

# UNA PROPUESTA DE INDICADORES PARA EL ANÁLISIS DE LA SUSTENTABILIDAD EN PUERTOS

**María Isabel Vega**

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso  
Chile

**Lorena Bearzotti**

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso  
Chile

**Yennifer Escobedo**

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso  
Chile

**Rosa Guadalupe González-Ramírez**

Universidad de los Andes  
Chile

María Isabel Vega  
Lorena Bearzotti  
Jennifer Escobedo  
Rosa Guadalupe González-Ramírez

## **Una propuesta de indicadores para el análisis de la sustentabilidad en puertos**

### **Resumen**

Tradicionalmente la actividad portuaria ha influido en su entorno, más aún en el contexto de una ciudad. Es por ello, que es señalada como un proceso que requiere ser revisado desde nuevas perspectivas tendientes a reducir los impactos en el medioambiente, en la sociedad, en mejorar las condiciones a sus operarios y en el uso de los recursos. Del mismo modo, la sustentabilidad en sus tres pilares de manera conjunta con el fin de garantizar el acceso a bienes y servicios a las futuras generaciones. La presente investigación propone un conjunto de indicadores como elemento clave para el desarrollo sustentable de la actividad portuaria desde una perspectiva estratégica, con el fin de evaluar las acciones tomadas y planificar nuevas medidas orientadas a una mejora continua.

**Palabras clave:** Sustentabilidad, Puertos Sustentables, Toma de Decisión, Visibilidad.

**Clasificación JEL:** L92, Q50, Q56

---

## **A proposal of indicators for Port sustainability analysis**

### **Abstract**

Traditionally, port activity had influenced in its environment, and even more within a city. By this, it has been referred as a process that has to be revisited considering new perspectives towards reducing environmental and social impacts, improving working conditions and an adequate use of resources. At the same time, sustainability is a key element to guarantee access to goods and services. This research propose an evaluation and planning framework for improvement as fundamental for the sustainable development of port activities.

**Keywords:** Sustainability, Sustainable Ports, Decision Making, Visibility.

**JEL Classification:** L92, Q50, Q56

---

## **Une proposition d'indicateurs pour l'analyse de la durabilité dans les ports**

### **Résumé**

Traditionnellement, l'activité portuaire avait influencé son environnement, et plus encore au sein d'une ville. De ce fait, il a été référé comme un processus qui doit être revu en tenant compte de nouvelles perspectives pour réduire les impacts environnementaux et sociaux, améliorer les conditions de travail et une utilisation adéquate des ressources. Dans le même temps, la durabilité est un élément clé pour garantir l'accès aux biens et aux services. Cette recherche propose un cadre d'amélioration et de planification en vue d'une amélioration essentielle au développement durable des activités portuaires.

**Mots-clés:** Durabilité, Ports Durables, Prise de Décision, Visibilité.

**Nomenclature JEL:** L92, Q50, Q56

Artículo de Investigación

## Una propuesta de indicadores para el análisis de la sustentabilidad en puertos

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recepción de artículo: 28/11/2017  
Concepto de evaluación: 15/12/2017  
Aceptación de artículo: 21/01/2018

María Isabel Vega\*

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile

Lorena Bearzotti

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile

Yennifer Escobedo

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile

Rosa G. González-Ramírez

Universidad de los Andes, Chile

### INTRODUCCIÓN

De acuerdo con los últimos estudios realizados desde varias organizaciones e instituciones de investigación, se requieren acciones concretas para evitar daños mayores al entorno y revertir los efectos negativos que la actividad humana ha ocasionado, procurando el desarrollo sustentable con una mirada integral e interdisciplinaria.

De esta manera la sustentabilidad se ha tornado un tema de relevancia no solo para los ámbitos académicos sino también en los demás estamentos como los gubernamentales, sociales, religiosos e incluso desde una perspectiva privada. El concepto subyacente en las diferentes acciones tendientes a la sustentabilidad hace referencia a poder satisfacer los requerimientos actuales sin comprometer la satisfacción de los requerimientos de las futuras generaciones (Porto Solano et al, 2017). Así el aspecto de sustentabilidad se torna en una herramienta estratégica que puede incrementar la competitividad y mejorar la relación con la comunidad.

Una de las actividades humanas que más impacto tiene en el contexto económico, ambiental y social es la actividad comercial. Se sabe que desde hace unas décadas se vive un proceso de expansión de la globalización, por lo que el intercambio de bienes y servicios de las diversas cadenas de suministro se pueden producir a lo largo de todo

\* Autor para correspondencia

Correos electrónicos: maria.vega.c@pucv.cl\*, lorena.bearzotti@pucv.cl, yenniferescobedo@gmail.com, rgonzalez@uandes.cl

el globo desafiando las barreras culturales y políticas. Sabiendo que aproximadamente el 90% del movimiento de carga se realiza a través del transporte marítimo, los puertos cobran un rol preponderante y de gran impacto en la operación global.

Frente a los pronósticos de crecimiento del comercio internacional es necesario que el puerto crezca de manera sostenible para poder responder a la demanda, no olvidando trabajar en los ámbitos sociales, ambientales, institucional y económicos. Desarrollando medidas que ayuden a mejorar estas relaciones hacen necesario el uso de indicadores que permitan ver el progreso, y a realizar estimaciones de crecimiento, para poder tomar decisiones de manera consciente.

Dentro de las acciones sustentables que se pueden desarrollar en el contexto de las terminales portuarias se pueden mencionar el reciclaje de la basura, la utilización de plantas de energía solar y parques eólicos, la reducción de los residuos, el desarrollo de medidas tendientes a fortalecer la resiliencia frente al cambio climático, la generación de acciones colaborativas con otras terminales (competición), la mejora en el vínculo con las comunidades, acciones tendientes a la preservación de la flora y fauna, la gestión de las aguas residuales así como la reducción de las emisiones que puedan ser contaminantes. También las acciones a ser tomadas deben estar orientadas a reducir los costos de operación y la congestión tanto dentro de las terminales como fuera de ellas.

Dentro de los líderes en temas de acciones orientadas a la sustentabilidad se pueden mencionar Rotterdam (Holanda), Hamburgo (Alemania), Marsella (Francia), Amberes (Bélgica). Long Beach (Estados Unidos) y Ensenada (México). El puerto de Rotterdam se destaca, estando a la vanguardia, fortaleciendo la competitividad holandesa y europea, buscando convertirse en un puerto verde, con una mejor logística y una mejora en el impacto medioambiental.

Mientras que en el contexto chileno los puertos que están liderando acciones tendientes a la sustentabilidad ambiental como el Puerto de Arica con la certificación de Green Port, el Puerto de Valparaíso que ha realizado un Reporte y Plan de Sustentabilidad, el Puerto de Ventanas con la certificación de EcoPort, algunas de las terminales de la región del Bío Bío que han suscrito acuerdos de producción limpia, al igual que el Puerto de San Antonio.

La única manera de que el puerto pueda crecer de forma equilibrada es preocuparse por su entorno y medioambiente, para eso deben desarrollar propuestas relacionadas con las mejoras en el rendimiento de las operaciones, fomentar la sustentabilidad entre las organizaciones participantes de su cadena logística portuaria y de las cadenas de suministro involucradas con el puerto. La generación de energía sostenible es un desarrollo importante. El GNL es un combustible alternativo atractivo para los buques de alta mar, buques de navegación interior y camiones. Cuando se utiliza GNL como combustible, un número menor de sustancias contaminantes se emiten.

Así el objetivo de este artículo es abordar el problema de la sustentabilidad en el contexto de la terminal portuaria, entendiendo que es necesario el desarrollo de acciones y estrategias que permitan mejorar los procesos que en las terminales se realizan incorporando

aspectos sustentables, convirtiendo la sustentabilidad en un objetivo estratégico (Robinson, 2015). Para lo cual se va a analizar el problema de la sustentabilidad desde una perspectiva general, identificando las principales líneas de acción y áreas en las que se está trabajando a través de la revisión de la literatura, que será presentada en la sección 2, para posteriormente presentar el problema de las acciones y la identificación de los indicadores de sustentabilidad que permitan realizar el monitoreo y control de las acciones y en base a su análisis la toma de decisión para ir mejorando el rendimiento, esta tarea se realiza en la sección 3 siguiendo en la sección 4 con el planteamiento del caso de estudio en el contexto del puerto de la San Antonio en Chile. Las conclusiones y futuros trabajos son presentados en la sección 5.

Como síntesis, el desarrollo sustentable, especialmente en el contexto de las terminales portuarias, es base para alcanzar un umbral de desarrollo viable y permanente que traiga beneficios a todos los actores directores de las terminales, así como a las comunidades aledañas. De esta manera el desarrollo sustentable de las terminales portuarias se basa en el diseño e implementación de políticas portuarias, una tendencia a la gestión portuaria colaborativa buscando la competición y una mayor vinculación con las comunidades aledañas (Porto Solano, 2017)

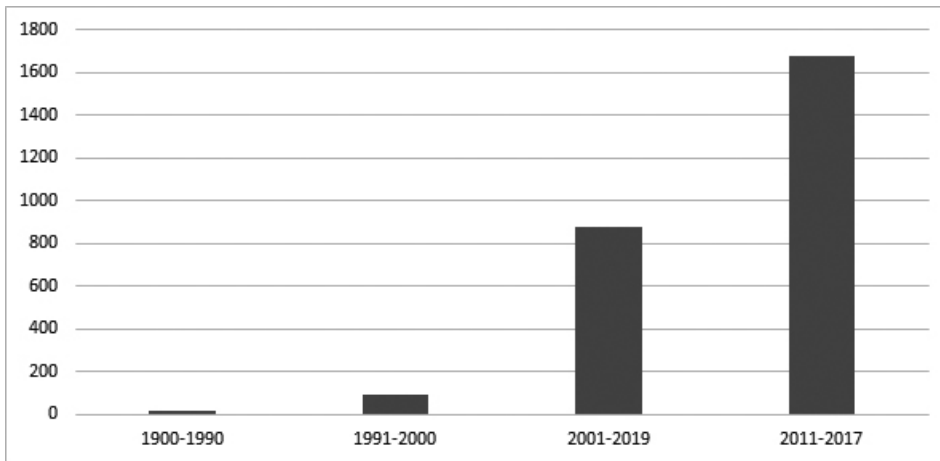
## **TRABAJOS RELACIONADOS**

El problema de la sustentabilidad en el contexto del dominio de los puertos y cadena logística se ha convertido en un tema de interés tanto para el mundo de la academia, como para los gobiernos y también para las organizaciones privadas, atendiendo los requerimientos tendientes a cambiar los procesos que se llevan a cabo para la generación de bienes y servicios considerando aspectos de sustentabilidad, siendo esto visto actualmente como un elemento de competencia y una decisión estratégica. En particular en este trabajo se aborda el problema de la sustentabilidad en el contexto de las terminales portuarias. Para realizar esta revisión de la literatura se han empleado los buscadores académicos tradicionales comenzando con Google Scholar, Science Direct, IEEE, etc.

A partir de la información recopilada se puede evidenciar, como se detalla en la Figura 1, una evolución creciente en el tiempo sobre el tema de la sustentabilidad, específicamente en el dominio de las terminales portuarias. Lo que pone de manifiesto que es un tema de interés para la comunidad y con cada vez más relevancia.

Por la relevancia del tema, existen varios autores que han realizado investigaciones referentes a sustentabilidad en el dominio de las terminales portuarias y los servicios anexos. De la compilación, se presenta a continuación una selección de estos artículos que guardan relación con el presente trabajo.

Considerando la sustentabilidad en los puertos como la base de este estudio, se presenta el análisis de la literatura. El problema de la revisión de las operaciones portuarias considerando aspectos de sustentabilidad es considerado en el trabajo de Sarro (2014). En este estudio se presenta un análisis de los reportes emitidos por más de 20 puertos del mundo. Con este trabajo, se recogen las mejores prácticas a nivel mundial, para otorgar un



**Figura 1: Presencia de artículos relacionados con la sustentabilidad en puertos**

Fuente: (Elaboración propia con datos extraídos de Google Scholar)

marco de referencia para puertos argentinos en particular, siendo un contexto en el cual estos debieran operar y considerar para el diseño y rediseño de sus procesos de operación. De la misma manera un análisis sobre el estrés al que se ven sometidos los puertos es presentado con el fin de determinar cursos de acción tendientes a hacer resilientes sus procesos. En donde dentro del estudio de las operaciones, factores logísticos y la industria en general, se consideran dentro de los cambios hacia el futuro intervenir innovando en áreas como cambios culturales, cambios en el clima y la protección ambiental, cambios en la gobernanza, cambios geográficos, cambios comerciales y nuevo contexto de negocio portuario, cambios tecnológicos (Sanchez & Mouftier, 2016).

Lu, et al. (2016) presentan un informe sobre el examen del rendimiento de la sostenibilidad en los puertos: perspectivas de los gestores de puertos sobre el desarrollo de cadenas de suministro sostenibles. En este trabajo se analizan los impactos de la gestión de sostenibilidad en la cadena de suministro, considerando el desempeño en el contexto portuario. Los resultados indicaron que la colaboración externa sostenible está asociada positivamente con la gestión interna sostenible y esta gestión influye positivamente en el desempeño de la sostenibilidad en términos globales.

La eficiencia energética en los puertos se trata a través del trabajo de Roa, E. (2015) quien en su proyecto trata sobre la evaluación en la implementación de la norma ISO 50.001, para sistemas de gestión de energía en las actividades operacionales del Terminal Pacífico Sur de Valparaíso. Este proyecto de titulación, focaliza la atención en la operación que realizan las grúas RTG, ya que el Terminal en estudio utiliza motores con consumo de diesel para que las grúas operen. El proyecto propone y evalúa, la implementación de motores híbridos en dichas grúas, concluyendo que esta propuesta permite la disminución del consumo de diesel y ahorro en términos económicos en un porcentaje considerable en las operaciones portuarias, además de la disminución en la generación de materiales contaminantes.

Para medir y de alguna manera generar control sobre la gestión en la implementación del desarrollo y operaciones sustentables en el puerto, se deben establecer indicadores de rendimiento sustentables como herramientas que permitan la visibilidad. En este punto, se presentan algunos trabajos relacionados a continuación:

Achkar, M. (2005) en su trabajo trata sobre la sustentabilidad en términos aplicables a la sociedad y cómo esta se puede medir para visualizar el estado de esta sociedad. Si bien este trabajo no tiene directa relación con el ámbito portuario, sí presenta una serie de indicadores en relación con el entorno que lo rodea y por ende donde se desarrolla y a quien sirve directa o indirectamente el puerto. Por lo que se considera relevante la información aquí expuesta.

Gaudiano, et al (2015) habla sobre informes e indicadores de sostenibilidad, donde considera que un indicador es una información procesada, generalmente de carácter cuantitativo, que genera una idea clara y accesible sobre un fenómeno, su evolución y en cuánto difiere de una situación deseada. Además, señala que el concepto de desarrollo sostenible tiene implícito el equilibrio entre el aspecto social, económico y medioambiental. En sintonía con este marco referencial, las organizaciones gestionan en forma responsable su desempeño también en lo económico, social y medioambiental. En este informe se da a conocer qué es la sostenibilidad y sus tres pilares y qué son los indicadores de rendimiento.

Quintana, Y. (2011) en su trabajo analiza el monitoreo de la calidad ambiental en zonas portuarias. En base a este análisis de un caso real, el autor propone la creación de una ruta metodológica para la elaboración de indicadores ambientales que permitan mejorar el monitoreo de la calidad ambiental en el entorno del puerto. Considerando como base que la actividad portuaria genera impactos negativos que dañan la calidad ambiental de su entorno, lo que genera menoscabo en la calidad de vida de las personas que viven en estas Ciudades - Puerto, quienes se exponen no solo a la contaminación ambiental, sino a cambios culturales y sociales.

La resiliencia de la cadena logística portuaria y de cada uno de sus eslabones, debe considerar actualmente la generación de conciencia por parte de estos actores frente a lo que pasa a su alrededor. Los impactos que el desarrollo de una cadena logística, (en cualquier ámbito) puedan generar en su área de influencia (entorno social), afectarán sin duda el desempeño y toma de decisiones tanto a nivel operativo, como estratégico de la cadena. A continuación, se muestran algunos trabajos relacionados con este tema.

Web, M. (2014), señala que entre los beneficios que las cadenas de suministro puedan encontrar en la responsabilidad social se encuentran la disminución de costos operacionales (si se considera invertir por ejemplo en eficiencia energética), aumento de productividad (considerando mejoras en factores que influyen en el clima laboral). Esto se extiende incluso aguas arriba a proveedores y no se obtienen solo beneficios económicos sino también sociales, considerando la aprobación o desaprobación social respecto a las prácticas que se desarrollen.

Mark et al, (2017) han desarrollado una propuesta de metodología para el cálculo de la huella de carbono en una terminal de contenedores, considerando consumo de energía y emisión de gases efecto invernadero.

Yamp & Lam, (2013) contribuyen desde una perspectiva política como de investigación desarrollando una propuesta balanceando los requerimientos de sustentabilidad y de desarrollo de las empresas portuarias.

Una revisión de la literatura abordando el problema de puertos y logística marítima verde es detallada por Davarzani et al, (2016). Estos autores plantean que solo recientemente las emisiones de los buques y los puertos han sido percibidas como un problema de impacto a ser analizados, con una mirada proactiva. En este sentido hay iniciativas como ECAs (Emission Control Areas) que determinan zonas de exclusión de tránsito para buques que utilizan combustibles con alta presencia de sulfuros. Además, otras iniciativas como EEDI (Energy Efficiency Design Index) aportan al diseño de naves ecoamigables, algunos puertos han considerado incluir este índice para el cobro de sus tarifas con el fin de promover la eficiencia energética. Además las líneas navieras han apostado al diseño de rutas de navegación considerando aspectos de clima y la reducción del consumo de combustible. En base al análisis de la literatura se evidencia que desde 2006 hay un crecimiento sostenido de artículos vinculados con la sustentabilidad en los puertos y en la cadena logística portuaria.

Begqvist & Egels-Zanden, (2012) examinan la estrategia de la tarifa de puertos verdes como una herramienta para internalizar los costos externos en los sistemas de transporte y asegurar la efectividad del *hinterland*. Por otra parte, Lun, (2011) realiza un análisis de los elementos de la gestión verde como una parte de la gestión de la sustentabilidad focalizada en el impacto medioambiental relacionándola con los indicadores de performance, combinando una perspectiva teórica y práctica.

Sislian et al., (2016) realizan una revisión de la literatura para determinar el conocimiento de la sustentabilidad en el contexto del puerto y su vínculo con el problema de la red de navieras, desarrollando un marco de referencia conceptual que permite integrar la sustentabilidad con el problema de la red, esto es de importancia debido a que las navieras son de acuerdo a los últimos análisis, los principales contaminantes, siendo además difíciles de regular y controlar.

Dentro de las propuestas que se han estudiado de la literatura, se encuentra la incorporación de indicadores de sostenibilidad, de eficiencia energética y de rendimiento, por otra parte, la generación de políticas a nivel de empresa con responsabilidad compartida con las empresas licitantes que limiten la utilización de diésel, promoviendo el uso de energías tales como eólicas, solar, eléctrica, GNL, entre otras, debido a que estas producen menor cantidad de emisiones contaminantes, que el diésel.

Los indicadores de sostenibilidad se plantean como instrumentos que permiten evaluar los avances hacia un nuevo paradigma de desarrollo. Así, fundamentalmente en los últimos cinco años, se ha trabajado en el diseño de marcos analíticos y modelos funcionales que incorporan en sus estructuras organizativas este nuevo enfoque de sostenibilidad.

En este trabajo, se proponen una serie de indicadores de sustentabilidad que puedan ser medidos por las terminales portuarias con el objetivo de contribuir a su desarrollo desde



una perspectiva de sustentabilidad ambiental e institucional. Como caso de estudio se considera el Puerto de San Antonio en Chile, uno de los principales puertos en volumen de contenedores del país, y que actualmente se encuentra, además, desarrollando un Programa de Producción Limpia con todos los integrantes de su comunidad portuaria. A partir de este caso de estudio, las conclusiones obtenidas se pueden extrapolar para sentar las bases de un modelo de referencia general que pueda ser empleado como plantilla base para otros puertos no solo del país sino también a nivel regional.

## **UNA PROPUESTA DE INDICADORES PARA LA TOMA DE DECISIÓN EN TEMAS DE SUSTENTABILIDAD PORTUARIA**

La sostenibilidad es un tema relevante para la sociedad actual, la calidad de vida, suficiencia de productos y servicios disponibles, hacen cada vez más fácil la vida actual. Sin embargo, si bien este bienestar tiene valor para las personas, el alcanzarlo sin embargar el futuro de las nuevas generaciones, es aún más valorado.

En términos generales, las empresas con fines de lucro tienen como finalidad maximizar su beneficio y en consecuencia muchas de ellas reducen la preocupación por el medio que la rodea, la ecología y la sociedad. Sin embargo, la tendencia a preocuparse por el entorno está en aumento y esto ha generado la necesidad de algunas empresas por diferenciarse del resto al ser consideradas sostenibles. Dentro de estas empresas, los puertos son grandes interesados en seguir esta tendencia, sobre todo si se considera que la mayoría de ellos deben mantener una relación de beneficio Ciudad – Puerto.

Dentro de este contexto, se puede mencionar que alrededor del mundo existen empresas portuarias que, desde hace algunos años, se han enfocado en trabajar, de forma visionaria considerando además de su entorno empresarial, en donde se establecen desafíos en la competitividad y la calidad en la prestación de servicios, también existe una preocupación respecto a la eficiencia en el uso de recursos y su impacto económico, social y ambiental en el entorno.

A pesar de la importancia que la sociedad da a este tema, hay países que aún poseen puertos que todavía no implementan este tipo de prácticas. En el caso del Puerto de San Antonio en Chile, los esfuerzos en esta materia aún son incipientes, pero podemos destacar que participa en un programa a nivel nacional denominado “Programa de Producción Limpia” donde se busca empezar a crear conciencia en el tema. Por otra parte, si bien este puerto actualmente cuenta con la certificación de las normas ISO 14.001, ISO 9001, certificación internacional ISPS y medición de la huella de carbono de los años 2010, 2011 y 2012, aún falta la certificación de la norma ISO 50.001, la cual se centra en otorgar a las organizaciones requisitos para alcanzar la mejora continua en su desempeño energético, una vez implementado el sistema encargado de la gestión de energías. (Guía ISO 50.001, 2016). Por lo tanto, la propuesta que se genera en este trabajo, contribuye con los esfuerzos que se están empezando a realizar de manera aún incipiente, pero que sientan las bases para que la propuesta presentada en este trabajo pueda ser efectivamente implementada.

Por lo anterior, este trabajo se concentra en el análisis de caso de las operaciones actuales de una terminal del puerto de San Antonio, y la búsqueda de métodos que permitan a este terminal trabajar como un puerto sostenible, logrando finalmente entregar características que le permitan obtener la certificación de la norma que aún no posee y avanzar en la mejora de sus procesos globales incorporando el aspecto de sustentabilidad. Además, a partir de este caso de estudio se pueden extrapolar las conclusiones para sentar las bases de un modelo de referencia general que pueda ser empleado como plantilla base para otros puertos no solo del país sino también regionales.

El trabajo que se presenta en este manuscrito contribuye al desarrollo del puerto bajo estudio, mejorando la eficiencia energética y económica de los procesos logísticos, reduciendo las emisiones contaminantes, con el fin de que sea considerado como un puerto sostenible, y con esto aumentar los estándares de calidad que ofrece el puerto tanto a la ciudadanía como a sus clientes. La propuesta metodológica de este trabajo responde a los patrones sostenibles que buscan generar menor impacto ambiental y social, donde además el puerto se beneficia económicamente, generando armonía con la ciudad en donde se desempeña. Por lo tanto, tiene como objetivo analizar la sostenibilidad en las operaciones de los puertos, para lo cual se considera como caso de estudios el Puerto de San Antonio.

Con lo anterior, se busca tener una visión sobre cómo se ha trabajado en el tema, y de esta manera se pueden generar condiciones adecuadas para que este terminal en estudio, tenga la posibilidad de obtener las certificaciones necesarias, utilizando indicadores que permitan medir las emisiones contaminantes que se producen por las operaciones logísticas generadas por el puerto.

Dentro de los indicadores que se proponen, se encuentran aquellos que midan las emisiones contaminantes de las naves y camiones que ingresan al Puerto de San Antonio. El registro de camiones que ingresan mensualmente al puerto, permite estimar las emisiones contaminantes por camión producidas en el periodo de año, con lo cual se determina la correlación entre el aumento de camiones que ingresan al puerto y las emisiones contaminantes producidas. Con esta información se puede prever cómo afecta o afectará en el futuro dichas emisiones, así como también la congestión vehicular que se genera tanto en la ciudad como en el terminal portuario por el traslado de mercancía.

El registro de la cantidad de TEU o toneladas de carga que ingresa al puerto por medio de camiones y de tren, permiten realizar estadísticas para la toma de decisiones con relación a los accesos al puerto, los procesos logísticos para evitar congestión, proyección de utilización de camiones y para nuevos proyectos, entre otras.

En cuanto a las emisiones contaminantes, es necesario llevar un control que permita generar estadísticas para observar el aumento o disminución de estas emisiones, ya sea a nivel regional, nacional, continental o mundial. Las emisiones contaminantes se dividen en dos fuentes: las fuentes fijas y las fuentes móviles. En Chile según el artículo 2° del Decreto Supremo MINSAL N°138, 2005, "estarán afectas a la obligación de proporcionar los antecedentes para la determinación de emisión de contaminantes, las fuentes fijas que

correspondan a los siguientes rubros, actividades o tipo de fuente". En este sentido, los indicadores que se proponen para la medición de emisiones contaminantes se clasifican como emisiones de fuentes móviles.

Para los vehículos motorizados, el nivel de actividad está representado por el kilometraje recorrido, en el tiempo y área donde se desarrolla el estudio, mientras que los factores de emisión se expresan en unidades de gramos por kilómetro recorrido, los que generalmente son altamente dependientes de la velocidad media de circulación (de Portada, 2009)

$$E_i = \sum_{kt} \text{Nivel de actividad}_k \times FE_{ikt} \quad (1)$$

Donde:

$E_i$ : Emisiones [gr] del contaminante considerado  $i$ .

Nivel de actividad $_k$ : Nivel de actividad de la categoría vehicular  $k$  [km -vehículos].

$FE_{ikt}$ : Factor de emisión del contaminante  $i$  para la categoría  $k$  evaluada, para el tipo de descarga de emisiones  $t$  [gr/km- vehículos].

$k$ : Categoría vehicular "k"

$t$ : Tipo de descarga de emisiones "t"

Los contaminantes que se encuentran considerados en la metodología de cálculo de emisiones son:

- Material Particulado Respirable (PM10)
- Material Particulado Respirable Fino (PM2.5)
- Monóxido de Carbono (CO)
- Hidrocarburos Totales (HCT)
- Óxidos de Nitrógeno (NOx)
- Óxidos de Azufre (SO2)
- Dióxido de Carbono (CO2)
- Metano (CH4)
- Óxido Nitroso (N2O)
- Amoníaco (NH3)
- Dioxinas y Furanos (PCDD/F)
- Mercurio (Hg)
- Consumo de Combustible (CC)

### 3.1. Metodología de cálculo de emisiones

Para el cálculo de emisiones de fuentes móviles, se utiliza la metodología de EPA (*United State Environmental Protection Agency*), donde existen fuentes móviles en ruta y fuentes móviles fuera de ruta, estas últimas fuentes son consideradas como fuentes de zona, no como fuentes de arco, debido a la dificultad de localizar geográficamente el lugar de emisión.

Esta metodología se basa en la siguiente ecuación:

$$E_{i,k} = EF_i * T_k * C_k * W \quad (2)$$

Donde:

- $E_{i,k}$ : Emisiones del contaminante i producidas por un vehículo tipo k [gr]
- $EF_{ik}$ : Factor de emisión del contaminante i para los vehículos tipo k [gr/hp-h]
- $T_k$ : Tiempo de operación promedio de los vehículos del tipo k[h]
- $C_k$ : Porcentaje de carga (respecto a la potencia nominal) durante la operación normal de los vehículos tipo k
- $W$ : Potencia nominal [hp]

Las operaciones de buques se clasifican como fuentes móviles fuera de ruta, donde si bien se pueden utilizar las metodologías *top-down* y *bottom-up*, para el cálculo de emisiones, en este estudio se propone la utilización de la metodología *top-down*, ya que considera la determinación de emisiones contaminantes desde un punto más general hasta llegar al detalle.

### 3.2. Metodología de cálculo de emisiones *top-down*

La metodología *top-down* se refiere tradicionalmente a la construcción de una lista de emisiones, partiendo de valores de emisiones de dominio completo o de baja resolución, (por ejemplo, a nivel país), (Carmona, L. et al. 2016)

Las emisiones consideradas en esta metodología para el caso en estudio, contemplan todos los medios utilizados en el transporte marítimo, principalmente los que utilizan motores diésel, cualquiera sea su velocidad, incluyendo aquellos medios impulsados por turbinas a vapor o de gas. Los datos de consumo de combustible y los factores de emisión utilizados por este método son específicos del tipo de combustible y se aplican a los datos de la actividad usados para la navegación.

El cálculo del método propuesto se basa en la cantidad de combustible quemado en el sector de transporte marítimo y en los factores de emisión. La ecuación para la navegación marítima es la siguiente:

$$E = \sum (\text{Combustible consumido a} * \text{Factor de Emisión a}) \quad (3)$$

Donde:

- E : Emisiones
- a : tipo de combustible (diésel, residual, etc.)

Los factores de emisión asociados al método son los siguientes:

**Tabla 1: Factores de emisión kg/ton combustible.**

Combustible	PTS	NO <sub>x</sub>	CO	SO <sub>x</sub>	NMVOC	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>
Diesel Marino	1,1	72	7,4	10	2,4	0,05	0,08	3170
Petróleo residual	6,7	72	7,4	54	2,4	0,05	0,08	3170

Fuente. Guía metodológica inventario de emisiones atmosféricas (Portada, 2009)

Los consumos de combustible se obtienen del balance nacional de energía, reportado por la Comisión Nacional de Energía (CNE), para el sector transporte marítimo y para el sector pesca.

El método propuesto asume que el 25% del petróleo residual, y el 75% del diésel marítimo vendido en puerto es utilizado en puerto; que todo el aceite destilado es utilizado en embarcaciones de motor y que todo el aceite residual, en barcos de vapor (Portada, 2009).

En cuanto a la distribución geográfica y temporal de las emisiones, la primera se obtiene de la multiplicación de las emisiones totales estimadas por el porcentaje de operaciones de recaladas desarrolladas en cada puerto del país. Mientras que la segunda se determina mediante estadísticas de operaciones de recaladas en cada puerto del país. Esta información es recopilada por DIRECTEMAR.

### 3.3. Metodología para el cálculo de emisiones de fuentes móviles en ruta

La emisión de contaminantes emitidos por los camiones que operan en el puerto, son clasificados como fuentes móviles en ruta. En términos generales, la metodología para el cálculo de estas emisiones considera tres fuentes fundamentales: las derivadas del motor cuando este se encuentra en condiciones de operación estables (emisiones en caliente), aquellas provenientes del motor cuando este se encuentra frío (emisiones por partidas en frío) y por último aquellas denominadas evaporativas (emisiones de hidrocarburos evaporados). Otra fuente de emisión considerada es el polvo resuspendido, que se genera por el paso de los vehículos, el desgaste de freno y el desgaste de neumáticos (todas estas se agrupan en la variable desgaste en la ecuación).

Las emisiones totales serán, la suma de estos cinco tipos de emisiones, como se observa en la siguiente ecuación:

$$E_{\text{total}} = E_{\text{caliente}} + E_{\text{partidas en frío}} + E_{\text{evaporativas}} + E_{\text{polvo}} + E_{\text{desgastes}} \quad (4)$$

Donde:

$E_{\text{total}}$  : Emisiones totales del contaminante considerado

$E_{\text{caliente}}$  : Emisiones en caliente, fase estabilizada del motor

$E_{\text{partidas en frío}}$  : Emisiones por partidas en frío

$E_{\text{evaporativas}}$  : Emisiones por evaporación

$E_{\text{polvo}}$  : Emisiones provenientes del polvo resuspendido por la circulación de vehículos sobre calles pavimentadas y no pavimentadas

$E_{\text{desgaste}}$  : Emisiones por desgaste de frenos, neumáticos y superficie

En la estimación de emisiones contaminantes producidas por fuentes móviles en ruta (los vehículos que operan en puerto), se debe considerar el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), por el impacto que posee en el efecto invernadero.

A continuación, se muestra ecuación para su cálculo:

$$EFCO2 = 44,011 * \left[ \left( \frac{CC}{12,011 + 1,008 * R} \right) - \left( \frac{CC}{28}, 011 \right) - \left( \frac{HC}{13}, 85 \right) - \left( \frac{E_{ec}}{12}, 011 \right) - \left( \frac{E_{om}}{13}, 85 \right) \right] \quad (5)$$

Donde:

CC : Consumo de combustible.

CO : Monóxido de carbono

HC : Hidrocarburos

$E_{ec}$  : Fracción de carbono elemental respecto al material particulado.

$E_{om}$  : Fracción de carbono orgánico respecto al material particulado.

R : Corresponde a 1,8 para vehículos de gasolina, 2 para vehículos diésel y 3,9 para Gas Natural Comprimido (GNC), considerando un 95% de CH<sub>4</sub> (Metano) en GNC.

### 3.4. Eficiencia energética

Al medir la eficiencia energética en el sector transporte, muchas medidas pueden llevar a reducciones del consumo energético y de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). En cuanto a los indicadores, el análisis de la eficiencia energética se dirige a la medición de la eficiencia de vehículos o de modos de transporte específicos. Así, se puede mencionar el indicador agregando tonelada-kilómetro (energía/tkm), el cual se define como “indicador de intensidad”.

Un cambio modal puede interpretarse como eficiencia cuando se evalúa el sistema de transporte en su conjunto. Incluso en el caso en que la eficiencia energética específica de cada vehículo no mejore, es posible utilizar el sistema de transporte de manera más eficiente mediante la adopción de un modo de transporte que sea relativamente más eficiente, por ejemplo, utilizando como modo de transporte de carga el ferrocarril en lugar de los camiones.

Para establecer los indicadores de eficiencia energética para el transporte de carga es necesario primero determinar lo que se quiere medir, para luego establecer indicadores significativos que permitan desagregar el consumo de energía total del transporte de carga (International Energy Agency, 2015).

Algunos indicadores de eficiencia energética de transporte de carga son:

- Consumo energético del transporte de mercancías por vehículo-kilómetro: este indicador se mide por modalidad y tipo de vehículo, dando a conocer datos como el consumo energético del transporte de mercancías por modalidad/tipo de vehículo y el número de vehículos por km de modalidad/tipo de vehículo de carga.
- Consumo energético del transporte de mercancías por tonelada-kilómetro: este indicador se mide por modalidad y tipo de vehículo, dando a conocer datos como el consumo energético del transporte de mercancías por modalidad/tipo de vehículo de carga y el número de toneladas por km para el modalidad/tipo de vehículo de carga. Este indicador tiene como propósito generar una visión general de las tendencias en intensidad energética agregada y toma en cuenta la cantidad de mercaderías (en toneladas) que son transportadas – la eficiencia de uso.

- Consumo energético por tonelada kilómetro por modalidad de transporte: este indicador mide el consumo energético para transporte de cargas por modalidad de transporte y toneladas kilómetro por modalidad de transporte. Tiene como propósito medir la intensidad energética por modo de transporte, el cual es un indicador genérico significativo y medir las intensidades pueden ayudar a desarrollar políticas energéticas para el transporte.

La norma ISO 50.001 especifica requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de la energía, con el propósito de permitir a una organización contar con un enfoque sistemático para alcanzar una mejora continua en su desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética, el uso y el consumo de la energía. (Guía ISO 50.001, 2016).

En esta propuesta se recomienda analizar las actividades que consumen mayor energía y utilizar otros tipos de energías alternativas que permitan la reducción de este consumo; por ejemplo, cambiar los motores diésel por motores híbridos o eléctricos, utilizar otro medio de transporte diferente al tractocamión para el traslado de mercancías. Por otra parte, se recomienda analizar los procesos logísticos, transformándolos en una cadena de procesos con mayor eficiencia que reduzca el nivel de energía utilizado.

### **3.5. Motores híbridos en grúas RTG**

El estudio de la implementación de motores híbridos en grúas RTG utilizadas en puertos es analizada por Roa E. (2015), donde el caso de estudio es otro puerto de Chile. En este estudio se comprueba la factibilidad económica al reducir el consumo de diésel en un 70%, obteniendo una razón de beneficio – costo de 5,30 y la considerable baja en las emisiones contaminantes producidas por estas grúas.

Por lo anterior, se sugiere a Puerto San Antonio la utilización de motores híbridos en las operaciones de sus grúas, con lo que se prevé la generación de beneficios tanto económicos como ecológicos y sociales.

### **3.6. Luminaria y electricidad en el puerto**

Algunas alternativas de luminaria y para la generación de electricidad en las instalaciones del puerto pueden permitir la disminución de energía utilizada, contribuyendo a hacer más eficiente el consumo de energía utilizada para el desarrollo de los procesos portuarios.

Los paneles solares, también conocido como paneles fotovoltaicos, captan la energía solar y la convierten en energía eléctrica que permite el funcionamiento de las luminarias.

Las baterías de ciclo profundo, en general son aparatos que sirven fundamentalmente para almacenar electricidad y posteriormente suministrar esa electricidad. Estas baterías tienen una vida útil de 2000 ciclos, lo que se traduce en cambios de la batería cada cinco años aproximadamente.

Los focos led son luminarias con una duración superior y un rendimiento mucho mayor al de las ampollas halógenas. Su luminosidad depende de la cantidad de focos que tenga.

**Tabla 2. Poste solar**

Luminaria led	70W - 80W
Panel monocristalino (2 x 100wp)	200Wp
Batería de ciclo profundo	120 Ah/24V x 2
Poste galvanizado	6 - 8 mts

Fuente. Elaboración propia a partir de información de empresas Electro Solar y Rio Valle.

## CASO DE ESTUDIO: LA SUSTENTABILIDAD EN EL PUERTO DE SAN ANTONIO

En Chile existen diez empresas portuarias estatales, que tienen como objetivo la administración, explotación, desarrollo y conservación de los puertos y terminales, así como los bienes que posean a cualquier título. Pueden ejecutar obras de construcción, ampliación, mejoramiento, conservación, reparación y dragado de los puertos y terminales. De las empresas portuarias existentes solo dos han podido certificarse en sus operaciones, el Puerto de Arica (certificado en ISO 14.001 e ISO 5.001) y el Puerto Ventanas que ha obtenido recientemente el sello verde ECOPORTS, certificando la sustentabilidad y los altos estándares ambientales y operacionales. Considerando estos antecedentes se ha tomado como caso de estudio para el desarrollo de la propuesta el caso del Puerto de San Antonio debido a su carácter de ser el primer puerto de Chile, con proyecciones a incrementar su tamaño en función de la demanda.

El Puerto de San Antonio se destaca por las ventajas competitivas frente a otros puertos de la zona, su ubicación geográfica, las conexiones caminera y ferroviaria, condiciones topográficas favorables y una gran variedad de áreas de respaldo para proyectar el crecimiento e integración a la infraestructura portuaria. El puerto cuenta con cuatro terminales: San Antonio Terminal Internacional (STI), Puerto Central (PCE), Terminal Puerto Panul y Terminal Sitio 9.

El *hinterland* del Puerto de San Antonio abarca la macrozona central de Chile (de la cuarta a la séptima región), además de regiones de Argentina e incluso carga del sur de Brasil. La conectividad está dada por la infraestructura vial de carreteras tanto nacionales como internacionales y el uso del ferrocarril que une Santiago con San Antonio destinado solo al transporte de carga.

Además, Chile ha suscrito el Pacto de París, razón por la cual se ha comprometido a una reducción de las emisiones lo que se ha visto manifestado con impuestos verdes, ley de reciclaje, entre otras acciones. Esta tendencia también impacta en la operación de los puertos.



En sintonía con la demanda nacional e internacional y debido a la visión más estratégica del tema de sustentabilidad, la empresa portuaria debe reconocer la vinculación con los diferentes actores involucrados con la cadena logística portuaria promoviendo la creación de valor económico, social y ambiental (San Antonio Port, 2016). Es así como la sustentabilidad representa un eje estratégico comprometiéndose con:

- Desarrollo local: promover la comuna de San Antonio, mejorando la relación ciudad – puerto.
- Aspectos normativos: cumplimiento de normativas y compromisos vigentes, buscando la generación de nuevo en función de los nuevos requerimientos.
- Producción limpia: asumir y promover la protección del medioambiente, a través de prácticas de eficiencia energética, tratamientos y disposición final de los residuos industriales y uso de las mejores tecnologías disponibles.
- Bienestar global: fomentar el desarrollo, bienestar y seguridad de los trabajadores, proveedores y concesionarios.
- Innovación: desarrollar proyectos e iniciativas innovadoras que permitan al puerto diferenciarse y mejorar la competitividad, aportando modernidad a la empresa.
- Gobierno corporativo: asegurar la implementación de mecanismos adecuados que permitan trabajar con transparencia y lealtad, promoviendo la creación de valor compartido y uso eficiente.

Es por esto que surge la necesidad de cumplir con las normas de sustentabilidad, para mejorar la eficiencia energética, reducir las emisiones contaminantes, reducir los costos de operación y la congestión producida. En particular en San Antonio el principal desafío a enfrentar está relacionado con los conflictos sociales y ecológicos en relación con la ciudad.

Las diferentes terminales han realizado distintos esfuerzos relacionados con la problemática de la sustentabilidad buscando obtener certificaciones que le permitan avalar los esfuerzos en esta área. Así, por ejemplo, STI ha logrado el cumplimiento de las normas ISO 140001, ISO 9001 y la medición de la huella de carbono. Estos son los primeros pasos tendientes a un desarrollo sostenible.

En particular, un aspecto relevante en esta área, es poder contar con elementos que permitan poder hacer un monitoreo y control de las acciones que se están tomando en relación con una mejora en la sustentabilidad. De esta manera es necesario definir los indicadores de sustentabilidad que permitan evaluar el impacto que tienen las medidas orientadas a su mejora en el contexto de las operaciones portuarias.

## **CONCLUSIONES**

El estudio de los problemas de sustentabilidad en sus diferentes dimensiones ha sido objeto de trabajo tanto desde una perspectiva práctica y de gestión como también para el ámbito académico para su posterior transferencia, debido fundamentalmente al impacto que la sustentabilidad presenta, siendo vista como un elemento de valor estratégico y de competitividad.

De esta manera, un aspecto relevante es la determinación de indicadores de sustentabilidad asociados con los procesos que se realizan en una terminal portuaria, con el fin que sirvan de base para brindar visibilidad sobre las acciones planeadas tendientes a una mejora de los procesos considerando los pilares de la sustentabilidad.

Para este trabajo, en particular el foco se ha encontrado en la gestión verde de los procesos del terminal, determinando un conjunto de indicadores que facilitan la caracterización de ciertos parámetros de evaluación que han sido identificados como clave para el análisis y evaluación de las medidas sustentables. Estos indicadores son empleados por los decisores para evaluar las acciones y sus impactos, así como la operación dentro de los márgenes comprometidos en acuerdos y normas, o potencialmente certificaciones, que le permitan incrementar la competitividad y en un futuro le faciliten la influencia en los otros actores de su cadena logística portuaria.

El estudio y definición de estos primeros indicadores han sido aplicados para el caso del Puerto de San Antonio, Chile. La elección de este puerto se debe a su carácter de ser el principal puerto del país y por el área de influencia que incluye la zona central de Chile donde se concentra casi el 80% de la población, la zona central de Argentina, pudiendo potencialmente extenderse su área de influencia a Brasil, Paraguay y Uruguay, considerando carga en tránsito a los mencionados países. Así, se efectuó el estudio de la situación actual de sustentabilidad en el Puerto de San Antonio junto con el estudio de los procesos logísticos que se generan dentro del puerto. Si bien son procesos generales, ya se puede tener un grado de visión de lo que ocurre dentro. Gracias al estudio de la situación actual, se puede realizar un diagnóstico donde da cuenta de la falta de políticas y metas a lograr en ámbito el sostenible, da muestra de la escasez y desactualización de información, estadísticas e indicadores sostenibles.

Una de las causas del porque no en todos los puertos de Chile se trabaja sosteniblemente o en busca de la sostenibilidad es debido a falta de políticas a nivel país con respecto al tema. Actualmente no es obligatorio para todas las industrias realizar medición de la huella de carbono, ni estar certificadas con normas sostenibles, ni la reducción de emisiones, ni el uso de energías renovables, como se puede ver en el caso del Puerto de Rotterdam, donde el gobierno holandés ha decretado que el 14% de la producción de energía holandesa debe ser generada a partir de fuentes renovables para el año 2020 y un 16% en 2023, fomentando el desarrollo sostenible del país; además el Puerto de Rotterdam ha realizado un acuerdo donde se compromete que al menos 150MW de energía eólica se generará en las zonas portuarias públicas para el año 2020.

Una de las propuestas es el uso de indicadores que permitan realizar un monitoreo de las emisiones contaminantes que producen los camiones que ingresan a la ciudad y puerto, de las naves y embarcaciones que recalán en el puerto. También llevar un registro de cuantos camiones y trenes ingresan al puerto mensualmente, para con eso poder ver la evolución de estos medios de transportes con respecto a transferencia de carga que se da en el puerto, también prever cuando será un problema para la ciudad la cantidad de camiones que transportan carga y poder realizar medidas de mitigación para evitar que se congestione la ciudad portuaria.

El desarrollo de un reporte de sostenibilidad es necesario para llevar un registro de los avances que se han producido en cuanto a sostenibilidad, también realizar la medición de la huella de carbono a nivel puerto, no basta con que solo una de las terminales realice esta labor.

También se recomienda el uso de motores híbridos en grúas RTG con la consecuente reducción de consumo de diésel, por ende, la reducción de los costos operacionales del puerto. Por lo que se obtiene además de la reducción de costos y recuperación de la inversión, se produce la reducción de emisiones contaminantes que genera la combustión del diésel. Otra propuesta es la implementación de postes solares dentro de los patios de operación del puerto, medida que tiene el fin de utilizar las energías renovables y al ser autosuficientes, se logra una reducción del consumo de energía eléctrica, lo que trae consigo la reducción de los costos.

Dentro de los trabajos futuros se debe realizar el estudio de los beneficios económicos y sociales y medioambientales dándole una cuantificación a los mismos, de las propuestas, demostrando su factibilidad e impacto de aplicación. Se recomienda utilizar datos de las operaciones del Puerto de San Antonio para definir indicadores de gestión, que permitan medir la eficiencia energética, con metas establecidas según los objetivos que se deseen alcanzar. Para así complementar los indicadores propuestos en este proyecto con metas y responsables.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achkar, M., & del Territorio, G. A. (2005). Indicadores de sustentabilidad. *Ordenamiento ambiental del territorio*, 55-70.
- Carmona Aparicio, Luis Gabriel, Rincón Pérez, Mauricio Alexander, Castillo Robles, Andrés Mauricio, Galvis Remolina, Boris René, Sáenz Pulido, Hugo Enrique, Anrique Forero, Rodrigo Alberto, & Pachón Quinche, Jorge Eduardo. (2016). Conciliación de inventarios top-down y bottom-up de emisiones de fuentes móviles en Bogotá, Colombia. *Tecnura*, 20(49), 59-74. <https://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.3.a04>
- Davarzani, H., Fahimnia, B., Bell, M., & Sarkis, J. (2016). Greening ports and maritime logistics: A review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 48, 473-487.
- Gaudiano, E. J. G., Meira-Carrea, P. Á., & Martínez-Fernández, C. N. (2015). Sustentabilidad y Universidad: retos, ritos y posibles rutas. *Revista de la educación superior*, 44(175), 69-93.
- Ha, M. H., Yang, Z., Notteboom, T., Ng, A. K., & Heo, M. W. (2017). Revisiting port performance measurement: A hybrid multi-stakeholder framework for the modelling of port performance indicators. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 103, 1-16.
- Lu, C. S., Shang, K. C., & Lin, C. C. (2016). Examining sustainability performance at ports: port managers' perspectives on developing sustainable supply chains. *Maritime Policy & Management*, 43(8), 909-927.
- Lun, Y. V. (2011). Green management practices and firm performance: a case of container terminal operations. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(6), 559-566.

- Merlak, J., Groznik, A., & Al-Mansour, F. (2017). Methodology of Calculation of the Carbon Footprint of Container Terminals as a Link in the Logistics Chain. *J Civil Environ Eng*, 7(278), 2.
- Porto Solano, A. F., Barbosa Correa, R. A., Cohen Jiménez, J., Suárez López, D., Mercado Caruso, N., & Salas Navarro, K. (2017). Estrategias para el desarrollo sostenible del sector portuario en el Caribe colombiano.
- Quintana Hernández, Y. A. (2011). *Diseño metodológico de un sistema de indicadores para el seguimiento ambiental en zonas portuarias: estudio de caso* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín).
- Roa, E. (2015). Evaluar la implementación de la norma ISO 500001 para sistemas de gestión de la energía en las actividades operacionales de TPS Terminal Valparaíso. Trabajo de Proyecto Final de Título para optar al grado de Ingeniero de Transporte en la Escuela de Ingeniería de Transporte, Facultad de Ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Robinson, R. (2015). Cooperation strategies in port-oriented bulk supply chains: aligning concept and practice. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 18(3), 193-206.
- Sáenz, H., & Pachón, J. E. (2015, August). Conciliación de inventarios *top-down* y *bottom-up* para la estimación de emisiones de fuentes móviles de Bogotá. In *II CMAS SOUTH AMERICAN CONFERENCE* (p. 198).
- San Antonio Port, (2016) Reporte de sostenibilidad. [http://www.cybercenter.cl/html\\_cyber2/epsa/reporte\\_final.pdf](http://www.cybercenter.cl/html_cyber2/epsa/reporte_final.pdf)
- Sánchez, R., Jaimurzina, A., Wilmsmeier, G., Pérez-Salas, G., Doerr, O., & Pinto, F. (2015). Transporte marítimo y puertos: desafíos y oportunidades en busca de un desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe.
- Sánchez, R. J., & Mouftier, L. (2016). Reflexiones sobre el futuro de los puertos. *Boletín Marítimo*, (64).
- Sarro, L. A. (2014). Puertos y reportes de sostenibilidad: revisión del estado del arte. *Escritos Contables y de Administración*, 5(2), 87-123.
- Sislian, L., Jaegler, A., & Cariou, P. (2016). A literature review on port sustainability and ocean's carrier network problem. *Research in Transportation Business & Management*, 19, 19-26.
- Web, M. (2014). La responsabilidad social en la cadena de suministro. *Pacto Global Responsabilidad Social Empresarial en Chile*.
- Yap, W. Y., & Lam, J. S. L. (2013). 80 million-twenty-foot-equivalent-unit container port? Sustainability issues in port and coastal development. *Ocean & coastal management*, 71, 13-25.
- Xiao, Z., & Lam, J. S. L. (2017). A systems framework for the sustainable development of a Port City: A case study of Singapore's policies. *Research in Transportation Business & Management*, 22, 255-262.
- 

#### Para citaciones:

Vega, M. I., Bearzotti, L., Escobedo, Y. y González, R. G. (2018). Una propuesta de indicadores para el análisis de la sustentabilidad en puertos. *Panorama Económico*, 26(2), 165-186.

## AUTORES

### **María Isabel Vega**

Ingeniera de Transporte con Maestría en Ingeniería Industrial con mención en logística. Líneas de investigación logística y comercio internacional, considerando temas como gestión de eventos y riesgos en la cadena logística, sustentabilidad en la cadena de suministro y su impacto en el comercio internacional, logística humanitaria en desastres naturales.

### **Lorena Bearzotti**

Profesora en la Escuela de Ingeniería en Transporte de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso desde el año 2013. Ph. D. en Ingeniería de la Universidad Nacional del Litoral (Argentina). El área de especialización es la informática aplicada a procesos productivos, cadena de suministro, cadena logística portuaria, orientado al desarrollo de sistemas soporte de decisión frente a los sistemas complejos.

### **Yennifer Escobedo**

Ingeniero de Transporte de Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Actualmente cursando la maestría de Ingeniería de Transporte de la misma institución.

### **Rosa G. González-Ramírez**

Ph.D. en Ciencias de Ingeniería del Tecnológico de Monterrey (México) y Maestría en Ingeniería Industrial de Arizona State University (Estados Unidos) y en Ciencias de Calidad y Productividad del Tecnológico de Monterrey (México). Profesor Asistente de la Universidad de Los Andes en Chile y sus líneas de trabajo se enfocan en la logística y transporte de carga, operaciones portuarias, y los modelos de optimización y metaheurísticas.

