

BOLETÍN

FAL

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

# Consumo de energía y eficiencia en las terminales de contenedores

## Antecedentes

Es preciso mejorar el desempeño de las terminales de contenedores para hacerlas no solo más competitivas y productivas, sino también más sostenibles. A raíz de ello surge el reto de medir el desempeño de maneras que vayan más allá de las mediciones tradicionales de eficiencia y productividad. En el caso del consumo de energía, hay un vínculo claro entre la sostenibilidad, la eficiencia, la competitividad y la rentabilidad de las terminales. Este vínculo de sostenibilidad y eficiencia entre el consumo de energía y el desempeño todavía no ha llegado a comprenderse bien ni a analizarse en profundidad.

Hoy en día, se ejerce una enorme presión sobre el sector de las terminales de contenedores para que estas cumplan las normas económicas y ambientales. El nivel de consumo de energía del sector y las emisiones que conlleva son considerables pero, pese al aumento de las tasas y los costos del consumo de energía, en los puertos y las terminales de la actualidad se han establecido pocas medidas o estrategias de eficiencia energética. La seguridad energética de América Latina es un tema que ocupa un lugar prominente en la agenda política y, en el comercio marítimo, está aumentando la conciencia sobre el consumo de energía, la eficiencia energética y los costos asociados. Las autoridades portuarias y los operadores de las terminales han comenzado a ser conscientes del reto que supone la eficiencia energética, y muchos de ellos se preocupan cada vez más por los perfiles de emisiones. La regulación de las zonas portuarias se ha vuelto más exigente, sobre todo en lo que respecta al óxido de azufre y de nitrógeno (Acciaro y Wilmsmeier, 2016; Acciaro, 2014), pero, en el futuro, se espera que también aumente el rigor de las normas relativas a la materia particulada y a otros gases de corta vida que contribuyen al cambio climático. El consumo de energía es un factor importante en las operaciones portuarias y las actividades económicas relacionadas con los puertos y, dado que los costos de la energía también están aumentando para los sectores con actividades terrestres, las autoridades portuarias y los operadores de las terminales buscan maneras de gastar menos en combustible.

El análisis de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) sobre el consumo de energía en los puertos y las terminales es el más amplio y relevante realizado sobre este tema, tanto en América Latina como en otras regiones. Los datos que suministra permiten examinar las modalidades y la estructura detallada de consumo de energía y las medidas de eficiencia tomadas en cooperación con los sectores público y privado. También contribuye a formular estrategias y políticas futuras de eficiencia energética. Los autores de este número del *Boletín FAL* son Gordon Wilmsmeier y Thomas Spengler, de la Unidad de Servicios de Infraestructura de la CEPAL, quienes lo elaboraron en el marco de cooperación entre la CEPAL y la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ). Para obtener información más detallada, sírvase ponerse en contacto con Gordon Wilmsmeier ([gordon.wilmsmeier@cepal.org](mailto:gordon.wilmsmeier@cepal.org)).

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización.



### Antecedentes



#### I. La eficiencia energética en el contexto de los objetivos de desarrollo sostenible



#### II. La medición del consumo de energía en las terminales de contenedores



#### III. Conclusiones



#### IV. Bibliografía



NACIONES UNIDAS

CEPAL

Con el aumento del tráfico mundial de contenedores y el desarrollo de la infraestructura portuaria, los puertos se han convertido en grandes consumidores de energía. Las exportaciones de América Latina en contenedores se han incrementado considerablemente y se han modificado desde el punto de vista estructural debido al aumento de los volúmenes que se comercializan y a la mayor diversificación de la carga de los contenedores frigoríficos (productos perecederos refrigerados) (Vagle 2013a, 2013b). Este tipo de tráfico no solo requiere diferentes tipos de manipulación y logística, sino que también consume más energía a lo largo de la cadena de transporte.

Las terminales de todo el mundo están trabajando para usar menos combustibles fósiles y más electricidad. A ese trabajo se suma el desarrollo de fuentes de energía renovable dentro del perímetro portuario (Acciaro y otros, 2013). Si bien algunas terminales adoptaron esas medidas de forma voluntaria y han invertido en tecnologías que permiten utilizar la energía con eficiencia, muchas autoridades portuarias y operadores de terminales siguen sin tener conciencia de la importancia de contar con infraestructura eficiente desde el punto de vista energético, y en muchas ocasiones carecen de estrategias acertadas para medir el consumo de energía y emplear indicadores de eficiencia energética (Wilmsmeier y otros, 2014). En las estrategias de gestión energética se coloca a los puertos en el medio de una compleja red de flujos de energía y, para que dichas estrategias se puedan aplicar eficazmente, los operadores de las terminales y las autoridades portuarias deben saber, por lo menos, cómo se utiliza la energía en el puerto y de dónde proviene (Acciaro, 2013). Si se adopta un enfoque coordinado, se puede reducir el gasto en energía e incluso crear una nueva fuente de negocios para los puertos que participen.

Hasta hace muy poco, en el sector de los puertos y el transporte marítimo, que desde hace decenios registra un aumento sostenido del tráfico y una expansión general, la gestión de la energía no se consideraba un asunto particularmente urgente. No obstante, frente a las actuales dificultades económicas, la modificación de la geografía y la estructura del comercio, y la mayor sensibilización y demanda de una logística sostenible, el tema de la eficiencia energética ha pasado a primer plano en los debates académicos y del sector.

En esta edición del *Boletín*, se analiza el estado de la técnica en materia de consumo de energía en los países de América Latina, con el propósito de esclarecer las dificultades y las oportunidades actuales y futuras relativas a la aplicación de estrategias de eficiencia energética y al ulterior desarrollo de herramientas de evaluación comparativa que promuevan la sostenibilidad de las operaciones en las terminales. También se procura ampliar los análisis que se presentaron en la Edición N° 329 del *Boletín* y explorar los nuevos desafíos que plantea la configuración geográfica del transporte de mercancías (Wilmsmeier, 2015).

## I. La eficiencia energética en el contexto de los objetivos de desarrollo sostenible

La eficiencia energética y las modalidades de consumo de las terminales de contenedores están relacionadas con 3 de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible.

La Agencia Internacional de la Energía (AIE) (2016) informó que la tasa de consumo de energía del sector del transporte viene aumentando a un ritmo medio anual del 1,4%. La mayor parte de este incremento del consumo total de energía del transporte guarda relación con el crecimiento económico, el nivel de vida más elevado y la consiguiente alza de la demanda de movilidad personal.

El petróleo y los demás combustibles líquidos representaban el 96% de todo el consumo de combustible en 2014. La gasolina para motores sigue siendo el combustible más utilizado en el transporte y representa el 39% del total, mientras que el diésel le sigue de cerca en el segundo lugar, con el 36% en 2012. La electricidad sigue constituyendo una proporción mucho menor del consumo de combustible del transporte mundial, si bien su importancia en el transporte ferroviario de pasajeros está aumentando.

En el transcurso de los últimos diez años, casi se ha duplicado la proporción del consumo de energía mundial que está sujeta a normas de cumplimiento obligatorio sobre eficiencia energética: pasó del 14% en 2005 al 27% en 2014. Aun así, el ritmo actual de avance en este sentido solo llega a aproximadamente dos tercios del que se necesita para duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética. Entre los sectores que son usuarios finales, la industria fue la que más contribuyó a la reducción de la intensidad energética, seguida de cerca por el transporte. Los puertos, centros neurálgicos del sistema de comercio mundial, son un eslabón importante de la cadena logística mundial, en la que aún no se han aprovechado todas las posibilidades de uso más eficiente de la energía. Por consiguiente, en el contexto del Objetivo de Desarrollo Sostenible 7, los puertos pueden contribuir a duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética y pueden participar en las actividades de cooperación internacional para facilitar el acceso a la tecnología relativa a la energía limpia, en particular la relacionada con las fuentes renovables y la eficiencia energética.

El cambio climático constituye la mayor amenaza para el desarrollo, y sus efectos generalizados, que no tienen

precedentes, imponen una carga desproporcionada sobre los más pobres y vulnerables. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y minimizar los trastornos que causa es esencial para la implementación eficaz de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Naciones Unidas, 2016).

El Objetivo de Desarrollo Sostenible 9 abarca tres aspectos importantes del desarrollo sostenible: la infraestructura, la industrialización y la innovación. La infraestructura proporciona las estructuras y los sistemas físicos básicos que son fundamentales para el funcionamiento de una sociedad o empresa. La industrialización impulsa el crecimiento económico, crea oportunidades de empleo y con ello reduce la pobreza económica. La innovación promueve la capacidad tecnológica de los sectores industriales y fomenta la adquisición de nuevas habilidades.

En el contexto del Objetivo de Desarrollo Sostenible 13, el análisis y el debate sobre la eficiencia energética en las terminales de transporte permitirían aprovechar las oportunidades de incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales, puesto que estas actividades contribuyen a sensibilizar y a fortalecer la capacidad humana e institucional para la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana. Además, establecer indicadores de referencia allana el camino para crear mecanismos que fomenten la capacidad de los países menos adelantados y los pequeños Estados insulares en desarrollo para planificar y administrar con eficacia en materia de cambio climático.

Los puertos constituyen una pieza importante de la infraestructura física y facilitan más del 80% del transporte de mercancías en el mundo. Las operaciones portuarias son actividades en las que se consume una gran cantidad de energía, por lo que deben desempeñar un papel fundamental en el desarrollo de una infraestructura fiable, sostenible, resiliente y de alta calidad que pueda sostener el desarrollo económico en el futuro. Modernizar y reconvertir la infraestructura portuaria para hacerla sostenible permitirá utilizar los recursos con mayor eficiencia, además de promover la adopción de tecnologías y procesos industriales no contaminantes y racionales desde el punto de vista ambiental.

Por consiguiente, un debate acerca del consumo de energía y la eficiencia energética, la vigilancia, y la evaluación y aplicación de las mejores prácticas, puede hacer un aporte significativo a los esfuerzos por cumplir al menos tres de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

## II. La medición del consumo de energía en las terminales de contenedores

### A. Metodología

Solo hay una pequeña cantidad de publicaciones acerca del consumo de energía en las terminales de contenedores (Wilmsmeier y otros, 2014; He, 2016; Sha y otros, 2016; He y otros, 2015a; He y otros 2015b; Yang y otros, 2013; Yang y Chang, 2013; Geerlings y van Duin, 2011). En la práctica, además, son muy pocas las terminales que analizan en detalle su modalidad de consumo de energía (por ejemplo, la de Hamburgo, en Alemania, la de Arica, en Chile, y la de Valencia, en España). En la edición N° 329 del *Boletín FAL*, se presentó un análisis comparativo del consumo de energía en 13 terminales de contenedores de América Latina, en el que se aplicó un método diseñado por Lin y otros (2001) que permitía calcular los costos sobre la base de las actividades. Ese método permite: a) determinar cuánta energía se consume en determinadas áreas de operación, y b) asignar un nivel dado de consumo de energía a una unidad individual dentro de un proceso o un grupo de procesos. En la edición N° 329, se distinguen los siguientes grupos de procesos dentro de las terminales de contenedores: grúas de muelle, iluminación, edificios, refrigeración (contenedores frigoríficos), manipulación horizontal de contenedores y "otras" (cf. Froese y Toeter, 2013). Si bien se logró asignar niveles de consumo de energía eléctrica a diferentes grupos de procesos, una parte del consumo de energía quedó sin determinar, y los datos no fueron lo suficientemente pormenorizados como para asignar niveles de consumo de combustibles fósiles a los grupos de procesos correspondientes. Hasta ahora, no se ha diseñado ningún método integrado ni ningún conjunto de indicadores reconocidos que se apliquen a las terminales de contenedores. Una de las principales limitaciones de las investigaciones que se han llevado a cabo es que carecen de datos detallados y fiables. En la literatura existente por lo general se emplean cifras de consumo medio y estándar para estimar el consumo de energía general o derivar las emisiones (Geerlings y van Duin, 2011).

La cuestión del consumo de energía en las terminales se puede abordar desde dos perspectivas diferentes: a) un método global en el que se considera que los contenedores consumen energía cuando se los manipula, y b) un método en el que se considera que son los equipos los que consumen energía al manipular los contenedores. Este último se acerca más a la idea de un método basado en las actividades (Lin y otros, 2001; Wilmsmeier y otros, 2013). Si se aplica este método, los diferentes tipos de equipos que se emplean en las terminales constituyen un factor pertinente. En el diagrama 1 se representa el marco de la investigación sobre el consumo de energía en las terminales de contenedores que se presenta en esta edición del *Boletín FAL*.

**Diagrama 1**  
Grupos de actividades que consumen energía en las terminales de contenedores



Fuente: Elaboración propia.

La cantidad de energía que se consume por contenedor luego se descompone en las cantidades que consumen los diferentes equipos que se utilizan. La iluminación y la refrigeración de los contenedores frigoríficos constituyen excepciones, debido a que, en esos grupos de procesos, la energía se consume durante un período determinado y por ello tiene una dimensión adicional. Para determinar los niveles de consumo de energía de los diferentes equipos de las terminales, es necesario crear un inventario de estos y de la forma de energía que consume cada tipo. También se debe definir la producción de cada tipo.

El tipo de equipos de manipulación de la carga que se utilizan en una terminal depende del sistema de manipulación de contenedores que ella tenga. Brinkmann (2011) distingue cuatro sistemas diferentes: un sistema de apiladoras telescópicas y tractores de terminal con remolque; un sistema de carretillas pórtico; un sistema de grúas pórtico con neumáticos de caucho y tractores de terminal con remolque, y un sistema de grúas pórtico montadas sobre rieles. Las grúas de muelle son el único elemento que está presente en todos estos sistemas. Las grúas pórtico de carga y descarga de contenedores se usan mucho. Cabe mencionar que, en algunos puertos, se utilizan camiones comunes en lugar de tractores de terminal con remolque, y que, en algunas terminales, se utilizan grúas móviles en lugar de las grúas pórtico de carga y descarga de contenedores, o además de ellas (para obtener información más detallada, véase Spengler, 2015).

En el cuadro 1 se enumeran los diferentes tipos de equipos, así como otros consumidores de energía y las diversas fuentes de energía posibles.

**Cuadro 1**  
Consumidores de energía dentro de las terminales de contenedores

	Diésel	Gasolina	Gas natural	Electricidad
Grúas pórtico de carga y descarga de contenedores	•			•
Grúas móviles	•			•
Grúas pórtico montadas sobre rieles	•			•
Grúas pórtico con neumáticos de caucho	•			•
Apiladoras telescópicas	•			•
Carretillas pórtico	•			•
Camiones y tractores de terminal con remolque	•		•	•
Generadores	•		•	
Edificios				•
Iluminación				•
Contenedores frigoríficos				•
Otros vehículos portuarios	•	•	•	•

Fuente: Elaboración propia sobre la base de Spengler, 2015.

### B. Indicadores de consumo energético

Para analizar el consumo de energía, es necesario saber con precisión qué partes del gasto de energía de una terminal corresponden a los diferentes tipos de contenedores (Wilmsmeier y otros, 2014). A fin de determinar el nivel y el perfil del consumo de energía de los diferentes tipos de contenedores, es recomendable aplicar un método de costos basado en las actividades, ya que este permite: a) determinar

qué cantidad de energía consume cada área de operación, y b) crear un conjunto de indicadores detallados.

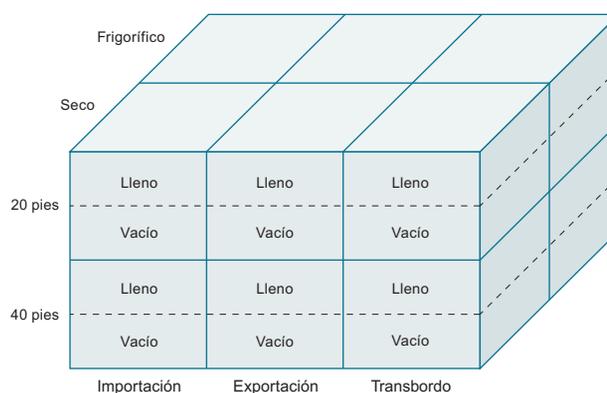
En el presente análisis se tomaron en cuenta los siguientes grupos de actividades que consumen energía: operaciones verticales (grúas de muelle), operaciones horizontales (apiladoras telescópicas, grúas pórtico con neumáticos de caucho, grúas pórtico montadas sobre rieles, y otros), iluminación, edificios y refrigeración (contenedores frigoríficos). El tiempo es otro factor importante al medir el consumo de energía y establecer indicadores de eficiencia energética, por los siguientes motivos: a) la estacionalidad de determinados tipos de tráfico (contenedores frigoríficos); b) las variaciones del tiempo de permanencia de los diferentes tipos de contenedores (contenedores de importación y exportación), y c) las pautas de recalada de las embarcaciones. Todos estos factores pueden provocar variaciones grandes y niveles máximos de consumo de energía.

Si bien hay muy poca literatura sobre el consumo de energía en las terminales de contenedores, sí se han hecho algunos estudios sobre el consumo de energía de determinados tipos de equipos de manipulación de la carga desde el punto de vista operativo. En esos estudios se señala que las grúas pórtico con neumáticos de caucho alimentadas mediante barras colectoras y equipadas con frenos en línea permiten reducir hasta un 60% el consumo de energía (Yang, Chang y Wei-Min, 2013). En términos generales, no obstante, los investigadores que han trabajado en este campo no tienen una visión sistémica común del consumo de energía más allá del efecto de los avances técnicos. Un ejemplo de ello son las conclusiones sobre el efecto que la grúas pórtico eléctricas con neumáticos de caucho tienen sobre el desempeño ecológico de los puertos (Yang, Chang y Wei-Min, 2013).

En la literatura se suele hacer referencia a los contenedores en términos bastante generales. Sin embargo, cuando los contenedores se toman como variable, se debe reconocer que constituyen variables multidimensionales, dado que un contenedor puede tener varias propiedades, en particular, las siguientes: cualidad de lleno o vacío, longitud, altura, sentido del tráfico y tipo de contenedor (Monios y Wilmsmeier, 2013). Dado que la variable “contenedor” tiene diferentes dimensiones, también difieren los procesos operativos y las actividades relacionadas que se llevan a cabo en las terminales. El tiempo tiene una importancia menor para los contenedores vacíos que para los llenos, y eso se refleja en los tiempos de permanencia (Merckx, 2005). Del mismo modo, los contenedores frigoríficos por lo general tienen un tiempo de permanencia considerablemente más breve que otros contenedores. La altura de los contenedores suele tener una incidencia a lo sumo insignificante en las operaciones, los costos y el consumo de energía de las terminales, pero las

diferencias entre los tipos de contenedores (contenedores frigoríficos y secos) sí tienen un efecto mayor sobre las operaciones y los costos. Los contenedores frigoríficos deben permanecer “enchufados” y monitoreados, por lo que consumen más energía. A continuación se muestran las cuatro dimensiones que afectan el consumo de energía de los puertos. Es posible argumentar que cada una de las combinaciones posibles de estas dimensiones constituye un producto individual. No obstante, en lo que respecta a la medición de la eficiencia energética en las terminales de contenedores, puede ser más ilustrativo determinar cuáles de esas dimensiones afectan más las modalidades de consumo. Como se mencionó anteriormente, en las terminales de contenedores, la mayoría de las actividades se llevan a cabo contenedor por contenedor, sin importar su tamaño. Asignar el consumo, las emisiones o los gastos a las unidades equivalentes de 20 pies (TEU) sin querer llevaría a una situación en la que se atribuirían demasiado consumo, emisiones o gastos a los contenedores de 20 pies. Por consiguiente, en el análisis se utilizará el contenedor como indicador unitario (véase el diagrama 2).

**Diagrama 2**  
**Los contenedores como variables multidimensionales**



Fuente: Elaboración propia.

### C. Análisis del consumo de energía en las terminales de contenedores

En la presente edición del *Boletín FAL* se brinda un resumen de las conclusiones más pertinentes de una encuesta en la que participaron más de 35 terminales de contenedores de América Latina y el Caribe, que representaron un tercio del tráfico anual de contenedores de la región entre 2012 y 2015. En la base de datos se muestra un tráfico total de 205 millones de TEU a nivel mundial. Estos datos se verificaron para comprobar la normalidad y la presencia de valores atípicos.

Los resultados que se muestran en el presente análisis forman parte de un estudio mundial sobre el consumo de energía en terminales y puertos de todo tipo. Uno de los últimos productos de ese estudio fue la publicación por primera vez de un inventario de consumo de energía y eficiencia energética en las principales terminales de contenedores de Chile<sup>1</sup>. Se están elaborando otras publicaciones sobre el mismo tema relativas a otros países, además de comparaciones regionales e informes sobre otros tipos de terminales, como las en las que se manipulan cargas líquidas y a granel.

En el análisis que sigue se brinda información acerca de la estructura y la evolución en el correr del tiempo del uso de energía y la eficiencia energética del sector en la región, junto con un examen de otros factores que inciden. A los fines del presente análisis, una terminal de contenedores se define como aquella donde la carga a granel constituye menos del 5% del total. Al comparar las terminales, la disponibilidad de datos acerca del consumo se considera un factor esencial. A modo de ejemplo, la información sobre el consumo por contenedor en dos terminales diferentes solo se puede comparar si ambas brindan datos acerca de las principales fuentes de energía que utilizan.

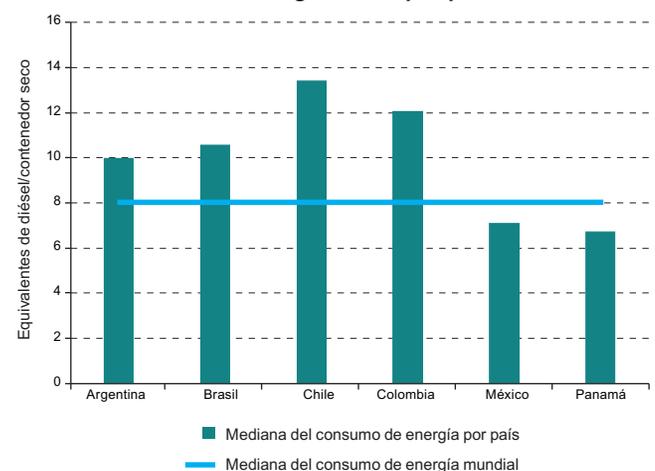
#### D. Principales resultados

La mediana de la cantidad de equivalentes de diésel que se necesitaba para manipular un solo contenedor seco en la región de América Latina y el Caribe era de 8 litros en 2015. Los cálculos anteriores relativos al año 2013 indicaban un nivel de consumo medio de 8,6 litros de equivalentes de diésel<sup>2</sup>. Es decir que se registró una leve mejora en términos generales. Se puede observar que, en los seis países que aparecen en el gráfico 1, la modalidad de consumo es heterogénea. Panamá y México exhiben el nivel más bajo de consumo de energía expresado en equivalentes de diésel. Es posible que esto se deba a los diferentes tipos de operaciones que se llevan a cabo en esos puertos. Los puertos panameños se dedican sobre todo al transbordo, por lo que tienen menor cantidad de movimientos horizontales y diferentes combinaciones de fuentes de energía. Además, un nivel de electrificación superior reduce la cantidad de energía que se consume por contenedor.

Al analizar más a fondo las diferencias entre las terminales y los países, se observa una correlación evidente entre determinados tipos de operaciones que se llevan a cabo en las terminales y el tamaño de estas últimas. Las terminales pequeñas, con menos de 100.000 movimientos de contenedores al año, suelen consumir más del doble de energía por contenedor que las terminales donde hay

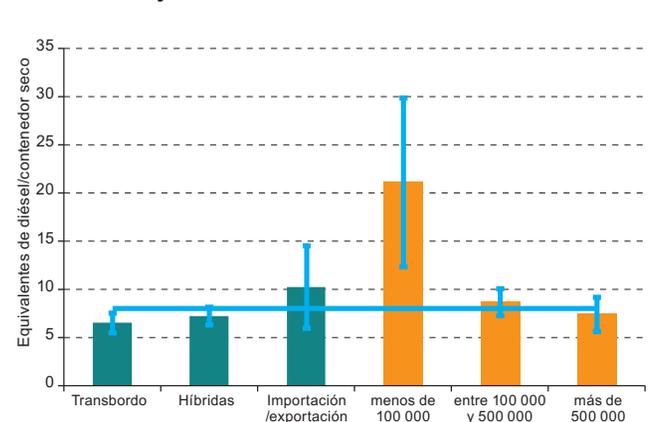
más de 500.000 movimientos (véase el gráfico 2). Por consiguiente, las modalidades de consumo de energía reflejan las economías de escala y sugieren que en las terminales más pequeñas hay muchas posibilidades sin aprovechar de aumentar la eficiencia. Los datos señalan asimismo que las terminales que se especializan en actividades de transbordo tienen un nivel de consumo por contenedor inferior al de las terminales híbridas y las de importación y exportación. Estas conclusiones subrayan la importancia de diferenciar las terminales por tipo y tamaño al establecer puntos de referencia.

**Gráfico 1**  
Mediana de litros equivalentes de diésel que se consumen al manipular un contenedor seco (con exclusión del consumo de los contenedores frigoríficos), por país, 2012-2015



Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de la Unidad de Servicios de Infraestructura de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (varios años).

**Gráfico 2**  
Mediana de litros de equivalentes de diésel que se consumen al manipular un contenedor seco (con exclusión del consumo de los contenedores frigoríficos), por tipo y tamaño de terminal, 2012-2015



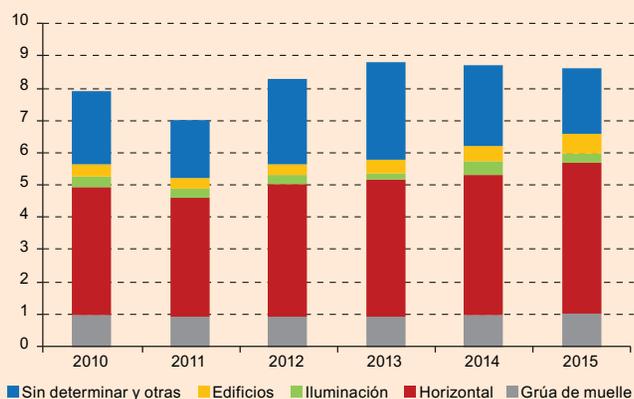
Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de la Unidad de Servicios de Infraestructura de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (varios años).

Nota: Los cálculos se basan en datos de 25 terminales de 8 países.

1 Véase [en línea] [http://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/boletin\\_ee-puertos-chile-cepal-mtt.pdf](http://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/boletin_ee-puertos-chile-cepal-mtt.pdf).  
2 Sobre la base de 41 terminales en 17 países, con un tráfico total superior a los 37 millones de TEU.

El análisis de las tendencias de consumo de energía por grupo de actividades revela que las actividades horizontales representaron la mayor proporción del consumo de energía en el período 2012-2015; además, esa proporción fue la que creció con más rapidez. Las actividades horizontales son todas aquellas que desempeñan las grúas pórtico con neumáticos de caucho, las apiladoras telescópicas, las grúas pórtico montadas sobre rieles, entre otros equipos, y consumen principalmente diésel. Las variaciones sustanciales que se observan dentro de esta categoría se deben sobre todo a las diferencias en la distribución física de las operaciones en las distintas terminales. En 2015, la mediana del consumo de energía de las actividades horizontales por contenedor ascendía a 4,7 litros de equivalentes de diésel; en 2014 y 2013, las cifras correspondientes eran de 3,95 y 4,1 litros. También cabe destacar que la proporción del consumo de energía que se representa en la categoría “sin determinar y otras” está disminuyendo con el tiempo, lo que señala que, con los años, se está logrando obtener un mejor ajuste y datos de mayor calidad.

**Gráfico 3**  
**Mediana de litros de equivalentes de diésel que se consume por grupo de actividades (con exclusión de la refrigeración de los contenedores frigoríficos), 2012-2015**



**Fuente:** Elaboración propia sobre la base de datos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (varios años).

**Nota:** Los cálculos se basan en datos de 31 terminales de 16 países.

Las actividades verticales (grúas pórtico para la carga y descarga de contenedores, y grúas móviles) consumían en promedio aproximadamente el 10% de la cantidad total de energía utilizada. Según el tipo de grúas que se utilicen en la terminal, este valor puede variar de forma considerable, además de que en él incide en gran medida el tipo de energía que se utiliza. En el gráfico 4 se muestra cómo difiere el consumo de energía según el tipo de grúa: Panamax, post-Panamax y grúas móviles. Las grúas pórtico de carga y descarga de contenedores consumen, en promedio, 7,9 kWh por

movimiento, si bien los valores observados exhiben una dispersión considerable. El consumo medio de las grúas post-Panamax supera el de las grúas Panamax. Cabe mencionar que las grúas Panamax de la muestra son unos 10 años más antiguas que las grúas post-Panamax, lo que sugiere la posibilidad de que los presuntos avances tecnológicos no compensen el aumento observable del consumo. Lo más probable es que dicho aumento se deba al mayor tamaño de las grúas y que esté impulsado sobre todo por presiones externas, en particular, el aumento del tamaño de los buques. No obstante, el tamaño de la muestra en términos de la diferenciación entre las grúas post-Panamax y Panamax es relativamente pequeño.

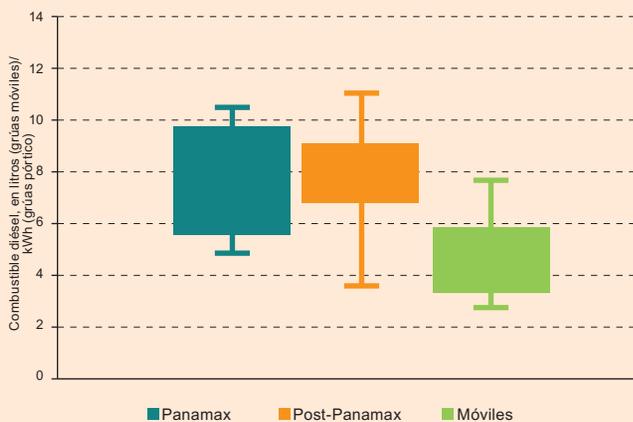
Algunas de esas modificaciones tienen el objeto principal de aumentar la productividad, mientras que otras apuntan sobre todo a reducir los costos y el consumo de energía. Su efecto sobre el consumo, por consiguiente, varía de forma considerable, y esto se refleja en las sensibles diferencias del consumo de las grúas móviles por contenedor. No obstante, se debe tener en cuenta que, en casi todos los casos, las grúas pórtico de carga y descarga de contenedores hacen un uso más eficiente de la energía, y que sería conveniente reemplazar las grúas móviles por grúas pórtico no solo para reducir el consumo de energía, sino también para hacerlo más predecible.

Sin embargo, mientras que equipar las terminales con grúas pórtico de carga y descarga de contenedores sería un emprendimiento bastante costoso, equipar las grúas móviles que ya existen con bastidores telescópicos (*spreaders*) dobles sería más económico y podría aumentar sustancialmente la eficiencia energética y la productividad en las terminales pequeñas o en aquellas donde se manipula una gran cantidad de contenedores de 20 pies.

El combustible diésel es la principal fuente de energía en las terminales de contenedores de América Latina y el Caribe (véase el gráfico 5); la proporción del uso de combustible diésel y de energía eléctrica ha permanecido casi constante en los últimos años. En promedio, solo el 32% de la energía que se consumió en el año 2015 en las terminales de América Latina y el Caribe fue eléctrica. Esto pone de relieve la observación de que no se han hecho avances importantes en términos de electrificación en la región. A título comparativo, la proporción del combustible diésel en la matriz energética de las terminales de contenedores es del 78% en Chile y del 88% en Nigeria, mientras que en el Japón y Viet Nam, la proporción correspondiente en terminales comparables es de entre el 50% y el 60%.

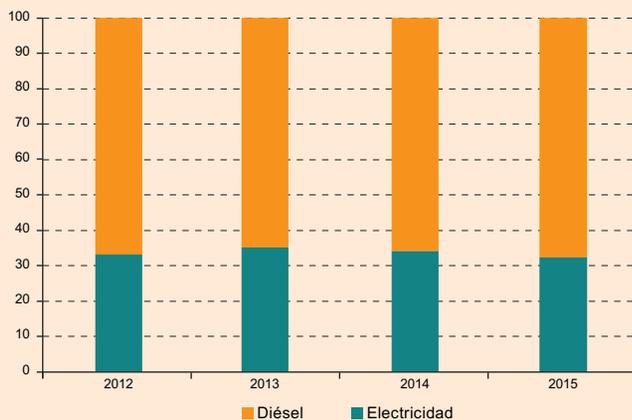


**Gráfico 4**  
Consumo de energía en la manipulación vertical de contenedores, por tipo de grúa, en kWh y litros de combustible diésel



**Fuente:** Elaboración propia sobre la base de datos de la Unidad de Servicios de Infraestructura de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (varios años).  
**Nota:** Basado en 54 datos de 5 países.

**Gráfico 5**  
Proporción de las fuentes de energía en las terminales de contenedores de América Latina y el Caribe, 2012-2015

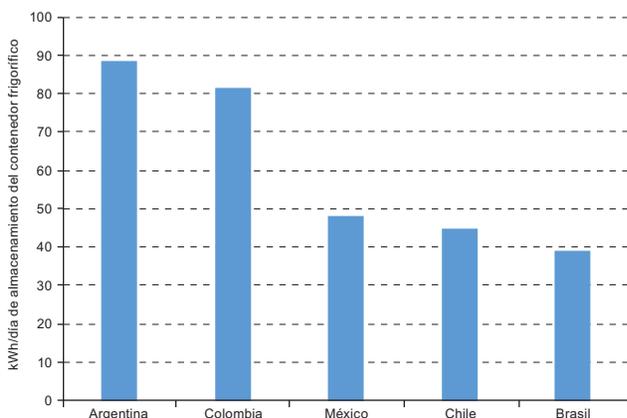


**Fuente:** Elaboración propia sobre la base de datos de la Unidad de Servicios de Infraestructura de la CEPAL (varios años).  
**Nota:** Los cálculos se basan en datos de 44 terminales de 20 países. Los datos de los países abarcan los años que van de 2010 a 2015.

No obstante, la modalidad de consumo del combustible diésel difiere entre las terminales y depende, en una medida considerable, de la configuración particular de equipos de cada terminal. A modo de ejemplo, las grúas móviles que funcionan con diésel representan entre el 30% y el 38% del consumo total de este tipo de combustible en las terminales chilenas de contenedores, si estas no cuentan con grúas pórtico de carga y descarga de contenedores. Por lo general, las grúas pórtico con neumáticos de caucho que funcionan con diésel son las que más combustible de ese tipo consumen, seguidas de los tractores de terminal con remolque o las apiladoras telescópicas.

Los contenedores frigoríficos representan entre el 5% y el 20% del movimiento total de contenedores en las terminales de la región de América Latina y el Caribe, y la refrigeración de dichos contenedores puede representar hasta el 60% del consumo eléctrico de una terminal. En promedio, el 17,6% del consumo total de energía puede atribuirse a la refrigeración de los contenedores frigoríficos. Esta cifra varía según la cantidad de carga refrigerada que se manipule. A modo de ejemplo, en el caso de Chile, la refrigeración de los contenedores representa casi un cuarto del consumo total de energía de las terminales que se estudiaron. La mediana del consumo de energía por día de almacenamiento de un contenedor frigorífico depende en gran medida de la infraestructura del país. La cantidad de energía que se consume para refrigerar los contenedores depende del tiempo y, por consiguiente, está directamente correlacionada con el tiempo de permanencia de los contenedores frigoríficos llenos en la terminal. El tiempo de almacenamiento varía considerablemente de un país a otro y de una terminal a otra, y depende de que haya infraestructura de frío para la cadena de suministro en el puerto y la región que este sirve. En algunos países, como no hay instalaciones adecuadas fuera del puerto, los contenedores frigoríficos se utilizan como instalaciones de almacenamiento en las terminales. En esos casos, el consumo de energía por contenedor es superior debido a factores vinculados con el desempeño de la cadena de suministro y no con el desempeño de la terminal en sí misma. En el gráfico 6 se muestran las diferencias entre algunos países seleccionados por día de almacenamiento, asociadas con las cadenas de suministro de refrigeración correspondientes. La "carga caliente" consume energía adicional porque hay que enfriarla cuando llega a la terminal. El tipo de carga refrigerada también tiene una gran incidencia en el consumo de energía; por ejemplo, mantener fría la carga refrigerada consume más cantidad de energía que mantener fría la carga congelada.

**Gráfico 6**  
Consumo medio de energía por día de almacenamiento de un contenedor frigorífico lleno, por país, en kWh



**Fuente:** Elaboración propia sobre la base de datos de la Unidad de Servicios de Infraestructura de la CEPAL (varios años).

**Nota:** Los cálculos se basan en datos de 15 países y corresponden a los años que van de 2010 a 2015.

La investigación que se presenta aquí y el análisis detallado de las modalidades de consumo de energía que se llevó a cabo, lleva a plantear la necesidad clara de distinguir entre los diferentes productos que se manipulan en las terminales de contenedores, a saber, los contenedores secos y los frigoríficos (llenos). El método que se emplea en el presente permite calcular las emisiones de estos diferentes productos. Hasta ahora, en la literatura no han aparecido estos tipos de cálculos diferenciados. A modo de ejemplo, el nivel de emisiones por contenedor frigorífico es relativamente bajo en las principales terminales chilenas. El tiempo de permanencia de los contenedores frigoríficos es un factor fundamental para determinar el nivel de consumo y, por consiguiente, las emisiones. En el caso de la Terminal Pacífico Sur de Chile, se calculó que las emisiones (excluidas las del alcance 3 del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero) ascendían a 27,57 kg de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) por contenedor (Terminal Pacífico Sur, 2013) en 2013<sup>3</sup>. Si se aplica la diferenciación de los tipos de contenedores a la que se llegó utilizando el método basado en las actividades, las emisiones de CO<sub>2</sub> ascienden a 19,32 kg y a 66,18 kg por contenedor corriente y frigorífico, respectivamente. Esto refuerza el argumento de que los contenedores frigoríficos y los secos se deben tratar como productos independientes. Sobre la base de esta diferenciación, cabe preguntarse si sigue siendo cierta la percepción de que las terminales de contenedores solo representan una proporción marginal de las emisiones de la cadena total de transporte.

3 216,94 kg por TEU, multiplicados por el factor de TEU correcto, 1,63, en relación con este año y con esta terminal.

### III. Conclusiones

Las conclusiones relativas al nivel actual de consumo de energía en las terminales de contenedores constituyen datos muy pertinentes para los dirigentes del sector y los encargados de formular las políticas. Señalan la necesidad urgente de tomar medidas con el propósito de abordar la competitividad, la seguridad energética y el cambio climático, además de analizar el desempeño de las terminales sobre la base de un método más integrado y sostenible.

En la investigación que se presenta en esta edición del *Boletín FAL* se destaca la importancia de utilizar el consumo de energía como base para reconocer las posibilidades de aumentar la eficiencia energética y mejorar el cálculo de la huella de carbono. Una de las dificultades que surgieron en las investigaciones anteriores fue cómo asignar el uso de los combustibles fósiles a diferentes grupos de procesos. Esa dificultad se superó casi por completo aplicando de forma más coherente el método basado en las actividades. Al analizar las modalidades de consumo de energía, se observa que hay grandes posibilidades de aprovechar los beneficios del cambio tecnológico y la electrificación. A modo de ejemplo, la cantidad de litros de combustible diésel que se consumió en las terminales de contenedores chilenas por cada contenedor manipulado fue equivalente a la cantidad que consumió un camión totalmente cargado para desplazarse 17,6 km en 2013<sup>4</sup>. En total, se consumieron más de 10,5 millones de litros de combustible diésel. Esto subraya la importancia de tomar en cuenta el consumo de energía en las terminales de contenedores al calcular los niveles de emisiones.

Al comparar los costos y las emisiones, se observa que algunos operadores de terminales se enfrentan a objetivos contradictorios, ya que con frecuencia deben optar entre reducir los costos o reducir las emisiones. Esto, a su vez, indica que es preciso ofrecer incentivos normativos. Los encargados de formular las políticas y las autoridades portuarias deben apoyar de diversos modos la labor que llevan a cabo los puertos y las terminales para reducir el consumo de energía y las emisiones. Entre esos modos, cabe citar los siguientes: ayudar a las terminales y a otros operadores a introducir tecnologías ecológicas; establecer derechos diferenciados para los puertos y las terminales sobre la base del consumo de energía; poner en práctica en los puertos sistemas de gestión energética que allanen el camino para utilizar aplicaciones de desconexión de carga y red inteligente (red general); emplear intermediarios en materia de energía que permitan celebrar con los proveedores contratos que sean económicos e inoocuos para el medio ambiente, y desarrollar un conjunto de fuentes

4 Se estima que los camiones consumen 35 litros de combustible diésel cada 100 km.

energéticas que comprenda la producción de energía propia mediante parques eólicos, instalaciones de paneles solares, energía mareomotriz y otras fuentes.

Las conclusiones que se exponen en el presente análisis tienen tres consecuencias principales para los operadores de las terminales y los encargados de formular las políticas. En primer lugar, los operadores de las terminales pueden incidir en sus propias modalidades de consumo de energía mediante avances tecnológicos, decisiones operativas o una combinación de ambos. En segundo lugar, los gastos son, al parecer, el factor que impulsa el proceso de toma de decisiones de los operadores de las terminales. Sin embargo, la reducción de los costos de la energía no conlleva necesariamente una reducción de las emisiones. Es necesario aplicar medidas normativas para internalizar el costo de las emisiones, por lo menos en cierta medida. En tercer lugar, la atribución del consumo de energía, las emisiones o los gastos a una unidad determinada se debe hacer contenedor por contenedor, y se debe distinguir,

por lo menos, entre los contenedores frigoríficos y los secos, dado que las terminales son establecimientos en los que se manipulan productos diversos —un hecho que suele pasarse por alto al evaluar la productividad.

Esta última conclusión no solo es pertinente para los operadores de las terminales y los encargados de formular las políticas, sino que también contribuye a la labor que se está llevando a cabo en relación con el cálculo del consumo de energía y las emisiones en las cadenas logísticas. Las modalidades de consumo de los contenedores secos y frigoríficos difieren tanto que no es posible argumentar con validez a favor de tratar los métodos de manipulación de estos dos tipos de contenedores como si se tratara del mismo producto. Esta conclusión no solo es útil para las terminales de contenedores, sino que también se puede aplicar a cualquier investigación sobre las modalidades de consumo y emisión de los buques que transporten un volumen considerable de contenedores frigoríficos llenos.

#### IV. Bibliografía

- Acciario, M., Ghiara, H., Cusano, I. (2013), "The Role of Ports as Energy Managers", presentado en la conferencia anual de la Asociación Internacional de Economistas Marítimos (IAME), Marsella, Francia.
- Acciario, Michele (2014), "A real option application to investment in low sulphur maritime transport", Vol. 6. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*.
- (2013), "Fully sustainable energy management: The port as an energy hub", Presentation at Managing Environmental Performance for Ports and Terminals, Londres.
- Agencia Internacional de la Energía (2013), *Energy Efficiency Market Report 2013*.
- Brinkmann, B. (2011), *Operations Systems of Container Terminals: A Compendious Overview*, Springer Science+Business Media [en línea] <http://www.springer.com/978-1-4419-8407-4>.
- Geerlings, H., van Duin, R. (2011), "A new method for assessing CO2 emissions from container terminals: a promising approach applied in Rotterdam", *Journal of Cleaner Production*, 19, 657–666.
- He, J. (2016), "Berth allocation and quay crane assignment in a container terminal for the trade-off between time-saving and energy-saving", *Advanced Engineering Informatics*, 30, 390–405, doi: 10.1016/j.aei.2016.04.006.
- He, J., Huang, Y., Yan, W. (2015a), "Yard crane scheduling in a container terminal for the trade-off between efficiency and energy consumption", *Advanced Engineering Informatics*, 29, 59–75.
- He, J., Huang, Y., Yan, W., Wang, S. (2015b), "Integrated internal truck, yard crane and quay crane scheduling in a container terminal considering energy consumption", *Expert Systems with Applications*, 42, 2464–2487.
- Horta, L.A. (2010), *Indicadores de políticas públicas en materia de eficiencia energética en América Latina y el Caribe*, CEPAL.
- Joumard, R., Gudmundsson, H. (2010), *Indicators of Environmental Sustainability in Transport*, Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité.
- Lin, B., Collins, J., Su, R.K. (2001), "Supply chain costing: an activity-based perspective", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
- Merckx, Filip (2005), "The issue of dwell time charges to optimize container terminal capacity", presentado en la conferencia anual de la Asociación Internacional de Economistas Marítimos (IAME), Limassol, Chipre.
- Ministerio de Energía (2015), *National Energy Strategy 2012-2030*, Gobierno de Chile [en línea] [http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2014/10/3\\_Estrategia-Nacional-de-Energia-2012-2030\\_Energia-para-el-Futuro.pdf](http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2014/10/3_Estrategia-Nacional-de-Energia-2012-2030_Energia-para-el-Futuro.pdf).
- Monios, J., Wilmsmeier, G. (2013), "The operational dynamics of container types in regional British port development strategies", presentado en la conferencia anual de la Asociación Internacional de Economistas Marítimos (IAME), Marsella, Francia.
- Naciones Unidas (2016), *Sustainable Development Goals Report 2016* [en línea] [https://unstats.un.org/sdgs/report/2016/The%20Sustainable%20Development%20Goals%20Report%202016\\_Spanish.pdf](https://unstats.un.org/sdgs/report/2016/The%20Sustainable%20Development%20Goals%20Report%202016_Spanish.pdf).



- National Institute of Standards and Technology (2015), NIST Guide to SI, [en línea] <http://physics.nist.gov/Pubs/SP811/sec04.html>, 10 de abril de 2015.
- Nozawa, Tetsuo: Tokai University Unveils 100W DC Motor with 96 percent Efficiency, Nikkei Electronics, 2009.
- Sha, M., Zhang, T., Lan, Y., Zhou, X., Qin, T., Yu, D., Chen, K., n.d. "Scheduling optimization of yard cranes with minimal energy consumption at container terminals", *Computers & Industrial Engineering*.
- Smeets, E., Weterings, R. (1999), "Environmental indicators: Typology and overview", *Agencia Europea de Medio Ambiente*, 1999 [en línea] <http://www.eea.europa.eu/publications/TEC25>, 23 de abril de 2015.
- Spengler, T. (2015), *Energy Efficiency in Chilean Container Terminals*, Hochschule Bremen, Bremen, Alemania.
- Staffell, I. (2011), *The Energy and Fuel Data Sheet*, Revision 1 edition, University of Birmingham, 2011 [en línea] [http://wogone.com/science/the\\_energy\\_and\\_fuel\\_data\\_sheet.pdf](http://wogone.com/science/the_energy_and_fuel_data_sheet.pdf).
- Terminal Pacífico Sur (TPS) (2013), "Carbon Footprint 2012" [en línea] [http://portal.tps.cl/tps/site/artic/20130310/asocfile/20130310222710/informe\\_huella\\_carbono\\_tps.pdf](http://portal.tps.cl/tps/site/artic/20130310/asocfile/20130310222710/informe_huella_carbono_tps.pdf).
- Wilmsmeier, G. (2015), "Geografía del transporte de carga: evolución y desafíos en un contexto global cambiante", *Serie Recursos Naturales e Infraestructura*, LC/L.4116, CEPAL.
- Wilmsmeier, G., Froese, J. Zotz, A.K. (2014), "Energy consumption and efficiency: Emerging challenges from reefer trade in South American container terminals", *Boletín FAL*, Número 329, CEPAL.
- Wilmsmeier, G., Monios, J. (2015), "Institutional structure and agency in the governance of spatial diversification of port system evolution in Latin America", *Journal of Transport Geography*.
- Wilmsmeier, G., Monios, J. Pérez-Salas, G. (2014), "Port system evolution - the case of Latin America and the Caribbean", *Journal of Transport Geography*.
- Wilmsmeier, G., Tovar, B., Sánchez, R. (2013), "The evolution of container terminal productivity and efficiency under changing economic environments", *Research in Transportation Business & Management*.
- Yang, Y.-C., Lin, C.-L., 2013, "Performance analysis of cargo-handling equipment from a green container terminal perspective", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 23, 9–11.
- Yang, Y-C, Chang, W-M (2013), "Impacts of electric rubber-tired gantries on green port performance", *Research in Transportation Business & Management*.