

LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR LOS BUQUES, SU IMPACTO EN CUBA

Dr.C. Liván Lazo Porta¹
Ing. Manuel Gaspar Fuertes Ruíz²

¹GEOCUBA Estudios Marinos. Punta Santa Catalina. Regla. Cuba
Teléfono: +53 54310027. E-mail: livan@emarinos.geocuba.cu; naspelivan@nauta.cu

²IPIN-Cuba. Desamparados No. 201 Edif. Muelle "Juan Manuel Díaz".Cuba
E-mail: manuel fuertes954@gmail.com

RESUMEN

La industria marítima es responsable de aproximadamente el 14-15% de las emisiones globales de NOx y del 16% de las emisiones globales de SOx. Uno de los mayores contribuyentes que inciden en la cantidad de contaminantes que se vierten a la atmósfera, es el rendimiento del sistema de propulsión de los buques, el cual se valora para incluirlo en los cálculos de inventarios de emisiones para evaluar, con más precisión, la incidencia de este parámetro sobre la cantidad de gases emitidos.

El transporte marítimo es uno de los sectores que contribuye, muy significativamente, a la contaminación atmosférica, sobre todo en áreas costeras. En la actualidad, los inventarios de emisiones del transporte marítimo utilizados a escala mundial, tienen sus grados de incertidumbre. Un elemento que impacta en este factor está dado a que las mayores emisiones ocurren durante las maniobras de atraque, desatraque y navegación a baja velocidad realizadas por los buques y embarcaciones dentro del puerto, por lo que las áreas aledañas a los puertos son los mayores receptores de esta contaminación.

Por ello, el aumento de estas cantidades emitidas en todo el mundo ha obligado a la Organización Marítima Internacional a emitir una legislación marítima para reducir así, los impactos ambientales adversos derivados de tales emisiones. La reducción de emisiones producidas por los buques se ha convertido en unos de los principales desafíos técnicos y económicos que enfrentan los operadores de los buques.

En el trabajo se expone la tendencia, a nivel mundial y el estado actual de esta problemática en Cuba y vías de solución; así como un análisis sobre sistemas tecnológicos diseñados para la reducción de estas emisiones y su inserción en buques de nueva construcción, en función de las características del buque y del área de navegación.

ABSTRACT

The maritime industry is responsible for approximately 14-15% of global NOx emissions and 16% of global SOx emissions. One of the largest contributors that affect the amount of pollutants that are discharged into the atmosphere is the performance of the ship's propulsion system, which is valued to include it in the emission inventory calculations to evaluate, more precisely, the incidence of this parameter on the amount of gases emitted.

Maritime transport is one of the sectors that contributes, very significantly, to air pollution, especially in coastal areas. Currently, the inventories of maritime transport emissions used worldwide have their degrees of uncertainty. An element that impacts this factor is due to the fact that the highest emissions occur during docking, undocking and low-speed navigation maneuvers carried out by ships and vessels within the port, so the areas adjacent to the ports are the largest receivers of this pollution.

Therefore, the increase in these amounts issued worldwide has forced the International Maritime Organization to issue maritime legislation to reduce the adverse environmental impacts derived from such emissions. The reduction of emissions produced by ships has become one of the main technical and economic challenges faced by ship operators.

In the work the tendency is exposed, worldwide and the current state of this problem in Cuba and ways of solution; as well as an analysis of technological systems designed for the reduction of these emissions and their insertion in newly built ships, depending on the characteristics of the ship and the navigation area.

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace varios años el sector del transporte trabaja arduamente por incrementar la eficiencia con el empleo de combustibles limpios. Si bien las emisiones de CO₂ disminuyen en otros sectores de la economía mundial, los análisis y predicciones sobre la explotación del transporte marítimo a nivel global, se presagia que las emisiones continuarán aumentando en el futuro.

El sector marítimo constituye uno de los principales gestores de la economía mundial, siendo el responsable del transporte del 90% de mercancías a nivel internacional. En la actualidad el 3% de las emisiones globales antropogénicas de CO₂ proviene de la industria marítima y se espera que continúe su incremento a partir de las problemáticas asociadas con la implementación de medidas eficaces y efectivas, en busca de lograr una verdadera eficiencia de combustible a partir del reemplazo de los combustibles fósiles. Es por ello que se trabaja arduamente por mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero proveniente del transporte marítimo.

En este particular, la Organización Marítima Internacional (OMI) es la responsable a nivel global de regular los aspectos relativos al transporte marítimo; por lo que estudia, desde varios años, las afectaciones medioambientales asociada con esta industria con el propósito de reducir la contaminación al medio marino y a la atmósfera producto a la explotación de los buques. Por tal motivo, la OMI desde el 2011 trabaja en la Eficiencia Energética, desarrollando normativas y directrices sobre la Eficiencia Energética y su gestión a bordo de los buques. Como resultado el Anexo VI del Convenio Internacional Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los Buques o MARPOL 73/78 MARPOL (2013), fue enmendado en el año 2011, entrando en vigor el 1 de enero de 2013, denominado Anexo VI donde se aborda la prevención de emisiones de CO₂ y los aspectos relacionado con la Eficiencia Energética de los buques.

En el caso particular de América Latina y el Caribe, el transporte marítimo también es el responsable de más del 90% de todos los movimientos de carga internacional en términos de volumen y es, por lo tanto, el facilitador más importante de la participación de la región en el comercio mundial (Wilmsmeier y Hesse, 2011). No obstante, el estudio del estado del arte evidencia que la eficiencia energética, en el sector marítimo a nivel regional no ha recibido toda la atención que amerita. Sin embargo, la economía regional se esfuerza por ser más competitiva en el comercio internacional y esto, junto con el creciente costo de los combustibles marinos, ha presionado a la industria para que explote combustibles más eficientes. Como la eficiencia del combustible está indisolublemente ligada a las emisiones al aire, las medidas y las políticas que contribuyan a lograr una mayor eficiencia energética contribuirán a la disminución de los niveles de emisión de gases efecto invernadero.

El estudio y análisis sobre esta temática ha conducido a que las investigaciones se orienten hacia el análisis de la eficiencia energética empleando como fuentes de energía los combustibles alternativos; lo cual posibilitará el uso de energía técnica, operativa y estructural en función de la implementación de medidas de ahorro para el ámbito marítimo. Sin embargo, resulta evidente que aún quedan brechas entre el conocimiento actual y la implementación de medidas de eficiencia energética por parte de las compañías navieras (Styhre y Winnes, 2013). Se conoce que otras industrias han tomado una serie de medidas en busca de mejorar la eficiencia del combustible; pero en el caso de la industria marítima todavía muchas de estas medidas aún no se han implementado a pesar de que se reconoce la rentabilidad en el empleo de medidas efectivas y el uso de combustibles alternativos. A esta situación se le denomina como la brecha de eficiencia energética. También se conoce la existencia de una extensa lista de barreras que explican la no adopción de medidas. Sorrell y otros (2004) resumieron estas barreras como riesgo, información imperfecta, costos ocultos, acceso al capital, incentivos divididos y racionalidad limitada.

2. OBJETIVO

El presente trabajo aborda, de manera panorámica, una visión general del estado actual de la prevención de la contaminación del aire ocasionado por los buques, las particularidades en Cuba y el análisis de la eficiencia energética en la industria marítima.

El análisis tiene como alcance espacial el área de América Latina, el Caribe y su impacto en nuestro país; toda vez que se ilustra las emisiones al aire y al combustible consumido por diferentes modos de transporte.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. EFICIENCIA ENERGÉTICA

En correspondencia al rendimiento de los sistemas de propulsión instalados en los buques, los expertos abogan por la denominada Eficiencia Energética (EE) que no es más que consumir menos; o poca energía conservando el mismo confort y calidad de vida, consiguiendo el mismo rendimiento o realizando la misma función obteniendo así un ahorro superior. Es por tanto que la eficiencia energética se centra en la tecnología, el equipamiento o la maquinaria empleada a bordo del buque. La implementación de esta tecnología se convierte en la mejor aliada de la eficiencia energética, debido a que la nueva tecnología que se desarrolla requerirá cada vez menos de una cierta cantidad de energía. Es por ello que se insta a que este parámetro sea incluido en los cálculos de inventarios de emisiones para evaluar con mayor precisión la incidencia de este parámetro sobre la cantidad de gases emitidos. En la actualidad los volúmenes de gases emitidos al aire se acrecientan durante las maniobras de atraque, desatraque y navegación a baja velocidad realizadas por los buques y embarcaciones dentro del puerto.

En la figura 1 se muestra la contaminación producida por un buque en la maniobra dentro de un recinto portuario, mientras que en la figura 2 se expone un gráfico comparativo entre varios modos de transporte donde se expresa en gramos por toneladas/km la cantidad de emisiones de CO₂ emitida por cada tipo de transporte.



Fig. 1. Contaminación de un buque en maniobra.

Fuente: www.imo.org

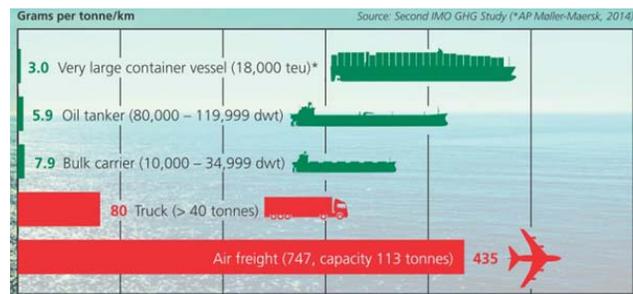


Fig. 2. Comparación de emisiones de CO₂ en diferentes medios de transporte.

Fuente: Second IMO GHG Study (*AP Moller- Maersk, 2014)

Considerando las particularidades del transporte marítimo y la contaminación del aire producida por los buques, la Organización Marítima Internacional (OMI), en la enmienda del Anexo VI del MARPOL 73/78 aborda la prevención de emisiones de CO₂, que tiene como aspecto novedoso la conceptualización e implementación de un nuevo indicador: el Índice de Eficiencia Energética de Proyecto (EEDI, siglas en idioma inglés), el cual que relaciona la cantidad de emisiones de CO₂ que puede producir un buque dado, en función del tipo de buque y su tamaño.

Este concepto (“*Energy Efficiency Design Index*” o Índice de Eficiencia Energética de Proyecto) y el EEOI (“*Energy Efficiency Operational Index*” o Índice Operacional de Eficiencia Energética) aparece por primera vez en la MEPC 59 (abril, 2009). El cumplimiento de este indicador es de carácter obligatorio para todos los buques de nueva construcción. Además, otro nuevo término que surge es el Plan de Gestión de la Eficiencia Energética del Buque (SEEMP, siglas e idioma inglés). Este tipo de plan se ha concebido como una herramienta operativa para mejorar eficiencia energética. En la actualidad, a pesar del surgimiento de estas nuevas regulaciones existen varios autores (Bazari y Longva, 2011; Anderson y Bows, 2012) que en sus investigaciones prevén que aumente el consumo de combustible y por tanto el valor de las emisiones de CO₂, emisiones de dióxido de azufre (SO₂) y las partículas (PM) aunque se encuentran reguladas de acuerdo con el contenido de azufre del combustible.

Estudios investigados manifiestan que existe una correlación directa entre las emisiones de SO₂ las emisiones de PM y el contenido de azufre.

3.2. DISEÑO DE EMBARCACIONES Y LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

La OMI ha tomado una serie de medidas técnicas para reducir el consumo de combustible a partir del empleo de motores marinos altamente eficiente la utilización de trenes de potencia, perfiles de flujo optimizados alrededor casco, timón y hélice, e innovaciones como el arco con bulbo. Se estima que las medidas de diseño podrían reducir potencialmente las emisiones de CO₂ del 10% al 50%.

Las decisiones sobre la eficiencia energética ya están incluidas, en gran medida, en las fases conceptuales del diseño del buque. Entre los parámetros más importantes del buque en función a la eficiencia energética se encuentran las dimensiones del barco: longitud, anchura, profundidad y desplazamiento.

Otro aspecto para reducir las emisiones de contaminantes al aire lo constituyen el uso de técnicas de lavado de gases de escape conocidos como *scrubbers*. Esta técnica permite limpiar los gases de escape de los motores marinos que utilizan hidrocarburos residuales con alto contenido en azufre y combustible diésel es una opción más económica para reducir las emisiones de SO_x de aire como requiere el Anexo VI del Convenio Internacional MARPOL para la prevención de la contaminación por los buques.

Los EGCS utilizados en la actualidad para el control del azufre son conocidos comúnmente como *scrubbers* de SO_x. En un *scrubber* húmedo, el gas de escape se mezcla con el agua de lavado y los componentes solubles en agua de los gases de escape se eliminan por disolución en el agua de lavado. Los *scrubbers* de SO_x son capaces de eliminar hasta el 95 % de los gases de escape de SO_x de los buques (EGCSA, 2010).

Al eliminar el azufre de los gases de escape, el *scrubber* también elimina la mayor parte de las partículas en suspensión directas de sulfato. Los sulfatos son una gran parte de las partículas que provienen de los buques que operan con combustibles altos en azufre. Mediante la reducción de las emisiones de SO_x, el *scrubber* también controla la mayor parte de las partículas secundarias que se forman en la atmósfera a partir de esas emisiones.

El agua de lavado generada por un EGCS puede contener contaminantes de tres fuentes:

- Los contaminantes recogidos de los gases de escape procedentes de motores (productos de combustión, combustibles y lubricantes)
- La fuente de agua de lavado utilizada para limpiar los gases de escape (agua de mar o agua dulce)
- El propio *scrubber* (disolución de materiales, posibles productos de reacción o aditivos químicos)

El uso de *scrubbers* de SO_x para el tratamiento de las emisiones de los motores diésel en buques en navegación oceánica hasta ahora se limita a unos pocos buques.

Sin embargo, el uso de *scrubbers* de SO_x en combinación con combustibles residuales del petróleo con alto contenido en azufre puede ser una opción económicamente atractiva en las Áreas de control de emisión de óxido de azufre (las SECA) y en todo el mundo.

Como los plazos de reducción de SO_x se acercan, algunos buques pueden comenzar a utilizar *scrubbers* para reducir las emisiones de SO_x en lugar de quemar fueloil de bajo contenido en azufre.

3.3. LAS ZONAS DE CONTROL DE EMISIONES

Para regular y controlar las emisiones de contaminante a la atmósfera la industria marítima ha establecido las denominadas Zonas de Control de Emisiones (ECA, siglas en idioma inglés). En la actualidad existen cuatro zonas de esta categoría:

- Zona del Mar Báltico (solamente para los SO_x)
- Zona del Mar del Norte (solamente para los SO_x)
- Zona de Norteamérica (SO_x, NO_x y PM) y
- Zona del Mar Caribe de los EEUU (SO_x, NO_x y PM).

En la figura 3 se expone la distribución a nivel mundial.

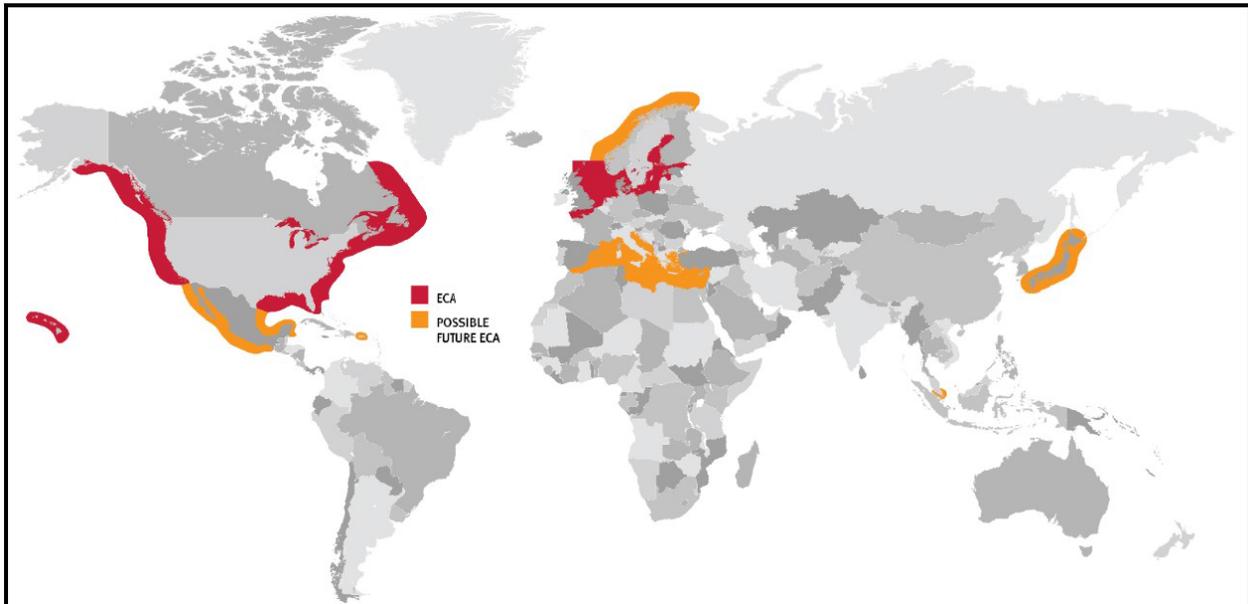


Fig. 3. Zonas de Control de Emisiones (ECA), establecidas a nivel internacional. Fuente: OMI.

Según la OMI, los requisitos para las emisiones de NO_x, presentes en el Anexo VI del MARPOL, se aplican a todos los motores diésel marinos con una potencia de más de 130 kW, a excepción de aquellos que se usan en caso de emergencia, independientemente del tonelaje del buque en que se instalen los motores. La OMI regula la emisión de óxidos de nitrógeno por niveles, año de construcción y velocidad nominal del motor.

Los controles de las emisiones de SO_x y materia particulada (PM) se aplicarán a los equipos de combustión interna que trabajen con todo tipo de combustible fósil instalados a bordo, tales como, motores principales, motores auxiliares y calderas. Estos controles se realizarán tanto a los buques que naveguen dentro de las ECA, como fuera de ellas, por lo que tendrán que utilizar combustibles con el contenido de azufre correspondiente para cumplir con la normativa.

3.4. SISTEMAS UTILIZADOS PARA LA REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR LOS BUQUE

La industria marítima en aras de contribuir a la reducción de contaminantes a la atmósfera ha desarrollado varios sistemas tecnológicos y métodos, a continuación, se expone de manera panorámica los más importantes y difundidos a nivel internacional:

SISTEMAS PARA LA REDUCCIÓN DE ÓXIDOS DE NITRÓGENOS (NO_x)

MÉTODOS PRE-TRATAMIENTO

- Inyección directa de agua en la cámara de combustión
- Recirculación de gases
- Emulsión de agua en el combustible
- Inyección de agua en el aire de admisión
- Combustión con bajo contenido en aire
- Combustión escalonada:** con esto conseguiremos una reducción de emisiones de NO_x de alrededor del 50-60%.
- Quemadores con bajo contenido en NO_x con inyección escalonada del aire:** reduciremos las emisiones alrededor de un 25-35%.
- Quemadores de bajo contenido en NO_x con recirculación de humos:** con este sistema reduciremos las emisiones menos de un 20%.
- Quemadores de bajo contenido en NO_x con combustión escalonada:** con este sistema conseguiremos una reducción del 50-60%.

MÉTODOS POST-TRATAMIENTO

- Reducción selectiva no catalítica (SNCR) (figura 4).**

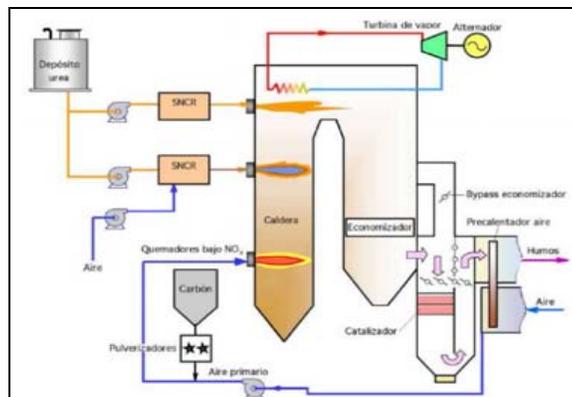


Fig. 4. Esquema tecnológico Reducción selectiva no catalítica (SNCR).

- Reducción catalítica selectiva (SCR) (figura 5).**



Fig. 5. Esquema tecnológico Reducción Catalítica Selectiva (SCR).

SISTEMAS PARA LA REDUCCIÓN DE ÓXIDOS DE AZUFRE (SO_x)

MÉTODOS UTILIZADOS.

❑ EL USO DE COMBUSTIBLE CON BAJO CONTENIDO DE AZUFRE.

El uso de combustible diésel de bajo contenido de azufre para cumplir con los requisitos de la ECA se puede hacer de dos maneras:

1. Cambiar a combustible diésel de bajo contenido de azufre antes de entrar en la zona de control de emisiones.
2. Utilizar combustible de bajo contenido de azufre en todo momento.

❑ TÉCNICAS DE LAVADO DE GASES DE ESCAPE (SCRUBBER)

El lavado de gases o “scrubber” es la tecnología mediante la cual se limpia una emisión gaseosa de los contaminantes que contiene, véase figura 6.



Fig. 6. Scrubber a bordo de un buque.

3.5. COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

Hay algunos combustibles líquidos que podrían reemplazar el petróleo para la propulsión del buque, las cuales se encuentran en diversas etapas de desarrollo. El gas natural licuado (GNL) podría reemplazar potencialmente al petróleo en una gran parte de la flota marítima. Por su importancia desde el punto de vista de las emisiones de gases a la atmósfera se destacan las siguientes ventajas del GNL como combustible marino:

- No genera SO_x, por lo cual no requiere de “scrubbers” para la limpieza de gases
- Prácticamente no genera emisiones de partículas
- Reduce un 80-90% las emisiones de NO_x
- Se reduce un 25% la emisión de CO₂

En la figura 4 se muestra un buque propulsado por Gas Natural Licuado.



Fig. 4. Buque propulsado con GNL. Fuente: OMI/2018.

El Comité de Protección del Medio Marino de la OMI pronostica que el fuel Oil pesado (HFO) será reemplazado por aceites destilados y GNL para próximos años. En un escenario análisis, se supone que el 5% de los buques tanque y el 5% -10% del transporte costero será alimentado por GNL y que estas cifras aumentarán al 10% -20% para los petroleros y al 25% - 50% para buques de cabotaje para 2050.

3.6. IMPLEMENTACIÓN DEL ANEXO VI EN CUBA

La República de Cuba no es parte del Anexo VI del MARPOL73/78, no obstante, cuenta con entidades vinculadas al cumplimiento de funciones gubernamentales y empresariales. Aunque la problemática mayor está en que para implementar este anexo se requieren de fuertes recursos financieros. En tal sentido desde el punto de vista legislativo Cuba está dando importantes pasos para hacerse signatario de dicho anexo.

Dentro de los aspectos tecnológicos relacionados con la implementación del Anexo VI del MARPOL aún la Autoridad Marítima de Cuba no ha establecido mecanismos de reporte sobre el consumo de combustible y el uso eficiente de la tecnología, aunque cumple con la norma internacional establecida sobre el uso de contenido de azufre en combustibles.

Barreras actuales y futuras, y estrategias de mitigación:

- Necesidad de capacitar a los tripulantes de las embarcaciones acerca de las técnicas y métodos para determinar los niveles de emisión de gases que agotan la capa de ozono.
- Proveer a la flota de acuerdo a su arqueo bruto, de los dispositivos para controlar y medir las emisiones de gases que agotan la capa de ozono, de manera escalonada.
- Emitir una norma de calidad de aire contra la cual se puedan comparar los valores de emisiones detectados en la flota nacional.
- Capacitación de los representantes de la Autoridad Marítima Nacional para la implementación del sistema uniforme de recolección de datos para la región del Caribe.

4. CONCLUSIONES

- En Cuba, buscar las vías que posibilite ser firmantes del Anexo VI del MARPOL e instaurarlo. La industria naval debe continuar buscando soluciones a sus procesos que no perjudiquen al ambiente atmosférico, encontrando soluciones que concilien economía, desarrollo social y respeto al entorno para practicar una gestión sostenible.

- Se requieren inversiones, es por ello que los armadores se enfrentan a una serie de decisiones importantes, en estos términos, dichas inversiones tienen un carácter retornable a mediano plazo.
- Implementar investigaciones científicas sobre el tema, para establecer un marco regulatorio específico para la actividad marítima a nivel nacional.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Brooks M.R., Sánchez R.J. and Wilmsmeier G. (2013), Developing Short Sea Shipping in South America—Looking Beyond Traditional Perspectives. Ocean Yearbook. Wilmsmeier G. (2012), Cargos de infraestructura: la creación de incentivos para mejorar el desempeño ambiental. Bóletin Fal Edición N° 309, 2012/5.
2. Wilmsmeier G. and Hesse, M. (2011), Participación modal del transporte internacional de América del Sur— 2010. <http://www.cepal.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/Transporte/noticias/noticias/2/48132/P48132xml&xsl=/Transporte/tpl/p1f.xsl&base=/transporte/tpl/top-bottom.xslt>
3. Anderson K. and A. Bows (2012), Executing a Scharnow turn: reconciling shipping emissions with international commitments on climate change. Carbon management, 3 (6), 615-628.
4. Bazari, Z. and T. Longva (2011), Assessment of IMO mandated energy efficiency measures for international shipping. International Maritime Organization.
5. Bengtsson S., Andersson K., Fridell E. (2011), A comparative life cycle assessment of marine fuels: liquefied natural gas and three other fossil fuels, Proc. IMechE Vol 225 Part M: J of Engineering for the Maritime Environment.
6. Buhaug, Ø. and others (2009), Second IMO GHG study. International Maritime Organization, London, UK.
7. Cariou, P. (2011), Is slow steaming a sustainable means of reducing CO2 emissions from container shipping? Transportation Research Part D: Transport and Environment, 16, 260-264.
8. Corbett, J., H. Wang, J. Winebrake (2009), The effectiveness and costs of speed reductions on emissions from international shipping. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 14 (8) pp 593-598.
9. EIA (2009), World Proved Reserves of Oil and Natural Gas, Most Recent Estimates, retrieved 2012-01-17 at <http://www.eia.gov/international/reserves.html>
10. Eide, M. S. and others (2011), Future cost scenarios for reduction of ship CO2 emissions. Maritime Policy & Management, 38, 11-37.
11. Faber, J. and others (2011a), Marginal Abatement Costs and Cost Effectiveness of Energy-Efficiency Measures. MEPC 62/INF. 7. CE Delft, Delft, Netherlands.
12. Faber, J. (2011b), Analysis of GHG Marginal Abatement Cost Curves. CE Delft, Delft, Netherlands.
13. Faber, J. (2012), Regulated slow steaming in maritime transport an assessment of options, costs and benefits. CE Delft. Delft, Netherlands.
14. Johnson, H. and L. Styhre (2013), Increased energy efficiency in short sea shipping through increased port efficiency, in manuscript.
15. Kalli J., S. Repka and T. Korvonen (2010) Baltic NECA— economic impacts, Study report by the University of Turku, Centre of Maritime Studies.

16. Kesicki, F. and N. Strachan (2011), Marginal abatement cost (MAC) curves: confronting theory and practice. *Environmental Science & Policy*, 14, 1195-1204.
17. Kesicki, F. and P. Ekins (2012), Marginal abatement cost curves: a call for caution. *Climate policy*, 12, 219-236.
18. Lindstad, H., B. E. Asbjørnslett and A. H. Strømman (2011), Reductions in greenhouse gas emissions and cost by shipping at lower speeds. *Energy Policy*, 39, 3456-3464.
19. Maggiora C. D. and J.A. López-Silva (2006), Vulnerability to Air Pollution in Latin America and the Caribbean Region, Sustainable Development Working Paper No. 28, The World Bank Latin America and the Caribbean Region Environmentally and Socially Sustainable Development Department.
20. Pan American Health Organization (2007), *Health in the Americas*, Chapter 3 Sustainable Development and Environmental Health.
21. Smith, T. W. P. (2012), Technical energy efficiency, its interaction with optimal operating speeds and the implications for the management of shipping's carbon emissions, *Carbon Management*, 3 (6), 589-600.
22. Sorell, S. and others (2004), *The economics of energy efficiency: barriers to cost-effective investment*, Edward Elgar Pub, UK.
23. Styhre, L. and Winnes, H. (2013), Energy efficient shipping – between research and implementation. Proceedings of the IAME2013 Conference. 3-5 July, Marseille, France.