sub>x</sub> ECA entre 0,10 % S m/m y 0,50 % S m/m varía de igual a doble del precio del combustible base.

*Tabla 10.5-1. Estimación del costo del combustible en el viaje diario y del incremento del costo utilizando la relación de precios del combustible del TCE de 1,29*

Buque	Precio del combustible	Contenedor (2.800 TEU)	Contenedor (4.800 TEU)	Contenedor (10.000 TEU)	Granelero (30.000 DWT)
Costo del viaje base USD por tonelada-km		\$ 0.0022	\$ 0.0021	\$ 0.0012	\$ 0.00079
Costo del combustible como porcentaje del costo diario del viaje	Hipótesis de base (mediana del precio en 2020)	37%	56%	53%	25%
	Hipótesis de base Med SO <sub>x</sub> ECA <b>1,29 x</b>	43%	62%	59%	30%
Aumento del costo del viaje USD por tonelada-km		\$ 0.0025	\$ 0.0026	\$ 0.0014	\$ 0.00084
<b>Variación porcentual del costo diario del viaje con el combustible Med SO<sub>x</sub> ECA</b>		<b>10.6%</b>	<b>16.2%</b>	<b>15.2%</b>	<b>7.1%</b>

*Tabla 10.5-2. Relación entre el aumento del costo del viaje (valores de la tabla en porcentaje), el precio base del combustible (columna) y la relación del precio del combustible de la ECA (fila) utilizando el ejemplo del portacontenedor de 10.000 TEU de la Tabla 10.5-1*

Relación de precios Precio base	1	1.2	1.29	1.4	1.6	1.8	2
\$150	0.0%	6.5%	9.4%	13.1%	19.6%	26.1%	32.7%
\$200	0.0%	7.9%	11.3%	15.7%	23.6%	31.4%	39.3%
\$250	0.0%	8.9%	12.9%	17.9%	26.8%	35.8%	44.7%
\$300	0.0%	9.8%	14.2%	19.7%	29.5%	39.4%	49.2%
<b>\$344</b>	0.0%	10.50%	<b>15.2%</b>	21.1%	31.6%	42.1%	52.7%
\$350	0.0%	10.6%	15.3%	21.2%	31.8%	42.5%	53.1%
\$400	0.0%	11.3%	16.2%	22.6%	33.8%	45.1%	56.4%
\$450	0.0%	11.9%	17.1%	23.7%	35.6%	47.4%	59.3%
\$500	0.0%	12.4%	17.8%	24.7%	37.1%	49.4%	61.8%
\$550	0.0%	12.8%	18.4%	25.6%	38.4%	51.2%	64.0%
\$600	0.0%	13.2%	19.0%	26.4%	39.6%	52.8%	66.0%
\$650	0.0%	13.6%	19.5%	27.1%	40.7%	54.2%	67.8%
\$700	0.0%	13.9%	20.0%	27.7%	41.6%	55.5%	69.4%

## 10.5.2 Evaluación de los fletes marítimos

Mientras que los aumentos de los costos de los viajes se estiman del orden del 7,1 al 16,2 %, el aumento porcentual del flete asociado a la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta es modesto y oscila entre el 0,3 % y el 1,4 % en la mediana de las estimaciones, dependiendo de la mercancía (**Tabla 10.5-3**). El efecto de determinados productos básicos puede variar más ampliamente dentro de la gama de precios observados en el grupo de productos básicos, como se ilustra en la **Tabla 10.5-4**.

*Tabla 10.5-3. Porcentaje de aumento de los costos de combustible por grupo de productos y tipo de buque*

USD por tonelada-km	Agricultura			Producción			Materia prima
	Combinado	Contenedores	Granel limpio	Combinado	Contenedores	Granel sucio	
Percentil 10	2.5%	2.1%	0.4%	4.9%	1.9%	1.3%	1.4%
Percentil 25	2.0%	1.8%	0.4%	1.1%	0.9%	1.3%	0.8%
Mediana	1.4%	1.4%	0.3%	0.5%	0.5%	0.9%	0.4%
Percentil 75	1.1%	1.1%	0.3%	0.4%	0.4%	0.8%	0.3%
Percentil 90	0.8%	0.9%	0.1%	0.3%	0.3%	0.6%	0.3%

*Tabla 10.5-4. Repercusión del costo del combustible en los CTM por tipo de buque para una gama seleccionada de productos básicos*

Producto	MTC por tipo de buque (media de dólares por tonelada-km)		
	Graneles limpios	Contenedores	Graneles sucios
<b>Agricultura en general</b>	0.1%	0.9%	
07: Hortalizas y algunas raíces y tubérculos comestibles		1.0%	
08: Fruta, frutos secos, cáscaras de cítricos, melones comestibles		0.7%	
09: Café, té, mate y especias		0.9%	
10: Cereales	0.2%		
12: Semillas oleaginosas, frutos oleaginosos, granos, semillas, frutos, etc.	0.1%		
19: Cereales, harina, almidón, preparaciones y productos lácteos		0.9%	
22: Bebidas, licores y vinagre		1.2%	
<b>Producción general</b>		0.3%	0.9%
31: Fertilizantes			0.9%
47: Pulpa de madera, material fibroso celulósico, residuos, etc.		1.6%	
48: Papel y cartón, artículos de pasta, papel y cartón		0.8%	
52: Algodón		0.5%	
61: Prendas de vestir, accesorios, de punto o de ganchillo		0.2%	
62: Prendas de vestir, accesorios, no de punto		0.2%	
64: Calzado, polainas y similares, y partes de los mismos		0.2%	
73: Artículos de hierro o acero		0.7%	
84: Reactores nucleares, calderas, maquinaria, etc.		0.5%	
85: Equipos eléctricos y electrónicos		0.4%	
87: Vehículos que no sean de ferrocarril, tranvía		0.4%	
95: Juguetes, juegos y artículos deportivos		0.3%	
<b>Materia prima general</b>			0.4%
25: Sal, azufre, tierra, piedra, yeso, cal y cemento			0.5%
72: Hierro y acero			0.4%

### 10.5.3 Posibilidades de cambio de modo de transporte de mercancías

Este análisis no encuentra pruebas significativas de presión para el cambio de modo de transporte con los costos de viaje estimados asociados a la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta.

Como se muestra en la **Tabla 10.1-2** y la **Tabla 10.2-1**, los CTM son un orden de magnitud inferior a los costos terrestres, por ferrocarril o por camión. Los buques se benefician de importantes economías de escala, ya que mueven eficazmente decenas de miles de contenedores o toneladas de carga a lo largo de las rutas comerciales marítimas. Con la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta, los cambios estimados en los CTM oscilan entre el 0,3 % y el 1,4 % por tonelada-km de carga. El máximo cambio de costo total estimado, para el tránsito completo del Mediterráneo desde la entrada al Canal de Suez en Puerto Said hasta el Estrecho de Gibraltar, es de 1,31 dólares por tonelada de carga (**Tabla 10.5-5**). Para los segmentos de ruta más cortos dentro del Mediterráneo, el cambio estimado en los costos es proporcionalmente menor, ya que los cambios en los costos varían con los cambios en la distancia de tránsito de los buques en la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta.

*Tabla 10.5-5. Costos de flete de referencia entre los pares de origen y destino (USD/tonelada de carga)*

Origen	Destino	Agricultura	Producción	Materia prima	Variación de costos con un 0,10 % S m/m de combustible
Puerto Said	Gibraltar	\$90.86	\$265.66	\$46.11	\$1.31
Algeciras	Fos-sur-Mer	\$34.58	\$101.11	\$17.55	\$0.50
Algeciras	Koper	\$79.10	\$231.27	\$40.14	\$1.14
Génova	Gioia Tauro	\$23.01	\$67.27	\$11.68	\$0.33
Koper	Malta Freeport	\$35.99	\$105.22	\$18.26	\$0.52
Koper	Singapur	\$298.46	\$872.61	\$151.46	\$0.90
Puerto Said	Koper	\$62.51	\$182.77	\$31.72	\$0.90
Lisboa	Jeddah	\$139.37	\$407.46	\$70.72	\$1.31
El Pireo	Limassol	\$24.88	\$72.75	\$12.63	\$0.36
Puerto Said	Beirut	\$10.92	\$31.92	\$5.54	\$0.16
Shanghái	Róterdam	\$494.81	\$1,446.68	\$251.10	\$1.31
Shanghái	Fos-sur-Mer	\$411.96	\$1,204.44	\$209.06	\$1.05
Puerto Said	Fos-sur-Mer	\$73.24	\$214.14	\$37.17	\$1.05
Singapur	Nueva York	\$474.90	\$1,388.45	\$241.00	\$1.31
Tánger	Orán	\$12.28	\$35.90	\$6.23	\$0.18
Tánger	Túnez	\$38.33	\$112.07	\$19.45	\$0.55
Tesalónica	El Pireo	\$12.65	\$36.99	\$6.42	\$0.18
Xiamen	Beirut	\$322.74	\$943.58	\$163.78	\$0.16

Teniendo en cuenta estos costos más elevados de los buques incluidos en el flete y en comparación con el modo terrestre menos rentable, todas las rutas estudiadas muestran que la ruta marítima sigue siendo la opción menos costosa en comparación con la ruta alternativa terrestre de menor costo (**Tabla 10.5-6**).

El análisis del aumento de las tarifas de transporte marítimo necesario para alcanzar el equilibrio con la alternativa terrestre de menor costo, es decir, el punto en el que el cambio de modo de transporte resulta económicamente viable, se presenta en la **Tabla 10.5-7**. Estas estimaciones muestran que las tarifas de transporte marítimo de mercancías tendrían que aumentar entre 1,6 y 32,3 veces para que la alternativa totalmente terrestre fuera económicamente viable. Los ratios suelen ser más bajos para los productos manufacturados, que suelen transportarse en contenedores, y oscilan entre 1,6 y 4,3. Así, los costos del transporte en contenedores tendrían que aumentar entre 1,6 y 4,3 veces antes de que los modos de transporte terrestre fueran viables. Los ratios de equilibrio de las materias primas y de la agricultura son considerablemente más altos, lo que hace que el potencial de cambio de modo de transporte de los buques a granel a las alternativas totalmente terrestres sea menos factible que en el caso de las mercancías en contenedores.

Teniendo en cuenta los cambios estimados en los precios del combustible asociados a la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta, este trabajo no encuentra pruebas de un potencial cambio de modo de transporte.

Tabla 10.5-6. Mayores costos de transporte entre pares O-D en comparación con el modo terrestre (USD/tonelada de carga)

Origen	Destino	Agricultura	Producción	Materia prima	Costo de la vía terrestre	Modo alternativo
Puerto Said	Gibraltar	\$92.17	\$266.97	\$47.42	1,151.81	Carretera
Algeciras	Fos-sur-Mer	\$35.08	\$101.61	\$18.05	276.06	Carretera
Algeciras	Koper	\$80.24	\$232.41	\$41.28	466.09	Carretera
Génova	Gioia Tauro	\$23.34	\$67.60	\$12.01	197.94	Ferrocarril
Koper	Malta Freeport	\$36.51	\$105.74	\$18.78	303.03	Carretera
Koper	Singapur	\$299.36	\$873.51	\$152.36	2,012.99	Carretera
Puerto Said	Koper	\$63.41	\$183.67	\$32.62	542.19	Carretera
Lisboa	Jeddah	\$140.68	\$408.77	\$72.03	1,333.31	Carretera
El Pireo	Limassol	\$25.24	\$73.11	\$12.99	408.12	Carretera
Puerto Said	Beirut	\$11.08	\$32.08	\$5.70	110.05	Carretera
Shanghái	Róterdam	\$496.12	\$1,447.98	\$252.41	2,366.39	Ferrocarril
Shanghái	Fos-sur-Mer	\$413.02	\$1,205.50	\$210.11	2,477.37	Ferrocarril
Puerto Said	Fos-sur-Mer	\$74.30	\$215.20	\$38.22	684.02	Carretera
Singapur	Nueva York	\$476.21	\$1,389.75	\$242.30	Ninguno	
Tánger	Orán	\$12.45	\$36.07	\$6.41	115.48	Carretera
Tánger	Túnez	\$38.88	\$112.63	\$20.00	344.26	Carretera
Tesalónica	El Pireo	\$12.83	\$37.17	\$6.60	89.90	Carretera
Xiamen	Beirut	\$322.89	\$943.74	\$163.94	2,164.73	Ferrocarril

Tabla 10.5-7. Fletes de equilibrio entre los pares de origen y destino (USD/tonelada de carga)

Origen	Destino	Tasa de equilibrio de CTM (USD/t-km)	Ratios de fletes de equilibrio específicos de la ruta necesarios para igualar los costos del modo terrestre		
			Agricultura	Producción	Materia prima
Puerto Said	Gibraltar	0.3207	12.7	4.3	25.0
Algeciras	Fos-sur-Mer	0.2020	8.0	2.7	15.7
Algeciras	Koper	0.1491	5.9	2.0	11.6
Génova	Gioia Tauro	0.2177	8.6	2.9	17.0
Koper	Malta Freeport	0.2130	No se aplica		
Koper	Singapur	0.1707	6.7	2.3	13.3
Puerto Said	Koper	0.2195	8.7	3.0	17.1
Lisboa	Jeddah	0.2421	9.6	3.3	18.9
El Pireo	Limassol	0.4150	No se aplica		
Puerto Said	Beirut	0.2550	10.1	3.4	19.9
Shanghái	Róterdam	0.1210	4.8	1.6	9.4
Shanghái	Fos-sur-Mer	0.1522	6.0	2.1	11.9
Puerto Said	Fos-sur-Mer	0.2363	9.3	3.2	18.4
Singapur	Nueva York	Ninguno	No se aplica		
Tánger	Orán	0.2380	9.4	3.2	18.5
Tánger	Túnez	0.2272	9.0	3.1	17.7
Tesalónica	El Pireo	0.1798	7.1	2.4	14.0
Xiamen	Beirut	0.1697	6.7	2.3	13.2

## 10.6 Efectos de los precios de las materias primas y los productos

### 10.6.1 Efecto del precio del combustible en el servicio de transporte de mercancías a zonas remotas y comunidades insulares

El análisis de las repercusiones de las zonas remotas y las comunidades insulares gira en torno al análisis de los cambios en los costos del transporte marítimo. El cambio modal no es una opción para las zonas remotas o insulares, ya que las conexiones intermodales no existen o son limitadas. Por lo tanto, todos los movimientos de mercancías deben realizarse por mar o por aire. Los costos adicionales del transporte marítimo de mercancías se analizan en la **sección 10.5.3**, y no encontramos pruebas que apoyen la posibilidad de cambio de modo de transporte. El trabajo de la **sección 10.6** proporciona pruebas de que el transporte de mercancías que sirve a las islas y a las zonas remotas no se verá afectado de forma desproporcionada por el cambio en los costos asociados al Med SOX ECA.

Un ejemplo en el que se utiliza el café como producto básico transportado por un buque portacontenedores puede demostrar el efecto en cascada de las variaciones del precio del combustible. En la **Tabla 10.6-1** y la **Figura 10.6-1**, seguimos el cambio de precio del combustible de 99 dólares por tonelada (344 dólares para el combustible de 0,50 % S m/m, que aumentan a 443 dólares para el combustible de 0,10 % S m/m). El precio del combustible aumenta alrededor de un 29 %, lo que representa un incremento de ~16 % en el costo diario del viaje en el mar (véase **Tabla 10.5-1** en la **sección 10.5.1**). Si se añade el aumento del costo del viaje a la mediana del flete (véase **Tabla 10.5-3** en la **sección 10.5.2**), se incrementa el flete para el transporte de cargas agrícolas como el café en ~1,4 %. Dado que el café por tonelada cuesta más de 2.700 dólares por tonelada (véase **Tabla 10.4-1** en la **sección 10.4**), la variación del precio del combustible por tonelada de café es inferior a una décima de porcentaje (0,05 %).

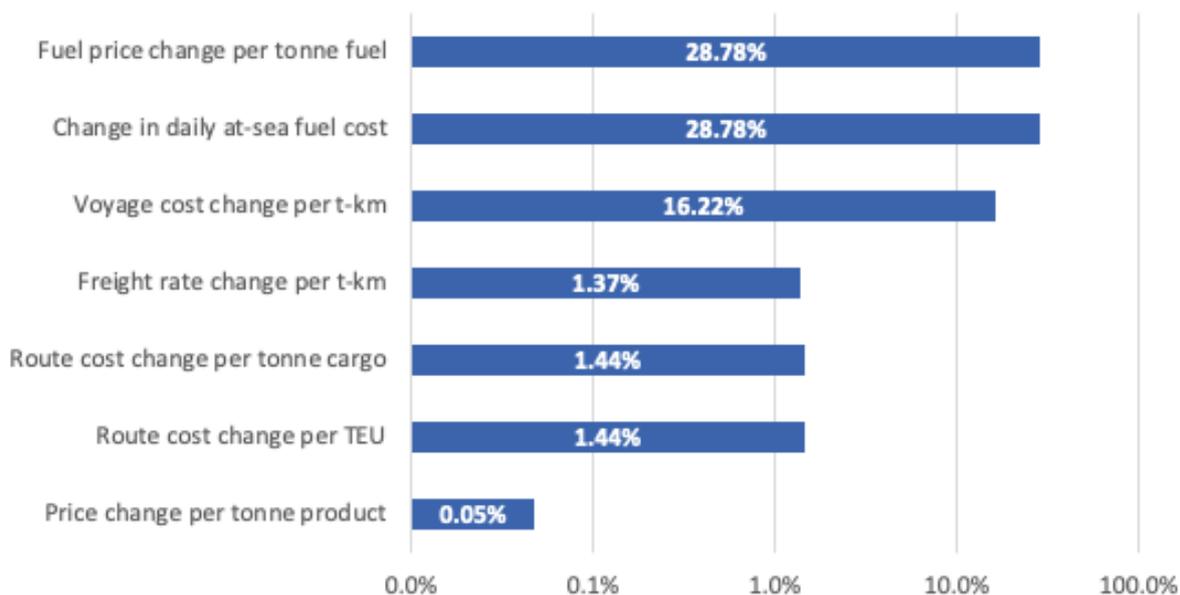


Figura 10.6-1: Ejemplo para el café del precio del combustible incluido en el costo del viaje, los fletes, los costos de la ruta y los precios de los productos

Tabla 10.6-1. Ejemplo de cómo el precio del combustible modifica el costo del viaje, las tarifas, el costo de la ruta y el precio del producto

Diferentes contextos para el efecto del precio	Cambio de precio/costo	Unidades	Porcentaje del costo
Variación del precio del combustible por tonelada de combustible	\$99	USD/tonelada	28.78%
Variación del costo diario del combustible en el mar	\$20,356	USD/día	28.78%
Variación del costo del viaje por t-km	\$0.00036	USD/t-km	16.22%
Variación del flete por t-km	\$0.00036	USD/t-km	1.37%
Variación del costo de la ruta por tonelada de carga	\$1.31	USD/tonelada de carga	1.44%
Cambio en el costo de la ruta por TEU	\$13.08	USD/TEU	1.44%
Cambio de precio por tonelada de producto	\$1.31	USD/tonelada de producto	0.05%

#### 10.6.2 Efecto del precio del combustible en el servicio de pasajeros a zonas remotas y comunidades insulares

El análisis de las repercusiones de las zonas remotas y las comunidades insulares gira en torno al análisis de los cambios en los costos de los pasajeros marítimos. El cambio modal no es una opción para las zonas remotas o insulares, ya que las conexiones intermodales no existen o son limitadas. Por lo tanto, todos los movimientos de pasajeros deben producirse por mar o por aire. A partir de los datos desarrollados en la **sección 10.1.2**, evaluamos si el transporte de pasajeros que presta servicio a las islas y zonas remotas puede verse afectado de forma desproporcionada por el cambio de costos asociado a la Med SO<sub>x</sub> ECA.

Los transbordadores de pasajeros, incluidos los buques RoPax, operan a lo largo de numerosas rutas en el Mar Mediterráneo, como se muestra en la **Figura 10.1-2** y la **Figura 10.1-3**. Como muestra la intensidad de las emisiones en las dos figuras, los buques ROPAX son mucho más emisores de CO<sub>2</sub> y, por tanto, consumen mayores cantidades de combustible. Este trabajo analiza un conjunto de diez rutas de transbordadores en el Mar Mediterráneo. Las rutas de transbordadores analizadas se seleccionaron para las rutas entre el continente y las islas, así como las rutas interinsulares y una ruta costera. Los precios de ida para un pasaje de cubierta reservado para un solo adulto se obtuvieron de las listas de tarifas publicadas para cada una de las rutas que se muestran en la **Tabla 10.6-2**.

Estas estimaciones muestran que los precios de los transbordadores pueden aumentar entre 0,8 y 2,1 euros por billete de pasajero, lo que supone un incremento del 0,8 % al 5 % por pasajero. La bibliografía indica que el EPD para los viajes en transbordador es significativo e inelástico, con un coeficiente de 0,3 (Adler, Dehghani, & Gihring, 2010). Así, utilizando la ecuación de elasticidad de la demanda (Ecuación 1), podemos estimar que la demanda de transporte por transbordador puede verse afectada entre un 0,25 % en la ruta Marsella-Argel, un 1,49 % en la ruta Nápoles-Cagliari y un 1,45 % en la ruta Famagusa-Mersin, a igualdad de condiciones. La interpretación de estos coeficientes demuestra la relación inelástica del transporte por transbordador y los precios de los billetes, ya que la demanda cambia de forma desproporcionada, y en menor medida, que los aumentos de precios estimados.

Tabla 10.6-2. Rutas de transbordadores, distancias, precios y variación del precio del billete con el cambio al 0,10 % S m/m de combustible

Ruta del transbordador	Distancia (NM)	Costo de ida (EUR)	Pasajeros	Cambio en el precio del billete (EUR)	% Cambio
Nápoles - Cagliari	282	42.41	1,845	2.1	5.0%
Barcelona - Porto Torres	307	35	2,794	1.4	4.0%
Marsella - Argel	421	198	2,400	1.6	0.8%
El Pireo - Paros	107	33	1,715	0.8	2.5%
El Pireo - Kos	203	52.5	2,000	1.1	2.1%
El Pireo - Rodas	256	61.5	2,000	1.1	1.8%
Valetta - Pozzallo	53	68	1,120	0.2	0.3%
Mykonos - Naxos	26	14.5	2,400	0.02	0.1%
Famagusa - Mersin	112	42.93	343	0.6	1.5%
Barcelona - Génova	352	49	2,230	1.7	3.5%

De las rutas estudiadas, la ruta interinsular entre Mykonos y Naxos representa la menor variación de precios de las rutas estudiadas, en términos absolutos, y la menor variación porcentual del precio.

Aunque la tabla anterior incluye los cambios estimados en el precio a través de un conjunto de rutas entre pares de puertos específicos, las rutas fueron seleccionadas para ser representativas del posible conjunto de rutas transitadas por los transbordadores en el Mediterráneo. Las rutas de la **Tabla 10.6-2** incluyen tanto las rutas entre el continente y las islas como las rutas interinsulares, representativas de todo el Mediterráneo, y pueden utilizarse para comparar los cambios previstos en los costos entre rutas con parámetros similares.

Los tránsitos de transbordadores por la costa, como la ruta Barcelona-Génova, se muestran en la **Figura 10.1-2**. La economía de los costos de transporte terrestre hace que el tránsito marítimo en transbordador ofrezca normalmente la ruta más económica, para distancias de tránsito equivalentes. Los datos de la **Tabla 10.2-1** muestran que el tránsito en autocar suele costar unos 0,10 dólares por p-km. En la **Tabla 10.6-2**, los datos muestran que el tránsito en transbordador en la ruta Barcelona-Génova cuesta 0,0895 dólares por p-km (suponiendo que 1 dólar = 0,84 euros), y se espera que los cambios de precios estimados aumenten los costos de la ruta a 0,0926 dólares por p-km. Como se ha demostrado, esta diferencia de precios con respecto a la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta es pequeña en términos de precio absoluto y en términos de precio por p-km, y es poco probable que induzca un cambio de modo de transporte a la ruta alternativa terrestre.

En el caso de las islas y las zonas remotas, el transporte aéreo es la única opción distinta del agua para el tránsito de pasajeros hacia y desde esas regiones. Los precios del transporte aéreo suelen ser más variables que los de los transbordadores, ya que responden dinámicamente a los cambios en la demanda reasignando los recursos a las rutas prioritarias y de mayor demanda.

Una revisión de las tarifas aéreas<sup>52</sup> entre las islas griegas muestra que los precios de los vuelos de Atenas a Paros, Kos y Rodas eran de 97, 66 y 57 dólares respectivamente (80,6, 54,9 y 47,4 euros). Los vuelos de Atenas a Paros y Kos son más caros que las respectivas rutas en ferry, mientras que el ferry de Rodas es más caro que la correspondiente tarifa aérea. Es importante tener en cuenta que la selección del modo de transporte por parte de los pasajeros depende de un conjunto de factores, además del precio, como el tiempo de viaje, la disponibilidad de rutas, la comodidad y la capacidad (es decir, el transporte de vehículos). Teniendo en cuenta el precio del tránsito, los cambios estimados en los precios de los

<sup>52</sup> Billeto de ida en clase económica, para un solo pasajero, con 21 días de antelación, el vuelo más barato del día en marzo de 2021.

transbordadores como resultado de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta no inducen el cambio modal en ninguna de las rutas estudiadas.

### 10.7 Elasticidad del precio de la demanda para bienes y productos básicos

La elasticidad precio de la demanda (EPD) mide el cambio en la cantidad demandada de un bien cuando el precio de ese bien cambia, es decir, puede considerarse como la relación entre el cambio porcentual en la cantidad demandada y el cambio porcentual en el precio del bien. La EPD se estima a partir de la fórmula en Ecuación 1 donde  $e_{(p)}$  es la elasticidad precio de la demanda,  $Q$  es la cantidad del bien demandado y  $P$  es el precio del bien.

*Ecuación 1: Elasticidad del precio de la demanda*

$$e_{(p)} = \frac{dQ/Q}{dP/P}$$

La elasticidad precio de la demanda suele ser negativa, es decir, cuando el precio de un bien sube, la cantidad demandada baja, siguiendo la ley de la demanda. Convencionalmente, aunque las estimaciones de la EPD suelen ser negativas, los coeficientes de la EPD se suelen comentar como positivos y se omite el signo negativo del coeficiente. Para los bienes que presentan una demanda elástica, la variación de la cantidad demandada es proporcional, o más que proporcional, a la variación del precio, y la elasticidad es mayor o igual a 1. En el caso de los bienes que presentan una demanda inelástica, la variación de la cantidad demandada cambia menos que proporcionalmente a la variación del precio, y la elasticidad es inferior a 1.

El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) ofrece acceso a un conjunto de elasticidades de productos básicos a través de su base de datos "Commodity and Food Elasticities". Estos datos incluyen las elasticidades de 115 países, incluidas las de 8 grupos de productos básicos de 13 países que son Partes Contratantes del Convenio de Barcelona. Estos productos y sus elasticidades se muestran en la **Tabla 10.7-1** y la **Figura 10.7-1**. Los datos de elasticidad del USDA se complementan con las estimaciones compiladas por Fally y Sayre, 2018 para productos básicos adicionales (**Tabla 10.7-2**). A los efectos de este análisis, la elasticidad del límite superior se asume como una estimación conservadora del máximo efecto posible sobre la demanda de bienes y productos básicos basado en el aumento de los costos asociados a la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta.

*Tabla 10.7-1. Elasticidad del precio de la demanda de 8 grupos de alimentos y bebidas en los Estados costeros del Mediterráneo que son Partes Contratantes del Convenio de Barcelona del USDA*

	Bebidas y tabaco	Pan y cereales	Lácteos	Pescado	Otros alimentos	Fruta y verdura	Carne	Aceite y grasa
<b>recuento</b>	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000
<b>mediana</b>	0.594	0.259	0.493	0.512	0.456	0.366	0.457	0.281
<b>desv. típ.</b>	0.171	0.091	0.126	0.133	0.113	0.094	0.114	0.090
<b>mín.</b>	0.337	0.129	0.294	0.303	0.274	0.217	0.275	0.150
<b>25 %</b>	0.469	0.187	0.407	0.420	0.379	0.300	0.380	0.213
<b>50 %</b>	0.660	0.294	0.529	0.552	0.485	0.393	0.487	0.320
<b>75 %</b>	0.726	0.332	0.599	0.623	0.552	0.445	0.554	0.354
<b>máx.</b>	0.831	0.385	0.641	0.671	0.591	0.476	0.593	0.401

Tabla 10.7-2. Elasticidad del precio de la demanda de determinados productos consumibles y duraderos (Fally y Sayre, 2018)

Producto	Elasticidad del precio de la demanda
Plátanos	-0.566 to -0.738
Cobalto	-0.029 to -0.5
Café	-0.07 to -0.54
Algodón	-0.684
Manganeso	-0.1
Níquel	-0.038

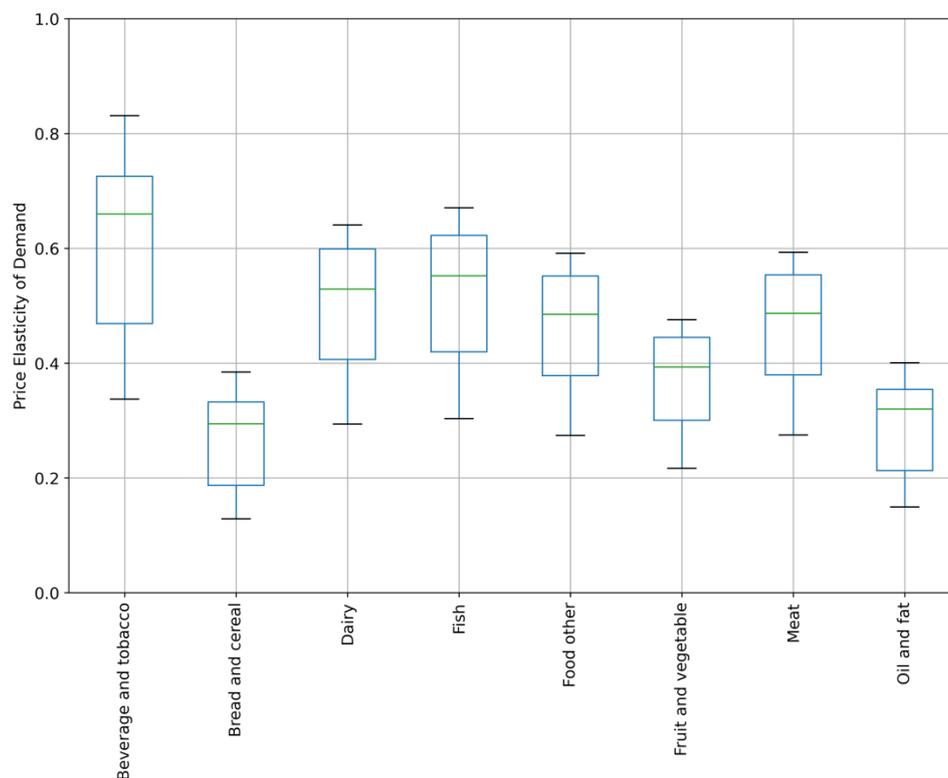


Figura 10.7-1: Elasticidad de precios de la demanda de 8 grupos de productos básicos en los Estados costeros mediterráneos disponibles que son Partes Contratantes del Convenio de Barcelona

Como se ha comentado en la **Tabla 10.5-5**, el aumento máximo del precio, en la ruta de Puerto Said a Gibraltar, un tránsito completo del Mediterráneo, por tonelada de carga es de 1,31 dólares. Suponiendo que este aumento de precio de 1,31 dólares/tonelada se traslade en su totalidad al precio del usuario final del grupo de productos estudiados, el cambio estimado en la demanda se muestra en la **Tabla 10.7-3**. Aplicando la máxima elasticidad por grupo de productos, se observa que el mayor cambio en la demanda corresponde a la roca fosfórica, cuya demanda se estima que disminuirá en un 0,759 %. La roca fosfórica, ingrediente principal de los fertilizantes, es la mercancía de menor costo por tonelada métrica de la lista, por lo que los cambios proyectados en el precio de la carga por tonelada tienen el mayor efecto sobre el precio de la mercancía en términos de cambio porcentual.

Todos los cambios estimados en la demanda son inferiores al 1 %, y menos del 0,1 % en todos los casos estudiados, salvo la roca fosfórica y los plátanos. Como ya se ha dicho, todas las elasticidades muestran una demanda inelástica de los bienes y productos estudiados. Dada la inelasticidad de la demanda, y los cambios relativamente pequeños en los precios de los productos básicos estimados con la Med SO<sub>x</sub>

ECA propuesta, el cambio previsto en la demanda de bienes y productos básicos es generalmente muy pequeño.

*Tabla 10.7-3. Cambio estimado en la demanda de productos básicos basado en el cambio estimado en el precio y la elasticidad del precio de la demanda*

Producto	Precio (\$/t)	Precio nuevo	% de cambio de precio	Elasticidad máxima	% de variación de la demanda
Salmón, fresco	6,940.0	6,941.31	0.019%	0.671	0.013%
Plátanos	1,140.0	1,141.31	0.115%	0.738	0.085%
Café	2,767.2	2,768.55	0.047%	0.831	0.039%
Té	2,200.0	2,201.31	0.060%	0.831	0.049%
Tabaco	4,578.7	4,579.96	0.029%	0.831	0.024%
Roca fosfórica	88.0	89.26	1.489%	0.509	0.759%
Zinc	2,736.6	2,737.90	0.048%	0.5	0.024%
Caucho	1,662.2	1,663.48	0.079%	0.91	0.072%
Madera contrachapada	1,669.8	1,671.08	0.078%	0.91	0.071%
Lana fina	14,183.2	14,184.54	0.009%	0.684	0.006%

## 10.8 Debate sobre los costos totales

Utilizando los precios más recientes del combustible, los costos adicionales estimados de la Med SO<sub>x</sub> ECA serían de 1.761 millones de dólares al año.

Entre los Estados costeros del Mediterráneo, el tráfico de contenedores en 2019 fue de 73.892 millones de TEU. Como ejemplo de primer orden, si todos los costos adicionales del Med SO<sub>x</sub> ECA fueran asumidos por los buques portacontenedores, que representan el 35 % del uso total de combustible en el Mediterráneo, entonces el costo adicional por TEU sería de 8,30 \$/TEU o 0,83 \$/t, suponiendo 10 t por TEU. Este ejemplo demuestra los límites superiores de los costos por tonelada de carga en contenedor, y es muy coherente con los resultados de la **Tabla 10.5-5** en la **sección 10.5.3**, que informan de aumentos de costos específicos por ruta de una media de 7,30 \$/TEU o 0,73 \$/t.

Los cambios estimados en los costos de transporte tendrán efectos tanto transitorios a corto plazo como a largo plazo. A corto plazo, el cambio de precio asociado a los combustibles de 0,10 % S m/m afectará al mercado de forma muy parecida a como lo han hecho anteriormente los cambios en los precios de los combustibles observados, ajustando los fletes para adaptarse a los cambios en los precios de los combustibles. Estos fletes están integrados en los precios de mercado de los productos, tal como se describe en la **sección 10.6**. El análisis muestra que estos costos no son grandes, pero son computables, y la teoría económica sugiere una serie de respuestas del mercado distintas de la disminución de la demanda o la sustitución. Es de esperar que los cambios de costos a largo plazo señalen un ajuste en el mercado, que podría incluir la reducción de costos en otras partes de la cadena de suministro, la mejora de la eficiencia de la manipulación de la carga y la innovación en los procedimientos y la tecnología de transporte, intermodal y de manipulación de la carga.

## 10.9 Resumen de los costos de reducción de las emisiones de los buques

En conclusión, la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta será eficaz para lograr la reducción de las emisiones de SO<sub>x</sub> y PM para los costos dados, la cual supondrá efectos económicos razonables a la industria del transporte marítimo internacional. Por lo tanto, esta propuesta cumple el criterio 3.1.8 del Apéndice III del Anexo VI de MARPOL.

## 11 Referencias

Estas referencias remiten al Estudio Técnico y de Viabilidad.

1. M. Sofiev *et al.*, Cleaner fuels for ships provide public health benefits with climate tradeoffs. *Nature Communications* **9**, 406 (2018).
2. International Standardisation Organization (ISO), "Petroleum Products - Fuels (Class F) - Specifications of Marine Fuels, ISO 8217:2017," *Sixth Edition* (International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2017).
3. Center for International Earth Science Information Network - CIESIN - Columbia University. (NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Palisades, NY, 2016).
4. J. J. Corbett *et al.*, Mortality from ship emissions: a global assessment. *Environmental Science and Technology-Columbus* **41**, 8512 (2007).
5. J. J. Winebrake, J. J. Corbett, E. H. Green, A. Lauer, V. Eyring, Mitigating the Health Impacts of Pollution from Oceangoing Shipping: An Assessment of Low-Sulfur Fuel Mandates. *Environmental Science & Technology* **43**, 4776-4782 (2009).
6. B. Ostro, in *Environmental burden of disease series*. (OMS, 2004), vol. 5.
7. D. W. Dockery *et al.*, An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities. *New England Journal of Medicine* **329**, 1753-1759 (1993).
8. F. Laden, J. Schwartz, F. E. Speizer, D. W. Dockery, Reduction in fine particulate air pollution and mortality: extended follow-up of the Harvard Six Cities study. *American journal of respiratory and critical care medicine* **173**, 667-672 (2006).
9. C. A. Pope, 3rd *et al.*, Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Jama* **287**, 1132-1141 (2002).
10. J. Lepeule, F. Laden, D. Dockery, J. Schwartz, Chronic exposure to fine particles and mortality: an extended follow-up of the Harvard Six Cities study from 1974 to 2009. *Environmental health perspectives* **120**, 965 (2012).
11. X.-y. Zheng *et al.*, Association between air pollutants and asthma emergency room visits and hospital admissions in time series studies: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One* **10**, e0138146 (2015).
12. United Nations, World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables. New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs PD. *Population Division*, (2015).
13. World Health Organization, W. H. Organization, Ed. (2016).
14. World Health Organization, W. H. Organization, Ed. (2018).
15. Global Asthma Network, *The Global Asthma Report 2014* (Auckland, New Zealand, 2014).
16. H. Liu *et al.*, Health and climate impacts of ocean-going vessels in East Asia. *Nature climate change* **6**, 1037 (2016).
17. J. Lepeule, F. Laden, D. Dockery, J. Schwartz, Chronic exposure to fine particles and mortality: an extended follow-up of the Harvard Six Cities study from 1974 to 2009. *Environ Health Perspect* **120**, 965-970 (2012).
18. R. T. Burnett *et al.*, An integrated risk function for estimating the global burden of disease attributable to ambient fine particulate matter exposure. *Environ Health Perspect* **122**, 397-403 (2014).
19. World Health Organization, *Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease.*, (World Health Organization, 2016).
20. Bunker Index. (Bunker Index, United Kingdom, 2018), vol. 2018.
21. International Monetary Fund. (retrieved from FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis., 2018), vol. 2018.
22. U.S. Bureau of Labor Statistics. (retrieved from FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis., 2018), vol. 2018.
23. E. W. Carr, J. J. Corbett, Ship Compliance in Emission Control Areas: Technology Costs and Policy Instruments. *Environmental Science & Technology* **49**, 9584-9591 (2015).

24. S. De Bruyn *et al.*, Shadow prices handbook: valuation and weighting of emissions and environmental impacts. *CE Delft, Delft, the Netherlands.*[online] URL: [http://www.cedelft.eu/publicatie/shadow\\_prices\\_handbook\\_%3A\\_valuation\\_and\\_weighting\\_of\\_emissions\\_and\\_environmental\\_impacts/1032 Ecology and Society](http://www.cedelft.eu/publicatie/shadow_prices_handbook_%3A_valuation_and_weighting_of_emissions_and_environmental_impacts/1032_Ecology_and_Society) **21**, 10 (2010).
25. P. Hammingh *et al.*, *Effectiveness of international emission control measures for North Sea shipping on Dutch air quality.* (2019).
26. W. K. Viscusi, C. J. Masterman, Income elasticities and global values of a statistical life. *Journal of Benefit-Cost Analysis* **8**, 226-250 (2017).

Estas referencias se refieren a otras referencias distintas de las del Estudio Técnico y de Viabilidad.

- Abbass, Rana Alaa, Prashant Kumar, and Ahmed El-Gendy. 2018. “An Overview of Monitoring and Reduction Strategies for Health and Climate Change Related Emissions in the Middle East and North Africa Region.” *Atmospheric Environment* 175 (November 2017): 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.11.061>.
- Adler, T., Dehghani, Y., & Gihring, C. (2010). Estimating price elasticities of ferry demand. *Transportation Research Record*, (2176), 59–66. <https://doi.org/10.3141/2176-07>
- Arvis, J.-F., Vesin, V., Carruthers, R., Ducruet, C., & de Langen, P. (2019). *Maritime Networks, Port Efficiency, and Hinterland Connectivity in the Mediterranean.* Washington, D.C: World Bank Group. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1274-3>
- Boyd, Gale, J Molburg, and Raymond Prince. 1996. “Alternative Methods of Marginal Abatement Cost Estimation: Non-Parametric Distance Functions.” Argonne National Lab., IL (United States). *Decision and Information Sciences* ....
- CE Delft. 2010. “Shadow Prices Handbook Valuation and Weighting of Emissions and Environmental Impacts,” no. March: 1–140. [http://www.ce.nl/?go=home.downloadPub&id=1032&file=7788\\_defMainReportMaKMV\\_1271765427.pdf](http://www.ce.nl/?go=home.downloadPub&id=1032&file=7788_defMainReportMaKMV_1271765427.pdf).
- . 2018. “Environmental Prices Handbook EU28 Version - Methods and Numbers for Valuation of Environmental Impacts.” CE Delft, 175. [https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/04/CE\\_Delft\\_7N54\\_Environmental\\_Prices\\_Handbook\\_EU28\\_version\\_Def\\_VS2020.pdf](https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/04/CE_Delft_7N54_Environmental_Prices_Handbook_EU28_version_Def_VS2020.pdf).
- Ceuster, G. De, Herbruggen, B. van, & Logghe, S. (2006). *TREMOVE: Description of model and baseline version 2.41, Draft Report.* (TRANSPORT & MOBILITY LEUVEN, Ed.). Brussels, Belgium: European Commission. Retrieved from <http://www.tremove.org/>
- Cofala, Janusz, Markus Amann, Jens Borken-Kleefeld, Adriana Gomez-Sanabria, Chris Heyes, Gregor Kiesewetter, Robert Sander, et al. 2018. “Final Report The Potential for Cost-Effective Air Emission Reductions from International Shipping through Designation of Further Emission Control Areas in EU Waters with Focus on the Mediterranean Sea.” IIASA - Air Quality and Greenhouse Gases (AIR).
- Coggins, Jay S, and John R Swinton. 1996. “The Price of Pollution: A Dual Approach to Valuing SO<sub>2</sub> allowances.” *Journal of Environmental Economics and Management* 30 (1): 58–72.
- Corbett, James J., James J. Winebrake, Erin H. Green, Prasad Kasibhatla, Veronika Eyring, and Axel Lauer. 2007. “Mortality from Ship Emissions: A Global Assessment.” *Environmental Science and Technology* 41 (24): 8512–18. <https://doi.org/10.1021/es071686z>.
- Corbett, J. J., & Carr, E. W. (2019). *REMPEC WG.45/INF9 Technical and feasibility study to examine the possibility of designating the Mediterranean Sea, or parts thereof, as SO<sub>x</sub> ECA(s) under MARPOL Annex VI.* Valletta, Malta. Retrieved from <https://www.rempec.org/en/knowledge-centre/online-catalogue/2019/rempec-wg-45-inf-9-technical-and-feasibility-study-to-examine-the-possibility-of-designating-the-mediterranean-sea-or-parts-thereof-as-sox-eca-s-under-marpol-annex-vi-english-only>
- Crippa, Monica, Efisio Solazzo, Ganlin Huang, Diego Guizzardi, Ernest Koffi, Marilena Muntean, Christian Schieberle, Rainer Friedrich, and Greet Janssens-Maenhout. 2020. “High Resolution

- Temporal Profiles in the Emissions Database for Global Atmospheric Research.” Scientific Data. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0462-2>.
- Dang, T, and A Mourougane. 2014. “Estimating Shadow Prices of Pollution in Selected OECD Countries.” OECD Green Growth Papers 2014–02 (August).
- Dulière, V., Baetens, K., & Lacroix, G. (2020). Potential impact of wash water effluents from scrubbers on water acidification in the southern North Sea. RBINS. Retrieved from [http://biblio.naturalsciences.be/library-1/rbins-staff-publications-2020/Scrubber\\_report.2020](http://biblio.naturalsciences.be/library-1/rbins-staff-publications-2020/Scrubber_report.2020)
- EEA. 2020a. “Air Quality E-Reporting (AQ e-Reporting).” 2020. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/aqereporting-8>.
- . 2020b. “The European Environment - State and Outlook 2020. Knowledge for Transition to a Sustainable Europe.” <https://doi.org/10.15196/TS600305>.
- EPA. 2009. “Proposal to Designate an Emission Control Area for Nitrogen Oxides, Sulfur Oxides and Particulate Matter: Technical Support Document.” U.S. Environmental Protection Agency.
- EU. 2016. “National Emissions Ceilings (NEC) Directive (2016/2284/EU).”
- EU. (2020). Commodity Price Dashboard, (100). Retrieved from [https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/farming/documents/commodity-price-dashboard\\_092020\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/farming/documents/commodity-price-dashboard_092020_en.pdf)
- European Commission. 1999. “Economic Evaluation of a Directive on National Emission Ceilings for Certain Atmospheric Pollutants.”
- . 2020. “National Emission Reduction Commitments Directive Reporting Status 2020 Key Messages,” 1–16.
- European Commission. (2017). Study on Mediterranean TEN-T Core Network Corridor, 2nd Phase, Final Report. Brussels, Belgium.
- European Commission. (2018). In-depth analysis in support on the COM(2018) 773: A Clean Planet for all - A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy. Brussels, Belgium. Retrieved from [https://ec.europa.eu/knowledge4policy/publication/depth-analysis-support-com2018-773-clean-planet-all-european-strategic-long-term-vision\\_en](https://ec.europa.eu/knowledge4policy/publication/depth-analysis-support-com2018-773-clean-planet-all-european-strategic-long-term-vision_en)
- European Commission. (2020). COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS, Stepping up Europe’s 2030 climate ambition, Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people. Brussels, Belgium. Retrieved from [https://ec.europa.eu/knowledge4policy/publication/communication-com2020562-stepping-europe-s-2030-climate-ambition-investing-climate\\_en](https://ec.europa.eu/knowledge4policy/publication/communication-com2020562-stepping-europe-s-2030-climate-ambition-investing-climate_en)
- Faber, J., Hanayama, S., Yuan, S., P., Z., H., P., Comer, B., ... Yuan, H. (2020). MEPC 75/7/15 Fourth IMO GHG Study 2020 - Final Report. London, UK. Retrieved from <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx>
- Färe, Rolf, Shawna Grosskopf, Dong-Woon Noh, and William Weber. 2005. “Characteristics of a Polluting Technology: Theory and Practice.” *Journal of Econometrics* 126 (2): 469–92.
- Hassellöv, Ida Maja, David R. Turner, Axel Lauer, and James J. Corbett. 2013. “Shipping Contributes to Ocean Acidification.” *Geophysical Research Letters*. <https://doi.org/10.1002/grl.50521>.
- Hassellöv, I.-M., Koski, M., Broeg, K., Marin-Enriquez, O., Tronczyński, J., Dulière, V., ... Parmentier, K. (2020). *ICES VIEWPOINT BACKGROUND DOCUMENT: IMPACT FROM EXHAUST GAS CLEANING SYSTEMS (SCRUBBERS) ON THE MARINE ENVIRONMENT (AD HOC)*. Copenhagen, Denmark: International Council for the Exploration of the Sea. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.7487>
- International Transport Forum, Kirstein, L., Halim, R., & Merk, O. (2018). *Decarbonising Maritime Transport*. Paris, France. <https://doi.org/10.1787/b1a7632c-en>
- Korinek, J. (2008). Clarifying trade costs in maritime transport. Organization for Economic Co-Operation and Development, (2011), 1–41. Retrieved from [https://www.oecd-ilibrary.org/trade/clarifying-trade-costs\\_220157847513](https://www.oecd-ilibrary.org/trade/clarifying-trade-costs_220157847513)

- He, Ling Yun, and Jia Ou. 2017. "Pollution Emissions, Environmental Policy, and Marginal Abatement Costs." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14 (12). <https://doi.org/10.3390/ijerph14121509>.
- Lee, Jeong-Dong, Jong-Bok Park, and Tai-Yoo Kim. 2002. "Estimation of the Shadow Prices of Pollutants with Production/Environment Inefficiency Taken into Account: A Nonparametric Directional Distance Function Approach." *Journal of Environmental Management* 64 (4): 365–75.
- Maibach, M., Martin, P., & Sutter, D. (2006). Annex 1 to COMPETE Final Report: Analysis of operating cost in the EU and the US. Karlsruhe, Germany.
- Mekaroonreung, Maethee, and Andrew L Johnson. 2012. "Estimating the Shadow Prices of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> for U.S. Coal Power Plants: A Convex Nonparametric Least Squares Approach." *Energy Economics* 34 (3): 723–32.
- Ministry of Environmental Protection. 2019. "Clean Air Law, 2008." 2019.
- MoE. 2017. "Lebanon's National Strategy for Air Quality Management 2015 - 2030."
- Negev, Maya. 2020. "Air Pollution Policy in Israel." *Atmosphere* 11 (10). <https://doi.org/10.3390/atmos11101065>.
- Pope, C Arden, Richard T Burnett, Michael J Thun, Eugenia E Calle, Daniel Krewski, Kazuhiko Ito, and George D Thurston. 2002. "Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-Term Exposure to Fine Particulate Air Pollution." *Jama* 287 (9): 1132–41.
- Principaute de Monaco. 2019. "L'Environnement in the Principality of Monaco."
- Rouïl, Laurence, Catherine Ratsivalaka, Jean-Marc André, and Nadine Allemand. 2019. "ECAMED: A Technical Feasibility Study for the Implementation of an Emission Control Area (ECA) in the Mediterranean Sea," 94. <https://www.ineris.fr/en/ineris/news/ecamed-conclusions-technical-feasibility-study-implementing-emissions-control-area-eca>.
- Schmolke, S., Ewert, K., Kaste, M., Schöngaßner, T., Kirchgeorg, T., & Marin-Enriquez, O. (2020). *Environmental Protection in Maritime Traffic –Scrubber Wash Water Survey*. Hamburg, Germany. <https://doi.org/ISSN 1862-4804>
- Sofiev, Mikhail, James J Winebrake, Lasse Johansson, Edward W Carr, Marje Prank, Joana Soares, Julius Vira, Rostislav Kouznetsov, Jukka-Pekka Jalkanen, and James J Corbett. 2018. "Cleaner Fuels for Ships Provide Public Health Benefits with Climate Tradeoffs." *Nature Communications* 9 (1): 406. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02774-9>.
- Swinton, John R. 1998. "At What Cost Do We Reduce Pollution? Shadow Prices of SO<sub>2</sub> Emissions." *The Energy Journal* 19 (4).
- Syrian Arab Republic. 2018. "Nationally Determined Contributions Under Paris Agreement on Climate."
- Teuchies, J., Cox, T. J. S., Van Itterbeeck, K., Meysman, F. J. R., & Blust, R. (2020). The impact of scrubber discharge on the water quality in estuaries and ports. *Environmental Sciences Europe*, 32(1), 103. <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00380-z>
- Tu, Z G. 2009. "The Shadow Price of Industrial SO<sub>2</sub> Emission: A New Analytic Framework." *China Econ Quart* 9 (1): 259–82.
- Turner, Judi A. 1995. "Measuring the Cost of Pollution Abatement in the U.S. Electric Utility Industry: A Production Frontier Approach." University of North Carolina at Chapel Hill.
- UMAS, L. R. and. (2020). Techno-economic assessment of zero-carbon fuels. London, UK. Retrieved from <https://www.lr.org/en/insights/global-marine-trends-2030/techno-economic-assessment-of-zero-carbon-fuels/>
- UN. 2017. "Factsheet on Air Quality in Bosnia and Herzegovina," 1–8.
- UNECE. 2015. Environmental Performance Reviews: Montenegro. Third Review. Environmental Performance Reviews Series No. 41.
- . 2019. "'Protocols', United Nations Economic Commission for Europe." 2019.
- UNEP. 2015a. "Libyan Arab Jamahiriya Air Quality Overview." <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/17040/Libya.pdf?sequence=1&isAlloWed=y>.
- . 2015b. "Syrian Arab Republic Air Quality Overview." <https://www.unenvironment.org/resources/policy-and-strategy/air-quality-policies-syria>.

- . 2015c. “Turkey Air Quality Overview.” <https://www.unenvironment.org/resources/policy-and-strategy/air-quality-policies-turkey>.
- Viana, M, N Fann, A Tobías, X Querol, D Rojas-Rueda, A Plaza, G Aynos, J A Conde, L Fernández, and C Fernández. 2015. “Environmental and Health Benefits from Designating the Marmara Sea and the Turkish Straits as an Emission Control Area (ECA).” *Environmental Science & Technology* 49 (6): 3304–13. <https://doi.org/10.1021/es5049946>.
- Winebrake, J. J., J. J. Corbett, E. H. Green, A. Lauer, and V. Eyring. 2009. “Mitigating the Health Impacts of Pollution from Oceangoing Shipping: An Assessment of Low-Sulfur Fuel Mandates.” *Environmental Science and Technology* 43 (13): 4776–82. <https://doi.org/10.1021/es803224q>.
- Winebrake, J. J., Corbett, J. J., Comer, B., Green, E., Silberman, J. A., & Korfmacher, K. (2010). *Analysis of Impacts of Category 3 Marine Rule on Great Lakes Shipping*. Pittsford, NY: Energy and Environmental Research Associates.
- World Bank. 2013. “The Arab Republic of Egypt For Better or for Worse: Air Pollution in Greater Cairo” Report No. (April 2013): 150.
- Zeebroeck, B. Van, Ceuster, G. De, & Herbruggen, B. Van. (2006). TREMOVE 2: Maritime model and runs. (TRANSPORT & MOBILITY LEUVEN, Ed.). Brussels, Belgium: European Commission. Retrieved from <http://www.tmlleuven.be/methode/tremove/home.htm>
- Zhang, Fenfen, Jia Xing, Yang Zhou, Shuxiao Wang, Bin Zhao, Haotian Zheng, Xiao Zhao, et al. 2020. “Estimation of Abatement Potentials and Costs of Air Pollution Emissions in China.” *Journal of Environmental Management* 260 (January): 110069. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110069>.

## ANEXO 2

### Descripción de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta

El área de aplicación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta incluye las aguas internas del Mar Mediterráneo, según la definición de la Organización Hidrográfica Internacional.

En concreto, la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta incluye todas las aguas delimitadas por las costas de Europa, África y Asia, y

- a. la entrada occidental del Estrecho de Gibraltar, definida como una línea que une los extremos del Cabo de Trafalgar, España (36°11'N, 6°02'O) y el Cabo Espartel, Marruecos (35°48'N, 5°55'O);
- b. los Dardanelos, definidos como una línea que une Mehmetcik Burnu<sup>53</sup> (40°03'N, 26°11'E) y Kumkale Burnu (40°01'N, 26°12'E); y
- c. la entrada norte del Canal de Suez.

---

<sup>53</sup> Burnu (turco) = Cabo.

**ANEXO 3****Cuadro de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta**

El área de aplicación de la Med SO<sub>x</sub> ECA propuesta incluye las aguas internas del Mar Mediterráneo, tal y como las define la Organización Hidrográfica Internacional y se muestran en el gráfico anterior.

## ANEXO 4

### **Propuestas de modificación de la regla 14.3 y del Apéndice VII del Anexo VI de MARPOL para designar la Med SO<sub>x</sub> ECA como nueva zona de control de emisiones**

La zona propuesta para la designación de la ECA, la zona del Mar Mediterráneo, comprende el Mar Mediterráneo propiamente dicho, incluidos los golfos y mares que lo componen, con el límite entre el Mar Mediterráneo y el Mar Negro constituido por el paralelo 41° N y limitado al oeste por el Estrecho de Gibraltar en el meridiano 005°36' W, tal como se define en la regla 1.11.1 del Anexo I de MARPOL.

Se propone modificar el párrafo 3 de la regla 14 y el párrafo 1 del Apéndice VII del Anexo VI de MARPOL como sigue (véase el texto subrayado):

#### **Regla 14**

*Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) y partículas*

El texto actual del apartado 3 se sustituye por el siguiente:

"3 A los efectos de este reglamento, las zonas de control de emisiones incluirán:

- .1 la zona del Mar Mediterráneo definida en la regla 1.11.1 del Anexo I, la zona del Mar Báltico definida en la regla 1.11.2 del Anexo I y la zona del Mar del Norte definida en la regla 1.14.6 del Anexo V;
- .2 la zona de América del Norte descrita por las coordenadas que figuran en el Apéndice VII del presente Anexo;
- .3 la zona del Mar Caribe de Estados Unidos descrita por las coordenadas que figuran en el Apéndice VII del presente Anexo; y
- .4 cualquier otra zona marítima, incluida cualquier zona portuaria, designada por la Organización de conformidad con los criterios y procedimientos establecidos en el Apéndice III del presente Anexo".

#### **Apéndice VII**

##### **Zonas de control de emisiones (reglamentos 13.6 y 14.3)**

El texto actual del apartado 1 se sustituye por el siguiente:

"1 Los límites de las zonas de control de emisiones designadas en virtud de las reglas 13.6 y 14.3, distintas de las zonas del Mar Mediterráneo, el Mar Báltico y el Mar del Norte, se establecen en este apéndice".