



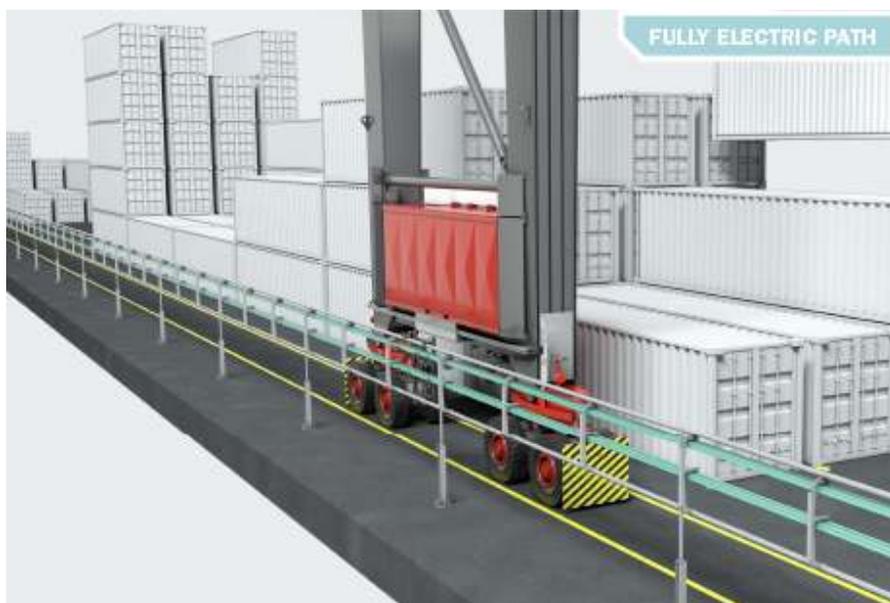
Organización de los Estados Americanos | Más derechos para más gente



Comisión Interamericana de Puertos



## EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PUERTOS: TENDENCIAS Y MEJORES PRÁCTICAS



Abril 2016

## ACRÓNIMOS

Análisis de ciclo de vida	ACV
Automated Guided Vehicle	AGV
Comisión Interamericana de Puertos	CIP
Emission Control Area	ECA
Gas de Efecto Invernadero	GEI
Gas Natural Licuado	GNL
Heavy Fuel Oil	HFO
International Maritime Organization	IMO
International Standard Organization	ISO
Light Emitting Diode	LED
Marine Gas Oil	MGO
Memoria de Entendimiento	Med
On Shore Power Supply	OPS
Rail Mounted Gantry Crane	RMG
Rubber Tyred Gantry Crane	RTG
Terminal Operator Systems	TOS
Terminal Puerto Arica	TPA
Terminal Portuaria de Contenedores	TPCs
Terminal Pacífico Sur Valparaíso	TPS
Twenty-foot Equivalent Unit	TEU
Trans European Network Transport	TEN-T
Unidades Medioambientales	UMAS
World Ports Climate Initiative	WPCI



**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

ACRÓNIMOS.....	2
1 Introducción y Contexto del Estudio .....	6
2 Eficiencia Energética en la Estrategia Corporativa.....	7
2.1 Introducción.....	7
2.2 Planificación Estratégica .....	9
2.2.1 Proceso de Planificación Estratégica.....	9
2.2.2 Planificación Estratégica Aplicada a Terminales Portuarias.....	11
2.3 Integración de la Eficiencia Energética en el Cuadro de Mando Integral (CMI).....	12
2.3.1 Integración de la Eficiencia Energética en el Mapa Estratégico .....	14
2.4 Sistema de Indicadores de Eficiencia Energética.....	16
2.5 Herramientas de Monitorización y Control.....	17
2.6 Retroalimentación del Sistema.....	18
3 Estado del Arte de la Eficiencia Energética en el Sector Portuario Internacional.....	20
3.1 Interfaz Marítima – Terrestre .....	20
3.1.1 Tecnologías de Suministro Eléctrico a Buques desde Tierra.....	20
3.1.2 Aplicación de Energías Renovables <i>off-shore</i> .....	25
3.2 Interfaz Terrestre.....	26
3.2.1 Soluciones de Electrificación para Maquinaria Portuaria .....	26
3.2.2 Uso de Combustibles Alternativos para Maquinaria Portuaria .....	33
3.2.3 Sistemas de Monitorización y Control del Consumo Energético .....	35
3.2.4 Iluminación Eficiente.....	37
3.2.5 Aplicación de Energías Renovables en Tierra.....	38
4 Metodología para la Cuantificación del Consumo Energético en Terminales Portuarias de Contenedores.....	40
4.1 Primer caso de Referencia Terminal Puerto Arica (TPA).....	42
4.1.1 Descripción de la Terminal de Contenedores (tipología incluyendo maquinaria).....	42
4.1.2 Consumo Energético Anual y Descripción Explicativa del Consumo Energético .....	44
4.1.3 Propuestas de Mejora en Eficiencia Energética para Disminuir el Consumo Energético de la Terminal de Contenedores.....	45
4.2 Segundo Caso de Referencia Terminal Pacífico Sur Valparaíso (TPS).....	51
4.2.1 Descripción de la Terminal de Contenedores (tipología incluyendo maquinaria).....	51
4.2.2 Consumo Energético Anual y Descripción Explicativa del Consumo Energético .....	52
4.2.3 Propuestas de Mejora en Eficiencia Energética para Disminuir el Consumo Energético de la Terminal de Contenedores.....	53



5 Metodología para el Cálculo de la Huella de Carbono en Terminales Portuarias de Contenedores.....	58
5.1 Bases de la Metodología .....	59
5.2 Inventario de Gases de Efecto Invernadero .....	60
5.3 Relación de la Huella de Carbono con la Actividad de la Terminal .....	62
5.4 Identificación de Medidas para Reducir la Huella de Carbono .....	63
6 Conclusiones del Estudio.....	65
7 Bibliografía.....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas de la Planificación Estratégica Corporativa .....	10
Figura 2. Cuadro de Mando Integral .....	13
Figura 3. Mapa estratégico para una terminal portuaria de contenedores genérica.....	15
Figura 4. - Indicadores clave de eficiencia energética .....	17
Figura 5. Proceso de Retroalimentación .....	18
Figura 6. Esquema de Funcionamiento de la Tecnología OPS .....	20
Figura 7. Sistema On Shore Power Supply en el Puerto de Oakland, EEUU .....	23
Figura 8. Sistema Modular (ShoreBox) On Shore Power Supply instalado en Bergen, Noruega	24
Figura 9. Buque preparado para OPS con generadores de GNL .....	24
Figura 10. Parque eólico marino instalado en Dinamarca .....	25
Figura 11. Sistema de Electrificación Conduct Bar para RTG .....	27
Figura 12. Sistema de Electrificación Cable Reel para Grúas de Patio RTG .....	27
Figura 13. AGVs de la Terminal HHLA CTA, Hamburgo .....	30
Figura 14. Distribución típica de consumo de combustibles para TPC con RTG en patio.....	30
Figura 15. Prototipo de Cabeza Tractora Eléctrica.....	31
Figura 16. Grupo Híbrido para una Grúa de Patio RTG .....	32
Figura 17. Grúa Electrificada en MSC Terminal Valencia con el Sistema Cable Reel .....	32
Figura 18. Cabeza Tractora y Camión de suministro de GNL en Noatum Container Terminal Valencia .....	34
Figura 19. Reachstacker con Sistema de Doble Combustible GNL-Diésel Implementada en Terminal Darsena Toscana, Livorno .....	35
Figura 20. Sistema de Gestión de Monitorización de la Energía en una Terminal de Contenedores.....	36
Figura 21. Terminal Jebel Ali (Dubai) I.....	37
Figura 22. Instalación de turbinas eólicas en el Puerto de Rotterdam .....	38
Figura 23. Placas fotovoltaicas en estación marítima de Santa Cruz de La Palma.....	39
Figura 24. Terminal Puerto Arica.....	43
Figura 25. Esquema básico de un CMI .....	46
Figura 26. Terminal Pacífico Sur Valparaíso .....	51
Figura 27. Reachstaker en la Terminal Pacífico Sur. ....	55
Figura 28. Clasificación de emisiones portuarias según los alcances .....	59
Figura 30. Ciclo PDCA de mejora continua.....	64

## 1 Introducción y Contexto del Estudio

El presente estudio se enmarca dentro del Memorando de Entendimiento (MdE) entre la Secretaría General de los Estados Americanos (SG/OEA), a través de su Secretaría Ejecutiva para el Desarrollo Integral (SEDI), la Comisión Interamericana de Puertos (CIP) y la Fundación de la Comunidad Valenciana para la Investigación, Promoción y Estudios Comerciales de Valenciaport (“FUNDACIÓN VALENCIAPORT”) firmado en marzo del 2013.

La CIP establece como una de sus áreas prioritarias la gestión y explotación sostenible en los puertos, haciéndola compatible con la protección del medio ambiente. En este contexto, la eficiencia energética se configura como uno de los pilares fundamentales que en el presente y futuro de los puertos facilitará la consecución de esta sostenibilidad. Para ello, la eficiencia energética se orienta hacia la mejora de las operaciones portuarias a través de la innovación, la productividad y la competitividad.

La eficiencia energética portuaria es una disciplina que engloba diferentes líneas de actuación configurándose como un elemento clave para el mantenimiento e incluso incremento del nivel de competitividad de los puertos que apuestan por ser más eficientes en el uso de los recursos energéticos. La situación de incertidumbre en cuanto a la evolución del precio de la energía, especialmente en relación con los combustibles fósiles, sitúa a la eficiencia energética como una oportunidad de mejora para los clústeres portuarios, al hacerlos menos dependientes de las fuentes de energía tradicionales.

La progresiva entrada en vigor de diversas regulaciones internacionales como por ejemplo las denominadas *Emission Control Areas* (ECAs) o iniciativas como la *C40 World Ports Climate Initiative*, en la que 55 puertos de todo el mundo firmaron una declaración conjunta con el compromiso de reducir sus niveles de emisiones de efecto invernadero, han resultado en un incremento significativo de la conciencia ambiental en el ámbito portuario.

Esto ha impulsado la búsqueda y el desarrollo de soluciones que permitan reducir las emisiones generadas en buques y puertos derivados de su operativa, y en este caso la implementación de tecnologías que permitan incrementar la eficiencia energética de estas infraestructuras clave, como pueden ser el uso de combustibles alternativos, energías renovables o sistemas inteligentes de gestión energética.

En definitiva, la eficiencia energética considerada como oportunidad de mejora para reducir costes e incrementar la productividad de las empresas del clúster portuario, ya sea transportistas, operadores logísticos, operadores de terminales, autoridades portuarias o navieras es un área de presente y futuro que va a influir

significativamente en los modelos de negocio de los mencionados agentes en los próximos años.

## 2 Eficiencia Energética en la Estrategia Corporativa

### 2.1 Introducción

Desde los años 80 y con especial intensidad en los primeros años del presente siglo, la preocupación internacional por el medio ambiente ha estado fuertemente condicionada por las evidencias científicas que demuestran la influencia de las actividades humanas en el cambio climático del planeta. En efecto, en 1987, la Organización de Naciones Unidas reconoció oficialmente el compromiso internacional de las naciones con la integración de las cuestiones ambientales en los modelos de desarrollo socio-económico a través del concepto de **Desarrollo Sostenible**, entendido como un desarrollo capaz de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer las de las generaciones futuras.

Las políticas de desarrollo sostenible afectan a tres áreas de la actividad humana: económica, ambiental y social. Hasta el momento la iniciativa más destacada a nivel internacional en relación con la “sostenibilidad ambiental” es el denominado **Protocolo de Kioto** seguido del **Acuerdo de París**, cuyo objetivo es la reducción global de emisiones de gases de efecto invernadero.

De entre los aspectos más importantes que este desarrollo debe tener en cuenta se encuentran por un lado el aprovechamiento de fuentes primarias renovables, y por otro, la obtención de una elevada **eficiencia energética** en los procesos de aprovechamiento de las energías finales en los hogares, la industria y el transporte. En este sentido, *“las políticas de ahorro y eficiencia energética se configuran como un instrumento de progreso de la sociedad, pues: contribuyen al bienestar social, representan un elemento de responsabilidad social; proyectan las actividades humanas hacia el desarrollo sostenible; establecen un nuevo marco para el desarrollo de la competitividad empresarial; y, en suma, responden al principio de solidaridad entre los ciudadanos y los pueblos”* (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2004)

La eficiencia energética es uno de los campos de acción que más se ha desarrollado en los últimos años y el sector portuario no es ajeno a esta situación. Actualmente existen grandes oportunidades de mejora en relación con la reducción del consumo energético en los puertos y operadores portuarios. Los beneficios asociados a la eficiencia energética en estas instalaciones no sólo afectan positivamente a las áreas portuarias y su interfaz con las ciudades, sino que también aumentan su competitividad en un sector altamente globalizado como es el del transporte marítimo. El objetivo de este



estudio es, en definitiva, proporcionar un enfoque integrado de la eficiencia energética en puertos, identificando las oportunidades de mejora y ofreciendo una visión conjunta de los beneficios que pueden derivarse de la adopción de las mismas.

## 2.2 Planificación Estratégica

La importancia de la planificación estratégica radica en su vinculación directa con los resultados empresariales de cualquier organización, sean económicos o de otro tipo. La planificación estratégica incide asimismo en los procesos que tienen lugar tanto internamente como en la relación de la empresa con agentes externos. En cualquiera de estos procesos, la planificación estratégica actúa como regulador de las acciones que deben servir para tomar decisiones orientadas a la consecución de los objetivos de la organización.

Es conocido que la estrategia de la empresa está basada en su declaración de Misión, Visión y Valores. La **Misión** define a qué se dedica la empresa, el mercado al que van dirigidos sus productos y servicios y la imagen corporativa de la misma. La **Visión** describe el estado y posición que la organización aspira a alcanzar a medio y largo plazo, es decir, dónde se quiere estar en un escenario futuro. Por último, los **Valores** constituyen la filosofía, principios, creencias, normas y reglas generales de funcionamiento de la empresa.

Normalmente, la estrategia se divide en **Líneas Estratégicas** que son los ejes fundamentales en que se basa la empresa para llevar a cabo su Misión y alcanzar su Visión.

La Planificación Estratégica es el proceso de definición y concreción de la estrategia empresarial. Es una metodología que permite la definición, el desarrollo y la implementación de acciones para alcanzar los objetivos definidos por la dirección de la empresa.

### 2.2.1 Proceso de Planificación Estratégica

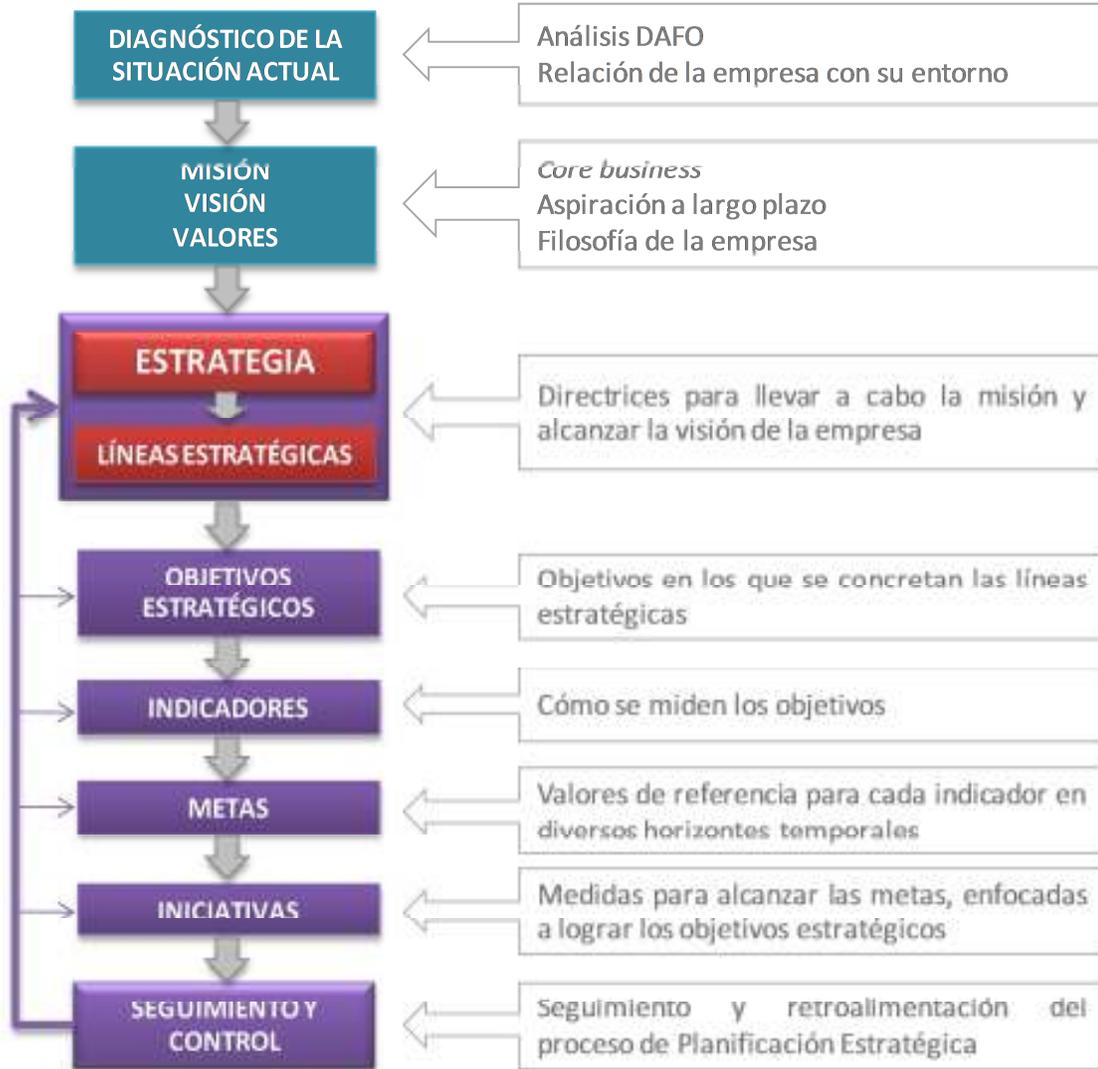
La planificación estratégica exige un seguimiento continuo de la estrategia de la empresa y está basada en una serie de etapas a seguir.

El punto de partida de la planificación estratégica consiste en realizar un diagnóstico de la situación actual de la empresa y su relación con el entorno, plasmando las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de la misma. La Misión, Visión y Valores de la organización deben definirse según el resultado del mismo. Teniendo en cuenta estas etapas previas, la empresa debe articular su estrategia de manera clara y concisa, dividiéndola en líneas estratégicas.

Las siguientes etapas que conforman la planificación estratégica (véase esquema) se desarrollan con mayor profundidad en caso que se utilice el Cuadro de Mando Integral como herramienta de gestión estratégica.



Figura 1. Etapas de la Planificación Estratégica Corporativa



Fuente: Fundación Valenciaport

### 2.2.2 Planificación Estratégica Aplicada a Terminales Portuarias

Para que la estrategia de una terminal portuaria esté correctamente formulada, ésta debe ser capaz de alcanzar a lo largo del tiempo los objetivos propuestos y tener en cuenta la permanente interacción con su entorno. Además, es fundamental que la estrategia sea dinámica, de forma que permita a la empresa adaptarse a los continuos cambios del mercado, y sirva de base para la formulación de metas e iniciativas que ayuden a cumplir con los objetivos planteados.

Sobre la base del proceso de planificación estratégica, la estrategia de una terminal de mercancía se subdivide en líneas estratégicas. Éstas son las directrices fundamentales y prioritarias de desarrollo de la terminal, agrupando cada una de ellas uno o varios objetivos dentro del mismo ámbito.

Generalmente, las líneas estratégicas de las terminales portuarias se asemejan a las de muchas otras empresas y reflejan los principales ejes de actuación: la “excelencia operativa”, el “desarrollo y modernización” (entendiendo estos como parte de la estrategia general de productividad), y el “crecimiento”.

Tradicionalmente, las empresas han enfocado sus objetivos hacia la maximización de los resultados financieros. Estos objetivos se engloban generalmente dentro de las líneas estratégicas relativas a la productividad y al crecimiento de la empresa. Con la evolución de los modelos de gestión y las innovaciones tecnológicas, las empresas comenzaron a interesarse por los temas relacionados con su desarrollo y modernización. Actualmente las organizaciones buscan ser más eficientes, ofreciendo los mismos productos y servicios, pero utilizando menos recursos para ello.

En los últimos años, gran parte de la preocupación de las empresas se ha redirigido hacia aspectos relacionados con el Desarrollo Sostenible y la Responsabilidad Social Corporativa (RSC), un hecho que está en consonancia con el creciente interés y el aumento de la sensibilización que estos temas suscitan en la sociedad. Para incluir todos los objetivos estratégicos de la empresa relacionados con estas cuestiones, se ha definido una nueva línea estratégica llamada **“Integración en el Entorno”**.

Desde la perspectiva ambiental, uno de los grandes desafíos de cualquier organización es su contribución al desarrollo sostenible y por ende a la reducción de emisiones de efecto invernadero. Todas las actividades realizadas y los bienes de consumo adquiridos y utilizados por las empresas y por la sociedad en general implican un consumo de energía, lo que se traduce en emisiones a la atmósfera. Por lo tanto, el ahorro y la eficiencia energética son un instrumento del crecimiento económico y del bienestar social, siendo además uno de los objetivos a perseguir a nivel estratégico por cualquier empresa.



Con el desarrollo de la legislación ambiental y de la RSC tanto a nivel nacional como internacional, las autoridades portuarias y las empresas que conforman el *clúster* portuario se han visto obligadas a tomar medidas enfocadas a mejorar su eficiencia energética y a reducir la huella de carbono del entorno portuario.

Prueba de ello es el documento *Container Port Strategy – Emerging Issues* (OSC, 2007) que presenta 50 medidas para la reducción de emisiones en el sector portuario, de las que 20 están directamente relacionadas con los operadores de terminales de contenedores.

En este sentido, la mejora de la eficiencia energética debe estar incluida a nivel estratégico y ser un objetivo transversal a toda la organización a nivel corporativo. Lo mismo sucede con el objetivo de “reducción de la huella de carbono”.

A continuación se presentan algunas herramientas de apoyo a la planificación estratégica que pueden ser de gran ayuda para que las terminales portuarias sistematicen el proceso de medición, seguimiento y control del alcance de sus objetivos estratégicos.

### 2.3 Integración de la Eficiencia Energética en el Cuadro de Mando Integral (CMI)

El **Cuadro de Mando Integral** o **Balanced Scorecard** (CMI o BSC, respectivamente) es una herramienta de gestión desarrollada en la década de los 90 por Robert S. Kaplan y David P. Norton que facilita la implantación de la estrategia en la empresa, proporcionando el marco, la estructura y el lenguaje adecuados para traducir la Misión, Visión y Valores a objetivos e indicadores.

El primer paso para la construcción de un Cuadro de Mando Integral consiste en identificar los propósitos principales, es decir, los **Objetivos Estratégicos**, seleccionando para cada uno de ellos el indicador o indicadores que mejor recojan y comuniquen la intención de dichos objetivos.

A la hora de definir los objetivos estratégicos, uno de los aspectos a considerar es que sean reales y medibles, para que mediante la elección de los indicadores adecuados puedan ser debidamente cuantificados.

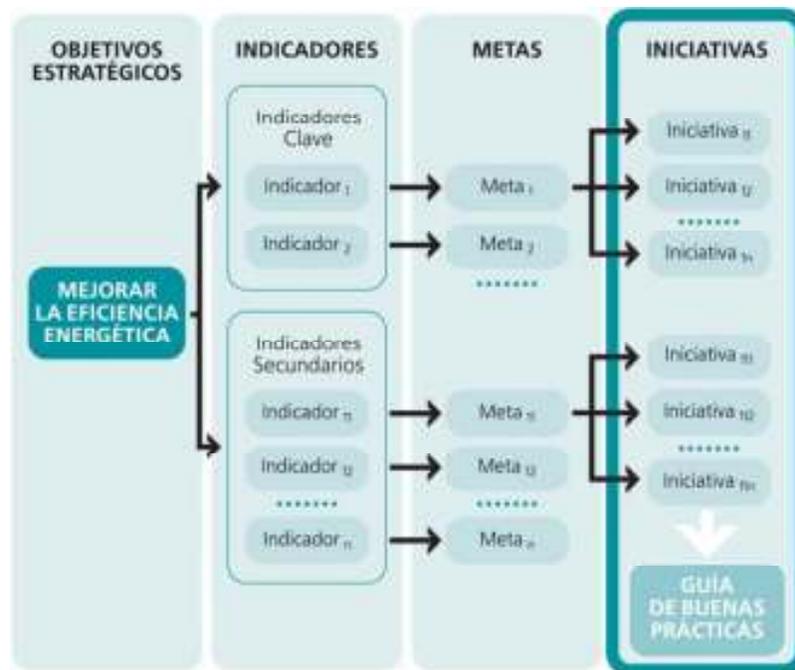
Entre otras ventajas, esta herramienta extiende el conjunto de objetivos estratégicos más allá de los financieros, por lo que se convierte en el sistema de gestión ideal para incorporar objetivos pertenecientes a otras categorías, como es el caso de la eficiencia energética. Para ello, el CMI contempla la actuación desde diferentes **perspectivas** interrelacionadas entre sí y transversales a las líneas estratégicas de la organización. Generalmente se formulan cuatro perspectivas, aunque pueden añadirse tantas como cada empresa considere oportunas, siendo las habituales las siguientes:



- La **perspectiva financiera** que contempla los objetivos de los accionistas de la empresa y equilibra los intereses a corto y largo plazo.
- La **perspectiva del cliente** que recoge una proposición de valor diferenciada.
- La **perspectiva interna**, la cual reúne los **procesos** internos de creación de valor. Por lo general estos procesos pueden dividirse en cuatro grupos atendiendo a los objetivos finales de cada uno de ellos: procesos de gestión operativa, procesos de gestión de clientes, procesos de innovación y procesos reguladores y sociales.
- La **perspectiva de aprendizaje y desarrollo** que alinea la estrategia con los **recursos**, sobre todo con los intangibles: personas, tecnologías de la información y la cultura organizacional.

Asimismo, también se fijan de acuerdo con la estrategia, unos valores a alcanzar por dichos **indicadores**, también llamados **metas** (una por indicador y horizonte temporal), y se diseñan unas **iniciativas estratégicas** con el propósito de alcanzarlos. Estos cuatro elementos -objetivos estratégicos, indicadores, metas e iniciativas estratégicas-, componen el Cuadro de Mando Integral propiamente dicho, que se organiza en un conjunto de tablas que los recopilan y ordenan.

Figura 2. Cuadro de Mando Integral



Fuente: Fundación Valenciaport

Los puertos y operadores portuarios deben centrarse en aquellos procesos internos que aportan una **proposición de valor diferenciadora**. En este sentido, la mejora de la eficiencia energética en la operativa y gestión de la terminal aporta efectivamente un valor diferenciador a la estrategia de la terminal, ofreciendo una ventaja competitiva frente a sus competidores y en su relación con el entorno, considerando especialmente la creciente sensibilización de la sociedad con el medio ambiente y el impacto que las grandes industrias ejercen sobre éste.

El objetivo estratégico de **“Mejorar la Eficiencia Energética”** dentro de una terminal, perteneciente a la línea estratégica **“Integración en el Entorno”**, queda por lo tanto integrado en la “perspectiva interna” del CMI. Dicha integración se representa en la figura del mapa estratégico. Concretamente se encuentra situado en el grupo de objetivos asociados a la gestión operativa, puesto que cumple con las dos funciones principales de los procesos internos de creación de valor que son:

- (a) producir y hacer llegar la proposición de valor a sus clientes y *stakeholders*;
- (b) mejorar procesos y reducir costes de acuerdo con el concepto de productividad financiera.

Para mejorar la eficiencia energética, una terminal portuaria debe diseñar un sistema completo de indicadores. Es importante señalar que la fijación de metas para cada uno de estos indicadores dependerá del grado de compromiso que una determinada terminal desee adoptar. Finalmente, existe una gran variedad de iniciativas estratégicas que pueden contribuir a la consecución de la mejora de la eficiencia energética en una terminal, y que dependen, entre otros factores, de la tipología de la misma.

### 2.3.1 Integración de la Eficiencia Energética en el Mapa Estratégico

Un mapa estratégico es el diagrama que recoge la estrategia de la empresa mediante explícitas relaciones causa-efecto entre los objetivos de las cuatro perspectivas del Cuadro de Mando Integral.

Los cuadros obtenidos con la aplicación del CMI, pese a la segregación que realizan en perspectivas y objetivos estratégicos, resultan insuficientes en muchas ocasiones para la adecuada toma de decisiones por parte de la dirección de la empresa. El eslabón que falta entre la formulación de la estrategia y su ejecución se resuelve utilizando una nueva herramienta, el **Mapa Estratégico**, que proporciona una visión global de la estrategia, relacionando los objetivos estratégicos entre ellos. Se trata de una **representación visual** de la estrategia que recoge en una sola página cómo se integran y combinan los objetivos estratégicos de las distintas perspectivas.



Estas interacciones permiten determinar las relaciones que vinculan los valores de los diferentes indicadores diseñados para controlar los objetivos estratégicos así como facilitar la interpretación lógica de resultados. Para incorporar con éxito el objetivo estratégico de mejorar la eficiencia energética en la estrategia de la terminal, es necesario establecer conexiones entre éste y el resto de objetivos del mapa estratégico.

El vínculo más evidente asociado a este objetivo, establece una conexión entre el mismo y la **minimización del coste de las operaciones**; objetivo estratégico incluido dentro de la perspectiva financiera y directamente relacionado con la estrategia de productividad de la terminal. Al margen de este vínculo también es especialmente relevante la conexión con las proposiciones de valor de la perspectiva cliente como por ejemplo la **reducción de la huella de carbono**, siendo este último otro de los objetivos considerados dentro de la línea estratégica de integración en el entorno.

La siguiente figura muestra un mapa estratégico para una terminal portuaria genérica, en la que se ha incorporado el objetivo estratégico “Mejorar la Eficiencia Energética”. En ésta se observan las relaciones causa-efecto y su alineación estratégica con los objetivos estratégicos anteriormente mencionados.

Figura 3. Mapa estratégico para una terminal portuaria de contenedores genérica



Fuente: Fundación Valenciaport

## 2.4 Sistema de Indicadores de Eficiencia Energética

Una vez integrado el objetivo de eficiencia energética como parte de los objetivos estratégicos de la terminal, el siguiente paso consiste en la definición de los indicadores estratégicos que mejor reflejen la consecución del mismo y que sirvan como herramienta de control y de toma de decisiones a la hora de realizar inversiones o modificaciones en sus operativas.

Reflejar el grado de cumplimiento de un objetivo a través de un único indicador puede no aportar suficiente información y, en consecuencia, dar lugar a interpretaciones erróneas. Por ejemplo, que se alcance una determinada meta asociada a la mejora de la eficiencia energética no garantiza que todos los procesos y equipos la terminal estén siendo más eficientes. Para realizar esta afirmación, es necesario disponer de más datos que permitan analizar los diferentes aspectos energéticos, ya que las ineficiencias en algunos procesos pueden quedar enmascaradas por la mejora de la eficiencia en otros. Por ello, se necesita una serie de indicadores secundarios que respalden y, en su caso, expliquen los resultados obtenidos con los indicadores principales. Los indicadores secundarios permiten medir y priorizar las variables significativas del modelo de explotación de las terminales portuarias atendiendo a sus dimensiones de eficiencia operativa y energética.

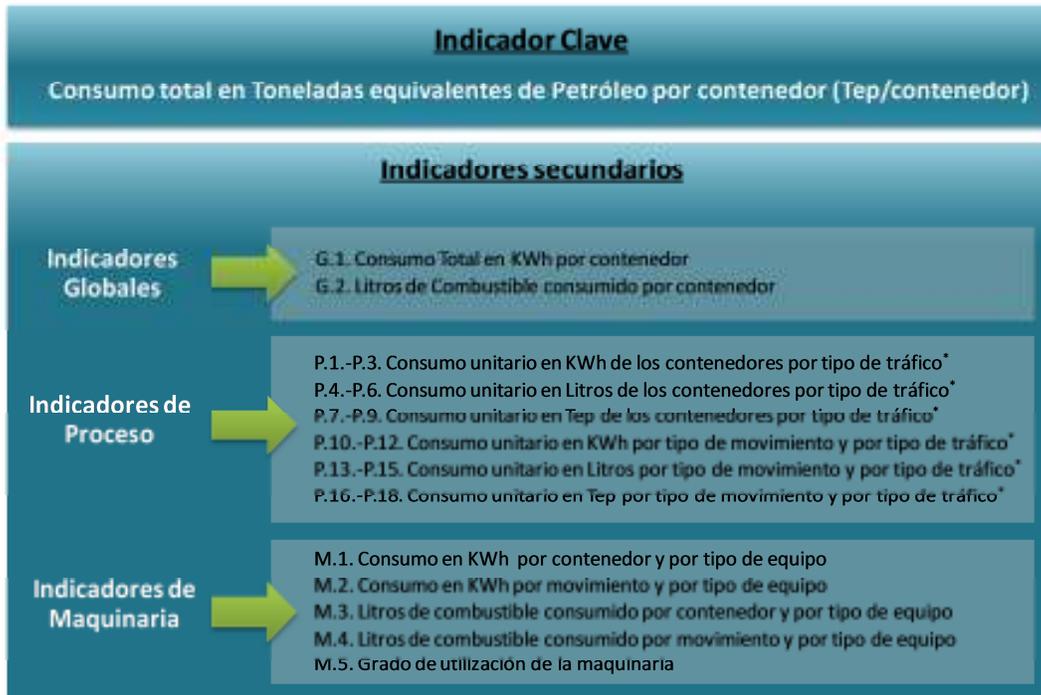
El indicador clave más apropiado asociado a la mejora de la eficiencia energética es el consumo energético total (medido en toneladas equivalentes de petróleo) dividido por el volumen de mercancía manipulado (toneladas de mercancía, número de contenedores, etc.) manipulados por la terminal (tráfico total) en un periodo de tiempo determinado.

El sistema de indicadores aquí propuesto se ha obtenido a partir del trabajo realizado en el marco del proyecto EFICONT, proyecto de referencia en el sector portuario español, siendo uno de los primeros estudios que abordó la problemática de la eficiencia energética en las terminales de contenedores. Este sistema se ha estructurado en varios subgrupos de indicadores. El primero de ellos constituye el grupo de Indicadores Globales, que deben ser los encargados de mostrar la situación general en términos de eficiencia energética de una terminal portuaria. Este grupo se respalda a su vez con la información aportada por los subgrupos de indicadores denominados de proceso y de maquinaria.

La componente ambiental de la mejora de la eficiencia energética, reflejada en la relación causa-efecto entre los objetivos “Mejorar la Eficiencia Energética” y “Reducir

la huella de carbono”, puede medirse empleando como indicador clave la emisión de kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalente por contenedor.

Figura 4. - Indicadores clave de eficiencia energética



\* Tipos de tráfico: Import, Export y Transbordo

Fuente: Fundación Valenciaport

Un aspecto que hay que considerar en relación con los sistemas de indicadores es que éstos no son invariables, es decir, los indicadores pueden cambiar en función de las necesidades o las características de la terminal.

En este caso, el sistema de indicadores se diseñó teniendo en cuenta las características de las terminales de contenedores participantes en el proyecto EFICONT, pero cada terminal puede definir los que considere más apropiados de acuerdo a las particularidades de su estructura organizativa, operativa y maquinaria involucrada para reflejar la situación de sus consumos energéticos.

## 2.5 Herramientas de Monitorización y Control

La **monitorización y control** es el proceso que permite medir los resultados de las iniciativas propuestas, y evaluar su contribución al grado de cumplimiento de los objetivos planteados. Esta evaluación permite detenerse en un cierto momento y comparar el objetivo planteado con la realidad de acuerdo con los resultados obtenidos.

Para poder llevar a cabo este proceso es necesario disponer en primer lugar de un sistema de información que permita la obtención y gestión de los datos relativos al consumo energético de una forma **sistemática, fiable, real y útil** para la organización. Los datos que alimentan a los indicadores deben obtenerse en su mayoría a través de dispositivos instalados en las máquinas e instalaciones consumidoras de energía.

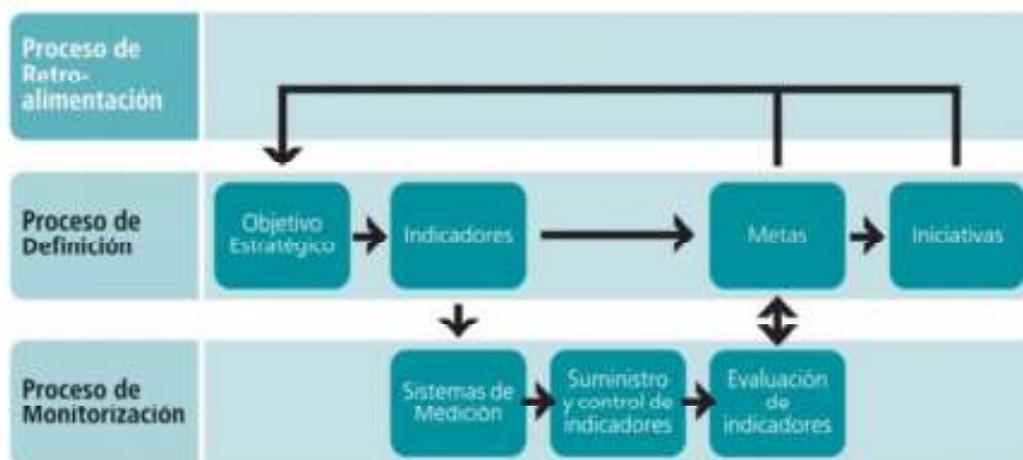
Una vez recogida la información, el siguiente paso consiste en evaluar el cumplimiento del objetivo estratégico de mejora de la eficiencia energética. Para ello, se proponen dos alternativas: la primera de ellas consiste en el diseño de una herramienta informática específica de seguimiento de los indicadores de eficiencia energética; la segunda, en la integración de los parámetros de eficiencia energética en la estructura de una herramienta informática o *software* prediseñado de gestión integral basado en el CMI.

## 2.6 Retroalimentación del Sistema

Finalmente, la herramienta de Cuadro de Mando Integral constituye un importante instrumento de síntesis y control que permite a la empresa conocer el estado de cada indicador y compararlo con su meta para medir el impacto que las iniciativas puestas en marcha están teniendo en la consecución del objetivo estratégico, así como detectar deficiencias y reformularlas.

Este proceso de retroalimentación, se puede definir como un proceso continuo que alcanza los niveles más altos de la planificación estratégica a partir de los resultados a nivel operativo. Es decir, con los datos obtenidos se estudia la validación o la necesidad de reformular, no sólo las iniciativas estratégicas, sino también las líneas y objetivos estratégicos o cualquier otro elemento del proceso de planificación estratégica.

Figura 5. Proceso de Retroalimentación



Fuente: Fundación Valenciaport

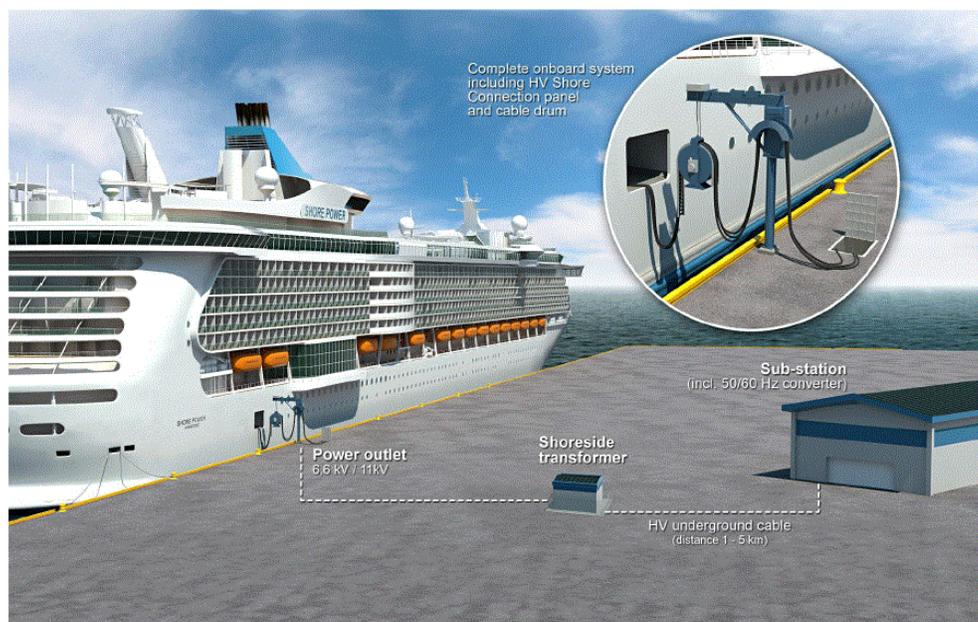
### 3 Estado del Arte de la Eficiencia Energética en el Sector Portuario Internacional

#### 3.1 Interfaz Marítima – Terrestre

##### 3.1.1 Tecnologías de Suministro Eléctrico a Buques desde Tierra

Se denomina **On-Shore Power Supply (OPS)** o *cold ironing* al conjunto de tecnologías y procesos que permiten suministrar energía eléctrica a un buque desde el muelle, permitiendo el apagado de sus motores principales y auxiliares, lo que genera un importante beneficio ambiental al reducir drásticamente las emisiones contaminantes en puerto y los niveles de ruido asociados al funcionamiento de dichos motores. Con la tecnología OPS se garantiza el suministro de electricidad al buque mientras éste permanece atracado en puerto, utilizándose esta energía para el mantenimiento de la iluminación, refrigeración de la carga, climatización, funcionamiento de sistemas auxiliares, etc.

Figura 6. Esquema de Funcionamiento de la Tecnología OPS



Fuente: ABB

El término *on-shore power supply* hace referencia al suministro de energía que se hace al buque desde tierra y no con los medios propios del buque. El término **cold ironing** es un término específico de la industria naviera que procede de los buques propulsados por motores de carbón. Cuando el buque estaba atracado en puerto no había necesidad de alimentar las calderas de los motores de hierro (*Iron*) que, por tanto, se enfriaban en el puerto (*cold*). La tecnología OPS no está ampliamente implementada en los puertos, encontrándose actualmente en poco más de 20 puertos, principalmente en Estados Unidos y Escandinavia (The Maritime Executive, 2015).

Uno de los factores que han limitado su desarrollo es el elevado coste de inversión de las infraestructuras necesarias (subestaciones eléctricas, grandes potencias instaladas, etc.), lo que penaliza significativamente el modelo de negocio y de explotación de esta tecnología.

La Comisión Europea ha aprobado recientemente la Directiva 2014/94/EU, relativa a la implantación para combustibles alternativos, por la que se exigirá a los Estados miembros el desarrollo de infraestructuras portuarias de suministro eléctrico a buques (OPS) a partir de Diciembre de 2025. En este sentido, el texto de la Directiva recoge lo siguiente: “Los Estados miembros garantizarán que la necesidad de suministro eléctrico en puerto para las embarcaciones de navegación interior y los buques marítimos en puertos marítimos e interiores sea evaluada en sus respectivos marcos de acción nacionales. Dicho suministro eléctrico en puerto se instalará prioritariamente en puertos de la red básica de la TEN-T (red *core*) y en otros puertos a más tardar para el 31 de diciembre de 2025, salvo que no existiera demanda y los costes fueran desproporcionados en relación con los beneficios, incluidos los beneficios ambientales”<sup>1</sup>.

Las principales ventajas del sistema de suministro eléctrico OPS son de tipo ambiental, pues permite la eliminación local de emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero (GEI) procedentes de los buques atracados en puerto, así como una reducción significativa de los niveles de contaminación acústica, aspecto muy problemático en la mayoría de los puertos con terminales cercanas a la ciudad.

La actual incertidumbre en la evolución de los precios del petróleo unida a las cada vez más restrictivas regulaciones ambientales de ámbito europeo e internacional, configuran un escenario favorable para el desarrollo de esta tecnología.

Por otra parte, aun siendo una tecnología relativamente madura (los primeros proyectos datan de finales de los años 90), la tecnología OPS cuenta con algunas desventajas como por ejemplo la falta de estandarización entre los equipos y componentes eléctricos de los buques y las infraestructuras de tierra. A modo de ejemplo, se puede mencionar que la frecuencia de los sistemas eléctricos utilizados a bordo es de 60 Hertzios (Hz), siendo ésta compatible con las redes eléctricas de Norteamérica pero no así con las europeas, que utilizan una frecuencia de 50 Hz. Esto obliga a instalar equipos de conversión adicionales en los puertos europeos que incrementan el coste de la inversión. Asimismo, la demanda de potencia eléctrica es muy variable, abarcando desde 1-2MW en el caso de pequeños buques y ferries de pasajeros hasta los 12MW en el caso de los grandes cruceros, lo que obliga en muchos casos a diseñar proyectos prácticamente dedicados a un tipo de buque.

---

<sup>1</sup> <http://www.boe.es/doue/2014/307/L00001-00020.pdf>



Los principales proveedores tecnológicos han ido dando solución a estas limitaciones y actualmente existen soluciones flexibles y escalables que permiten adaptar los sistemas OPS a diferentes demandas de potencia eléctrica.

Entre los ejemplos de soluciones OPS en operación, cabe destacar la del Puerto de Fos-Marseille que en abril de 2015 realizó una instalación debido a los elevados niveles de ruido y contaminación que generaban los motores de los ferries de pasajeros. Igualmente y por diversos motivos otros puertos del resto del mundo como Amberes, Gotemburgo, Oulu, Zeebrugge, Lübeck, Los Ángeles, Long Beach, Oakland, Seattle o Vancouver disponen de tecnología OPS (ver Tabla 1). Los motivos para llevar a cabo esta instalación son variados, pudiendo deberse a exigencias normativas impuestas por los gobiernos (es el caso de los puertos de la costa oeste de EEUU) o a iniciativas exclusivamente privadas, como es el caso de Alaska, donde un operador explota una línea comercial entre dos terminales de su propiedad.

*Tabla 1. Puertos con suministro eléctrico OPS*

Año de implementación	Puerto	País	UE/Norte América	Instalación preparada para
<b>2000-2010</b>	Goteburgo	Suecia	UE	RoRo, ROPAX
<b>2000</b>	Zeebrugge (Brujas)	Bélgica	UE	RoRo
<b>2001</b>	Juneau	EEUU	Norte América	Crucero
<b>2004</b>	Los Ángeles	EEUU	Norte América	Contenedor, Crucero
<b>2005-2006</b>	Seattle	EEUU	Norte América	Crucero
<b>2006</b>	Kemi	Finlandia	UE	ROPAX
<b>2006</b>	Kotka	Finlandia	UE	ROPAX
<b>2006</b>	Oulu	Finlandia	UE	ROPAX
<b>2008</b>	Amberes	Bélgica	UE	Contenedor
<b>2008</b>	Lübeck	Alemania	UE	ROPAX
<b>2009</b>	Vancouver	Canadá	Norte América	Crucero
<b>2010</b>	San Diego	EEUU	Norte América	Crucero
<b>2010</b>	San Francisco	EEUU	Norte América	Crucero
<b>2010</b>	Verkö, Karlskrona	Suecia	UE	Crucero



<b>2011</b>	Long Beach	EEUU	Norte América	Crucero
<b>2011</b>	Oslo	Noruega	UE	Crucero
<b>2011</b>	Prince Rupert	Canadá	Norte América	
<b>2012</b>	Róterdam	Países Bajos	UE	ROPAX
<b>2012</b>	Ystad	Suecia	UE	Crucero
<b>2013</b>	Trelleborg	Suecia	UE	
<b>2015</b>	Hamburgo	Alemania	UE	Crucero

Fuente: OPS, 2013

*Figura 7. Sistema On Shore Power Supply en el Puerto de Oakland, EEUU*



Fuente: Port Technology

*Figura 8. Sistema Modular (ShoreBox) On Shore Power Supply instalado en Bergen, Noruega*



Fuente: Port Technology

Otras alternativas del OPS consisten en producir la electricidad que necesitan los buques con generadores de gas natural licuado (en adelante GNL). Un claro y reciente ejemplo de esta variante es el buque de GNL que opera en la zona de Hamburgo, y que está equipado con 5 generadores con una salida de 7,5 MW para frecuencias de 50 o 60 Hz (con lo que es apto para buques norteamericanos como para el resto).

*Figura 9. Buque preparado para OPS con generadores de GNL*



Fuente: Becker Marine Systems (2015)

Este tipo de unidad de potencia móvil permite alcanzar un alto nivel de flexibilidad y abre la oportunidad de proporcionar energía externa a otros buques, como cruceros, sin la necesidad de altos costes de inversión (Beerman, 2014).

### 3.1.2 Aplicación de Energías Renovables *off-shore*

La utilización de energías renovables en el medio marino o en terminología inglesa *offshore* es una fuente prometedora de suministro de energía para los puertos, siendo una realidad en numerosos enclaves. Las denominadas energías renovables pueden considerarse como candidatas para su amplia utilización en puertos, destacando el suministro eléctrico que permitiría reducir la demanda eléctrica sobre las redes actuales así como la huella de carbono generada por las actividades portuarias.

Una de las tecnologías *offshore* más extendidas es la energía eólica, que consiste en la instalación de parques eólicos en el medio marino, normalmente cercano a las costas. La ventaja para este tipo de energía radica en las mayores velocidades medias que alcanza el viento en las áreas marinas y la reducida oposición social a la localización de estas instalaciones. Por otra parte, estas instalaciones tienen un alto coste por kWh instalado en comparación a otras fuentes de energía (Energy Information Administration, 2010).

Las áreas con el mayor número de parques eólicos instalados en el mundo se encuentran en Europa, concretamente en Dinamarca, Reino Unido, Alemania y Bélgica en menor medida. Aunque también podemos encontrar este tipo de energía eólica *offshore* en China.

*Figura 10. Parque eólico marino instalado en Dinamarca*



Fuente: CGP Grey

Asimismo, existe otra tecnología en el ámbito marino que podría ayudar a reducir la dependencia energética de los puertos, en este caso la energía undimotriz, que se refiere a la energía mecánica generada por el movimiento de las olas.

En este sentido se pueden caracterizar como instalaciones offshore los prototipos denominados *Pelamis*, que consisten en una serie de secciones cilíndricas que generan energía cinética al pasar la ola por su interior. Esta energía cinética activa un sistema hidráulico el cual está conectado a un generador eléctrico (European Marine Energy Centre, 2016). Un ejemplo de aplicación de esta tecnología se encuentra en el puerto de Civitavecchia (Italia), en el que a través del proyecto REWEC3 (*REsonant Wave Energy converter – realization 3*) se aprovecha la presión del aire ejercida por el impacto de una ola con el dique de un puerto, generando una corriente de aire que mueve a su vez unas turbinas eólicas.

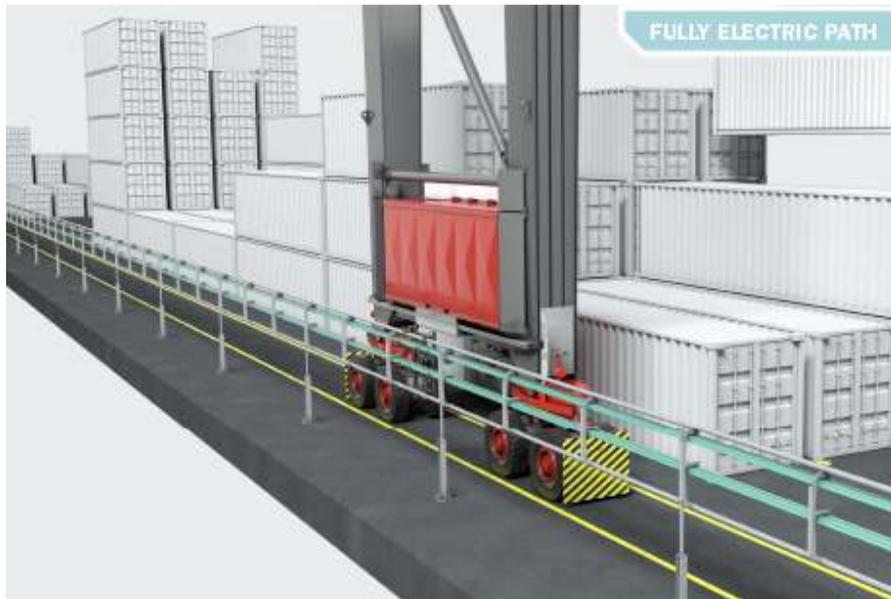
### 3.2 Interfaz Terrestre

#### 3.2.1 Soluciones de Electrificación para Maquinaria Portuaria

Las innovaciones más relevantes en materia de eficiencia energética en puertos corresponden a aplicaciones desarrolladas para terminales portuarias de contenedores, en las que interactúa una compleja tipología de equipamiento móvil. El objetivo principal de estos desarrollos consiste en transformar la maquinaria para que la fuente de energía principal sea eléctrica en lugar de fósil (combustibles). El proceso de **electrificación** de una terminal de contenedores consiste principalmente en electrificar las grúas pórtico diésel que operan en el patio de la terminal. El 45% de las mayores terminales de contenedores europeas (más de medio millón de TEUs) utiliza la grúa denominada *Rubber Tyred Gantry* (RTG) como equipo principal de almacenamiento en patio, consistente en una grúa pórtico equipada con neumáticos. Existe una variación de los RTG, las grúas pórtico sobre raíles (*Rail Mounted Gantry*, RMG) que ya son eléctricas y se mueven sobre raíles. Sin embargo su utilización está menos generalizada (23%) que los RTG. Las soluciones para electrificar las grúas RTG son:

- *Conduct bar* (barra conductora): la alimentación eléctrica para la RTG es suministrada por una barra electrificada anclada al suelo y conectada a la red de eléctrica. La grúa RTG se equipa asimismo con un brazo de conexión que es el encargado de suministrar la energía eléctrica a la grúa.

*Figura 11. Sistema de Electrificación Conduct Bar para RTG*



Fuente: Konecranes

- *Cable-Reel (enrollacables)*: esta solución proporciona energía eléctrica a la grúa con un enrollacables instalado en su estructura, un cable de alimentación y un transformador que suministra la electricidad desde la red eléctrica de la terminal a la grúa (similar a las grúas de muelle). A medida que la grúa se desplaza por el patio, el cable se desenrolla o se enrolla en función del movimiento de la grúa respecto del punto de conexión.

*Figura 12. Sistema de Electrificación Cable Reel para Grúas de Patio RTG*



Fuente: Konecranes

Ambas soluciones presentan ventajas e inconvenientes dependiendo del tipo de operativa y de terminal, no existiendo de forma general una clara preferencia por una de ellas. La alternativa de *conduct-bar* requiere una mayor inversión ya que la instalación de la barra electrificada implica el montaje de una infraestructura sobre el patio de la terminal lo que además provoca interferencias sobre la operativa normal de la terminal. Esta solución ofrece más autonomía a las grúas RTG ya que pueden desplazarse a lo largo de la terminal y cambiar de pila de contenedor rápidamente. Por otra parte, la alternativa de *cable-reel* es menos costosa, su instalación es más sencilla y menos invasiva en la terminal (no interfiere tanto en la operativa durante su implantación). Sin embargo, esta solución ofrece menos versatilidad a la grúa ya que su capacidad de operación se ve limitada por la longitud del cable y la mayor dificultad en el cambio de bloque de contenedores.

En general la principal ventaja que se obtiene con la electrificación es una mayor eficiencia energética de la maquinaria, dado que el consumo de combustible de las grúas RTGs es en general elevado (consumo medio de 16 litros / h).

Desde el punto de vista ambiental, la electrificación es una solución que elimina las emisiones locales contaminantes y de GEI, a la vez que reduce los niveles de ruido en la terminal y sus alrededores.

Las grúas RTG consumen en torno a un 60% del combustible sobre el total de la maquinaria empleada para este tipo de terminales (estudio realizado en el proyecto GREENCRANES para Noatum Container Terminal Valencia, Terminal Darsena Toscana en Livorno, Italia y la terminal de contenedores del Puerto de Koper en Eslovenia). La electrificación de este tipo de grúas ofrece otras ventajas como un menor mantenimiento, ya que el mayor coste asociado reside en las reparaciones del generador diésel que equipan las grúas tradicionales, que en las grúas electrificadas se puede sustituir por uno mucho menos potente solo para uso en los traslados de bloque.

En cualquier caso, la rentabilidad de electrificar los RTGs de una terminal está condicionada por el número de movimientos medios que realiza cada grúa por metro lineal de bloque y por el diferencial de precio entre la energía eléctrica y el precio del combustible diésel. Por lo tanto, electrificar será tanto más rentable cuanto más caro resulte manipular un contenedor con combustible diésel respecto a hacerlo de manera eléctrica así como por el número de movimientos por metro recorrido del RTG.

Por otra parte, la electrificación de las grúas de patio facilita la posterior automatización de la maquinaria de la terminal, y muchos fabricantes ofrecen soluciones de automatización implementadas por fases, siendo la electrificación una de las iniciales.



La **automatización** o **semi-automatización** de terminales es más usual en terminales con RMGs en patio, como es el caso de las terminales Maasvlakte II (Rotterdam), BEST (Barcelona) o TTI (Algeciras). En las terminales completamente automatizadas el transporte de interconexión entre muelle y patio se realiza con equipos automáticos como los vehículos guiados automáticos (AGV por sus siglas en inglés) o los denominados *straddle* o *shuttle carriers* automatizados. En el año 2013 se introdujo en el puerto de Rotterdam el primer AGV completamente eléctrico con baterías de plomo, sustituyendo a los AGV híbridos con motor diésel-hidráulico o diésel-eléctrico. Este vehículo ofrece una eliminación total de emisiones contaminantes y una notable reducción de la contaminación acústica. Los AGVs eléctricos equipan unas baterías extraíbles que se intercambian automáticamente en un puesto de recarga cada vez que la máquina detecta un nivel bajo de batería.

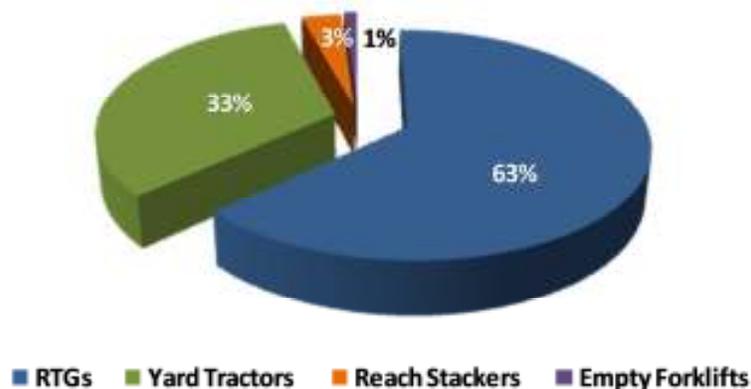
Figura 13. AGVs de la Terminal HHLA CTA, Hamburgo



Fuente: HHLA

De la misma forma que en las terminales automatizadas, en las terminales manuales es necesario un transporte de interconexión entre muelle y patio, que en este caso se realiza con cabezas tractoras equipadas con motores de combustión interna. Como puede observarse en la Figura 14, el consumo de las cabezas tractoras en una TPC supone alrededor del 30% del coste de combustible de la terminal.

Figura 14. Distribución típica de consumo de combustibles para TPC con RTG en patio



Fuente: Fundación Valenciaport

Es por ello que los fabricantes de este tipo de maquinaria ya están desarrollando y fabricando prototipos que utilizan combustibles alternativos e incluso energía eléctrica. Es el caso de las cabezas tractoras propulsadas con baterías, como el prototipo e-Terminal Tractor desarrollado en el proyecto coordinado por la Fundación Valenciaport, SEA TERMINALS. Este tipo de cabeza tractora presenta una autonomía de unas 8 horas, suficiente para trabajar durante un turno completo de estiba (6h) y un tiempo de recarga de unas 2-3 horas dependiendo del tipo de recarga y conexión.

Tal y como se ha explicado anteriormente con las grúas RTG electrificadas, el uso de cabezas tractoras eléctricas para el transporte de interconexión muelle-patio disminuye la emisión de partículas contaminantes, emisiones de GEI y contaminación acústica, además de presentar un menor coste de mantenimiento que sus homólogos propulsados por motores de combustión interna.

*Figura 15. Prototipo de Cabeza Tractora Eléctrica*



Fuente: Fundación Valenciaport

En los últimos años también se ha observado una tendencia hacia el desarrollo de la **hibridación** de la maquinaria en las TPCs. En este sentido, en las grúas pórtico (*RTGs*, *Straddle Carriers* y *Shuttle Carriers*) se han ido desarrollando sistemas de recuperación y almacenamiento de energía que retienen la energía cinética generada en el proceso de descarga del contenedor para emplearla en el siguiente ciclo de carga, evitando su pérdida en forma de calor (frenado). De esta forma se reduce el consumo de combustible de la grúa y en consecuencia las emisiones contaminantes. Este motor híbrido se puede intercambiar por el motor antiguo de la grúa sin necesidad de tener que reemplazar la grúa pórtico por completo, suponiendo una inversión relativamente pequeña con un rápido retorno.

*Figura 16. Grupo Híbrido para una Grúa de Patio RTG*



Fuente: PACECO

Aunque electrificar y automatizar una terminal presenta ventajas considerables debido al mejor rendimiento energético de la maquinaria, mayor eficiencia operativa, reducción de emisiones o disminución de la contaminación acústica, el elevado nivel de inversión necesario para acometer una transformación integral de una terminal hace por lo general que dicha actuación no sea rentable. Es por ello que las pocas terminales automatizadas existentes en el mundo se diseñaron como nuevos proyectos (proyectos *greenfield*).

*Figura 17. Grúa Electrificada en MSC Terminal Valencia con el Sistema Cable Reel*



Fuente: Fundación Valenciaport

### 3.2.2 Uso de Combustibles Alternativos para Maquinaria Portuaria

Debido a las nuevas zonas de control de emisiones (ECA por sus siglas en inglés) declaradas por la *International Maritime Organisation* (IMO) y en virtud del Anexo VI de la convención MARPOL, se establecen límites para los valores de emisión de compuestos de azufre (SOx), y óxidos de nitrógeno (NOx) así como compuestos orgánicos volátiles emitidos por los barcos en el Mar Báltico, Mar del Norte, Canal de la Mancha, las costas este y oeste de Norte América y Puerto Rico. En estas regiones, desde enero de 2015 el nivel de emisiones de azufre se encuentra limitado al 0,1%, por lo que las compañías navieras deben proveer a sus buques con las soluciones de propulsión que permitan dicho cumplimiento. Actualmente existen tres alternativas:

- Uso del combustible marino tipo *Marine Gas Oil (MGO)*: El combustible MGO actualmente supera en precio el del combustible tradicionalmente utilizado por la industria, denominado *Heavy Fuel Oil (HFO)*, lo que puede reducir la rentabilidad de la mayoría de los servicios y rutas comerciales actuales empleando dicho combustible, llegando incluso a hacerlas inviables.
- Uso de *Scrubbers*: Los *scrubbers* son catalizadores o filtros que acumulan los residuos de azufre procedentes de la combustión en el motor, permitiendo una emisión a la atmósfera inferior a los límites establecidos. Las principales desventajas de los *scrubbers* son el elevado coste de instalación en buques existentes y la dificultad en la gestión de los residuos de azufre generados.
- Uso de Gas Natural Licuado (GNL): El GNL se presenta como la opción con mayores posibilidades de implantación en la industria debido al menor precio de este combustible en relación con el tradicional HFO y la ausencia de residuos de azufre producto de su combustión. Sin embargo esta alternativa también presenta inconvenientes como la falta de infraestructuras de suministro de GNL en muchos puertos y el elevado coste para acometer transformaciones en los buques que permitan su propulsión con gas.

Los puertos no resultan ajenos a esta situación y se verán obligados a ofrecer infraestructuras de suministro de GNL a los buques que dispongan de esta tecnología de propulsión en el horizonte de 2025. Para facilitar esta evolución hacia el uso de combustibles alternativos como el GNL, la generación de una masa crítica de demanda que haga viable las importantes inversiones previstas en los puertos es un aspecto clave. Por esta razón, existe un creciente interés por incorporar como potenciales usuarios de estas infraestructuras a la gran variedad de colectivos y agentes que operan en el puerto: terminales de carga, empresas de transporte que operan en el entorno del puerto, usuarios particulares, etc.

Muestra de ello es la realización del primer prototipo europeo de cabeza tractora de terminales de contenedores propulsado con GNL. Este prototipo, co-financiado por la Comisión Europea y desarrollado en el marco del proyecto GREENCRANES, permitió comprobar la viabilidad técnica, financiera y ambiental de una máquina de estas características. El prototipo fue probado en la terminal Noatum Container Terminal Valencia durante los últimos meses de 2013 ofreciendo resultados muy positivos en términos de consumo energético y reducción de emisiones contaminantes.

La mayor prueba de su viabilidad es la venta de 40 unidades de esta máquina a la nueva terminal de contenedores Asyaport ubicada en Turquía, una vez finalizado el periodo de pruebas.

*Figura 18. Cabeza Tractora y Camión de suministro de GNL en Noatum Container Terminal Valencia*



Fuente: Fundación Valenciaport

También en el contexto de los proyectos GREENCRANES y SEA TERMINALS se han desarrollado dos prototipos que utilizan un sistema de doble combustible GNL y diésel (tecnología dual-fuel) para propulsar máquinas de patio en el ámbito de las TPCs. Estas máquinas también proporcionan una reducción considerable del consumo energético y de las emisiones contaminantes.

*Figura 19. Reachstacker con Sistema de Doble Combustible GNL-Diésel Implementada en Terminal Darsena Toscana, Livorno*



Fuente: Fundación Valenciaport

En la actualidad se están investigando nuevas alternativas como los vehículos propulsados con pilas de combustible (fuel cell) que usan hidrógeno para proporcionar energía a un motor eléctrico<sup>2</sup> o baterías con supercapacitores de grafeno capaces de recargarse en 4 minutos que han funcionado bien a pequeña escala<sup>3</sup> pero estas tecnologías están muy poco maduras y tardarán un tiempo en ser viables y en adaptarse a la maquinaria portuaria que necesita mucha más potencia y robustez.

### 3.2.3 Sistemas de Monitorización y Control del Consumo Energético

Los sistemas de monitorización y control del consumo energético son ampliamente utilizados en los sectores de producción industrial. Su objetivo fundamental es la asistencia y mejora de la toma de decisiones operativas, introduciendo la variable energética como una más del Cuadro de Mando Integral de las organizaciones. Para ello, es necesario disponer de información detallada sobre los centros de consumo energético de la organización así como su funcionamiento. Los sistemas de gestión energética son plataformas que integran módulos de software conectados con elementos de hardware (sensores, automatás, etc.) capaces de reportar información de consumo energético de forma continua, ofreciendo una visión holística del gasto energético y operativo de una instalación.

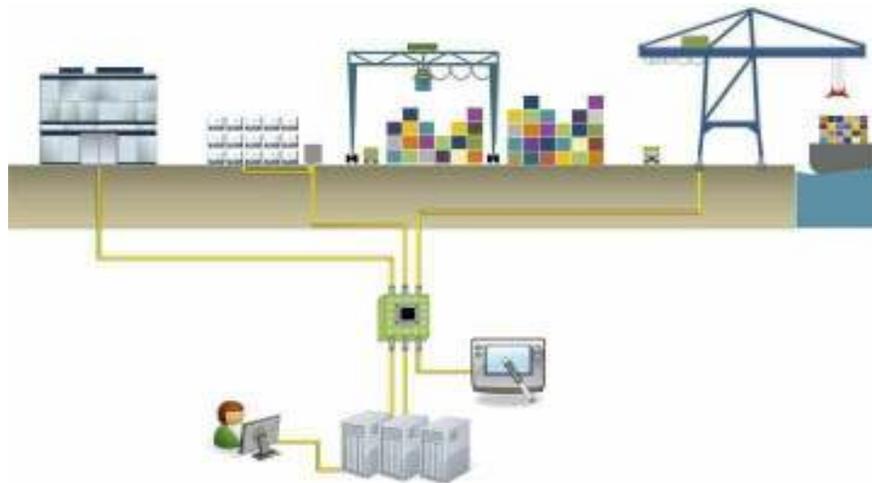
<sup>2</sup> <http://www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles/how-do-hydrogen-fuel-cells-work#.VpYYAvnhDcs>

<sup>3</sup> <http://www.ibtimes.co.uk/breakthrough-electric-cars-supercapacitors-miracle-substance-graphene-charges-batteries-4-1502834>

Los proveedores de sistemas de planificación operativa (TOS) están comenzando a incluir en sus soluciones módulos específicos para la monitorización energética en terminales de contenedores, si bien la implantación de estas herramientas es aún reducida. Con el objetivo de favorecer dicha integración y demostrar los beneficios de la monitorización energética, se han realizado numerosos proyectos de innovación. Ejemplo de ello es el proyecto piloto llevado a cabo en la terminal de contenedores del puerto de Koper (Eslovenia), en el marco del proyecto GREENCRANES. Este piloto se fundamentó en la integración de la gestión eficiente de la energía en todas las áreas de negocio y operacionales de la terminal portuaria de contenedores. El piloto combinó acciones tecnológicas y de gestión siguiendo los principios de mejora continua definidos por los estándares internacionales de gestión de la energía, como la norma ISO 50001.

El objetivo principal del proyecto piloto fue el producir una mejora significativa en el control de la monitorización para la gestión energética, ofreciendo una visión general del consumo de combustible para cada tipo de máquina. Este nuevo enfoque permite descubrir a los operadores portuarios anomalías en los modos operativos y actuar en consecuencia.

*Figura 20. Sistema de Gestión de Monitorización de la Energía en una Terminal de Contenedores*



Fuente: Fundación Valenciaport

### 3.2.4 Iluminación Eficiente

El desarrollo de las tecnologías de iluminación aplicadas a otros sectores (iluminación industrial, infraestructuras de transporte urbano, etc.) ha posibilitado también su implementación en el entorno portuario. Ejemplo de ello es la sustitución de las luminarias tradicionales de vapor de sodio por nuevos dispositivos LED, mucho más eficientes desde el punto de vista de consumo eléctrico y de contaminación lumínica. Además de su contribución a la mejora de la seguridad pasiva en las terminales ya sea de contenedores o de graneles, esta tecnología permite iluminar la zona de manera adecuada sin provocar deslumbramientos mejorando las condiciones de trabajo para los operadores.

Grandes terminales portuarias como la terminal Jebel Ali (Dubái) han sustituido su infraestructura de iluminación por luminarias LED, obteniendo un ahorro del 66% respecto a la situación anterior, lo que permite rentabilizar a medio plazo la inversión inicial.

*Figura 21. Terminal Jebel Ali (Dubai) I*



Fuente: Ship Technology

La terminal Noatum Container Terminal Valencia se encuentra realizando un proyecto similar en el que además de sustituir las luminarias existentes por otras de tipo LED, ha desarrollado un sistema de respuesta dinámica que permite adaptar las condiciones de iluminación de la terminal en función del tipo de operativa que se produce en la instalación en cada momento.

El sistema desarrollado en Noatum identifica las localizaciones de la terminal en la que se están realizando operaciones y adapta el nivel de iluminación al requerido en ese momento, disminuyendo posteriormente el nivel de luz una vez que las operaciones han finalizado. Con esta combinación de tecnologías, se estima un ahorro energético de 8 veces el consumo actual de esta instalación.

### 3.2.5 Aplicación de Energías Renovables en Tierra

El Puerto de Rotterdam (Holanda) es un ejemplo en relación con el uso diversificado de fuentes de energía. En él convergen numerosos tipos como el carbón y el gas natural, pero también la biomasa, solar térmica y eólica, lo que lo convierte en uno de los que mayores fuentes de energía renovable utilizan. Una de las más importantes es la energía eólica, con una capacidad instalada en turbinas de viento de 200 megavatios (MW), lo que representa el 10% de la capacidad eólica de todo el país. Esta energía eléctrica proveniente de parques de aerogeneradores repartidos en varias zonas del área portuaria se utiliza para el funcionamiento de grúas de muelle, contenedores refrigerados (*reefer*), postes de luz, talleres y otras necesidades de consumo eléctrico. Además el gobierno holandés está apostando firmemente por el uso de dicha energía renovable y se ha puesto como meta que en 2020 un 15% de la energía utilizada en el puerto sea de origen renovable.

*Figura 22. Instalación de turbinas eólicas en el Puerto de Rotterdam*



Fuente: [www.portofrotterdam.com](http://www.portofrotterdam.com)

La energía solar también puede ser ampliamente utilizada en zonas portuarias aunque en la actualidad su uso es muy poco intensivo.

Son muchas las autoridades portuarias o gobiernos que empiezan a interesarse por esta tecnología y a aprovechar las grandes superficies de sus instalaciones para colocar paneles fotovoltaicos que utilizan para autoabastecimiento de energía e incorporar los excedentes a la red de suministro eléctrico general (de Tenerife, Autoridad Portuaria, 2016). Generalmente dichos paneles fotovoltaicos se ubican en los tejados o terrazas de edificios o en las marquesinas de los parkings de vehículos, de manera que no necesitan ocupar un espacio exclusivo en la zona portuaria.

*Figura 23. Placas fotovoltaicas en estación marítima de Santa Cruz de La Palma*



Fuente: Puertos de Tenerife

Otras fuentes de energía renovables con posible potencial en las zonas portuarias son las estaciones eléctricas de energía de las mareas. Varios puertos de Reino Unido, como por ejemplo el Puerto de Dover han realizado pruebas con varios sistemas a pequeña escala durante los últimos años para determinar qué sistema presenta la mayor viabilidad económica, medioambiental y práctica.

#### 4 Metodología para la Cuantificación del Consumo Energético en Terminales Portuarias de Contenedores

La realidad en la industria portuaria muestra que existen importantes limitaciones para conocer y administrar la variable energética en los modelos operativos de las terminales portuarias. Tradicionalmente, la eficiencia energética no ha sido un factor crítico en la industria portuaria debido al poco peso del coste energético sobre el total de los costes de las instalaciones portuarias.

Sin embargo actualmente esta percepción ha cambiado debido a diferentes factores; tales como el incremento en los precios de la energía, la adopción de políticas medioambientales más restrictivas limitando las emisiones de efecto invernadero y la conciencia de la sociedad en relación con la sostenibilidad y el impacto ambiental en las actividades industriales.

Al mismo tiempo, la evolución tecnológica permite hoy en día la transición desde un modelo económico basado en la externalización de las emisiones de carbono (principalmente usando combustibles fósiles) a un modelo productivo de bajas emisiones (basado en fuentes de energía renovable y combustibles más limpios como el LNG, bio-combustibles o incluso hidrógeno).

Habitualmente las buenas prácticas asociadas a la mejora de la eficiencia energética se relacionan en gran parte con la implantación de nuevos equipos o tecnologías que presentan mejor rendimiento energético o menor consumo de recursos, siendo este enfoque tecnológico el predominante y el que más desarrollo está teniendo en la mayoría de los sectores. Sin embargo, la organización y optimización de procesos tiene un papel relevante que debe ser considerado como parte de las acciones encaminadas a mejorar la eficiencia energética global y en el caso de las terminales portuarias no debe hacerse de forma diferente.

En este sentido, uno de los retos más importantes que tienen los operadores de terminales de contenedores es el de maximizar la eficiencia de las operaciones para, por un lado, minimizar los costes y, por otro, reducir las emisiones. Este objetivo no se logra simplemente a través de mejoras en la eficiencia de los equipos, puesto que aunque se alcanzara un 100% de eficiencia energética en éste ámbito, la situación no cambiaría significativamente si las ineficiencias en la gestión y operativa subsistieran. Por lo tanto, gran parte de la contribución a la mejora de la eficiencia energética global de las terminales de contenedores se concentra en la correcta adopción de medidas de gestión en relación con los procesos principales y auxiliares de la terminal.

La mayoría de las ineficiencias en materia energética en una terminal obedecen a causas relacionadas con factores internos (errores en la planificación, política de gestión, configuración física de la terminal, elección de equipamientos, etc.), o aspectos como las condiciones laborales, sistemas de suministros de energía, etc. Estos factores son muy numerosos y pueden diferir de una terminal a otra debido a la extensa tipología de terminales existente. Precisamente esta diversidad convierte a cada TPC en un modelo de estudio casi único, complicando la generalización de ciertas medidas o buenas prácticas. Por ejemplo, el hecho de que una TPC sea pública o dedicada, el reparto de los tipos de tráfico (import/export-transbordo) o el grado de automatización de la misma introducen una serie de aspectos particulares que condicionan su análisis y en consecuencia las mejoras que se puedan adoptar en cada caso.

Las medidas aquí recogidas comprenden desde acciones de nivel estratégico como la elección de los equipos de patio, la determinación del grado de automatización de la terminal o la disposición de las pilas en patio, hasta otras de carácter táctico u operativo como el pooling o los criterios de asignación de grúas y de puestos de atraque, entre otros. Además, el sistema operativo de la terminal (TOS) y los modelos de simulación desempeñan un papel importante como instrumentos de organización y control de las operativas de la terminal, por lo que también se proponen medidas orientadas a lograr un mejor aprovechamiento de estas herramientas como elementos de control y optimización del consumo energético.

Por último, es importante mencionar que la combinación de varias medidas presupone que los objetivos de la eficiencia energética pueden ser logrados con mayor eficacia, ya que la implementación de una o más medidas que pueden ser complementarias entre sí intensifica los respectivos impactos y genera sinergias, aumentando los beneficios de las mismas. En algunos casos, una medida puede ser prerequisite para la implementación de otra medida.

La metodología usada para identificar el consumo de energía en las terminales portuarias se estructura en tres fases:

- Caracterización conceptual y física de la instalación;
- Inventario del equipamiento de la instalación;
- Identificación de los centros de consumo y recopilación de las fuentes de información sobre consumo energético en la terminal.

Este concepto está intrínsecamente ligado al concepto de las auditorías energéticas que por ejemplo se realizan en la industria o en el sector de la construcción.

#### 4.1 Primer caso de Referencia Terminal Puerto Arica (TPA)

##### 4.1.1 Descripción de la Terminal de Contenedores (tipología incluyendo maquinaria)

Terminal Puerto Arica (TPA) es la principal terminal del Puerto de Arica, el cual es el principal referente de la macro región andina posicionándose como un puerto multipropósito de referencia para la transferencia de graneles, contenedores, minerales y carga general. Los principales clientes de TPA son las líneas navieras como transportistas de carga y los consignatarios de dichas cargas. La misión de TPA para con sus clientes es la de mantener una relación cercana, desarrollando un profundo conocimiento de su actividad que genere valor a través de la innovación, que a su vez conduzca a soluciones creativas y eficientes.

TPA es una terminal multipropósito con el equipamiento necesario para manipular la carga que precise el cliente. TPA se ha consolidado como la principal salida de mercancías para el mercado boliviano, respecto a 2014, el 80% del tonelaje movilizado por la terminal correspondía a cargas bolivianas.

Aunque físicamente la Terminal Puerto Arica está compuesta por siete puestos de atraque, en la práctica solo 4 de ellos son utilizados por buques comerciales por problemas de acceso (maniobrabilidad y calado insuficiente). Los muelles practicables están ubicados en la parte interior del molo de abrigo, conformados por un muro de cajones de hormigón y de celdas de tablestacas metálicas. El calado máximo en la instalación es de 12,4 metros y una línea de atraque de 220 metros para el sitio 2B, una especie de pantalán de hormigón que nace perpendicularmente al muelle principal desde aproximadamente la mitad de este (*Figura 24*), este mismo ha sido habilitado para soportar un movimiento telúrico de 8,7 grados Richter. Además los sitios 4, 5 y 6 tienen una línea de atraque de 250 metros y un calado de 10 metros respectivamente. La terminal cuenta con áreas cubiertas (2,82 ha) y descubiertas de almacenamiento (17,7 ha) que se reparten en 5 almacenes y 1 cobertizo para cargas peligrosas, así como área de parking para camiones (1,06 ha).

En referencia al equipamiento de la terminal está formado por 3 grúas móviles de muelle, 6 Reachstackers, 1 grúa de horquilla, 5 tractores con semi remolque, 1 cinta transportadora para graneles limpios, 7 cintas transportadoras para graneles sucios y 2 tolvas de descarga.

Todas estas instalaciones ofrecen a los clientes los siguientes servicios:

- Atención de Naves Comerciales y de Pasajeros.
- Embarque/descarga de contenedores, graneles sólidos, vehículos, cargas de proyecto y carga fraccionada.
- Conexión, monitoreo y desconexión a unidades refrigeradas.

- Recepción de cargas sueltas y en contenedores.
- Almacenaje de carga suelta y en contenedores.
- Consolidación y desconsolidación de contenedores.
- Despacho de carga suelta y en contenedores.

Con todo esto y pese a que como se ha comentado TPA es una terminal multipropósito, la principal carga manipulada por esta en los últimos 10 años respecto al total de toneladas es el contenedor, que en el 2014 representa un 71%, seguida de la carga en granel con un 23% y de la carga fraccionada con un 6%. Este reparto de cargas ha sufrido ligeras variaciones en un sentido y en otro a lo largo estos años, pero se puede afirmar que el peso del tráfico en contenedor ha experimentado una ligera tendencia al alza mientras los otros dos reflejan una ligera tendencia a la baja, aunque en valores absolutos los tres tráficos han reflejado una tendencia de crecimiento, sobre todo el de contenedores.

Figura 24. Terminal Puerto Arica



Fuente: Terminal Puerto Arica

#### 4.1.2 Consumo Energético Anual y Descripción Explicativa del Consumo Energético

Terminal Puerto Arica en su anhelo y compromiso continuo con el medio ambiente y el desarrollo sostenible, tiene como área de interés el Cambio Climático, la cual se encuentra identificada como un aspecto ambiental significativo en su operación, por lo cual siempre aborda como un gran desafío realizar acciones que vayan de la mano con una reducción de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) que se presentan en las operaciones portuarias.

Los últimos datos disponibles sobre consumos en TPA corresponden al año 2013, y se relaciona con el tráfico de la terminal en toneladas en la Tabla 2.

*Tabla 2. Consumos energéticos de TPA en 2013 por mercancía*

Consumos energéticos por mercancía en 2013	Por tonelada de mercancía	Por TEU
kWh por unidad de mercancía	0,51	7,46
Litros diésel por unidad de mercancía	0,49	7,21
Litros gasolina por unidad de mercancía	0,01	0,12
Litros GLP por unidad de mercancía	0,09	1,37

Fuente: Elaboración propia con datos de TPA y Puerto Arica

De la anterior tabla destaca que la terminal tiene una mayor dependencia de los combustibles fósiles en comparación con la electricidad, en especial del diésel, cuyo valor se puede considerar alto cuando se relacionan con el tráfico de la terminal en TEU. En cambio la terminal tiene consumo de electricidad por TEU muy bajo. Esto hace que la terminal tenga una escasa dependencia de la energía eléctrica, que es más limpia y eficiente que la que proviene de combustibles fósiles.

Prácticamente dos terceras partes del combustible fósil se consume por las grúas de contenedores bien carga y descarga en muelle o por manipulación en patio. Otras mercancías que también se manipulan en la TPA son la carga fraccionada y el granel.

Respecto a la energía eléctrica, los consumos más elevados corresponden al alumbrado, las oficinas y las conexiones reefer, con prácticamente un 30% del consumo eléctrico cada grupo. Esto se debe en parte a que la terminal no tiene grúas pórtico de muelle para contenedores que suelen ser las mayores consumidoras de energía eléctrica en terminales cuya principal carga sea el contenedor (en TPA en 2013 el 69,7% de la carga en toneladas fue transportada en contenedores).

#### 4.1.3 Propuestas de Mejora en Eficiencia Energética para Disminuir el Consumo Energético de la Terminal de Contenedores

La eficiencia energética se puede mejorar a tres niveles diferentes tal y como se muestra en la “Guía de Eficiencia Energética en Terminales Portuarias de Contenedores” desarrollada por La Fundación Valenciaport en el proyecto EFICONT: a nivel de estrategia corporativa; a nivel de gestión y operativa; y a nivel de equipamiento e instalaciones.

Dentro del nivel estratégico y como se ha comentado anteriormente, en cualquier proceso de mejora debe aplicarse el principio de Harrington: “si no puedes medir algo, no puedes entenderlo. Si no lo puedes entender, no lo puedes controlar. Si no lo puedes controlar, no lo puedes mejorar”.

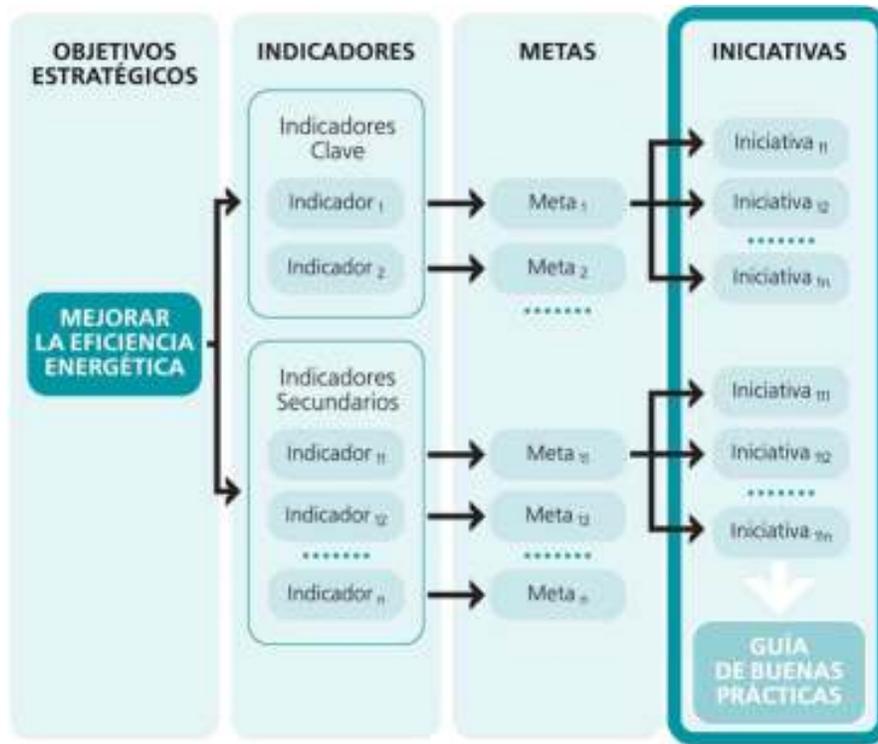
Por ello una medida estratégica sería contar con un sistema completo de indicadores energéticos y un sistema de medida que se alimente con dichos indicadores. Con esto se consigue conocer en cada momento dónde y de qué manera se produce el consumo energético en nuestra terminal, por lo que podemos actuar y proponer medidas encaminadas a la reducción de la energía consumida.

El indicador principal recomendado asociado a la mejora de la eficiencia energética es el consumo energético total (medido en toneladas equivalentes de petróleo o TEP) dividido por el número de contenedores manipulados por la terminal (tráfico total) en un periodo de tiempo determinado (Vieira Gonçalves de Souza, y otros, 2011), aunque para el caso de una terminal multipropósito como lo es TPA sería más apropiado expresar el consumo energético en TEPs en función de las toneladas de mercancía manipuladas en un periodo de tiempo determinado (meses, año, etc.). Obviamente se deberían desarrollar otros indicadores menos generales, considerados también como indicadores clave de rendimiento (KPI por sus siglas en inglés), para controlar el consumo de equipos o sistemas de manera más precisa.

Así pues, lo importante es que se establezcan metas u objetivos para cada uno de los indicadores considerados que permitan establecer acciones, proyectos o iniciativas encaminadas a mejorar la eficiencia energética y por tanto a cumplir las metas fijadas.

Básicamente la idea es construir un pequeño Cuadro de Mando Integral (CMI o *Balanced Scorecard* por su nombre en inglés) a nivel energético. Finalmente con ese conjunto de iniciativas se puede generar una Guía de Buenas Prácticas (Figura 25).

Figura 25. Esquema básico de un CMI



Fuente: Fundación Valenciaport

Relacionando los 3 niveles de mejora, el nivel estratégico, el de gestión y operativa, y el de equipamiento e instalaciones, si el tráfico de contenedores continúa creciendo en la TPA se puede estudiar la viabilidad de adquirir una grúa de muelle específica para contenedores, con conexión eléctrica y que es mucho más eficiente, tanto a nivel operativo como a nivel energético. Pero como se ha dicho, se debe hacer un estudio de viabilidad económica para saber si compensa la fuerte inversión tanto en infraestructura como en la propia grúa o grúas.

Si se hiciera, se balancearía un el consumo de combustibles fósiles y el eléctrico, reduciendo asimismo la contaminación local. Por otra parte este tipo de grúas no presentan la versatilidad que puede tener una grúa móvil como las existentes en la terminal, si bien esa falta de versatilidad se vería suplida por la presencia de las mencionadas grúas móviles que podrían estar más dedicadas al resto de mercancía no contenedorizada.

En el nivel de gestión y operativa se recomienda mantener una buena política de comunicación y de formación de los recursos humanos para concienciar acerca del compromiso de la empresa con la eficiencia energética y principalmente de la importancia que el personal tiene para lograr dichos compromisos y objetivos de reducción del consumo energético.

La información y educación en este sentido es una potente herramienta para propiciar el cambio del modelo de consumo actual hacia otro que tenga en cuenta la eficiencia en los comportamientos individuales y colectivos dentro de la organización.

Algunas recomendaciones concretas van dirigidas al consumo en oficinas, como en temas de iluminación (apagar luces cuando no se usen, utilizar luz natural, etc.), calefacción y refrigeración (mantener temperaturas adecuadas tanto en invierno como en verano, utilizar toldos y persianas); equipos electrónicos (apagar ordenadores o pantallas cuando no se usen durante largos periodos, apagar impresoras, fotocopiadoras por la noche o en el fin de semana).

A pesar de que hoy en día el equipamiento portuario presenta importantes mejoras respecto a su rendimiento y a la eficiencia energética en comparación con años anteriores, sigue siendo de suma importancia practicar un estilo de conducción y manejo eficiente de estos equipos. Es decir, la actitud del operario y el estilo en la manipulación y conducción son piezas clave sobre las que incidir para lograr una disminución del consumo energético global.

En este sentido, se propone como buena práctica incluir dentro de las acciones formativas de la terminal la impartición de cursos sobre conducción y manipulación eficiente de los equipos para los trabajadores. Además, los beneficios de estas acciones formativas no solo redundan en una reducción del consumo y de las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que a su vez alargan la vida útil de la maquinaria, reducen las averías y por tanto el mantenimiento (tiempo y dinero) y aumentan la seguridad durante el manejo de los equipos.

A continuación se enumeran una serie de recomendaciones generales de conducción y manejo de equipos, que abarcan desde aspectos genéricos hasta normas concretas de comportamiento para el uso de la maquinaria de la terminal. Estas recomendaciones inciden especialmente en aquellos equipos en los que la habilidad del operario puede tener mayor repercusión en el consumo, tales como las cabezas tractoras, las grúas de patio y las carretillas.

- Arrancar el motor sin acelerar y esperar unos segundos antes de comenzar la marcha.
- Utilizar marchas largas y a bajas revoluciones.
- Mantener la velocidad de circulación lo más uniforme posible y conducir con suavidad, evitando acelerones y frenazos.
- Apagar el motor de los equipos si se prevé que van a estar parados un tiempo considerable.
- Minimizar los recorridos.

- Evitar aceleraciones innecesarias y movimientos bruscos durante el movimiento de bajada en las reachstacker.
- Optimizar la trayectoria de los *spreaders* de las grúas.
- Elevar los *spreaders* de las grúas lo mínimo necesario para realizar las operaciones de carga/descarga, puesto que la elevación del *spreader* y de la carga son los movimientos que más consumen en las grúas móviles.
- Mantener la temperatura interior de las cabinas alrededor de 23-24°C y utilizar el aire acondicionado solamente cuando se supere esta temperatura media.
- Evitar circular con las ventanillas bajadas cuando se tiene el aire acondicionado o la calefacción en funcionamiento.

Estas y otras recomendaciones se deberían incluir en los cursos y manuales formativos dirigidos a los operarios de la terminal.

Otra recomendación dentro del nivel de gestión sería, teniendo en cuenta que el consumo diésel de las grúas portacontenedores (Reachstackers) supone más de un tercio del consumo total de diésel en la terminal, restringir el uso de este tipo de equipos exclusivamente en el patio de contenedores. De esta forma se limitaría su uso como equipo de interconexión, ya que es mucho más eficiente utilizar los tractocamiones (cabezas tractoras con plataforma) para traslados internos de contenedores entre patio y muelle o entre dos puntos separados del patio.

Respecto a las propuestas de mejora en el nivel de equipamiento e instalaciones, para lograr una mejora significativa y cuantificable de la eficiencia energética en una terminal portuaria de contenedores es fundamental contar con recursos y tecnologías (equipamiento, maquinaria e instalaciones) que integren criterios de reducción del consumo energético y de emisiones en sus diferentes modos de operación. Esto implica la elección de equipos con mejor rendimiento y más eficientes, o el uso de equipos o instalaciones que utilicen fuentes de energía no basadas en combustibles de origen fósil.

Evidentemente se debe hacer un estudio de la flota de maquinaria disponible para evaluar la viabilidad económica de la sustitución de equipos viejos y con alto consumo energético o incluso la adaptación de algunos de estos equipos a otras tecnologías, como puede ser la adaptación (*retrofitting*) de reachstakers diésel para su funcionamiento con combustión dual con diésel y gas (dual fuel), probada con éxito recientemente en la Livorno Darsena Toscana del Puerto de Livorno (Italia) durante el desarrollo del proyecto co-financiado por la Comisión Europea, SEATERMINALS.

En el caso de la conversión de reachstakers a dual fuel hay que tener en cuenta la disponibilidad y logística de suministro de gas en la terminal, aspecto que influye

significativamente en la viabilidad técnica y financiera de esta alternativa basada en el uso de GNL.

Para compensar esta inversión en la instalación de suministro de GNL se podría estudiar la posibilidad de sustituir los 5 tractores diésel con semi remolque por otros propulsados con gas. Esta solución fue probada con éxito en la terminal de contenedores NOATUM de Valencia durante el proyecto GREENCRANES.

Otros cambios recomendados para los tractores que requieren menores inversiones podrían ser la sustitución de las cajas de cambio manuales por cajas de cambio automático que requieren un mantenimiento más sencillo y económico, y la limitación de la velocidad de los vehículos, reduciendo el consumo energético y aumentando los niveles de seguridad frente a posibles colisiones o accidentes dentro de la terminal.

Por otra parte, dentro de las instalaciones de la terminal existen oportunidades de mejora tales como la instalación de sistemas de iluminación exterior del muelle y patio basados en la tecnología led, mucho más eficiente y cuya inversión inicial se recupera en pocos años. También se pueden realizar mejoras en la climatización de las oficinas, talleres y almacenes de la terminal, cambiando a sistemas centralizados frente a equipos individuales.

## 4.2 Segundo Caso de Referencia Terminal Pacífico Sur Valparaíso (TPS)

### 4.2.1 Descripción de la Terminal de Contenedores (tipología incluyendo maquinaria)

El Puerto de Valparaíso por ubicación, comunicaciones e infraestructuras rivaliza con el de San Antonio como la puerta marítima natural del comercio de Santiago, la capital de Chile. La principal terminal de Puerto de Valparaíso es Terminal Pacífico Sur Valparaíso (TPS) desde donde se exportan mercancías como fruta, cobre y vino a América Latina, la Costa Este y Oeste de USA, Canadá, Europa, Medio Oriente y Lejano Oriente.

Desde el año 2000 TPS se encarga del terminal nº1 del Puerto de Valparaíso para el manejo de buques portacontenedores y multipropósito. Además Valparaíso, por ser patrimonio histórico de la humanidad es un importante destino turístico que tuvo 60.375 pasajeros en cruceros en 2014, aunque su pico lo alcanzó en 2009 con 96.637 cruceristas. El puerto de Valparaíso ocupaba el puesto 16 dentro del ranking de movimientos de contenedores (910.780 TEU) de América Latina y El Caribe en el año 2013. El porcentaje de carga que se mueve en contenedores ha pasado del 75% en el año 2000 al 88% en el 2014.

Cuenta con una superficie de 16 hectáreas con un frente de atraque con 5 sitios (985 metros), lo que le permite atender actualmente el 89% de toda la carga que se moviliza en este puerto (10,3 millones de toneladas anuales) y el 99% de la carga contenedorizada. Los sitios 1, 2 y 3 permiten manipular buques de hasta 13,8 m de calado (Figura 26).

*Figura 26. Terminal Pacífico Sur Valparaíso*



Fuente: <http://portal.tps.cl/tps/site/edic/base/port/inicio.html>

Sus instalaciones cuentan con 17 andenes de conexión *reefer*, para la conexión de contenedores refrigerados y *gates* o accesos de alta eficiencia donde se controla el tráfico de carga hacia y desde el interior de la terminal además del acceso de personas.

Como la principal carga manipulada es el contenedor, el principal equipamiento está enfocado a dicho tráfico, donde destacan las 5 grúas pórticos de muelle, 2 grúas móviles, 12 grúas RTG, 7 Reachstackers, 39 tracto camiones y otros equipos auxiliares.

#### 4.2.2 Consumo Energético Anual y Descripción Explicativa del Consumo Energético

TPS sostiene un compromiso en materia de Medio Ambiente enfocado al cumplimiento de las normas y regulaciones relativas a la protección del medio ambiente. Una de las acciones llevadas a cabo para ser consecuente con su compromiso se basó en establecer medidas de reducción y mitigación, proceso desarrollado a lo largo de los años 2013 y 2014. Adicionalmente se generaron nuevas políticas de ahorro energético que ayudarán a concienciar acerca del uso de la energía y disminuir su consumo.

Los principales consumos energéticos que se producen en TPS son los de electricidad de las grúas pórtico de muelle, *reefers* y oficinas y los de diésel de la maquinaria de patio y grúas móviles.

Para tener un buen indicador de si la terminal está teniendo un consumo energético elevado, no es suficiente con disponer de los valores anuales de consumos de electricidad o diésel, sino que es necesario relacionar dichos consumos anuales con la producción de la terminal, es decir, con el número de movimientos de contenedores (marítimos) que se realizan. Además, siempre en busca de la mejora continua, sería recomendable poder comparar dichos valores con otras terminales similares, aunque conocida la dificultad que existe para obtener datos detallados de otras instalaciones, al menos dicha comparación debería realizarse dentro de la propia terminal anualmente.

De los análisis de consumos energéticos realizados en la encuesta para ONU-CEPAL, se puede decir que de 2012 a 2014 existe una ligera tendencia a consumir menos electricidad por contenedor movido, a pesar de que el porcentaje de contenedores *reefers* respecto al total ha aumentado ligeramente. En cualquier caso, según los datos disponibles, no se puede distinguir qué parte del consumo eléctrico corresponde a las grúas pórtico, a los contenedores *reefer* o a las oficinas, talleres, iluminación, etc.

Por otra parte, el consumo en litros de diésel por movimiento de contenedor ha crecido ligeramente en esos mismos tres años. Estos datos se pueden comprobar en la siguiente tabla.



Tabla 3. Consumos energéticos de TPS según movimiento de contenedores

Consumos energéticos por contenedor	2012	2013	2014
kWh por contenedor	29,55	30,60	28,27
Litros diésel por contenedor	4,71	4,99	5,18
% de reefer s/total	23,7%	23,2%	23,8%

Fuente: Elaboración propia con datos de ONU-CEPAL

De los resultados anteriores se deduce que la mayor parte del consumo eléctrico de la terminal estará vinculado al uso de las grúas pórtico de muelle, seguido por el consumo de los contenedores *reefer* en los andenes. Para tener un mayor conocimiento de dónde se consume la energía, se deben realizar mediciones periódicas y poner los medios para poder disponer de la desagregación de consumo, lo que incrementará el conocimiento sobre la localización e intensidad de consumo energético en la instalación. A su vez estos datos deben relacionarse con el número de movimientos de contenedores o de *reefers* conectados que se manipulan en el terminal.

De la misma manera, la mayor parte del consumo del diésel recae en los equipos de patio RTG y los tracto camiones (los Reachstackers también pueden ser unos grandes consumidores de este combustible). La contribución de cada uno de estos equipos sobre el total dependerá de los movimientos que realice cada tipo de máquina, por lo que es importante conocer tanto el consumo de cada grupo de máquinas (e incluso de cada máquina en particular) como el número de horas y movimientos que realiza cada una para poder identificar cuáles son los recursos que más consumen y si existen soluciones operativas más eficientes.

#### 4.2.3 Propuestas de Mejora en Eficiencia Energética para Disminuir el Consumo Energético de la Terminal de Contenedores

Tal como se ha comentado para el anterior caso de la Terminal Portuaria de Arica, la primera medida básica es establecer un sistema completo y equilibrado de indicadores energéticos así como un sistema de medición efectivo. Esta medida correspondería a un nivel de tipo estratégico, ya que propone establecer una serie de indicadores de rendimiento que abarcaran todas las áreas funcionales de la instalación. Para este caso, tal y como refleja el *Cuestionario sobre consumo energético – 2015* de la Terminal Pacífico Sur se propone realizar un seguimiento de los indicadores de

desempeño ambiental **anual** donde se considere el consumo de combustible diésel (L/TEU y L/Ton) y consumo de energía eléctrica (kWh/TEU y kWh/Ton).

La segunda propuesta está referida a la operativa de patio de la terminal, enmarcándose en un nivel de gestión y operación. La Terminal Pacífico Sur dispone de diferente equipamiento en el patio de contenedores, en este caso está equipada con RTGs, Tractores de Terminal y Reachstacker.

Se ha observado que el consumo medio de los Reachstacker es elevado en comparación con datos obtenidos en otras terminales estudiadas (Noatum Container Terminal Valencia, Livorno Darsena Toscana, Puerto de Kóper). Este consumo medio se sitúa alrededor de los 20 litros por hora de trabajo, y presenta una media de trabajo de unas 3700 horas anuales por máquina, lo que indica que las máquinas trabajan un 43% del año<sup>4</sup>.

Observando el elevado consumo, y la relativa baja utilización de estas máquinas se puede estimar que su dedicación está orientada fundamentalmente a la operativa con contenedores de import/export tanto en ferrocarril como en el patio de la terminal. La propuesta de mejora consistiría en dedicar a estas tareas un mayor esfuerzo y dedicación por parte de las grúas RTG, ya que presentan un consumo medio menor (alrededor de los 14 litros a la hora) y tienen una operativa más efectiva y optimizada que las Reachstacker. En efecto, los vehículos reachstacker se deberían utilizar como equipamiento para operaciones auxiliares y de apoyo cuando la operativa lo requiera: remociones, operaciones de entrega y recogida en puertas, traslado de contenedores vacíos, etc. Esta acción en el cambio de asignación de equipos puede suponer un ahorro significativo en los costes energéticos de la TPS de Valparaíso, con efectos inmediatos en la cuenta de resultados y en el ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub>.

---

<sup>4</sup> Teniendo en cuenta que el trabajo de la terminal se realiza 24h al día y que la terminal de contenedores está parada 5 días al año, o lo que es lo mismo está operativa 360 días del año.

*Figura 27. Reachstaker en la Terminal Pacífico Sur.*



Fuente: Terminal Pacífico Sur.

Además para esta propuesta se podría hacer uso de sistemas de simulación para evaluar cómo afectaría el cambio de operativa propuesto, o incluso para mejorar operativas ya establecidas dentro de la terminal que incrementarían la eficiencia energética y operativa de la misma. Estos cambios por ejemplo también podrían consistir e incluir la aplicación del *pooling* de equipos.

La tercera propuesta está relacionada también con la mejora de la gestión y operativa de la terminal lo cual conlleva una mayor eficiencia energética. En este caso se propone una mejora continua en la formación de los empleados, educando y formando a los trabajadores con una serie de normas generales de comportamiento orientado a la reducción del consumo: por ejemplo el apagado de luces cuando no se utiliza alguna instalación o el uso innecesario de alumbrado.

El resto de propuestas de mejora para la Terminal Pacífico Sur (TPS) estarían relacionadas con la mejora de equipamientos e instalaciones en la terminal.

La cuarta propuesta está relacionada con el consumo energético, y concretamente con el gasto eléctrico de los *reefers* o contenedores refrigerados, ya que supone un 70% del consumo eléctrico de la terminal. Por esta terminal en particular se produce la exportación de casi el 50% de la producción de fruta de Chile, con lo cual tiene un tráfico muy representativo de contenedores refrigerados. Tanto es así que para paliar los picos de capacidad de andenes de *reefers* la terminal disponer de 11 unidades móviles de generadores diésel para producir la electricidad demandada por los *reefer*.

Además, para los generadores auxiliares móviles se propone el uso de otro tipo de generador con un tipo de combustible más barato ya que los mismos representan alrededor del 15% del consumo de diésel de la terminal. El combustible candidato podría ser GNL o incluso el uso de generadores de electricidad alimentados con pilas de combustible de hidrógeno, si bien la tecnología asociada a esta alternativa presenta un coste mayor y su nivel de madurez es menor que en el caso de generación con gas. Normalmente el GNL tiene un precio más bajo que el diésel, además de menos emisiones contaminantes que el combustible mencionado, por lo tanto esta solución reduciría el coste y las emisiones relacionadas al combustible utilizado para solventar los picos de demanda estacionales de contenedores *reefers*.

Estos generadores auxiliares son grandes consumidores de energía dentro de la terminal, ya que tienden a ser poco eficientes y responden justo a una demanda alta de energía dentro de la terminal de contenedores. En media, estos generadores consumen unos 42.000 litros al año y representan el 15% del consumo de diésel de la terminal, para un uso medio relativo, ya que no llegan a utilizarse ni unas 1000 horas al año de media por cada generador.

La quinta propuesta estaría relacionada con el equipamiento de patio de la terminal, en particular con las grúas *Rubber Tyred Gantry*, estas grúas representan un 35% del consumo de diésel para la terminal de contenedores TPS.

Si la terminal considerara la alternativa de generación eléctrica a partir de energías renovables para el consumo de *reefers* en la terminal, también podría considerar electrificar las grúas RTG. La electrificación de estas máquinas en combinación con sistemas de almacenamiento de energía que aprovechan la energía potencial generada en la resistencia de dicha máquina, podría disminuir significativamente el consumo energético de las RTGs y en consecuencia el coste energético y las emisiones contaminantes de dicho equipamiento.

La sexta propuesta y última propuesta consistiría en estudiar el cambio gradual de la flota de tractores de terminal diésel por una flota de camiones propulsados con combustible alternativo, tanto GNL o eléctricos/híbridos.



## 5 Metodología para el Cálculo de la Huella de Carbono en Terminales Portuarias de Contenedores

Existen diferentes indicadores de sostenibilidad utilizados para determinar el impacto de cualquier actividad antropogénica en el medio ambiente, como son: las **Unidades Medioambientales** (UMAS), cuya metodología está basada en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) basado en la ISO 14040:2006 (Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia).

Por otra parte, la **Huella Ecológica** es un indicador global que traduce el impacto ambiental en una superficie de territorio necesaria para producir los recursos consumidos y asimilar los contaminantes generados.

Asimismo la **Huella de Carbono** se define como “la totalidad de gases de efecto invernadero ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{SF}_6$ , etc.) emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto” (The Carbon Trust, 2012). Aunque estos tres indicadores pueden ser complementarios, el más utilizado en la industria marítima es la huella de carbono.

Así pues, la determinación de la huella de carbono de cualquier país, industria, organización, producto e incluso individuo consiste en la medición de la totalidad de los gases de efecto invernadero (GEI) emitidos directa o indirectamente por éstos, expresándose como dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2\text{e}$ ). Dicha huella muestra y evidencia el impacto ambiental que se genera a través de la realización de un inventario de las emisiones asociadas a los diferentes GEI.

En el caso de una terminal de contenedores, se averigua la cantidad de todos los recursos consumidos por la terminal (gas, electricidad, diésel, agua, etc.) durante un determinado periodo de referencia (p.ej. año natural), y se aplican unos factores de conversión específicos para cada recurso, de manera que se obtiene un valor único y comparable con cualquier equipo o proceso de la propia terminal o incluso con cualquier otra organización.

Una vez calculada la huella de carbono es posible aplicar las medidas necesarias en cada parte del proceso de la terminal para reducir el impacto medioambiental de su actividad. No obstante también es importante relacionar esa huella de carbono, que generalmente se mide en toneladas de  $\text{CO}_2\text{e}$ , con el volumen de actividad de la terminal con el objetivo de homogeneizar el parámetro y facilitar la comparación entre instalaciones de diferente tamaño y volumen de tráfico. Por ello, un buen indicador para comparar con otras terminales de contenedores es el que relaciona la huella de carbono de la terminal (toneladas o kilogramos de  $\text{CO}_2\text{e}$  en valor absoluto) con el tráfico marítimo de esta (número de TEUs), resultando un valor numérico en kilogramos de  $\text{CO}_2\text{e}/\text{TEU}$ .

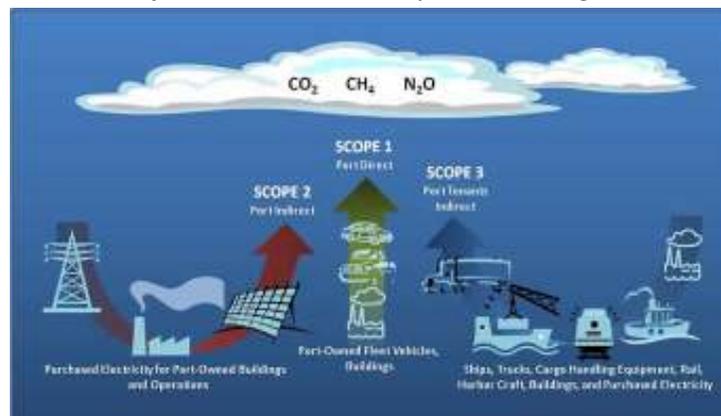


## 5.1 Bases de la Metodología

La metodología recomendada está basada en las más reconocidas y utilizadas metodologías para el cálculo de los GEI como son el *Greenhouse Gas Protocol* (GHG Protocol) y la *Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard* desarrolladas por el *World Resources Institute* y el *World Business Council on Sustainable Development*. Adicionalmente se ha considerado la Guía de Huella de Carbono para Puertos desarrollado por el *Carbon Footprint Working Group* de la *World Ports Climate Initiative (WPCI)*. Para calcular la huella de carbono, según el *GHG Protocol* y el *WPCI*, se clasifican las emisiones por su origen dentro de los siguientes tres alcances (ver también Figura 28):

- **Alcance 1** - Fuentes Directas del Puerto: Estas fuentes están directamente bajo el control y operación de la administración portuaria e incluye los vehículos de flota de su propiedad o alquilados, las fuentes de edificios o fuentes fijas (p.ej. calderas, etc.), equipos de manipulación de mercancías y embarcaciones de propiedad portuaria, vehículos de los empleados portuarios y cualquier otra fuente de emisión que sea propiedad o esté operada por la administración portuaria.
- **Alcance 2** – Fuentes Indirectas del Puerto: Estas fuentes incluyen la compra de electricidad de la administración portuaria como operador y propietaria de edificios e instalaciones. La potencia arrendada y energía comprada no se incluyen en este Alcance.
- **Alcance 3** – Cualquier otra emisión indirecta cuya fuente está fuera del control directo de la administración portuaria. Las fuentes de emisiones en este alcance pueden ser, recogida de residuos y consumo de agua, buques de alta mar (de contenedores o no), otras embarcaciones, buques de navegación interior, equipos de manipulación de mercancías, trenes de contenedores y camiones de contenedores, etc.

Figura 28. Clasificación de emisiones portuarias según los alcances



Fuente: <http://wpci.iaphworldports.org/>

## 5.2 Inventario de Gases de Efecto Invernadero

Según los alcances de las fuentes de emisión definidos en el apartado anterior, seguidamente se deben identificar las zonas y actividades concretas de nuestro puerto o terminal que se ajustan a esos alcances.

Una vez identificadas todas las actividades según los alcances se deben estimar las emisiones producidas en función de los registros del consumo de energía y otros recursos. Básicamente la fórmula para el cálculo de las emisiones tiene siempre los mismo términos y solo cambia los valores a utilizar según la fuente de energía analizada. Las fórmulas son las siguientes:

$$Emisiones_i = \text{Energía o Consumo de Combustible}_i \times \text{Factor de Emisión}_i$$

$$Emisiones_{tot} = \sum_{i=1}^n Emisiones_i$$

Y los términos utilizados tienen el siguiente significado:

- ***i***, etiqueta a cada una de las fuentes de emisión identificadas en la terminal o puerto
- ***Energía o Consumo de Combustible***, es la cantidad, volumen o peso de la energía o combustible consumido por la fuente de emisión *i*, pudiendo ser electricidad, combustible fósil, etc. Dependiendo del tipo que sea, su valor se expresará en alguna de las siguientes unidades, HP-hora, kWh, MWh, galones, kilogramos, litros, etc.  
Para el Alcance 3, dado que el origen no está bajo el control del puerto, se utiliza un valor de energía sustituta basado en estudios publicados, documentos, especificaciones de equipos, rendimientos promedios de equipos, tipo de buques, etc.
- ***Factor de Emisión***, representa el factor de conversión de la *Energía o Consumo de Combustible* de la fuente *i* a peso de CO<sub>2</sub>e. El peso puede ir expresado en gramos, kilogramos, toneladas, libras o cualquier otra unidad de peso. Por lo tanto el valor del Factor de Emisión a utilizar dependerá del tipo *Energía o Consumo de Combustible* y de las unidades en las que esté expresada esta, por lo que el Factor de Emisión tendrá unas unidades tales como, gramos/ HP-hora, gramos/kWh, lb/gal, kg/litro, etc.
- ***Emisiones<sub>i</sub>***, peso de CO<sub>2</sub>e producido por la fuente de emisión *i*. La unidad recomendada para terminales portuarias por las cantidades de energía que consumen es la tonelada de CO<sub>2</sub>e, por lo que esta unidad condicionará el valor del *Factor de emisión*.

- $n$ , indica el número total de fuentes de emisión detectadas en la zona portuaria o de la terminal.
- **Emisiones<sub>tot</sub>**, es la suma de todas las emisiones calculadas ( $n$ ) y expresadas en una única unidad de medida que como se ha comentado se recomienda que sea la tonelada de CO<sub>2</sub>e. La fórmula de  $Emisiones_{tot}$  también se puede usar para calcular el total de emisiones de cada uno de los alcances individualmente.

Algunos de los factores de emisión se pueden encontrar en la siguiente Tabla 4, aunque sus valores dependen del país dónde se vaya a utilizar, de las condiciones de obtención de la energía eléctrica, etc.

Tabla 4. Muestra de algunos Factores de emisión (no exhaustiva)

Factor de emisión	Valor <sup>1</sup>	Unidad
Diésel de locomoción	0,653	Kg CO <sub>2</sub> e / kWh
Vehículos de gasolina de empleados	2,32	Kg CO <sub>2</sub> e / litro
Vehículos diésel de empleados	10,21	Kg CO <sub>2</sub> e / Gal
Equipos de manipulación de mercancía diésel	2,7	Kg CO <sub>2</sub> e / litro
Equipos de manipulación de mercancía de GNL	4,46	Kg CO <sub>2</sub> e / Gal
Electricidad	0,385	Kg CO <sub>2</sub> e / kWh

Nota<sup>1</sup>: estos valores son aproximados y varían según cada caso a analizar

Fuente: Elaboración propia

Utilizando las anteriores fórmulas y la identificación de fuentes de emisión según el alcance se recomienda la creación de las Tabla 5 y Tabla 6 para organizar y controlar mejor la información.

Tabla 5. Ejemplo no exhaustivo de asignación de fuentes de emisión a alcances

Fuente de emisión	Alcance 1	Alcance 2	Alcance 3
<b>1 Equipos de manipulación de carga</b>			
• Grúas STS		X	
• Grúas móviles	X		
• Grúas RTG	X		
• Grúas RTG electrificadas		X	
• Reachstackers	X		
		X	



<b>2 Instalaciones</b>			
• Edificio Principal		X	
• Edificio de Mantenimiento		X	
• Iluminación del puerto		X	
• Reefers		X	
• .....			X
<b>3 Transporte terrestre</b>			
• Vehículos de la terminal	X		
• Camiones externos			X
• Transporte de trabajadores			X
• .....		X	
<b>4 .....</b>			

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la huella de carbono para fuentes de Alcance 3, es decir, aquellas emisiones que aun produciéndose debido a la propia actividad de la terminal están fuera del control de ésta, como pueden ser los camiones externos que entran a la terminal a recoger o entregar contenedores o cualquier otro tipo de carga, los buques que operan en la terminal, los remolcadores, los insumos, los residuos, etc., se recomienda para su cálculo el Documento Guía Huella de Carbono para Puertos (Carbon Footprinting Working Group. World Ports Climate Initiative (WPCI), Junio 2010).

### 5.3 Relación de la Huella de Carbono con la Actividad de la Terminal

Con las fórmulas mostradas en el apartado anterior se obtiene el peso total de CO<sub>2</sub>e (generalmente en kg) de toda la terminal para un determinado periodo de tiempo que suele ser anual, aunque si se quiere tener un control más intensivo se puede acortar el periodo a un grupo de meses.

Además de establecer un periodo de cálculo de la huella, es necesario introducir dos variantes respecto el valor absoluto de la huella de carbono, de manera que se relacione este valor con la actividad o producción de la terminal.

La propuesta de esta metodología es obtener los tres indicadores de huella de carbono: el del valor absoluto en toneladas de CO<sub>2</sub>e; en toneladas de CO<sub>2</sub>e por cada tonelada de mercancía cargada o descargada en el muelle; y en kilogramos de CO<sub>2</sub>e por cada TEU cargado o descargado en muelle.

Para obtener mayor detalle sobre la eficiencia de una instalación portuaria será de utilidad el segundo y tercer valor, ya que ambos permitirán no solo compararse con uno mismo, sino poder hacerlo con otras terminales del mismo sector. El valor absoluto de la huella solo servirá para comprobar la evolución de la terminal en el tiempo. Se recomienda presentar una tabla de resultados similar a la Tabla 6 donde se comparen los 3 indicadores de huella de carbono entre 2 periodos (generalmente años) separados por los alcances y finalmente con el total agregado de toda la terminal.

*Tabla 6. Ejemplo de presentación de resultados en diversas unidades*

Unidad	Toneladas CO <sub>2</sub> e			Kg CO <sub>2</sub> e/TEU			Toneladas CO <sub>2</sub> e / Tonelada de mercancía		
	Periodo 1	Periodo 2	% Periodo 1 – Periodo 2	Periodo 1	Periodo 2	% Periodo 1 – Periodo 2	Periodo 1	Periodo 2	% Periodo 1 – Periodo 2
Alcance 1	x	y	z%	x	y	z%	x	y	z%
Alcance 2	x	y	z%	x	y	z%	x	y	z%
Alcance 3	x	y	z%	x	y	z%	x	y	z%
<b>TOTAL</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z%</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z%</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z%</b>

Fuente: Elaboración propia

Particularizando para cada fuente de emisión se pueden realizar gráficos o tablas similares que comparen la evolución entre dos o más periodos de tiempo para cada fuente.

#### 5.4 Identificación de Medidas para Reducir la Huella de Carbono

En definitiva, el objetivo principal del cálculo de la huella de carbono en una terminal portuaria es el de poder conocer cuál es el impacto ambiental en términos de GEI a través de un indicador que permita realizar un seguimiento y comparación en el tiempo de dicho impacto. Asimismo, el parámetro de Huella de Carbono permitirá a los departamentos involucrados directamente en la actividad de terminal (operaciones, mantenimiento, etc.) identificar, plantear y favorecer medidas y proyectos que reduzcan las emisiones generadas en la actividad portuaria.

Las medidas adoptadas serán concretas para cada caso de estudio, pero se pueden clasificar en varios tipos, como: cambios en la gestión operativa; renovación de equipos por otros tecnológicamente más eficientes: cambio o adaptación de máquinas de combustibles fósiles, uso de energías renovables para producción de electricidad para autoconsumo, políticas que incentiven a los clientes de la terminal (buques y camiones principalmente) el cambio a energías más limpias por medio de descuentos o ventajas a la hora de realizar su actividad, etc.

Todas estas medidas deben tener un seguimiento para el que se recomienda el uso del ciclo de mejora continua o rueda de Deming conocido como ciclo PDCA (*Plan, Do, Check and Act*).

Figura 29. Ciclo PDCA de mejora continua



Fuente: Elaboración Propia

## 6 Conclusiones del Estudio

El campo de la eficiencia energética ha experimentado una incorporación tardía como ámbito de estudio en los puertos si se compara con otros sectores de similar importancia estratégica. Sin embargo, en los últimos años, el gran calado que han tenido las políticas de ahorro energético y las restricciones impuestas por los gobiernos en relación con las emisiones contaminantes han propiciado el interés de los puertos y operadores portuarios por este campo.

En el presente documento se ha realizado un estudio de los criterios de mejora aplicables en terminales portuarias en materia de eficiencia energética, los cuales se dividen en dos grandes grupos: por un lado las mejoras y las innovaciones tecnológicas aplicables a la maquinaria y por otro las mejoras en la gestión y la operativa. Además de estos dos grandes grupos existe un grupo de mejoras relacionadas con los servicios suministrados por las autoridades portuarias.

En los últimos años el mercado del equipamiento portuario ha experimentado un cambio muy importante en lo que a introducción de innovaciones energéticas se refiere, por lo que los criterios de mejora irán encaminados en gran medida a la sustitución de la maquinaria existente por otra nueva más eficiente o a la introducción de mejoras en su rendimiento energético. Las principales aplicaciones a este respecto se centran en las grúas RTG y vehículos de transporte horizontal, debido a la evolución de los motores diésel y a la aparición de nuevos prototipos basados en fuentes de energía alternativas.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que gran parte de la contribución a la mejora de la eficiencia energética global en terminales portuarias se concentra en la correcta adopción de medidas de gestión tanto a nivel estratégico como en relación con las distintas operativas y los procesos auxiliares de la terminal. Entre las medidas de gestión estratégica más relevantes cabe señalar la implantación de un sistema de gestión de la eficiencia energética que permita alcanzar los objetivos energéticos propuestos y la implantación de un sistema de formación continua en eficiencia energética para todos los trabajadores de la terminal, prestando especial atención a los operarios de la maquinaria.

En cuanto a los criterios de mejora operativa, hay que tener en cuenta que en el ámbito portuario, en especial en el sector de las terminales portuarias de contenedores, existe una tipología muy extensa debido a los múltiples condicionantes que intervienen en su diseño y explotación. Entre estos criterios destaca la determinación de los equipos necesarios y su correcta asignación, puesto que debido al costoso y variado conjunto de equipos que operan en estas instalaciones, estos se deben de adquirir teniendo en cuenta las previsiones de tráfico y ocupación de la misma.



La conclusión que se puede extraer después de analizar los criterios de mejora que se pueden implantar en una terminal portuaria de contenedores para mejorar su eficiencia energética, es la necesidad de combinar criterios de mejora tecnológica con mejoras en la gestión y la operativa. No es suficiente con implantar sistemas de ahorro de energía en la maquinaria de la terminal, si ese esfuerzo no va acompañado de la adopción de medidas complementarias orientadas a reducir el consumo energético en el sistema de gestión y en la operativa de la terminal. Además todas estas medidas deben complementarse con un mayor control sobre los consumos tanto propios como de los servicios suministrados, potenciando el uso de herramientas informáticas de gestión.

De igual forma, la consideración del impacto ambiental de las terminales de mercancía es un elemento cada vez más importante debido a la influencia que estas instalaciones tienen tanto en el ámbito portuario más inmediato como en la sociedad en general, en especial en puertos con grandes áreas de población cercanas. La incorporación de la Huella de Carbono como un indicador estratégico es hoy por hoy una realidad, resultando en un instrumento que permite guiar las decisiones de la organización no sólo bajo una perspectiva de negocio, sino también bajo una perspectiva de responsabilidad social corporativa y control ambiental.

En suma, la eficiencia energética portuaria comienza a tener una importancia significativa en los modelos de negocio del sector tanto a nivel nacional como internacional. Los grandes grupos operadores de terminales han desarrollado estrategias y planes de mejora con el fin de posicionar a sus instalaciones en la nueva economía baja en carbono que se está desarrollando actualmente y que está llamada a transformar los sectores industriales y del transporte en los próximos años.



## 7 Bibliografía

- Beerman, N. H. (2014). *Case Study Onshore Power Supply Facility at the Cruise Terminal Altona in Hamburg*. Hamburg: Hafen Hamburg Marketing e.V.
- Carbon Footprinting Working Group. World Ports Climate Initiative (WPCI). (Junio 2010). *Carbon Footprinting Working Group - Guidance Document*. Port of Los Angeles.
- de Tenerife, Autoridad Portuaria. (07 de February de 2016). *Puertos de Tenerife*. Obtenido de [www.puertostetenerife.org](http://www.puertostetenerife.org)
- Energy Information Administration, U. (2010). *Levelized Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2011*. Washington, DC: U.S. Department of Energy.
- European Marine Energy Centre, L. (09 de February de 2016). Obtenido de The European Marine Energy Centre (EMEC) Ltd: <http://www.emec.org.uk/about-us/wave-clients/pelamis-wave-power/>
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2004). *Plan de Acción de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España*. Madrid: MAGRAMA.
- The Carbon Trust. (2012). *Carbon footprinting*. UK.
- The Maritime Executive. (Mayo de 2015). *The Maritime Executive*. Obtenido de <http://maritime-executive.com/features/is-cold-ironing-redundant-now>
- Vieira Gonçalves de Souza, P., Sapiña García, R., Giménez Maldonado, J. A., Jiménez Zaragoza, M. C., Monfort Mulinas, A., Monterde Higuero, N., . . . Calduch Verduch, D. (2011). *Guía de Eficiencia Energética en Terminales Portuarias de Contenedores*. Valencia: Fundación Valenciaport.
- [www.porttechnology.org](http://www.porttechnology.org). (4 de Julio de 2014). (Maritime Information Services Ltd.) Obtenido de [https://www.porttechnology.org/news/terberg\\_to\\_supply\\_lng\\_tractors\\_to\\_turkish\\_terminal](https://www.porttechnology.org/news/terberg_to_supply_lng_tractors_to_turkish_terminal)