

Puerto Lirquén y su descarbonización: Aplicando medidas de mitigación basado en la reconversión de equipamiento portuario a Hidrógeno verde

Decarbonization of Puerto Lirquén: Applying mitigation measures based on the reconversion of port equipment to green Hydrogen

Fecha de envío: 4 de noviembre 2022
Fecha de aceptación: 20 de marzo 2023

Marco Antonio Gallegos

Escuela de Ingeniería Naval, Facultad de Ingeniería, Universidad Austral de Chile, General Lagos 2086, Valdivia, Chile,
m_gallegos__jeria@hotmail.com

Reducir los gases de efecto invernadero está dentro de los compromisos contraídos por Chile en el Acuerdo de París (2015), por lo que la contaminación de los puertos es uno de los aspectos que resolver para cumplir este tratado internacional. El presente trabajo pretende integrar a la matriz energética de DP World Puerto Lirquén el Hidrógeno verde como combustible, considerando para esto: 1) sustituir las grúas horquillas que utilizan diésel por unidades con motorización eléctrica, alimentadas con pilas de Hidrógeno como combustible, 2) fomentar el uso de Hidrógeno verde en remolcadores que prestan servicios en DP World Puerto Lirquén, a través de reconversión de motores diésel a combustión dual, 3) asegurar suministro de Hidrógeno verde instalando una planta de electrólisis para abastecer equipos portuarios y 4) generar externalidades positivas en la población, las que se verían reflejadas en la educación y capacitación en conceptos de energías limpias y el significado de la reducción de gases de efecto invernadero. Para lo anterior, se desarrollan cuatro aspectos principales; análisis técnico, económico, ambiental y social, finalizando con una conclusión de los resultados de estos análisis y su viabilidad.

Palabras clave: Hidrógeno verde, matriz energética, equipamiento portuario

Reducing greenhouse gases is one of the commitments made by Chile in the Paris Agreement (2015), so port pollution is one of the issues to be resolved in order to comply with this international treaty. The present work intends to integrate green Hydrogen as fuel into the energy matrix of DP World Puerto Lirquén, considering for this: 1) substitute forklifts that use diesel for units with electric motorization, powered by Hydrogen batteries as fuel, 2) promote the use of green Hydrogen in tugboats that provide services in DP World Puerto Lirquén, through conversion of diesel engines to dual combustion, 3) ensure supply of green Hydrogen by installing an electrolysis plant to supply port equipment and 4) generate positive externalities in the population which would be reflected in education and training in clean energy concepts and the meaning of reducing greenhouse gases. For the above, four main aspects are developed: technical, economic, environmental, and social analysis, ending with a conclusion of the results of these analyses and their viability.

Keywords: green hydrogen, energy matrix, port equipment

Introducción

Chile se ha comprometido a disminuir los gases de efecto invernadero (GEI) con el fin de detener el cambio climático, por lo que es crucial abordar dicha temática y realizar medidas desde diferentes sectores industriales, siendo uno de estos el portuario. Como concepto, NOx es un grupo de gases compuestos, formados por una combinación de dióxido de Nitrógeno, cuya fórmula es NO₂, y óxido nítrico, NO. Cuando hablamos de los NOx,

estamos aludiendo al resultado de la mezcla de ambos. Los óxidos de Azufre o también llamados SOx, son un grupo de gases compuestos por trióxido de Azufre (SO₃) y dióxido de Azufre (SO₂). El más común es el SO₂, ya que el SO₃ es solo un intermediario en la formación del ácido sulfúrico (H₂SO₄), siendo todos los gases detallados anteriormente del tipo GEI. Del concepto anterior, ITF (2016) revela una costa altamente contaminada, donde indica que “la contaminación ambiental local en los puertos de Chile

alcanza las 20 800 toneladas de emisiones de NOx, 15 700 toneladas de emisiones de SOx y alrededor de 2 000 toneladas de material particulado”.

Los puertos se consideran claves para la adopción de las tecnologías del Hidrógeno y como infraestructura principal para el transporte y el comercio de este. Pueden ayudar a construir un enfoque integrado hacia la transición energética, acelerar la descarbonización y, al mismo tiempo, cumplir los planes del sector marítimo y de los puertos para reducir las emisiones de los combustibles fósiles. Así mismo, el Gobierno de Chile está incentivando diferentes programas y proyectos para el desarrollo de la industria del Hidrógeno dentro del territorio nacional. Como primer paso, estableció la Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde, enfocada en impulsar el uso doméstico y la obtención de Hidrógeno para exportación. En la Figura 1, se muestra la proyección de los mercados chilenos del Hidrógeno.

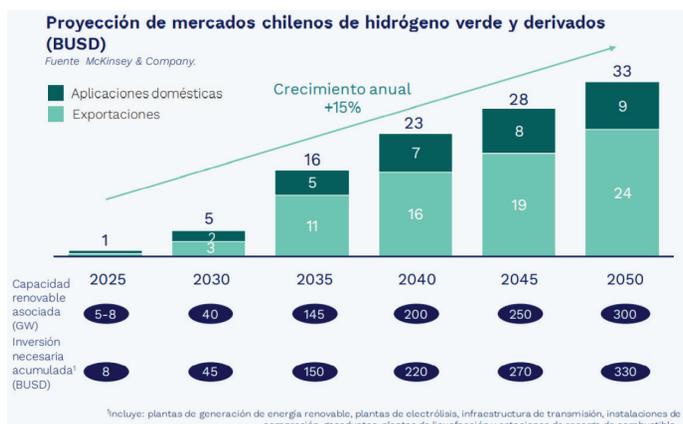


Figura 1: Proyección de mercados Chilenos de Hidrógeno verde y derivados (ME, 2020)

El presente trabajo de prefactibilidad es una propuesta que conjuga los objetivos de mitigar el impacto de los GEI y contaminantes locales provenientes del puerto de Lirquén, modificando la matriz energética del puerto, utilizando para esto Hidrógeno verde.

Desarrollo Antecedentes

Este anteproyecto se ubica en la región del Bío Bío, localidad de Lirquén, a 16 km de Concepción por la ruta 150 y a 496 km al sur de Santiago de Chile, por la ruta 5 Sur. Considera su emplazamiento en recintos intra portuarios y adyacentes al puerto (Figura 2).



Figura 2: Layout DP World Puerto Lirquén. Las líneas de color indican los distintos sectores que son propiedad del puerto.

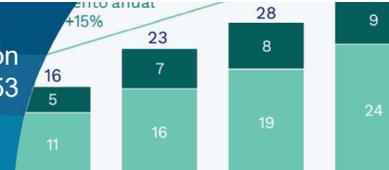
Análisis técnico

DP World Puerto Lirquén cuenta con una flota de 50 grúas horquilla con motorización diésel para las distintas faenas de recepción, operación a bordo, consolidación y despacho de carga. Existen otras unidades impulsadas a GLP, las cuales no forman parte de esta propuesta. Para un año calendario, DP World Puerto Lirquén considera una jornada laboral compuesta por 3 turnos de 7.5 horas cada uno, de lunes a domingo y que los vehículos estarán en movimiento efectivo 18 horas por día, dando como resultado los consumos expresados en la Tabla 1.

Tabla 2: Estimación de consumo de diésel para grúas horquilla Hyster

Descripción	Cantidad	Volumen estanque, l	Consumo, l/h	Consumo diario 18 h, l	Consumo diario total, l/d
Grúa horquilla forklift H360 XD 16 ton	15	160	14	252	3780
Grúa horquilla forklift H155 FT 7 ton	35	160	14	252	8820

La utilización de celdas de combustible a Hidrógeno requiere de un sistema de motorización eléctrico, por lo que el equipamiento actual no es compatible con esta tecnología. En este caso, el grupo Hyster-Yale a través de su filial Nuvera, ha desarrollado kits de reconversión para sus grúas eléctricas, los cuales serán considerados dentro del plan de adquisición para esta evaluación. Se proyecta que dichos kits de fuel cells estarán disponibles para comercialización dentro del primer semestre del año 2024.



Para el reemplazo de las grúas por equipamiento similar, existen dos modelos eléctricos; J360XD contrabalaceada, 350 V, capacidad nominal de levante 16400 kg y la J155 XNSL, 350 V, capacidad nominal de levante 7000 kg con desplazador lateral. Como este equipamiento es eléctrico, es necesario instalar un kit fuel cell para adaptar el uso de Hidrógeno al equipo. Dado lo incipiente que son estas aplicaciones para alto tonelaje de carga, el proyecto debe ser desarrollado en conjunto con Hyster-Yale, de manera de poder agendar la producción de las unidades a implementar en el puerto. En la Figura 3, se muestra un ejemplo del kit fuel cell de la marca, con los datos técnicos referenciales.

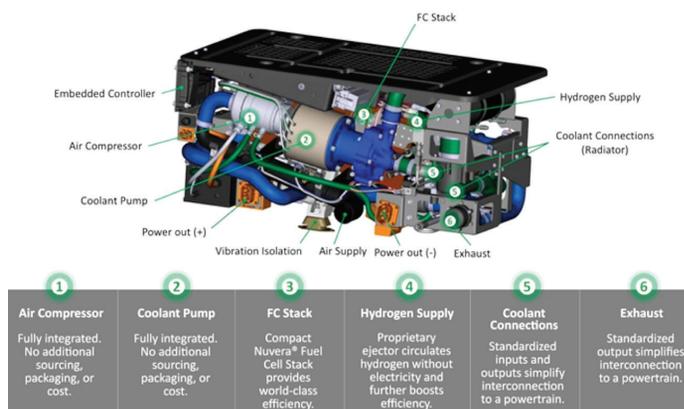


Figura 3: Kit Nuvera Fuel Cell Engine (www.nuvera.com)

Los remolcadores que operan en la bahía de Lirquén no forman parte de los activos de DP World Puerto Lirquén, sin embargo, los avances tecnológicos en la matriz energética de los buques y lo detallado en OMI (2018), en sus medidas de corto plazo, la inclusión del suministro de energía de fuentes renovables desde tierra a los buques, por lo anterior, se propone; fomentar el uso del Hidrógeno incluyendo dentro de los criterios de evaluación de las licitaciones, opciones más ventajosas al uso de fuentes renovables, además proponiendo a la Autoridad Marítima

normar de manera gradual respecto a la exigencia de reducción de emisiones a través de la implementación de tecnología basada en fuentes verdes, junto con medidas de mitigación como la reducción del ralentí, entre otras.

Una forma concreta de fomentar el uso de energías verdes es con la tecnología de combustión dual, que permite la inyección de hidrógeno en los motores diésel existentes en los remolcadores, evitando así los costos de inversión en conversión de las embarcaciones a unidades eléctricas. El porcentaje de sustitución es equivalente a la cantidad de CO₂ que se deja de emitir al no combustionar ese porcentaje de diésel. Se considera un factor de sustitución del diésel en un 5% por Hidrógeno gaseoso (Lillo, 2022), utilizando kits de reconversión para este tipo de motores, siendo la sustitución de un 5% del diésel que equivale anualmente a 231 941 litros no consumidos por ambos remolcadores, lo que representa una reducción de emisiones aproximadamente a 630.9 ton de CO₂ equivalente. Para lo anterior, existe un kit de reconversión de la empresa ULEMCo que permite la mezcla del Hidrógeno directamente en la cámara de combustión del motor, reemplazando entre 30% a un 70% de la energía proporcionada por el diésel. La tecnología entrega la flexibilidad de que, en caso de que se acabe el suministro de Hidrógeno en los estanques, el buque podrá seguir trabajando sin problemas.

La hidrogenera deberá abastecer de Hidrógeno de acuerdo con lo detallado en la Tabla 2, por lo que será necesario emplazar electrolizadores de 7 MW con una capacidad de acopio de 500 kg a 1000 bar, con una estación de conexión externa llena por camión, compresores de 35 kg/h, por pistón, dos boquereles como dispensadores, con una velocidad de carga de 5 a 10 min y una presión de salida de 700 bar. Su capacidad de producción será menor a 1240 kg/día, con un consumo de energía de 240 kWh/día y de 12400 l/día.

Tabla 2: Estimación de consumo de Hidrógeno

Vehículo	Unidades	l/día	kg/día	Blending, 5% _{H₂v}	Energía total, MJ	Energía útil, MJ	Energía H ₂ , MJ	Fuel cell, kg/día H ₂ v
Grúa 16 ton	15	252	204	-	8859	3189	5315	664
Grúa 07 ton	35	252	204	-	8859	3189	5315	1550
REM Ranco	1	4.320	3499	175	151865	54672	91119	-
REM Panguipulli	1	8.424	6823	341	296137	106609	177682	-
Total				516				2215



Un aspecto clave del Hidrógeno verde es el suministro eléctrico, el cual debe ser obtenido por fuentes renovables, por lo que el proyecto considera realizar contrato(s) de energía, conocidos como Power Purchase Agreement (por sus siglas en inglés PPA), con centrales eólicas que se encuentran ya operando o las que entrarán en el corto plazo en la región del Bío Bío. Ciertamente el recurso es intermitente, sin embargo, recientemente, se ha llevado a cabo el proyecto piloto denominado “Brande Hydrogen”, implementado por SIEMENS Gamesa (2021), que ha estudiado la afectación de esta fuente de energía fluctuante sobre el electrolizador, dando estabilidad al suministro eléctrico.

Análisis económico

La rentabilidad es analizada evaluando sólo los efectos que este proyecto genera, sin incorporar posibles acciones sinérgicas, por lo que se utilizarán tres indicadores; Valor Actualizado Neto VAN (1), Tasa Interna de Retorno TIR (2) y Periodo de Recuperación payback (3). Fue necesario un flujo de caja para realizar las evaluaciones financieras, pero no se incluye el detalle, por lo que se presentarán aspectos cualitativos del análisis económico. Lo incipiente de esta tecnología hace que cualquier proyecto que se evalúe económicamente no encuentra una viabilidad esperada por un inversionista, sin embargo, indiscutiblemente a futuro el uso del hidrógeno será parte de toda matriz energética industrial. Actualmente el apoyo estatal está siendo gestionado vía concurso por CORFO, para comenzar a implementar este modelo de negocios a escala industrial. Las condiciones del modelo a 20 años son la de comprar cada año 5 grúas horquilla y a la vez enajenar en el mercado secundario la misma cantidad, producir Hidrógeno verde para los equipos y eventualmente suministrar a los remolcadores habilitados. Se plantearon dos escenarios donde el primero, que implica financiamiento privado, arrojó todos los indicadores negativos y el segundo, donde por medio de subvenciones fiscales se amortizó el costo de la hidrogenera y el compresor de Hidrógeno, fue más optimista, siendo el periodo de recuperación de 18 años.

$$VAN = \sum_{t=1}^N \frac{f_t}{(1+TIR)^t} - I_0 \quad (1)$$

$$TIR = \sum_{t=0}^N \frac{f_t}{(1+i)^t} = 0 \quad (2)$$

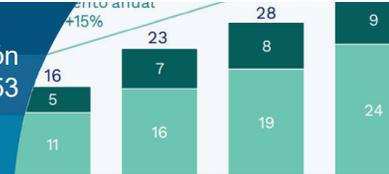
$$Payback = \frac{I_0}{f} \quad (3)$$

Donde N es el número total de períodos, t son los años en que se van obteniendo los beneficios de cada período, f_t flujo de caja, i tasa de interés aplicada e I_0 es la inversión inicial.

Parafraseando el texto escrito por Lind *et al.* (2022), que define el entorno portuario como multidimensional, ya que en él conviven tres cadenas de valor relevantes y simbióticas entre sí, que nos permiten abordar la problemática de la descarbonización; la cadena de valor de las operaciones marítimas, de los combustibles marinos y la construcción naval. Ciertamente como indica Lind *et al.* (2022), los derechos de decisión se distribuyen entre todos los interesados y no hay solo un líder que establezca la dirección, por tanto, la adaptación no tiene un centro, sino que es orgánica en respuesta a las presiones de cada parte. Siendo el calentamiento global una condición crítica, es necesario liderar el proceso con un enfoque más colaborativo entre la industria portuaria y los reguladores, en este caso los servicios públicos asociados a la actividad portuaria. Los puertos dando énfasis a la adopción de cambios en sus procesos productivos y adaptando su cadena de valor a este nuevo escenario y los reguladores instando a la acción, apoyando la investigación prometedor con subsidios o estableciendo tarifas y derechos diferenciados entre quienes adopten medidas de descarbonización, considerando la importancia de usar el poder conferido para imponer multas a quienes no cumplan con los nuevos requisitos.

La incertidumbre aumenta las vacilaciones en el uso del Hidrógeno verde, donde se requieren estímulos y mecanismos de apalancamiento financiero, como lo está orientando CORFO con incentivos en la compra de hidrogeneras. Es necesario alinear las estrategias para dar garantías de que estas tres cadenas de valor trabajarán de manera simultánea.

Hay una diferencia importante entre los costos que hacen menos competitivo al Hidrógeno. Sin embargo, hay razones para considerar el uso de los hidrocarburos, que es la Teoría del Peak de Hubbert, también conocida como el cenit del petróleo, considerando que el petróleo posee un límite de explotación, ya que es una fuente de energía no renovable.



Esta teoría predice que el crudo declinará su producción y llegará un punto que extraerlo será más caro que venderlo. En lo fundamental, se trata de que existen desafíos en que la comunidad y la industria debe asumir, el compromiso de mitigar los GEI, para así disminuir los resultados del cambio climático y la crisis energética global. Además, se suma a este análisis el cambio tecnológico que afectará a los electrolizadores y los proveedores de energía vía PPA.

Análisis ambiental

El cumplimiento de la legislación ambiental se puede ver resumido en la Tabla 3, siendo obligatorio su ingreso como un estudio de impacto ambiental.

En cuanto a la gestión de aspectos ambientales, se tuvo como referencia la Guía Verde (ESPO, 2021), donde se han definido las diez prioridades medioambientales de los puertos europeos para el 2020, las cuales se han analizado como parte de la evaluación ambiental de este proyecto, y se describen en la Tabla 4. Como último punto del análisis ambiental, se aplica la Chile Agenda 2030 (www.chileagenda2030.gob.cl), firmada por 193 Estados miembros de Naciones Unidas, la que pretende mitigar diferentes desafíos y para ello se establecieron 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), traducidos en 169 metas y más de 230 indicadores. La Tabla 5 detalla siete ODS asociados a este proyecto.

Análisis social

El puerto está ubicado en la comuna de Penco, localidad de Lirquén con 15 000 habitantes y una superficie de 107.6 km². La ciudad se fue acercando al puerto, dándose una interdependencia, ya que no se puede hablar solo del puerto, sino de una comunidad portuaria, dentro de la que existen intereses económicos y urbanísticos, evidenciándose un crecimiento sostenido de transformaciones urbanísticas porque la ciudad también ve una ventaja en crecimiento urbano, social o económico con la presencia de un puerto en la zona. Sin embargo, el puerto es un recinto privado y cerrado a la ciudad, lo que evidencia un quiebre en la relación entre ciudad y puerto. No obstante, se da la certeza que ambos se necesitan entre sí y se ven beneficiados; el puerto y el trabajo que genera, las transformaciones territoriales, siendo una relación con el pueblo y no con la ciudad de Penco (Figuroa, 2014). El puerto organizó y dio vida a la población de cooperativa de portuarios, dándole el nombre de quien fuera su gerente por más de treinta años Jaime Le Plaza. Figuroa (2014) relata la creación de la población y la buena conectividad de la zona. Se observa que existen sentimientos de pertenencia de parte de la comunidad, logrando una identidad de ciudad y puerto. Incluso el Liceo Pencopolitano, imparte la especialidad de Operaciones Portuarias, dando una oportunidad a DP World Puerto Lirquén de coordinar la vinculación de los alumnos con estas nuevas tecnologías energéticas.

Tabla 3: Legislación ambiental aplicable al proyecto

Nº	Ley 19.300	Dec. Nº40	Tipificación	SEIA	EIA	DIA
1	Art. Nº10 - Letra a)	Art. Nº3 - Letra a)	Acueductos	No aplica	No	No
2	Art. Nº10 - Letra c)	Art. Nº3 - Letra c)	Centrales generadoras sobre 3 MW	No aplica	No	No
3	Art. Nº10 - Letra e)	Art. Nº3 - Letra e.6)	Estaciones de servicio	No aplica	No	No
4	Art. Nº10 - Letra f)	Art. Nº3 - Letra f.1)	Terminales marítimos	Aplica	Si	No
5	Art. Nº10 - Letra j)	Art. Nº3 - Letra j)	Gasoductos	No aplica	No	No
6	Art. Nº10 - Letra ñ)	Art. Nº3 - Letra ñ)	Producción, almacenamiento y transporte sustancias explosivas/inflamables	Aplica	Si	No
7		Art. Nº3 - Letra ñ.3)	Producción, disposición o reutilización de sustancias inflamables	No aplica	No	No
8		Art. Nº3 - Letra ñ.4)	Producción, disposición o reutilización de sustancias reactivas	No aplica	No	No
9		Art. Nº3 - Letra ñ.5)	Transporte por medios terrestres de sustancias tóxicas, explosivas, inflamables, corrosivas o reactivas	No aplica	No	No

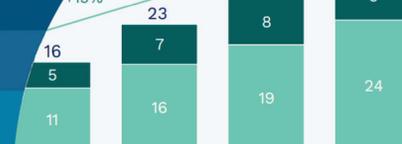


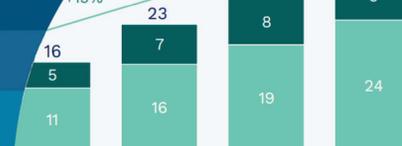
Tabla 4: Gestión de aspectos ambientales

Aspectos ambientales	Externalidad o impacto	Mitigación
 Calidad del aire	En la construcción de la planta se producirán contaminantes locales y GEI, los que irán disminuyendo en la medida que se sustituyan los equipos. La utilización de Hidrógeno en fuel cells produce como resultado del proceso H ₂ O líquido.	Monitorear la calidad de aire y mitigar con acciones provista por los contratistas.
 Cambio climático	Se emitirán GEI aún cuando el proyecto esté en operación, debido a la sustitución gradual de las grúas horquillas.	Si la tecnología baja de precio en el mediano plazo podría sustituirse más rápido las grúas horquillas, complementando con medidas de disminución del ralenti de los buques.
 Eficiencia energética	Uso de maquinaria ineficiente y pérdida de energía eléctrica debido a la distancia entre la fuente y el electrolizador.	Condiciones contractuales orientadas al uso de maquinarias energéticamente eficientes y contratos PPA cercanos.
 Ruido	Ruidos en la etapa de construcción debido al uso de las diferentes maquinarias.	Control y nivelación de los decibelios de los equipos según normativas locales e internacionales.
 Relación con la comunidad local	El desconocer la tecnología puede ocasionar en la población desconfianza y rechazo.	Involucrará la comunidad local desde las etapas iniciales del proyecto, educando sobre esta nueva tecnología.
 Residuos de buques	El proyecto no tiene injerencia sobre el tratamiento de residuos de los buques.	No se consideran medidas.
 Calidad del agua	El proyecto utiliza agua potable para la producción de Hidrógeno, por lo que no se considera tratamiento de aguas o utilización de aguas industriales.	No se consideran medidas
 Basura y residuos portuarios	Durante la etapa de construcción se producirán residuos industriales sólidos (RISES) de las obras civiles.	Retiro por empresa autorizada para disposición en vertedero autorizado.
 Operaciones de dragado	No se contemplan operaciones de dragado para el proyecto.	No se consideran.
 Desarrollo del puerto (relacionado con las tierras)	Movimiento de tierras para construcción de losa de hormigón para instalación de planta de electrólisis.	Disposición de escombros en vertedero autorizado.



Tabla 5: Objetivos de desarrollo sostenible

ODS	Meta asociada	Indicador asociado	Aplicación
 Salud y bienestar	3.9. Para 2030, reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo.	3.9.1 Tasa de mortalidad atribuida a la contaminación de los hogares y del aire ambiente.	Mejora de la calidad del aire.
 Agua limpia y saneamiento	6.4 Para 2030, aumentar sustancialmente la utilización eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir sustancialmente el número de personas que sufren de escasez de agua.	6.4.1 Cambio en el uso eficiente de los recursos hídricos.	Optimizar la gestión y uso del agua en el puerto.
 Energía asequible y no contaminante	7.1 Para 2030, garantizar el acceso universal a servicios de energía asequibles, confiables y modernos. 7.2 Para 2030, aumentar sustancialmente el porcentaje de la energía renovable en el conjunto de fuentes de energía.	7.1.2 Proporción de la población cuya fuente primaria de energía son los combustibles y tecnologías limpios. 7.2.1 Proporción de energía renovable en el consumo final total de energía.	Uso H ₂ y como combustible y tecnología limpia Impulso de las energías renovables.
 Industria innovación e infraestructura	9.4 Para 2030, mejorar la infraestructura y reajustar las industrias para que sean sostenibles, usando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países adopten medidas de acuerdo con sus capacidades.	9.4.1 Emisiones de CO ₂ por unidad de valor añadido.	Impulso del transporte eléctrico de grúas horquilla a Hidrógeno.
 Ciudades y comunidades sostenibles	11.6 Para 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.	11.6.2 Niveles medios anuales de partículas finas en suspensión (por ejemplo, PM _{2.5} y PM ₁₀) en las ciudades (ponderados según la población).	Mejorar la movilidad de vehículos pesados en el entorno portuario.
 Producción y consumo responsables	12.6 Alentar a las empresas, en especial las grandes empresas y las transnacionales, a que adopten prácticas sostenibles e incorporen información sobre la sostenibilidad en su ciclo de presentación de informes. 12.a Apoyar a los países en desarrollo en el fortalecimiento de su capacidad científica y tecnológica a fin de avanzar hacia modalidades de consumo y producción más sostenibles	12.6.1 Número de empresas que publican informes sobre sostenibilidad. 12.a.1 Capacidad instalada de generación de energía renovable en los países en desarrollo (expresada en vatios per cápita)	Presentación de informe de sostenibilidad, para ser un referente portuario. Uso de generación renovable.
 Acción por el clima	13.2 Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales	13.2.2 Emisiones totales de gases de efecto invernadero por año	Reducción de gases de efecto invernadero.



Las zonas portuarias se caracterizan por una alta concentración de actividades industriales y comerciales, lo que impacta en su entorno y la comunidad, tanto en los aspectos sociales, ambientales como en la saturación de la zona en cuanto a la densidad de movimientos viales. En particular, la calidad del aire se ve afectada por el alto flujo de embarcaciones y maquinaria portuaria, siendo una parte del problema la contaminación por emisiones de GEI.

Las actividades económicas predominantes son la forestal, pesca artesanal, portuaria, fabricación de vidrios y el comercio minorista, ver detalles en Ilustre Municipalidad de Penco (2020). El enfoque de la comuna es el desarrollo de la cultura, el patrimonio y el reconocimiento de su historia, educando a la ciudadanía, siendo en aspectos económicos la cesantía y la falta de oportunidades para grupos vulnerables; jóvenes y adultos mayores el objetivo dentro de su planificación.

Sin duda, los índices financieros relacionados a este tipo de análisis están asociados a los beneficios que le generan a las Arcas Fiscales y a la población cercana; ingresos por importaciones, impuesto a la renta, impuesto al valor agregado, leyes sociales, costo social del CO₂ (1.5 Millones US\$ al año 0), generación de empleos por construcción, operación y mantención de la planta, rentas municipales. Hay que considerar además el significado del cambio tecnológico para el entorno ciudadano, el cual se verá con los cambios de paradigmas educacionales respecto a las energías limpias.

Conclusión

El estudio realizado ha permitido evaluar medidas concretas y de un alto impacto para descarbonizar el puerto de Lirquén con la utilización de Hidrógeno verde, siendo la reconversión de las grúas horquilla como la medida prioritaria que se ha propuesto realizar. Lo anterior permite alinearse con las estrategias del Gobierno de Chile en las áreas de Electromovilidad e introducción del Hidrógeno Verde como vector energético que reemplace el uso del diésel, de cara a los objetivos de carbono neutralidad proyectados para el año 2050.

Si bien es cierto se comprobó que, desde las áreas técnicas, ambiental y social, el proyecto tiene una prefactibilidad positiva para el reemplazo de las grúas horquilla y el fomento del Hidrógeno en los remolcadores, aún existen

externalidades tales como la capacidad de fabricación y tiempos de entrega de los componentes que son claves para el proyecto como lo son el Electrolizador y las Fuel Cells para las grúas horquilla. Esto puede ser mitigado trasladando en el tiempo el inicio del proyecto para el año 2024 y generando alianzas estratégicas con los proveedores de estos equipos, además desde el punto de vista económico y financiero, es necesario la presencia del Estado chileno a través de subvenciones y/o apoyos no reembolsables para paliar parte de los altos costos de la tecnología de la planta de electrólisis y con esto incentivar la introducción del Hidrógeno verde en la industria. Debido a que la magnitud de la inversión que involucra el reemplazo de las grúas horquilla además de la construcción de la planta productora de Hidrógeno verde, se identificaron 3 áreas de optimización para reducir los costos de implementación del proyecto:

Desagregar el proyecto en 2 subproyectos: 1) reemplazo de flota de grúas horquilla; 2) construcción de planta productora de Hidrógeno Verde.

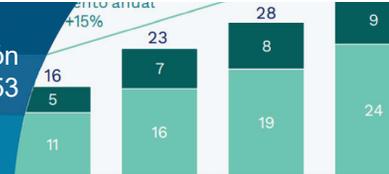
Para el proyecto de reemplazo de grúas horquilla, considerar compra de Hidrógeno gris, durante los primeros 5 años, dando espacio para la aparición de proveedores de Hidrógeno verde en la región del Bío Bío.

Evaluar una vez reemplazada la flota de 50 grúas la construcción de la planta de producción in situ.

Hay que considerar que en lo que respecta a los remolcadores, solo se fomenta su uso ya que no forman parte de los activos de DP World Puerto Lirquén. Finalmente, este estudio de prefactibilidad logra el objetivo de ser una guía para identificar las oportunidades dentro de DP World Puerto Lirquén para la utilización del Hidrógeno Verde y ayudar en el camino de la reducción de emisiones y el reemplazo gradual del uso de diésel en sus procesos logísticos. Seamos los primeros.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado sobre la base del proyecto “Aplicando medidas de mitigación basado en la reconversión de equipamiento portuario a Hidrógeno verde, caso DP World Puerto Lirquén”, presentado en el concurso “Factibilidad de puertos sustentables impulsados por H₂ y en el Bío Bío”, actividad organizada por la Alianza



Estrategia Hidrógeno Verde para el Bío Bío, Chile. Doy las gracias al equipo del que fui parte en el concurso impulsado por la Alianza del Hidrógeno Verde de la Región del Bío Bío: Tatiana Orellana, Diego Ávila y Luis Berrios, además en memoria de mi hijo Isaac Gallegos por ser la inspiración de este proyecto.

Referencias

Acuerdo de París (2015). https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf

ESPO (2021). A manual for European ports towards a green future. European Sea Ports Organizations ESPO Green Guide 2021. Brussels, Belgium

Figueroa, V. (2014). *Libro de Oro de la historia de Penco*. Segunda ed., Penco, Chile

Ilustre Municipalidad de Penco (2021). Plan de desarrollo comunal, diagnóstico. <http://penco.cl/wp-content/uploads/2020/12/DIAGN%C3%93STICO-COMUNAL.pdf>

ITF (2016). Ports policy review of Chile. International Transport Forum ITF, OECD, Paris, France

Lillo, P. (2022). Combustión dual de hidrógeno. Clase 5, curso: Transporte y uso del hidrógeno. Diplomado en Hidrógeno Verde, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Lind, M., Lehmacher, W., Björk, S.Å., Haraldson, S., Pålsson, C., Penttilä, R., Kirsi Tikka, K. and Watson, R.T. (2022). Decarbonizing the maritime sector: Mobilizing coordinated action in the industry using an ecosystems approach. UNCTAD Transport and Trade Facilitation Newsletter N°94 - Second Quarter. Article No. 89. Geneva, Switzerland

ME (2020). Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde. Chile, fuente energética para un planeta cero emisiones. Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, Santiago, Chile

OMI (2018). Estrategia inicial de la OMI sobre la reducción de las emisiones de GEI procedentes de los buques. Anexo 11, Resolución MEPC.304(72). Organización Marítima Internacional OMI, Londres, Reino Unido

SIEMENS Gamesa (2021). Siemens Gamesa's groundbreaking pilot project hits key milestone as first green hydrogen is delivered to zero emission vehicles. Press release. Denmark