



BOLETÍN

FAL

FACILITACIÓN DEL TRANSPORTE Y EL COMERCIO EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

# Medidas para mejorar la eficiencia energética en el transporte marítimo

## Antecedentes

El sector del transporte se encuentra bajo una presión intensa para mejorar la eficiencia del combustible. Si bien las emisiones de CO<sub>2</sub> están disminuyendo en muchos otros sectores, se espera que en el futuro aumenten en el transporte. El transporte marítimo genera alrededor del 3% de las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> en todo el mundo, pero este porcentaje va a crecer por el aumento del transporte combinado con las dificultades para poner en marcha medidas efectivas de eficiencia del combustible y para reemplazar a los combustibles fósiles.

En América Latina y el Caribe el transporte marítimo cubre el 90% de todos los movimientos de flete internacionales en términos de volumen y es el principal facilitador de la participación de la región en el mercado mundial (Wilmsmeier y Hesse, 2011). Los gobiernos de la región han prestado poca atención a este sector, y específicamente a su eficiencia energética. Sin embargo, la región se está esforzando por mejorar su competitividad en comercio internacional y ello, junto con el creciente costo de los combustibles marinos, ha presionado a la industria para ser más eficiente en el uso de combustibles. Dado que la eficiencia del combustible está estrechamente ligada con las emisiones, las medidas y políticas que mejoran la eficiencia energética tendrán un impacto positivo en los niveles de emisión de la región.

Diversos estudios ya cubren el sector de fuentes alternativas de energía y medidas técnicas, operativas y estructurales para ahorrar energía en transporte marítimo. Sin embargo, todavía hay vacíos entre el conocimiento actual y la ejecución de medidas de eficiencia energética a cargo de compañías navieras (Styhre y Winnes, 2013). Todavía no se han aplicado, al igual que en muchas industrias, una serie de medidas para mejorar la eficiencia del combustible, a pesar de su conocida costo eficiencia. Una amplia lista de obstáculos también explica la parálisis de medidas. Sorrell y otros (2004) resumieron estos obstáculos como riesgo, información imperfecta, costos encubiertos, acceso a capital, división de incentivos y racionalidad limitada.

Este documento presenta un panorama de diversos parámetros que podrían mejorar la eficiencia del combustible para el transporte marítimo. Desde una perspectiva latinoamericana, los cálculos ilustran las emisiones y el combustible que consumen diversos modos de transporte. Una de las conclusiones es que en América Latina y el Caribe hay pocas iniciativas y menos incentivos para mejorar la eficiencia energética en el sector del transporte marítimo, que está rezagado en comparación con otras regiones.

Los autores de este *Boletín FAL* son Erik Fridell, Hulda Winnes y Linda Styhre, del IVL Swedish Environmental Research Institute.

Los puntos de vista expresados en este documento pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente la opinión de la organización. Para mayor información por favor dirigirse a [trans@cepal.org](mailto:trans@cepal.org)



Antecedentes



I. Diseño naviero para la eficiencia energética



II. Combustibles alternativos



III. Medidas operativas



IV. Efectos y barreras



V. Electricidad costera



VI. Comparación modal



VII. Políticas e incentivos



VIII. Conclusiones



IX. Bibliografía



NACIONES UNIDAS

CEPAL

Por las iniciativas dentro de la Organización Marítima Internacional (OMI), se agregó un nuevo capítulo al Anexo VI de MARPOL<sup>1</sup> sobre la prevención de emisiones de CO<sub>2</sub>, que entró en vigencia el 1 de enero de 2013. Para todos los buques nuevos, se exige la formulación de una medida de un índice de diseño de eficiencia energética (EEDI), que se vincula a la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> por transporte efectuado en relación con el tamaño del buque. El EEDI de un buque específico se compara con la línea de referencia que define el límite máximo permisible. La línea de referencia varía por tipo de buque. También se requiere un “plan de gestión de eficiencia energética para navíos” (SEEMP). El SEEMP debería funcionar como una herramienta operativa para mejorar la eficiencia energética. Se estima que los volúmenes de bienes transportados por vía marítima aumentarán y no se esperan reducciones en el consumo de combustibles y emisiones de CO<sub>2</sub> a pesar de las nuevas regulaciones (Bazari y Longva, 2011; Anderson y Bows, 2012).

Además de las iniciativas para reducir el consumo de combustibles y las emisiones de CO<sub>2</sub> en el transporte marítimo, también se están regulando otros contaminantes, lo cual tiene consecuencias en materia de costos. Se está regulando el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y las macropartículas (PM) de acuerdo al contenido de azufre en el combustible. Existe una correlación directa entre las emisiones de SO<sub>2</sub> y el contenido de azufre, y también se estableció una conexión entre las emisiones de PM y el contenido de azufre. Estas regulaciones intentan abordar los problemas de acidificación (SO<sub>2</sub>) y los riesgos de salud (PM). Sin embargo, es probable que en el futuro se necesiten regulaciones de PM explícitas para otros motores diésel para mitigar aún más los riesgos de salud asociados con los gases que emanan de los buques. Las regulaciones del azufre establecen que el máximo contenido de azufre permisible en combustible, que hoy asciende al 3,5%, será del 0,5% en 2020, y en áreas especiales (Zonas de Control de las Emisiones de Azufre – SECAs) el límite será de 0,1% en 2015. En la actualidad estas áreas abarcan los mares Báltico y del Norte, el Canal de la Mancha y las aguas costeras de los Estados Unidos y el Canadá. El otro contaminante que también se está regulando es el óxido de nitrógeno, NO<sub>x</sub>, cuyos límites de emisiones se han ajustado para motores instalados después de 2011. Nuevas restricciones entrarán en vigencia durante el período 2016-2021, pero solo para

zonas de control de emisiones de NO<sub>x</sub> especiales, en aguas costeras de los Estados Unidos y el Canadá.

En este documento se presenta un panorama de los parámetros importantes que se deben considerar para mejorar la eficiencia del combustible en el transporte marítimo. Se aborda asimismo el tema de las emisiones que se comparan con otros modos de transporte.

## Diseño naviero para la eficiencia energética

Las medidas técnicas que reducen el consumo de combustibles de un modo costo eficiente producen motores de embarcaciones y sistemas de propulsión muy eficientes, perfiles de flujo optimizado para casco, timón y hélice, construcción del timón e innovaciones como el diseño bulboso de proa. Sin embargo, todavía se suelen encontrar buques que consumen hasta un 30% más de combustible que lo necesario debido a un diseño imperfecto, propulsión ineficiente o deficiencias de mantenimiento en el timón y la hélice. Un informe para el Comité de Protección del Medio Ambiente Marino de la OMI tiene expectativas importantes en materia de mejoramiento del rendimiento energético producto de avances técnicos al estimar que medidas de diseño podrían reducir entre un 10% y un 50% las emisiones del CO<sub>2</sub> por transporte efectuado.

El conocimiento del ahorro potencial de combustible que generan medidas técnicas relacionadas con la geometría del timón y la hélice, la construcción del timón, la maquinaria de propulsión, el equipamiento y la maquinaria auxiliar, la recuperación térmica, la manipulación de la carga y las fuentes de energía alternativa es en general bueno dentro de la industria. Con la vasta tradición en investigación y desarrollo en estas áreas, el potencial estimado de mejora en promedio puede representar un pequeño porcentaje de ahorro de combustible en cada categoría. La asignatura pendiente es aumentar el conocimiento del impacto que los diferentes sistemas técnicos de un buque tienen entre sí. Tal conocimiento es necesario para mejorar la recuperación térmica residual o reducir eficientemente el uso de electricidad a bordo, medidas altamente efectivas para la economía de la energía en general.

Los buques tienen una larga vida útil y desde la perspectiva del ciclo de vida, sus modificaciones y retroadaptación son más caras que diseños nuevos. Los diseños de buques comienzan con un análisis de la misión que detalla factores como el tipo de mercancía que transportará, cómo se cargará y descargará, las rutas y el tiempo de servicio. En base a estas premisas, comienza la etapa de diseño conceptual, durante la cual se determina la configuración y las dimensiones del navío y las necesidades motoras. La fase de diseño conceptual consiste básicamente en un

<sup>1</sup> La Convención Internacional para la Prevención de la Contaminación generada por Buques (MARPOL) se firmó originalmente el 17 de febrero de 1973, pero no entró en vigencia debido a la falta de ratificación. La convención actual es una combinación de la versión original de 1973 y del protocolo de 1978. Se formuló para limitar la contaminación de los océanos por la descarga de desechos, y petróleo y gases de escape, entre otros. El Anexo VI de MARPOL fija límites a las emisiones de dióxido de azufre y de óxido de nitrógeno de los escapes de navíos y prohíbe la emisión deliberada de sustancias que agotan la capa de ozono. El anexo fija un límite global del 4,5% m/m azufre en el fueloil y convoca a la OMI para controlar el contenido promedio de azufre en los combustibles a nivel mundial. Véase [www.imo.org/ourwork/environment/pollutionprevention/airpollution/pages/the-protocol-of-1997-\(marpol-annex-vi\).aspx](http://www.imo.org/ourwork/environment/pollutionprevention/airpollution/pages/the-protocol-of-1997-(marpol-annex-vi).aspx).

estudio de factibilidad técnica para decidir si los requisitos de la misión se pueden convertir en parámetros técnicos razonables y producir un buque apto para navegar. Luego sigue un diseño cada vez más detallado y refinado de las características del buque.

En gran medida, las decisiones vinculadas a la eficiencia energética ya se incluyen en la fase conceptual del proceso de diseño naviero. Las dimensiones principales del buque (longitud, amplitud, profundidad y desplazamiento) son los parámetros más importantes para la eficiencia energética del navío. Pequeños cambios en estos parámetros pueden generar grandes cambios en las necesidades energéticas. La fase operativa es por lejos el período más exigente del ciclo de vida de un navío en términos energéticos. Un perfil operativo bien definido en las primeras etapas del diseño es una buena manera de desarrollar un navío con eficiencia energética y de alta calidad. Por lo tanto se debe priorizar el diseño para operaciones por encima de la construcción en los astilleros, que es menos costosa desde el punto de vista de la eficiencia energética. Los esfuerzos de optimización pueden verse obstaculizados por los requisitos de los astilleros de una construcción costo eficiente. Los astilleros no utilizan necesariamente un enfoque de ciclo de vida y no siempre pueden cambiar el diseño vigente o los cambios pueden ser muy onerosos para el dueño. Bajo tales circunstancias, el naviero probablemente no cuente con la capacidad o el poder para planificar costos desde una perspectiva de ciclo de vida.

Los precios de los combustibles siempre han mantenido una tendencia alcista y la proporción del combustible sobre el costo total se ha incrementado. Más aún, las regulaciones ambientales que exigen el uso de combustibles con bajo contenido azufre resultarán en costos de combustible aún más altos para operadores navieros, sobre todo para operadores que trabajan en Zonas de Control de Emisión, donde los requisitos son más estrictos. A medida que los precios de los combustibles crecen, aumenta el interés en medidas de ahorro energético dentro de la industria. Los buques que se construyen en la actualidad estarán navegando en la década de 2040 y durante el ciclo de vida de estos navíos las soluciones de eficiencia energética serán más valiosas que nunca.

## **II. Combustibles alternativos**

Varios combustibles líquidos que pueden reemplazar al petróleo para propulsión de navíos están en distintas fases de desarrollo –desde proyectos piloto a implementación comercial. El gas natural licuado (GNL) puede llegar a reemplazar al petróleo en una gran parte de la flota. El GNL ya ha sido utilizado como combustible para navíos de GNL pero se está expandiendo a otros segmentos de

la flota. El gas natural es un combustible fósil y, como el fueloil tradicional, contribuye a aumentar los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Sin embargo las menores emisiones de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno también convierten al GNL en una opción para buques en zonas de control de emisión, donde el gasoil marino es la única alternativa disponible a menos que se instalen las tecnologías de reducción. Incluso, se espera que las reservas de gas natural duren más que las reservas de petróleo (EIA, 2009). Hay dos factores que probablemente retrasen el uso de GNL: la costosa retroadaptación de motores, lo cual en la práctica convierte al GNL en una opción solo para navíos nuevos, y los requisitos de espacio adicional para el almacenamiento de GNL. El GNL se almacena en tanques presurizados diseñados especialmente que requieren aproximadamente entre 2,5 y 4 veces más espacio que los tanques convencionales de fueloil. La falta de infraestructura portuaria para GNL es también otro obstáculo.

Una vez construido el navío para operar con GNL, el uso de biogas licuado pasa a ser una opción. Biogas y el gas natural cuentan con las mismas moléculas de hidrocarburo (principalmente metano) y son diferentes solo porque tienen distinto origen; el gas natural es un recurso no renovable de la corteza terrestre mientras que el biogas es un recurso renovable, que típicamente surge de la fermentación de biomaterial como alimentos y aguas residuales. El GNL puede operar en motores diésel de doble combustible, donde se inyecta una pequeña proporción de diésel junto con el gas. El GNL también se puede usar como el único combustible en motores Otto, parecidos a los motores de metano —otro combustible de uso naviero.

El metanol es un alcohol que potencialmente puede servir de puente a un futuro libre de combustibles fósiles, aunque se produce principalmente con gas natural como materia prima. El metanol es líquido a temperatura ambiente y no requiere tanques presurizados. Como combustible marino se encuentra en un período de prueba. Otra opción es el diésel sintético, que se puede producir por el método Fischer-Tropsch o procesos similares a partir de cualquier tipo de materias primas de hidrocarburos: gas natural, biogas, carbón o biomasa. El diésel sintético todavía no es beneficioso desde el punto de vista de su eficiencia energética o el costo (Bengtsson y otros, 2011). El éter dimetilico (DME) es otro combustible que se puede utilizar directamente en motores diésel.

El Comité de Protección del Medio Ambiente Marino de la OMI pronostica que el fueloil pesado (HFO) será reemplazado por completo por combustibles destilados para 2020. En un análisis de hipótesis, se asume que para 2020 el GNL abastecerá al 5% de los buques cisterna y entre un 5% y 10% del transporte costero. Dichas cifras

aumentarán al 10%-20% para los buques cisterna y 25%-50% para el transporte costero en 2050. Se espera que también para 2050 solo un porcentaje menor del diésel sintético será introducido en el mercado de combustibles marinos (Buhaug y otros, 2009).

### III. Medidas operativas

Para lograr una reducción sostenible de la cantidad de combustible utilizado por tonelada de mercancías que se transportan entre el puerto de origen y el de destino es necesario contar con una amplia gama de medidas. Las medidas de logística, entre las que se encuentran operaciones a baja velocidad, mayor utilización de capacidad y planificación de rutas, son importantes pero también lo son las medidas de comunicación para mejoras en la eficiencia de las escalas portuarias y cambios de comportamiento, como por ejemplo estructuras de incentivos renovados dentro y entre organizaciones. Los aspectos comunicacionales y de comportamiento son importantes para una ejecución exitosa de todas las medidas, sobre todo durante las operaciones.

Las medidas de eficiencia energética operativa que cuentan con mayor potencial es la navegación lenta (Buhaug y otros, 2009). Dado que la relación entre la velocidad del navío y el consumo de combustible por unidad de tiempo es aproximadamente cúbica, una pequeña reducción de la velocidad puede tener un impacto considerable en el consumo de combustible. La navegación lenta es una opción atractiva en épocas de recesión con sobrecapacidad de navíos, pero los efectos de la navegación lenta no pueden ser los mismos cuando la economía se recupera y los servicios navieros tienen mayor demanda (Lindstad y otros, 2011). Entre las recomendaciones para mantener las operaciones lentas en fletes internacionales a fin de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de las embarcaciones se encuentran impuestos a los combustibles (Cariou, 2011; Corbett y otros, 2009) y la regulación de restricciones a la velocidad de navíos (Faber y otros, 2012; Lindstad y otros, 2011).

Otra medida que podría mejorar la eficiencia energética de embarcaciones es mejorar la eficiencia portuaria, lo cual reduciría el tiempo de despacho en el puerto; y con una estadía más breve en el puerto, la velocidad de navegación se podría reducir mientras se preserva el servicio de transporte. Johnson y Styhre (2013) estudiaron las posibilidades de reducir la velocidad de navegación para transporte marítimo a granel de corta distancia mediante la disminución de espera improductiva en puerto. Los resultados revelan que las dos fuentes principales de espera improductiva en el puerto son la espera en el puesto de atraque cuando el puerto está

cerrado y la espera en el puesto de atraque debido a una llegada anticipada. Con una a cuatro horas menos por escala portuaria el potencial de una mejora de eficiencia energética oscila entre el 2% y el 8%.

Al analizar las medidas de eficiencia energética naviera es importante remarcar las distintas premisas para servicios de transporte marítimo de línea y el transporte marítimo con régimen de fletamento. El primero ofrece servicios regulares entre puertos específicos de acuerdo a cronogramas y normalmente transporta cargamento de una serie de propietarios de carga, mientras que el segundo es de carácter irregular tanto en tiempo como en espacio. Los buques en tráfico de línea en muchos casos están sujetos a acuerdos de logística metódicos, que incluyen cooperación a largo plazo con un número reducido de puertos y cronogramas fijos y puestos de atraque asignados. Los buques con régimen de fletamento rara vez cuentan con puestos de atraque y muelles asignados y a menudo atracan en diferentes puertos, todo lo cual redundaría en procedimientos específicos y administración relacionada con cada escala portuaria.

Distintos tipos de navíos tienen necesidades energéticas diferentes. Un buen ejemplo para el mercado latinoamericano es el de transporte de cargamento refrigerado. Este tipo de cargamento se transporta en naves refrigeradas especiales o en contenedores frigoríficos que requieren más energía para refrigerar. Alrededor del 20% de la energía requerida para transportar alimentos en contenedores refrigerados se destina a la refrigeración. Las tarifas de flete bajas han sacudido a las empresas de transporte refrigerado porque los operadores de portacontenedores cubren la capacidad ociosa de sus buques con cargamento para contenedores frigoríficos. Es probable que el cambio de naves refrigeradas especiales a buques portacontenedores continúe; ya no se encargan naves refrigeradas especiales y los buques portacontenedores están aumentando su capacidad para cargamento refrigerado.

### IV. Efectos y barreras

Una cantidad de medidas de eficiencia energética en transporte marítimo también son costo eficientes. Eide y otros (2011) estiman que se podrían evitar emisiones de aproximadamente 400 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> si se aplican medidas costo eficientes hasta 2030. En los últimos años las curvas de reducción del costo marginal (MACC) se utilizaron para calcular la eficacia en función del costo de las medidas. Sin embargo las MACCs publicadas proyectan potenciales de reducción diferentes, debido en gran parte a que utilizan diferentes puntos de referencia de emisión, distintos conjuntos de medidas y diversas suposiciones acerca

del futuro de los precios de combustibles (Faber y otros, 2011a). Eide y otros (2011) utilizaron 350 dólares/tonelada para fueloil pesado y 500 dólares/tonelada para combustible marino destilado. Con precios más altos (hoy el precio del combustible marino destilado supera los 600 dólares/tonelada), es evidente que se pueden reducir aún más las emisiones de CO<sub>2</sub> en forma simultánea con la reducción de costos. Las MACCs son muy sensibles a las suposiciones como tasas de descuento, costos de inversión, vida útil de navíos y el transporte efectuado por año (Kesicki y Ekins, 2012). El análisis de medidas abarca datos estadísticos agregados sobre eficiencia y costos, y no incluye aspectos importantes como ingreso que pueden originarse por aumentos de velocidad. Los análisis MACC tampoco tienen en cuenta la presunción de costos que los dueños de buques y los operadores navieros asocian con cierta tecnología. Los riesgos percibidos que se asocian con tecnologías nuevas, denominados riesgos tecnológicos, son muy importantes porque explican las bajas tasas de implementación. Otras barreras a la implementación son de tipo institucional o financiero.

Las barreras institucionales propias de organizaciones conformadas por partes interesadas de la industria del transporte marítimo influyen en la puesta en marcha de medidas de ahorro de combustible. Las medidas que superan los obstáculos institucionales tienen buenas perspectivas de reducir las emisiones, pero son generalmente difíciles de aplicar (Eide y otros, 2011). Habitualmente, dos o más operadores necesitan cooperar para aplicar estas medidas y aumentar la eficiencia. Como se destacara anteriormente, el transporte marítimo con régimen de fletamento presenta una situación más extrema que el de línea porque está sujeto a acuerdos entre operadores navieros y fletadores que pueden limitar la aplicación de medidas técnicas y logísticas. Por ejemplo, el contrato de transporte marítimo con régimen de fletamento entre un fletador y un operador naviero estipula quién paga por el combustible en las distintas etapas del recorrido del navío. Los contratos especiales o fletamentos establecen las condiciones de uso de un navío durante el período de fletado. Estos acuerdos incluyen una cantidad de cláusulas que en diversas formas abarcan el trayecto, el cargamento por transportar y el plazo. También incluyen cláusulas sobre el rendimiento y garantías de velocidad y consumo de búnker y reglas relacionadas con retrasos. Al proveer incentivos para ahorrar combustible en distintos grados, dichas cláusulas pueden afectar la eficiencia energética. En un acuerdo de fletamento puede haber incentivos para que la tripulación o el naviero navegue a alta velocidad debido a que el fletador paga por el alquiler del buque en puerto, o sobrestadía.<sup>2</sup> En épocas de recesión, el costo de

sobrestadía puede ser incluso más alto que las ganancias por flete para operadores navieros. En consecuencia, el tramo con sobrestadía puede resultar una opción más atractiva para el operador individual que navegar a velocidad reducida ahorrando búnker.

En general los buques tienen un valor de reventa que no refleja las inversiones en equipamiento para eficiencia energética. Faber y otros (2011b) citan a los valores de reventa bajos, y a los precios de fletar un buque que no reflejan la eficiencia energética del buque como barreras institucionales importantes para la aplicación de medidas de eficiencia energética en la industria del transporte marítimo.

Más aún, los costos de transacción y otras dificultades para atribuir costos y ganancias entre las diversas compañías por una inversión que beneficia a muchas partes interesadas constituyen otro factor importante que afecta la capacidad de aplicar medidas de eficiencia energética (Kesicki y Strachan, 2011). En consecuencia, existe un costo adicional no despreciable asociado a las medidas, que puede significar que el capital no está asignado al negocio que más lo necesita. Smith (2012) argumenta que los precios de fletado bajos y los precios de combustibles altos son impulsores eficaces de la eficiencia energética en compañías navieras. Ello explica en parte el interés creciente de los operadores navieros en eficiencia energética en el transporte marítimo reciente.

## V. Electricidad costera

El tiempo que un buque transcurre en el puerto se considera en general insignificante comparado con el consumo total de combustible. Sin embargo, las emisiones contaminantes y el ruido pueden constituir problemas importantes para la ciudad donde se ubica el puerto, y dichas emisiones pueden afectar a un número mayor de gente comparadas con las emisiones en alta mar. Es posible aplicar medidas específicas en puertos que también pueden influir en el rendimiento del navío al diferenciar las tasas portuarias.

El combustible que se consume en el muelle se destina principalmente para producir la electricidad que pone en funcionamiento las instalaciones de abordaje para pasajeros y tripulantes, como aire acondicionado, cocina, iluminación, y las bombas que cargan y descargan el cargamento de los buques cisterna. En consecuencia, los ferris, los cruceros y los buques cisterna consumen más combustible en el muelle que otros tipos de navíos.

Una variante es que los buques consuman electricidad costera en los muelles. No es una tecnología de uso muy difundido pero algunos puertos tienen las instalaciones y

<sup>2</sup> Sobrestadía se refiere al período que el fletador mantiene la posesión del buque después del período normalmente permitido para cargar y descargar el cargamento (estadía).



los buques de línea se conectan a fuentes de electricidad costera. Limitaciones como diferencias en voltaje y la frecuencia de la corriente eléctrica, costo de inversiones y disponibilidad de la tripulación para efectuar la conexión han obstaculizado su desarrollo. Incluso, hasta hace poco, los precios bajos de combustible búnker facilitaba la generación de electricidad a bordo a bajo costo.

Si el consumo de electricidad costera resulta una buena opción para reducir las emisiones de  $\text{CO}_2$  depende de cómo se genera la electricidad: si es electricidad derivada del carbón puede aumentar las emisiones de  $\text{CO}_2$ , pero éstas se reducirían en forma significativa si la generación de electricidad fuese hidroeléctrica o eólica. La principal ventaja de la electricidad costera radica en que reduce la emisión de contaminantes como macropartículas y  $\text{NO}_x$  en zonas pobladas.

## VI. Comparación modal

El transporte marítimo, en general, pudo mantener su imagen de medio de transporte ecológico. En alguna medida es cierto: en la mayoría de los casos tiene un consumo eficiente de combustible, alivia los problemas de congestión de carreteras, utiliza relativamente poco terreno y registra pocos accidentes. Sin embargo, también presenta problemas importantes: emana altas dosis de sustancias nocivas como  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  y PM además de compuestos policíclicos aromáticos y otras sustancias orgánicas tóxicas; descargas al mar de pinturas y aceites del casco, y la introducción de especies foráneas a entornos naturales delicados por la descarga de agua de lastre.

A fin de demostrar los distintos tipos de emisiones de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  y PM de diferentes modos de transporte, así como del combustible que se consume, se han efectuado ejemplos de cálculos. Cabe destacar que otras cuestiones importantes variarán entre modos de transporte como el impacto hídrico, la congestión, los accidentes y la infraestructura. Sin embargo, los problemas con emisiones de gases y contaminantes son un asunto importante para el sector de transporte.

Los cálculos se basaron, desde una perspectiva de América del Sur, en el transporte de 1.000 toneladas de cargamento entre Manaus, Brasil, y Buenos Aires,

Argentina, o Santos, Brasil. Para transporte marítimo, ello significa que se aplican las reglas internacionales que implican un contenido máximo de azufre en combustible del 3,5% y, para navíos posteriores a 2000, niveles de Categoría 1 de  $\text{NO}_x$ . Se asume que el contenido de azufre en combustible es del 2,7%. Se estudiaron dos embarcaciones: un buque portacontenedores de 10.000 tpm y un buque de transporte a granel de 60.000 tpm. Las emisiones ferroviarias<sup>3</sup> en general no están reguladas en América del Sur. Se asume que el tren está impulsado por una locomotora diésel con emisiones típicas para motores diésel grandes sin regulaciones. Las regulaciones de camiones en América del Sur varían de país a país, pero los camiones más modernos casi siempre cumplen con las normas de emisiones EURO III. Los límites de azufre para combustible diésel que se utilizan en las locomotoras diésel y en los camiones también varían en todo el continente. Un combustible diésel con 500 ppm S se considera común y fue el elegido para los cálculos.

La utilización de capacidad, o el factor de carga, es sumamente importante para los resultados. Se asume que los camiones, los trenes de carga y los buques portacontenedores transportan contenedores que van cargados a un 75% de su capacidad de peso máxima. Además, se asume que los trenes y navíos tienen un factor de carga de 75% en lo que respecta al número de contenedores que se cargan.

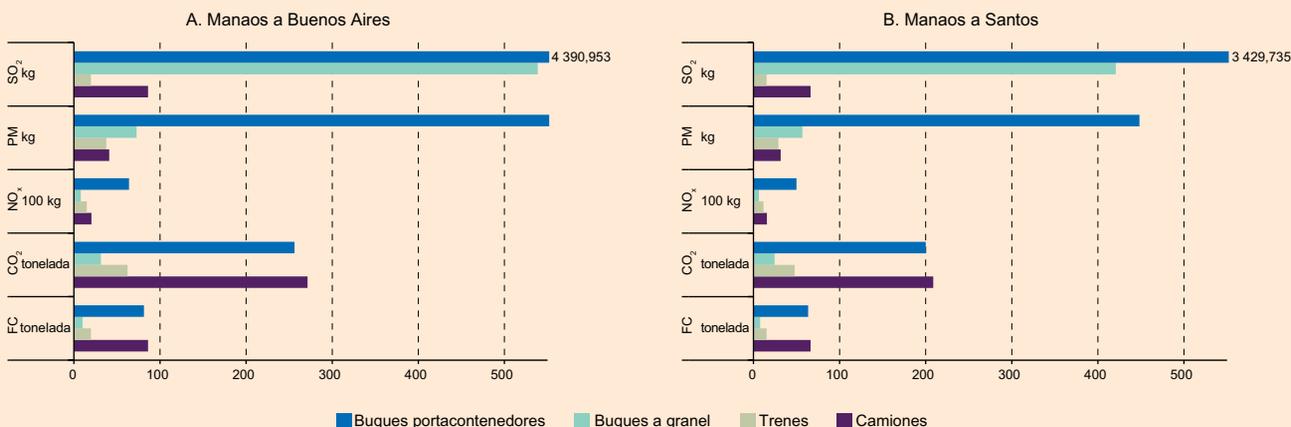
Los resultados aparecen en el gráfico 1. De inmediato se puede apreciar la diferencia entre los dos buques, ya que el buque de transporte a granel cuenta con emisiones mucho menores. Ello se debe a que es mucho más grande y a que los buques de transporte a granel también son más eficientes por su menor velocidad y porque una mayor proporción de su peso muerto proviene del cargamento a diferencia de los buques portacontenedores. La eficiencia del combustible más alta se registra en el transporte por buque a granel y más baja en los camiones. El ferrocarril tiene una eficiencia del combustible relativamente alta y es claramente más eficiente que los buques portacontenedores. En estos ejemplos, las emisiones de  $\text{CO}_2$  son directamente proporcionales a la eficiencia de combustible debido a que los combustibles seleccionados tienen emisiones de  $\text{CO}_2$  similares en relación con el contenido energético en el combustible. Las emisiones de  $\text{NO}_x$  son más altas en el buque portacontenedores. Ello se relaciona con la baja proporción de supresión que se encuentra en los buques. Los trenes también tienen emisiones relativamente altas de  $\text{NO}_x$  porque las locomotoras diésel se mantienen normalmente sin reducciones. En cuanto a las emisiones PM, son similares para los diversos medios de transporte de este ejemplo a

<sup>3</sup> No parece haber buena cobertura ferroviaria para estas distancias, pero se incluye al ferrocarril a fin de ilustrar su potencial.

excepción de los buques portacontenedores, que cuentan con emisiones mucho más altas. Los navíos generan emisiones altas de SO<sub>2</sub> debido al alto contenido de azufre en el combustible marino.

Cabe destacar que estos son meros ejemplos. El panorama cambia si se seleccionan otros medios de transporte, que tendrán distintos tamaños y diversos equipos de reducción de gases de escape.

**Gráfico 1**  
**RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE EMISIONES PARA TRANSPORTAR 1.000 TONELADAS DE MERCANCÍA UTILIZANDO DIFERENTES EMBARCACIONES Y VEHÍCULOS PARA (A) MANAOS A BUENOS AIRES Y (B) MANAOS A SANTOS**



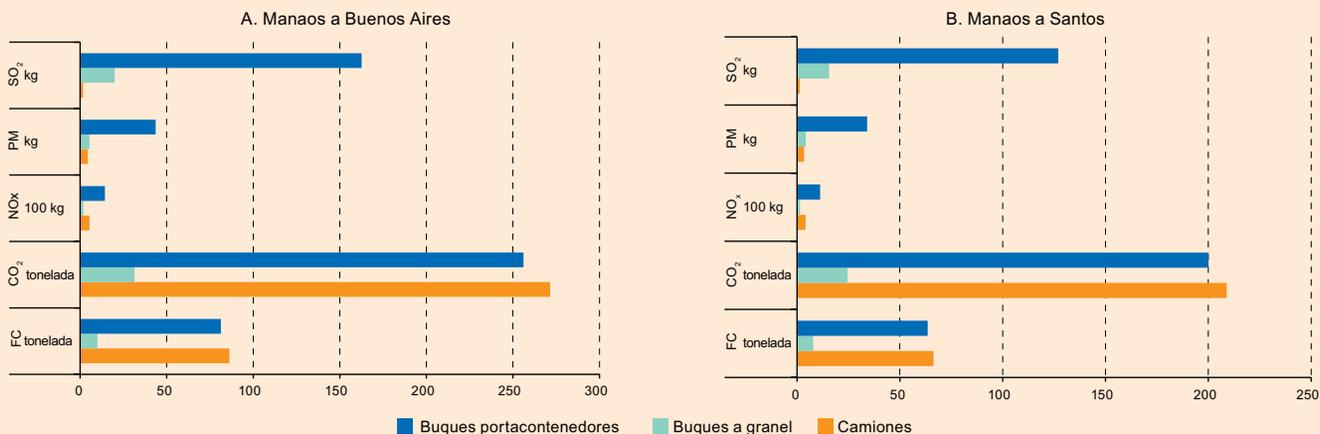
**Fuente:** Elaboración de los autores.

**Nota:** El valor de SO<sub>2</sub> para los buques portacontenedores está fuera de escala.

El gráfico 2 refleja lo que ocurriría si los buques utilizaran gasoil marino con 0,1% de azufre en lugar del fueloil pesado y cumplieran con las regulaciones de la Categoría 3 de NO<sub>x</sub> y si los camiones cumplieran con la norma de emisión Euro V y utilizaran diésel con azufre con 10 ppm: las emisiones serían menores. Hay que destacar que la

eficiencia de combustible y en consecuencia las emisiones de CO<sub>2</sub> no se ven afectadas por estas mediciones. Las emisiones de NO<sub>x</sub> son marcadamente menores tanto para los navíos como para los camiones, al igual que las emisiones de PM. Por su parte, las emisiones de SO<sub>2</sub> se reducen drásticamente debido al menor contenido de azufre en el combustible.

**Gráfico 2**  
**RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE EMISIONES PARA TRANSPORTAR 1.000 TONELADAS DE MERCANCÍAS UTILIZANDO DIFERENTES EMBARCACIONES Y VEHÍCULOS CON COMBUSTIBLES LIMPIOS QUE MITIGAN LA EMISIÓN Y CON BAJO CONTENIDO DE AZUFRE PARA (A) MANAOS A BUENOS AIRES Y (B) MANAOS A SANTOS**



**Fuente:** Elaboración de los autores.

## VII. Políticas e incentivos

Durante décadas, las agendas políticas contaron con iniciativas para mejorar las condiciones para la naturaleza y el ser humano. Tanto a nivel local como regional y mundial se debate la sostenibilidad ambiental a fin de mejorar las condiciones de vida de generaciones presentes y futuras. Desde la revolución industrial, la combustión de combustible fósil ha causado un aumento neto de CO<sub>2</sub> en la atmósfera que impacta nuestro clima. La contaminación del aire por ozono, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y macropartículas tiene un impacto más directo en la salud y es principalmente una preocupación local y regional. Con la cooperación de distintas naciones se firmaron acuerdos y convenios internacionales como el Protocolo de Kyoto para el Convenio Marco sobre Cambio Climático de Naciones Unidas y la Convención sobre Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Gran Distancia (CLRTAP). Estos foros no incluyen regulaciones ambientales ni de transporte marítimo sobre contaminación atmosférica por transporte internacional originada en convenciones de la OMI.

Como se ha visto aquí, se pueden tomar diversas medidas técnicas y operativas para lograr mayor eficiencia del combustible en el transporte marítimo. A fin de reducir el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub>, o al menos impedir su aumento, es necesario no solo aplicar estas medidas, sino también desarrollo técnico adicional y nuevos modelos de negocios que consideren a la eficiencia del combustible como un tema prioritario en su agenda.

Otro camino para aumentar la eficiencia del combustible en el sector es transferir envíos al transporte marítimo desde otros modos de locomoción. Sin embargo, este cambio tiene su costo, como evidencia el gráfico 1: puede ocasionar un aumento de sustancias nocivas como macropartículas y óxidos de nitrógeno. Un cambio de modalidad hacia el transporte marítimo debería ir acompañado de medidas para reducir las emisiones de las embarcaciones, que se podría lograr con medidas técnicas como combustibles de bajo contenido de azufre y tecnologías de reducción de escapes. Pero tales requisitos tienen un costo, por lo tanto antes es necesario aplicar medidas de política apropiadas.

Hay una serie de opciones de política para aumentar la eficiencia del combustible y/o disminuir la emisión de gases nocivos. El aumento de la eficiencia del combustible y la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> van de la mano y están motivadas por la necesidad de limitar su impacto en el clima. En la actualidad pocas medidas de política de este tipo están vigentes; las regulaciones de la OMI sobre EEDI y SEEMP ya mencionadas son los únicos ejemplos destacables. Las regulaciones EEDI exigirán diseños de navíos con consumo de combustible más eficiente y las SEEMP más medidas operativas con el mismo propósito. Sin embargo es de

esperar que con el aumento del comercio, el consumo total de combustible de la industria del transporte marítimo también aumente en el futuro. En Europa se está evaluando la posibilidad de incluir al transporte dentro de un sistema de comercio de créditos de carbono por recursos en tierra firme. El primer paso es vigilar el consumo de combustible originado por el comercio europeo. Un sistema similar ya se emplea en la aviación. Otra opción podría ser la aplicación de un gravamen internacional sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> cuyos fondos recaudados se inviertan en tecnología que mitigue las emisiones de CO<sub>2</sub> del transporte marítimo y otros sectores.

Algunos puertos tienen tasas portuarias diferenciadas que utilizan a las emisiones de CO<sub>2</sub> como parámetro (para un análisis de la diferenciación de derechos portuarios, véase Wilmsmeier, 2012). Algunas iniciativas vinculadas a adquisiciones también tienen en cuenta las emisiones de CO<sub>2</sub>. Ciertas organizaciones se dedican a proveer información sobre el rendimiento ambiental de navíos para que los propietarios de carga puedan tenerla en cuenta en sus adquisiciones. Una de las dificultades es cómo medir la eficiencia del combustible. Para considerar medidas operativas, la eficiencia del combustible normalmente se expresa mediante el consumo de combustible por transporte efectuado medido en tonelada-km. Esta medida varía según el tipo de embarcación y requiere un registro transparente de la carga, las distancias y el consumo de combustible, que en gran parte se considera información comercial confidencial. Desafortunadamente la política más directa para estimular mayor eficiencia del combustible —impuestos o tasas—, son difíciles de aplicar en el ambiente internacional actual. Además, las leyes internacionales que rigen el transporte marítimo internacional impiden los impuestos locales o nacionales.

En el caso de la emisión de gases nocivos la situación de política es un tanto más flexible. Al comparar los gráficos 1 y 2 se deduce que se pueden lograr reducciones significativas de emisiones con combustible con bajo contenido de azufre y equipos de reducción. Las disposiciones de la OMI relacionadas con el contenido de azufre en el combustible marino reducirán las emisiones de SO<sub>2</sub> en forma significativa durante el período 2015-2020. También reducirán mucho las emisiones de macropartículas.

Si bien hay regulaciones sobre NO<sub>x</sub>, solo aquellas de categoría 3 redundarán en reducciones significativas de emisiones. Sin embargo, éstas solo se aplicarán en unas pocas regiones del mundo y dado que solo regulan a motores nuevos, recién tendrán impacto cuando los navíos nuevos reemplacen a los viejos. En consecuencia, si se desea lograr una reducción significativa de NO<sub>x</sub> —y hay suficientes riesgos ambientales y de salud para hacerlo—, serán necesarios nuevos instrumentos de política para complementar las regulaciones de la OMI.

El impuesto  $\text{NO}_x$  vigente en Noruega desde hace unos años es un buen ejemplo. A fin de cumplir con los objetivos noruegos de emisión de  $\text{NO}_x$ , que estaban determinados por el Protocolo de Gothenburg, un acuerdo internacional sobre reducción del impacto ambiental de la contaminación atmosférica firmado por 51 países, el gobierno incluyó a las emisiones de buques en el sistema tributario nacional. Los propietarios de buques tienen que pagar un impuesto por cada kilogramo de  $\text{NO}_x$  emiten, y lo recaudado se destina a un fondo. Los mismos navieros pueden solicitar subsidios de dicho fondo para financiar inversiones en tecnología de reducción para sus embarcaciones. Si bien el impuesto solo se aplica dentro de aguas jurisdiccionales noruegas, el sistema ha sido un éxito en términos de inversión en nueva tecnología. Respalda distintos tipos de tecnología como motores GNL o reducción catalítica selectiva (SRC) después de tratamiento. El éxito de este fondo noruego revela un gran potencial para incluir al transporte marítimo nacional dentro esquemas de reducción como complemento de acuerdos internacionales. El transporte marítimo nacional rara vez representa un porcentaje alto de la contaminación, pero el creciente uso de tecnologías de reducción puede derivar en tecnologías más consolidadas que a su vez pueden generar una mayor adopción en grandes segmentos de la flota naviera. Otro buen ejemplo es el de Suecia, que en las últimas dos décadas estableció una tasa diferenciada para pasajes ecológicos y la combinó con apoyo financiero para inversión en tecnologías de reducción. Si bien esto tiene la desventaja de utilizarse solo en aguas suecas, ha fomentado el uso de SCR y otras medidas en un buen número de navíos.

Varios sistemas que incluyen tasas ecológico portuarias diferenciadas e iniciativas sobre adquisiciones para reducir emisiones ya se encuentra en funcionamiento. Sin embargo, su impacto en las emisiones es poco claro. Los estímulos deben ser lo suficientemente importantes para compensar los costos de sistemas de reducción y superar las barreras institucionales analizadas anteriormente. Por ello quienes contratan servicios de transporte marítimo deben estar preparados para pagar más a fin de reducir el impacto ambiental de sus operaciones de transporte.

Un modo de cumplir con los estándares nacionales y locales de calidad del aire en ciudades portuarias puede ser incluir a emisiones navieras en esquemas voluntarios u obligatorios. Muchas ciudades tienen problemas en mantener los niveles de concentración, sobre todo de PM, ozono y  $\text{NO}_x$ , debajo de los niveles máximos. Las concentraciones anuales de  $\text{PM}_{10}$  superan en muchas áreas urbanas de América del Sur los niveles nacionales y los recomendados por la Organización Mundial de la Salud en las directrices sobre calidad del aire global (Organización Panamericana de la Salud, 2007). Los niveles de ozono y  $\text{NO}_x$ , a pesar de la información limitada, también exceden las normas de calidad en muchas ciudades de América Latina

(Maggiore y López-Silva, 2006). El  $\text{NO}_x$  es un precursor de incidentes de ozono y de smog; en ambientes soleados, el  $\text{NO}_x$  genera la formación de ozono en reacciones con especies de hidrocarburos. En consecuencia, la instalación de electricidad costera y tratamiento de escapes para reducir las emisiones de  $\text{NO}_x$  de los motores auxiliares de los navíos que funcionan en los muelles puede ser una buena iniciativa para mejorar la calidad del aire.

En conclusión, se requieren iniciativas complementarias a las regulaciones vigentes en materia de emisiones navieras a la atmósfera a fin de lograr reducciones significativas. Los aumentos esperados en la demanda de transporte probablemente aumentarán la contribución del transporte marítimo a la contaminación ambiental y al calentamiento mundial, en tanto que las regulaciones que rigen el transporte terrestre seguirán reduciendo en forma eficiente las emisiones en tierra. Los sistemas de incentivos voluntarios para operadores navieros, que sobre todo se han aplicado a nivel nacional, han sido diversos y resultado a veces muy exitosos. Tal como se ha demostrado en este estudio, el transporte naviero consume combustible en forma eficiente, pero su potencial de ofrecer consumo eficiente de combustible y con baja contaminación depende del uso extendido de técnicas de reducción. Además, si bien la eficiencia del combustible en el transporte marítimo es alta, todavía hay espacio para mejorar, lo cual puede convertirse en una ventaja competitiva en un futuro con precios de combustible altos. Se han identificado medidas para mejorar la eficiencia del combustible en diversas áreas, desde medidas puramente técnicas a otras basadas en cambiar la estructura de incentivos en el ámbito empresarial. Si cumplen con su potencial, los navíos ofrecerán un medio de transporte competitivo compatible con el desarrollo sostenible.

## VIII. Conclusiones

En América Latina y el Caribe, hay pocas iniciativas y menos incentivos para mejorar la eficiencia energética en el sector de transporte marítimo, que está rezagado con respecto a otras regiones. A pesar del importante tráfico de navíos en áreas vulnerables como el Caribe y las zonas costeras, en la región no se implementaron SECAs. Además no se han tomado medidas para promover un cambio modal de carreteras al mar a nivel regional y subregional (Brooks, Sánchez y Wilmsmeier, 2013). En consecuencia, el potencial de mayor eficiencia energética, sobre todo en transporte de larga distancia, no se transforma en ahorros y mejor rendimiento. Las diversas opciones de eficiencia energética enumeradas en este boletín ilustran cómo los países de la región pueden encaminarse hacia mayor eficiencia energética en el transporte marítimo y cómo pueden mejorar la eficiencia en los sistemas de transporte en general.

## IX. Bibliografía

- Anderson K. y A. Bows (2012), "Executing a Scharnow Turn: Reconciling Shipping Emissions with International Commitments on Climate Change", *Carbon Management*, 3 (6), 615-628.
- Bazari, Z. y T. Longva (2011), "Assessment of IMO Mandated Energy Efficiency Measures for International Shipping". International Maritime Organization, Londres, Reino Unido.
- Bengtsson S., Andersson K., y Fridell E. (2011), "A Comparative Life Cycle Assessment of Marine Fuels: Liquefied Natural Gas and Three Other Fossil Fuels", Proceedings of the Institution Mechanical Engineers Vol 225 Part M: *Journal of Engineering for the Maritime Environment*.
- Brooks M. R., Sánchez R. J. y Wilmsmeier G. (2013), "Developing Short Sea Shipping in South America – Looking Beyond Traditional Perspectives", *Ocean Yearbook*.
- Buhaus, Ø. y otros (2009), *Second IMO GHG Study*. International Maritime Organization, Londres, Reino Unido.
- Cariou, P. (2011), "Is Slow Steaming a Sustainable Means of Reducing CO<sub>2</sub> Emissions from Container Shipping?" *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16, 260-264.
- Corbett, J., H. Wang, y 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.
- EIA (2009), "World Proved Reserves of Oil and Natural Gas, Most Recent Estimates", fecha de acceso: 17 de enero de 2012 en <http://www.energyinsights.net/cgi-script/csArticles/articles/000022/002212.htm>.
- Eide, M. S. y otros (2011), "Future Cost Scenarios for Reduction of Ship CO<sub>2</sub> Emissions". *Maritime Policy & Management*, 38, 11-37.
- Faber, J. y otros (2011a), "Marginal Abatement Costs and Cost Effectiveness of Energy-Efficiency Measures". *MEPC 62/INF. 7*. CE Delft, Delft, Países Bajos.
- Faber, J. y otros (2011b), *Analysis of GHG Marginal Abatement Cost Curves*. CE Delft, Delft, Países Bajos.
- Faber, J. y otros (2012), *Regulated Slow Steaming in Maritime Transport: An Assessment of Options, Costs and Benefits*. CE Delft. Delft, Países Bajos.
- Johnson, H. y L. Styhre (2013), "Increased Energy Efficiency in Short Sea Shipping through Increased Port Efficiency", de próxima publicación.
- Kalli J., S. Repka y T. Korvonen (2010) *Baltic NECA – Economic Impacts*, Study report by the University of Turku, Centre of Maritime Studies, Turku, Finlandia.
- Kesicki, F. y N. Strachan (2011), "Marginal Abatement Cost (MAC) Curves: Confronting Theory and Practice". *Environmental Science & Policy*, 14, 1195-1204.
- Kesicki, F. y P. Ekins (2012), "Marginal Abatement Cost Curves: A Call for Caution". *Climate Policy*, 12, 219-236.
- Lindstad, H., B. E. Asbjørnslett y A. H. Strømman (2011), "Reductions in Greenhouse Gas Emissions and Cost by Shipping at Lower Speeds". *Energy Policy*, 39, 3456-3464.
- Maggiore C. D. y J. A. López-Silva (2006), "Vulnerability to Air Pollution in Latin America and the Caribbean Region", Sustainable Development Working Paper No. 28, Banco Mundial, Washington, DC, Estados Unidos.
- Organización Panamericana de la Salud (2007), "Capítulo 3: Desarrollo sostenible y salud ambiental". *Salud en las Américas*. OPS, Washington, DC, Estados Unidos.
- 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.
- Sorell, S. y otros (2004), *The Economics of Energy Efficiency: Barriers to Cost-Effective Investment*, Edward Elgar Pub, Reino Unido.
- Styhre, L. y Winnes, H. (2013), "Energy Efficient Shipping – Between Research and Implementation". Anales de la Conferencia de IAME de 2013, 3-5 de julio, Marsella, Francia.
- Wilmsmeier G. (2012), Cargos de infraestructura: la creación de incentivos para mejorar el desempeño ambiental. *Bóletin FAL* Edición N° 309, 2012/5.
- Wilmsmeier G. y Hesse, M. (2011), Participación modal del transporte internacional de América del Sur – 2010, fecha de acceso 22 de noviembre de 2013 en: <http://www.cep.al.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/Transporte/noticias/noticias/2/48132/P48132.xml&xsl=/Transporte/tpl/p1f.xsl&base=/transporte/tpl/top-bottom.xslt>.