

Cooperación Público-Privada entre Soventix y GIZ en el marco del proyecto apoyado por H2Uppp:

“SolarNH3-Pool Chile: Conceptos para el desarrollo de un parque industrial sostenible de hidrógeno/amoniaco verde en la región de Antofagasta (Chile)”

Este documento se ha realizado en el marco del Programa Internacional de Fomento del Hidrógeno (H2Uppp) del Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima (BMWK) de Alemania que promueve proyectos y el desarrollo del mercado del hidrógeno verde en determinados países en desarrollo y emergentes como parte de la Estrategia Nacional del Hidrógeno.

La ejecución de H2Uppp corre a cargo de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en nombre del Ministerio Federal de Economía y Acción por el Clima (BMWK). Las opiniones y recomendaciones expresadas no reflejan necesariamente las posiciones de las instituciones encargantes o de la agencia ejecutora.

La información contenida en estos documentos ha sido obtenida o se basa en fuentes que SOVENTIX considera fiables. Sin embargo, SOVENTIX no garantiza la exactitud, actualidad o exhaustividad de la información. Esta información puede contener suposiciones y pronósticos a futuro. Estas son declaraciones de opinión al momento de la publicación y pueden cambiar más adelante. SOVENTIX también se reserva el derecho de cambiar las opiniones expresadas en documentos sin previo aviso y sin necesidad de indicar los motivos. SOVENTIX se exime de toda responsabilidad por cualquier pérdida derivada del uso de estos documentos y de sus posibles consecuencias legales, reglamentarias, fiscales y contables.



SOLAR NH3-POOL MEJILLONES

Entregable N° 1

“Plan Maestro del Parque Industrial H2 Mejillones”

Preparado para:

soventix
Powerful Returns

La confidencialidad y la confianza son las claves para Hinicio y su negocio de consultoría. Hinicio no puede y tampoco quiere aprovecharse, de información que vaya en contra de sus intereses. Hace más de 10 años nuestro modelo económico depende de una relación de confianza con todos los actores y clientes que participan en esta industria. Velamos por proteger esta relación bajo ninguna excepción.

Todos los documentos que hayan sido compartidos con Hinicio en el marco de un proyecto, están sujetos a una estricta ética y son considerados confidenciales.

Hinicio se compromete a no utilizar ninguna fuente de información ilegal, y tampoco fuentes de información que no hayan sido autorizadas por el cliente.

Hinicio garantiza que todas las acciones y trabajos realizados se desarrollan con total objetividad y sin ningún conflicto de interés actual o futuro.

Nuestra organización interna está plenamente involucrada en el apoyo a estos valores.

Nuestro equipo está plenamente involucrado en apoyar estos valores y aplicamos un estricto control sobre la organización de nuestros proyectos en su forma física y virtual en la separación de proyectos, documentos, datos y personas involucradas (el llamado « Principio de la muralla China»)

Nuestro equipo recibe capacitaciones constantes sobre estas prácticas, así también contamos con una política de inversión en softwares y hardwares sobre este tema para hacerlas cumplir.

La información incluida en este documento es el resultado del análisis de Hinicio y está en línea con las leyes y normas aplicables. Hinicio no se hace responsable por los resultados asociados al correcto o incorrecto uso de la información brindada.

Se recomienda al usuario de esta información que haga un seguimiento del correcto uso de la información dentro de las leyes y normas que aplican a la Región en que opera.

Nuestra mayor prueba de confianza sigue siendo sin lugar a dudas el retorno de nuestros clientes desde que se creó la compañía hace más de 10 años, así también como el gran involucramiento personal de nuestro equipo en el desarrollo de esta industria

El presente informe fue preparado por los siguientes miembros:

- Germán Villarroel
- José Castillo
- Valentina Pradelli
- Valentina Nogueira

HINICIO

Badajoz 45, oficina 1501,
Las Condes, Chile

Punto de Contacto

Germán Villarroel
Project Manager

german.villarroel@hinicio.com

Contenido

1.	Introducción.....	10
2.	Proyección de demanda de hidrógeno y amoníaco	11
2.1.	Proyección de demanda global	11
2.2.	Proyección de demanda nacional y en la región de Antofagasta	13
2.2.1.	Mapeo de proyectos de hidrógeno y derivados	13
2.2.2.	Demanda de hidrógeno y amoníaco	15
3.	Análisis de infraestructura existente	21
3.1.	Infraestructura ferroviaria	22
3.2.	Infraestructura energética	24
3.3.	Infraestructura de agua y desalación	26
3.4.	Infraestructura portuaria	28
4.	Análisis de localización del Parque Industrial	34
4.1.	Análisis territorial (IPT)	34
4.2.	Alternativas de localización	39
5.	Dimensionamiento del Parque Industrial	41
5.1.	Dimensionamiento preliminar.....	41
5.1.1.	Análisis de demanda de Antofagasta	41
5.1.2.	Estimación de la producción del Parque Industrial H2 Mejillones	42
5.1.3.	Dimensionamiento del Parque Industrial	44
5.2.	KPIs y análisis comparativo	47
5.2.1.	KPIs operaciones del Parque Industrial.....	47
5.2.2.	Benchmark del Parque Industrial H2 Mejillones	49
5.3.	Análisis de sinergias en infraestructura e inversiones del Parque Industrial	50
5.3.1.	Análisis de inversiones directas asociadas al Parque Industrial	50
5.3.2.	Análisis de infraestructura compartida existente y requerida	53
5.3.3.	Sinergias asociadas a la reutilización de infraestructura	54
6.	Conclusiones.....	56
7.	Bibliografía	60
8.	Anexos.....	61

Figuras

Figura 1: Consumo de hidrógeno a nivel mundial en 2020. Fuente: (IRENA, The Geopolitics of the Energy Transformation, 2021)	11
Figura 2: Proyecciones a nivel mundial de la demanda de hidrógeno. Fuente: (Goldman Sachs, 2022); (Bloomberg NEF, 2021); (IEA, 2021); (Hydrogen Council, 2021); (IRENA, World Energy Transitions Outlook, 2022).	12
Figura 3: Demanda mundial de amoníaco hasta 2050. Fuente: (IRENA & AEA, Innovation Outlook Renewable Ammonia, 2022)	12
Figura 4: Proyección de demanda de hidrógeno en Chile para uso doméstico y exportación. Fuente: (Hinicio, 2022).	13
Figura 5: Proyección de demanda de hidrógeno en Chile para uso doméstico. Fuente: Elaboración propia a partir de: (Ministerio de Energía Chile, Estrategia Nacional Hidrógeno Verde, 2020); (PELP, 2021).	17
Figura 6: Proyección de demanda de hidrógeno en Chile para exportación. Fuente: Elaboración propia a partir de: (Ministerio de Energía Chile, Estrategia Nacional Hidrógeno Verde, 2020).	18
Figura 7: Proyección de demanda de H2 y derivados para la región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.	19
Figura 8: Desglose de demanda en H2 y NH3 para la región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia	20
Figura 9: Mapa de la región de Antofagasta (Fuente: Elaboración propia)	22
Figura 10: red ferroviaria FCAB (Fuente: Reporte sostenibilidad 2021)	23
Figura 11: Distribución de plantas de generación en la región de Antofagasta	25
Figura 12: Capacidad instalada por tecnología en Antofagasta	25
Figura 13: Plan de descarbonización del MEN	26
Figura 14: Instalaciones del Complejo Portuario Mejillones	30
Figura 15: Plan Maestro CPM	31
Figura 16: Diseño conceptual del terminal de amoníaco en TGN	32
Figura 17: Macro Zona. Fuente: (González Cruz Abogados, 2023).	35
Figura 18: Zonas aptas para el parque industrial. Fuente: (González Cruz Abogados, 2023).	36
Figura 19: Zona ZP 1 no apta para el parque industrial. Fuente: (González Cruz Abogados, 2023).	37
Figura 20: Zonas no aptas pero convenientes para el desarrollo del parque industrial, Fuente (González Cruz Abogados, 2023).	38
Figura 21: Trazados de redes zona de Mejillones. Fuente: (González Cruz Abogados, 2023).	39
Figura 22: Esquema de proyecto topo 1 a partir de energía solar. Fuente: Hinicio.	43
Figura 23: Esquema de proyecto tipo 2 a partir de energía solar y eólica. Fuente: Hinicio.	43

Figura 24: Point Lisas Industrial State en Trinidad y Tobago. Fuente: Google Earth	50
Figura 25: Cadena de valor de hidrógeno verde y derivados. Fuente: Hinicio.	51
Figura 26: Desglose de inversiones directas para el desarrollo del Parque Industrial. Fuente: Hinicio.	52
Figura 27: Desglose de inversiones directas para el desarrollo del Parque Industrial, según escenario sin sinergias y con sinergias por reutilización. Fuente: Hinicio.	55
Figura 28: Plan Maestro del Parque Industrial H2 de Mejillones. Fuente: Elaboración propia.	59

Tablas

Tabla 1: Proyectos de hidrógeno y derivados en la Región de Antofagasta (Fuente: Hnicio)	14
Tabla 2: Capacidad Instalada de desalación en Antofagasta en Operación. Fuente: (Vicuña & et al., 2022)	27
Tabla 3: Terminales portuarios de la bahía de Mejillones. Fuente: (Vicuña & et al., 2022)	29
Tabla 4: Capacidades máximas del terminal multipropósito y TGN	31
Tabla 5: volúmenes y capacidades diseño terminal amoniaco	32
Tabla 6: Proyección de demanda de hidrógeno y derivados de la región de Antofagasta	42
Tabla 7: Resumen de las capacidades del Parque Industrial H2 Mejillones.	45
Tabla 8: Footprint unitarios promedio de plantas tipo del Parque Industrial (Fuente: Hinicio).	46
Tabla 9: Footprints de los módulos productivos del Parque Industrial (Fuente: Hinicio).	47
Tabla 10: KPIs operacionales del Parque Industrial Mejillones (Fuente: Hinicio)	47
Tabla 11: Almacenamiento requerido para derivados de hidrógeno para exportación (Fuente: Hinicio).	48
Tabla 12: Footprints de los módulos de almacenamiento en el Complejo portuario (Fuente: Hinicio).	48
Tabla 13: Equipos y alcance considerados en la cadena de valor del Parque Industrial. Fuente: Hinicio.	52
Tabla 14: Análisis de infraestructura existente y requerida para el Parque Industrial. Fuente: Hinicio.	53
Tabla 15: Principales capacidades estimadas para el Parque Industrial de Mejillones. Fuente: Hinicio.	58

Listado de Abreviaciones

ACADES	Asociación Chilena de Desalinización A. G.
AEA	<i>Ammonia Energy Association</i> , o Asociación de Energía del Amoníaco
ASU	<i>Air Separation Unit</i> , o Unidad de Separación de Aire
ATI	Antofagasta Terminal Internacional
BBNN	Bienes Nacionales
BOG	<i>Boil-off Gas</i> , o Pérdida por Evaporación de Gas
CO2	Dióxido de Carbono
CPM	Complejo Portuario de Mejillones S.A.
CPR	Comercial, Público y Residencial
DIA	Declaración de Impacto Ambiental
EAE	Estudio Ambiental Estratégico
EFE	Empresa de los Ferrocarriles del Estado
EIA	Estudio de Impacto Ambiental
EPA	Empresa Portuaria Antofagasta
FCAB	Ferrocarril de Antofagasta a Bolivia
GNL	Gas Natural Licuado
GNLM	Gas Natural Licuado Mejillones
GW	Gigawatt
H2	Hidrógeno
IEA	<i>International Energy Agency</i> , o Agencia Internacional de Energía
IEM	Infraestructura Energética Mejillones
IPT	Instrumentos de Planificación Territorial
IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i> , o Agencia Internacional de las Energías Renovables
KPI	<i>Key Performance Indicator</i> , o Indicador Clave de Rendimiento

LGUC	Ley General de Urbanismo y Construcciones
MBN	Ministerio de Bienes Nacionales
MINVU	Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile
MTT	Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones
MW	Megawatt
NEF	New Energy Finance
NH3	Amoníaco
OIES	The Oxford Institute for Energy Studies
OPEX	<i>Operational Expenditures</i> o Gastos Operacionales
PELP	Planificación Energética de Largo Plazo
PRIBCA	Plan Regulador Intercomunal Borde Costero Región de Antofagasta
SA	Sociedad Anónima
SAF	<i>Sustainable Aviation Fuel</i> , o Combustible de Aviación Sostenible
SCDI	<i>Southern Corridor Development Initiative</i>
SEIA	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
SIC	Sistema Interconectado Central
SING	Sistema Interconectado del Norte Grande
TGN	Terminal Graneles del Norte
TIC	<i>Total Investment Costs</i> o Costos de Inversión Totales
UE	Unión Europea
USD	Dólar Estadounidense
ZAP	Zona Área Portuaria
ZIM	Zona Industrial Mixta
ZP	Zona Portuaria

1. Introducción

Chile es un lugar privilegiado para la producción de hidrógeno renovable en el mundo debido a las características geográficas y los recursos para la generación de energía renovable. En el país destaca la región de Antofagasta, ubicada en la zona norte de Chile, como *hub* para la producción de hidrógeno y sus derivados.

El establecimiento de *hubs* en el país y la región de Antofagasta permitirá la creación de sinergias para el mercado nacional e internacional, que será abordado con la exportación de estos productos. A la vez, permite potenciar el aprovechamiento de infraestructura tanto existente como compartida, aumentando la competitividad de estas zonas.

En la región de Antofagasta, Mejillones destaca como una zona prometedora para la ubicación de un *hub* industrial de hidrógeno y sus derivados en la región, ofreciendo múltiples ventajas con respecto a la infraestructura portuaria existente, la proximidad a la demanda nacional, entre otros.

Dentro del contexto descrito anteriormente se realizará la conceptualización de un parque industrial en la comuna de Mejillones para suplir la demanda nacional y de exportación de hidrógeno y amoníaco, que busca crear sinergias entre infraestructura nueva y aquella existente actualmente para distintos actores industriales.

El objetivo del presente informe es entregar un Plan Maestro referencial del Parque Industrial H2 Mejillones, el cual pueda ser utilizado como instrumento de planificación territorial. A partir de un plan maestro se pueden obtener múltiples ventajas para el desarrollo de proyectos industriales, ya que permite la articulación de intereses en el tiempo, y la reserva de terrenos y esfuerzos en un horizonte de largo plazo, según la planificación, dimensionamientos y estructura que este plan entrega.

Para esto se comenzará por realizar un análisis de la demanda proyectada de hidrógeno y sus derivados en la región de Antofagasta, al igual que de los proyectos en desarrollo de la índole en la zona. En paralelo, será desarrollado un análisis de la infraestructura existente en Mejillones, incluyendo aquella infraestructura energética, de agua y desalación, portuaria y logística; para concluir con un análisis territorial y de localizaciones posibles del Parque Industrial.

A partir de los análisis realizados en términos de demanda, infraestructura y localizaciones, se realizará una estimación de las capacidades productivas del Parque Industrial, según tipo de proyectos y producto a comercializar. Lo anterior será utilizado para el dimensionamiento preliminar de las superficies necesarias para la ubicación del Parque a largo plazo (2050), para la identificación de aquellas capacidades de infraestructura necesaria para llevar a cabo las proyecciones. Por último, se presenta un análisis de la necesidad de nueva infraestructura y de las inversiones identificadas para esto. Dentro de este análisis de inversiones, se incluyen factores de escalamiento entregados por los beneficios de realizar un Parque Industrial en comparación con la instalación de plantas distribuidas, y se muestran los ahorros que se obtendrían en caso de reutilizar parte de la infraestructura existente, principalmente en los terminales portuarios e instalaciones de desalación.

El trabajo realizado en el presente proyecto se basa en información pública, complementado por información recopilada mediante un Workshop con el equipo de Soventix, y bases de datos y conocimiento interno del equipo consultor.

2. Proyección de demanda de hidrógeno y amoníaco

2.1. Proyección de demanda global

El hidrógeno es producido a partir de distintas fuentes, entre ellas se destacan los combustibles fósiles como el carbón, petróleo y gas natural, además de generarse como derivado de un proceso o mediante electrólisis a partir de electricidad. Actualmente el mercado es dominado por el hidrógeno gris producido a partir de gas natural, correspondiente a un 59% de este al año 2020 (Goldman Sachs, 2022). El mismo año, la demanda de hidrógeno a nivel mundial alcanzó un valor de 88.48 Mt de H₂, equivalentes a 125,000 millones de USD, con una demanda concentrada en refinerías y en la industria química. En el sector industrial únicamente, se consumieron 46 Mt para la producción de derivados de hidrógeno, como amoníaco y metanol, y un menor porcentaje se utilizó durante el proceso productivo de acero. El consumo de hidrógeno a nivel global (Figura 1) se concentra en 4 países que representan más del 50% del total: China con 23.9 Mt, Estados Unidos con 11.3 Mt, India con 7.2 Mt y Rusia con 6.4 Mt (IRENA, The Geopolitics of the Energy Transformation, 2021)

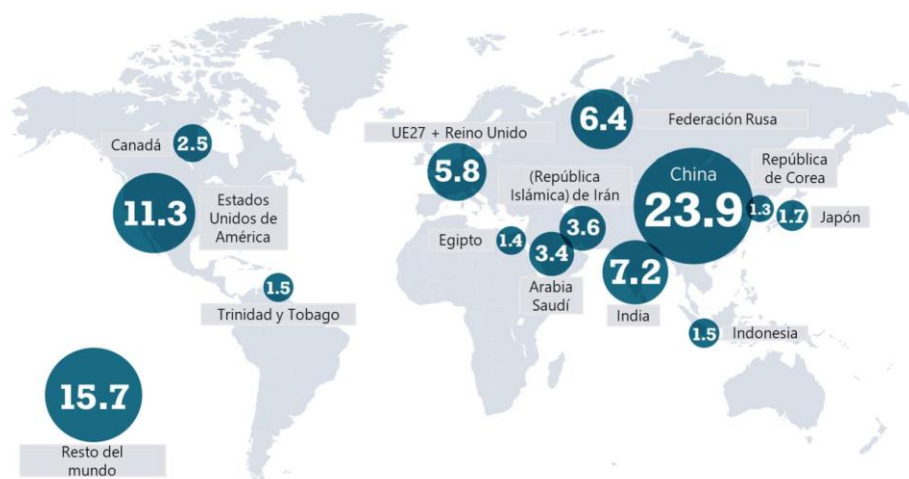


Figura 1: Consumo de hidrógeno a nivel mundial en 2020. Fuente: (IRENA, The Geopolitics of the Energy Transformation, 2021)

En la mayor parte de los casos la demanda del hidrógeno es captiva, es decir que se consume en el mismo lugar en que es producido, enfrentándose a múltiples desafíos para su transporte.

En los próximos años se espera que la demanda de hidrógeno renovable aumente a nivel mundial principalmente por los objetivos en términos de la descarbonización de la economía, en respuesta a la crisis climática y al papel que tiene el hidrógeno como vector energético. Múltiples agencias y asociaciones del ecosistema mundial del hidrógeno han realizado estimaciones de la demanda para los años 2020 – 2050. En la Figura 2 se muestran algunas de las estimaciones realizadas por distintas fuentes:

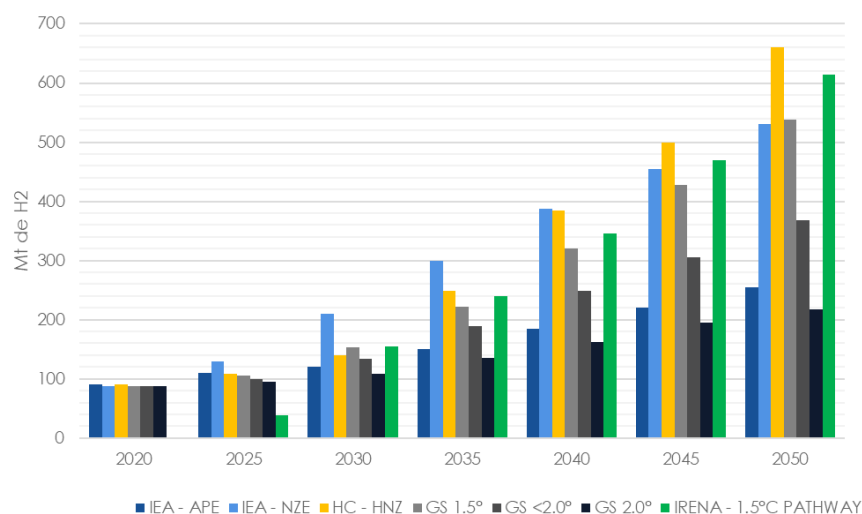
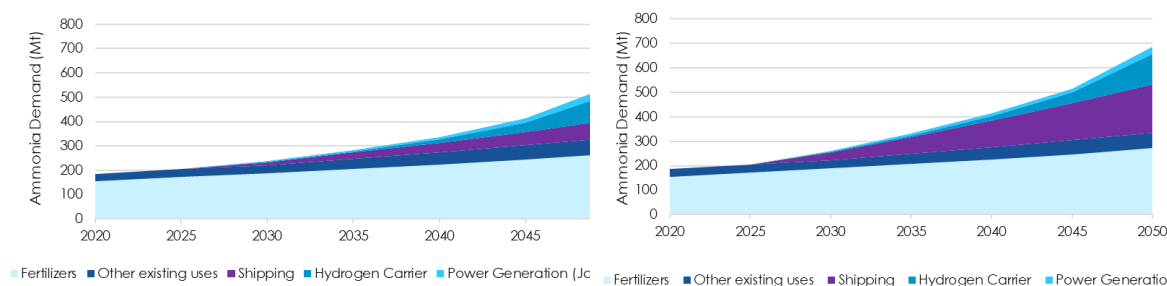


Figura 2: Proyecciones a nivel mundial de la demanda de hidrógeno. Fuente: (Goldman Sachs, 2022); (Bloomberg NEF, 2021); (IEA, 2021); (Hydrogen Council, 2021); (IRENA, World Energy Transitions Outlook, 2022).

Además de un aumento en la demanda de hidrógeno renovable, se espera un crecimiento en la demanda de amoníaco renovable a nivel mundial. Junto con lo anterior, se estima la diversificación de sus aplicaciones más allá de la producción de fertilizantes y explosivos; con nuevos mercados para el consumo de amoníaco como combustible marítimo, portador de hidrógeno, y otras aplicaciones (IRENA & AEA, Innovation Outlook Renewable Ammonia, 2022). En la Figura 3 se presenta la proyección de demanda de amoníaco en dos escenarios: aquel alineado con el Acuerdo de París de mantener el aumento de la temperatura mundial en 1.5 °C, y en el escenario más conservador de políticas declaradas.



A. Escenario de Políticas Declaradas

B. Escenario 1.5°C

Figura 3: Demanda mundial de amoníaco hasta 2050. Fuente: (IRENA & AEA, Innovation Outlook Renewable Ammonia, 2022).

En el escenario conservador (Figura 3.A), se espera que la demanda anual de amoníaco alcance un total de 548 Mt al año 2050, donde la mayor aplicación es la producción de fertilizantes con 267 Mt/año de NH₃, seguido por 74 Mt/año para su uso como combustible

marítimo. En el escenario optimista (Figura 3.B), se estima una demanda anual de amoníaco de 686 Mt al 2050 y se espera que las mayores aplicaciones se mantengan, con 273 Mt/año y 197 Mt NH₃/año respectivamente. En ambos casos la menor aplicación será para la generación energética, donde sólo Japón será consumidor.

2.2. Proyección de demanda nacional y en la región de Antofagasta

2.2.1. Mapeo de proyectos de hidrógeno y derivados

Al analizar el desarrollo de proyectos de hidrógeno bajo en carbono y derivados en Chile, se observa la concentración de estos en cuatro valles productivos a lo largo del país, uno en la zona norte, dos en la zona central y el último en la zona sur, siendo las regiones de Antofagasta y Magallanes las con un mayor portafolio de proyectos.

Estos proyectos suplirán la futura demanda tanto doméstica como de exportación, y presentan diversas escalas y aplicaciones finales. En particular, se proyecta que en el valle de Antofagasta se desarrollarán principalmente dos arquetipos de proyectos: el primero conformado por proyectos de mayor escala con intenciones de exportación internacional, y el segundo enfocado en proyectos de escala intermedia para la industria y consumo de hidrógeno a nivel local. A diferencia de lo anterior, en ambos valles de la región central primarán aquellos proyectos de escala pequeña a intermedia para consumo local, mientras que la Región de Magallanes se compondrá únicamente por el arquetipo uno, el cual corresponde a grandes proyectos para exportación internacional.

Se identificaron 22 proyectos clave de hidrógeno y derivados para el crecimiento de la industria en desarrollo en el país, los cuales se encuentran en distintas etapas e involucran a una variedad amplia de actores. La Figura 4 a continuación resume la principal información de estos:

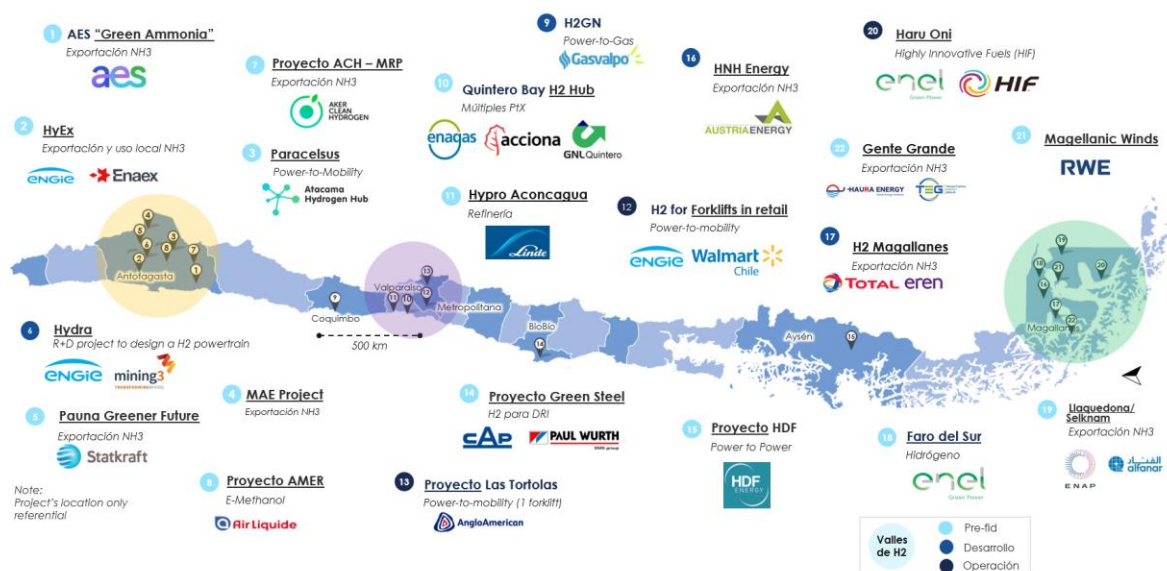


Figura 4: Proyección de demanda de hidrógeno en Chile para uso doméstico y exportación. Fuente: (Hinicio, 2022).

En la región de Antofagasta se identificaron un total de 12 proyectos de hidrógeno en distintas etapas de desarrollo, los cuales suman un total de 8,650 MW de electrólisis al 2030. No fueron considerados para este análisis aquellos proyectos investigativos de menor tamaño. Del total de proyectos, 6 son de producción de amoníaco bajo en carbono, mientras que 4 buscan producir únicamente hidrógeno y los dos restantes otros derivados como el metanol. Los proyectos mapeados se caracterizan por abordar ambos mercados, la producción para consumo interno y la exportación del producto, principalmente a regiones importadoras como Europa. La Tabla 1 resume la principal información, incluyendo capacidad de electrólisis, aplicación y producto a generar, estado de desarrollo y fecha de operación comercial, de los 12 proyectos de escala comercial identificados en la Región de Antofagasta.

Tabla 1: Proyectos de hidrógeno y derivados en la Región de Antofagasta (Fuente: Hinicio)

Nombre	Empresas participantes	Capacidad electrólisis (MW)	Producción anual	Aplicación final	Estado de Desarrollo	Fecha operación comercial/ scale up
Hyex, Tocopilla	Productor y off-taker: Engie y ENAEX	1. 26	3.2 kton NH3	Amoníaco para uso interno y exportación	1. DIA aprobada y Factibilidad	1. 2025
		2. 1,800	350 kton NH3		2. Conceptual	2. 2030
Volta, Mejillones	MAE	500	-	Amoníaco para uso interno y exportación	No presentado al SEIA	2026
AES Andes	AES Andes	500 - 800	280 kton NH3	Amoníaco para uso interno y exportación	Factibilidad	2025
Pauna Greener Future, María Elena	Statkraft	100 - 447	-	Amoníaco para exportación a Europa	Aprobado ante SEIA	2025 - 2027
Genesis, La Negra	Antuko	1. 20	-	Hidrógeno uso interno y exportación	Factibilidad	1. 2025
		2. 60				
		3. 100				
AMER, La Negra	Productor: Air Liquide Chile	80	60 kton e-metanol	E-Metanol para uso interno y	Factibilidad	2025

				exportación (por definir)		
Tango	Linde, HyNewGen, Vopak, Port of Rotterdam, Gasco	1. 200 2. 500	-	Amoníaco para exportación a Europa	Factibilidad	1. 2027
Faraday	Aker Clean H2, Mainstream	1. 600 2. 2,400	-	Amoníaco para exportación	-	1. 2027 2. 2029
Atacama Hydrogen Hub	Productor: Humboldt Hidrógeno Verde	2,000	-	Hidrógeno para exportación	Pre-factibilidad	2027
-	Productor y off-taker: GNA	1.2	-	Hidrógeno para uso interno	Pre-factibilidad	2025
METH2, Atacama	Sowitec	300	-	E-fuels para exportación	Conceptual	Sin información pública
Adelaida	Productor: AES Andes	2.5	-	Hidrógeno para uso interno	-	2024

Al analizar en detalle este desarrollo industrial en la región, se observa que los proyectos HyEx de Enaex y el de AES Andes son los que se encuentran más avanzados en la zona, ambos en etapa de factibilidad y con estimaciones de estar operativos para el 2030. Por otro lado, hasta la fecha se tiene conocimiento solo de dos proyectos que utilizarán puertos de la bahía de Mejillones, Hyex y Volta de MAE, pero se estima que otros proyectos ya anunciados requieran utilizar esta infraestructura de igual forma.

2.2.2. Demanda de hidrógeno y amoníaco

A partir del análisis realizado previamente sobre la demanda global de hidrógeno y derivados, y del mapeo de proyectos en desarrollo, se procede a realizar estimaciones de demanda local y de exportación para Chile y la Región de Antofagasta, para los años 2030, 2040 y 2050. Se consideró para este análisis las proyecciones de demanda presentadas en la Estrategia Nacional de Hidrógeno y en el Informe Preliminar de Planificación Energética de Largo Plazo presentado por la PELP el 2021, tanto en el escenario de transición energética acelerada como el de carbono neutralidad.

Para el cálculo de la **demanda local** se consideraron como insumos esenciales las proyecciones realizadas por la PELP en el escenario de transición energética acelerada, en el cual se entrega la energía consumida a nivel nacional por electrolizadores *On grid* y *Off grid* a lo largo del país; y la proyección realizada por McKinsey el año 2021 como ajuste a

su propuesta en la Estrategia Nacional de Hidrógeno. Conforme a la información anterior, se presentan los supuestos realizados sobre estas proyecciones, a partir de los cuales se concluyó la demanda de hidrógeno para los escenarios de consumo local propuesta por Hinicio:

- Se considera un escenario conservador de consumo, siendo este intermedio a ambas fuentes analizadas;
- El consumo local al 2030 se ve principalmente impulsado por el proyecto HyEx en desarrollo en el norte, que busca reemplazar la fuente del hidrógeno utilizado para producción de explosivos.
- La proyección de demanda se basó en la estimación realizada en la Estrategia Nacional de H₂, entre otras fuentes. En esta se consideran aplicaciones menores al 2030 de amoníaco como *feedstock* para la industria de los fertilizantes y explosivos, y un mayor crecimiento al año 2040 y 2050 debido a la introducción de la aplicación de amoníaco como “*Maritime fuel*” para despachos locales. Aplicaciones de hidrógeno a mediano plazo, además de la minería, podría incluir el transporte pesado y la producción de syngas. Por lo tanto, en la estimación de Hinicio se utiliza una tasa de crecimiento mayor a largo plazo empujado por la las aplicaciones de hidrógeno principalmente en la movilidad (*Maritime fuel* y transporte pesado) y en menor cantidad por la industria, con penetraciones similares en los tres escenarios e incluso acercándose de las proyecciones de la Estrategia Nacional al 2050.
- Según las distintas fuentes utilizadas para las proyecciones de demanda global de hidrógeno, se espera que de forma independiente hayan sido calculadas a partir de una suma ponderada de la demanda, considerando el consumo de cada país de este producto. Hay ciertos países que presentan un ritmo de desarrollo del ecosistema de hidrógeno mayor, como hay otros países que presentan un menor ritmo. Por diversos motivos, dentro de los países que se proyecta un mayor ritmo de desarrollo se encuentra Chile, razón por la cual la tasa de crecimiento para Chile considerara por Hinicio es mayor a aquella global

Los principales resultados obtenidos se resumen en la Figura 5 a continuación:

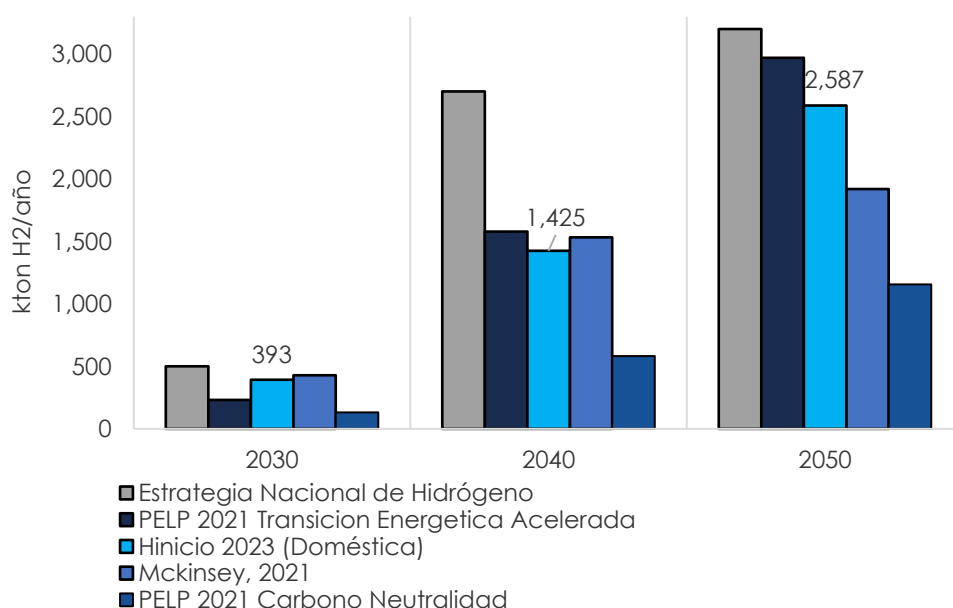


Figura 5: Proyección de demanda de hidrógeno en Chile para uso doméstico. Fuente: Elaboración propia a partir de: (Ministerio de Energía Chile, Estrategia Nacional Hidrógeno Verde, 2020); (PELP, 2021).

Según estos escenarios nacionales propuestos, la proyección de demanda local entrega valores de 393, 1,425 y 2,587 kton de hidrógeno equivalente al año, para los horizontes de tiempo 2030, 2040 y 2050 respectivamente. A modo comparativo, esta demanda equivale al 3%, 12% y 20% del consumo total de energía en Chile en las proyecciones de tiempo respectivas.

Para el cálculo de la demanda de exportación, se utilizó la demanda de exportación proyectada en la Estrategia Nacional de Hidrógeno, la cual se ajustó según los siguientes supuestos:

- La demanda al 2030 se ve impulsada por los proyectos mapeados en desarrollo y por materializarse en plazo con miras a exportación. Los proyectos considerados en este caso corresponden a aquellos con una fecha de inicio de operación cercana al 2030 y que se encuentran más avanzados. Los proyectos anunciados para los mismos años no fueron considerados debido a que considerando los tiempos de desarrollo, suministro de equipos y construcción, no se encuentra factible que estén operativos en 2030.
- Se asumió un crecimiento a lo largo de los años según la tasa de exportación sobre la importación estimada por la Estrategia Nacional.
- Se considera por tanto un crecimiento menor a corto plazo por lo incipiente del mercado, y un crecimiento más acelerado a mediano y largo plazo debido al crecimiento de mercado internacional y la evolución de las tecnologías de exportación.

Se propone entonces una proyección de demanda de exportación de 655, 3,257 y 6,900 kton de hidrógeno equivalente al año. A modo comparativo, se observa que esto correspondiente al 3%, 7% y 10% de la demanda total de hidrógeno proyectada de la UE, para los años 2030, 2040 y 2050 respectivamente (European Commission, 2022).

La proyección de demanda nacional de H₂ para uso exportación propuesta por Hinicio se presenta en la Figura 6.

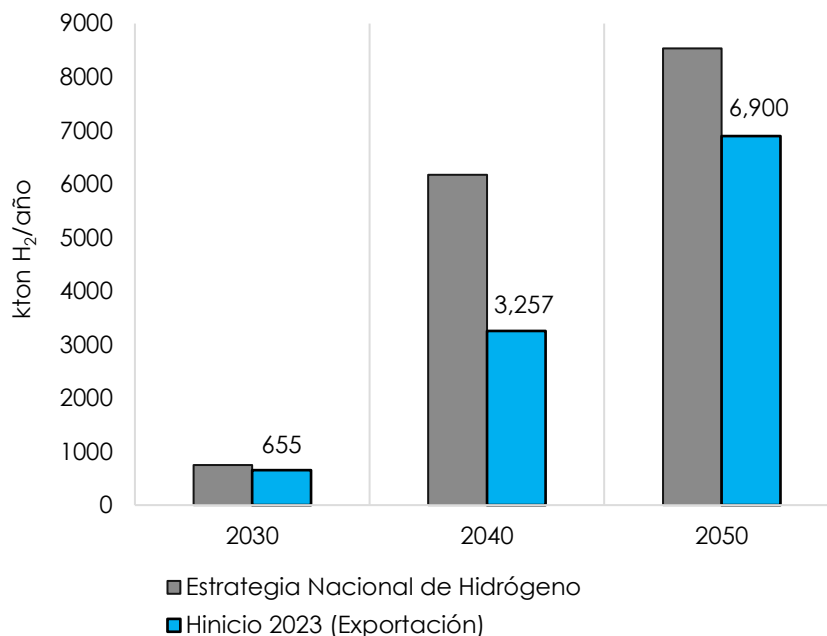


Figura 6: Proyección de demanda de hidrógeno en Chile para exportación. Fuente: Elaboración propia a partir de: (Ministerio de Energía Chile, Estrategia Nacional Hidrógeno Verde, 2020).

Para el cálculo de la demanda proyectada de hidrógeno en la Región de Antofagasta (Figura 7), se optó por una metodología similar a la de los casos anteriores, en la cual se consideró como base las estimaciones realizadas por la Estrategia Nacional y por la PELP en el escenario de transición energética acelerada, y se realizaron ciertos ajustes según se consideró necesario. Los principios clave que se siguieron para el cálculo de la demanda local y de exportación de la región fueron los siguientes:

- Para la demanda local se utilizó la proyección de la PELP sobre la energía consumida a nivel regional por electrolizadores *On grid* y *Off grid*.
- A corto plazo nuevamente se le da un mayor énfasis a aquellas aplicaciones locales para la producción de explosivos en minería, demanda que crece a lo largo de los años según proporciones de la Estrategia Nacional.
- Para la demanda de exportación se considera una penetración del 30% de Antofagasta sobre la exportación de hidrógeno y derivados a nivel nacional, considerando la gran participación de la región de Magallanes para suplir la demanda de exportación nacional de hidrógeno y sus derivados.

En el escenario proyectado por Hinicio para la región de Antofagasta (Figura 7), se observa que al año 2030 la demanda doméstica alcanza valores de 109 kton de H₂ y de exportación de 197 kton de H₂. Al año 2040 la demanda doméstica crece un 310% a 447 kton de H₂ y la de exportación casi un 400% a 977 kton H₂. Finalmente, al año 2050 la demanda doméstica alcanza las 578.9 kton de H₂ con un crecimiento de solo el 30% respecto al año anterior, mientras que la de exportación alcanza valores de 2,070 kton con un crecimiento del 212%.

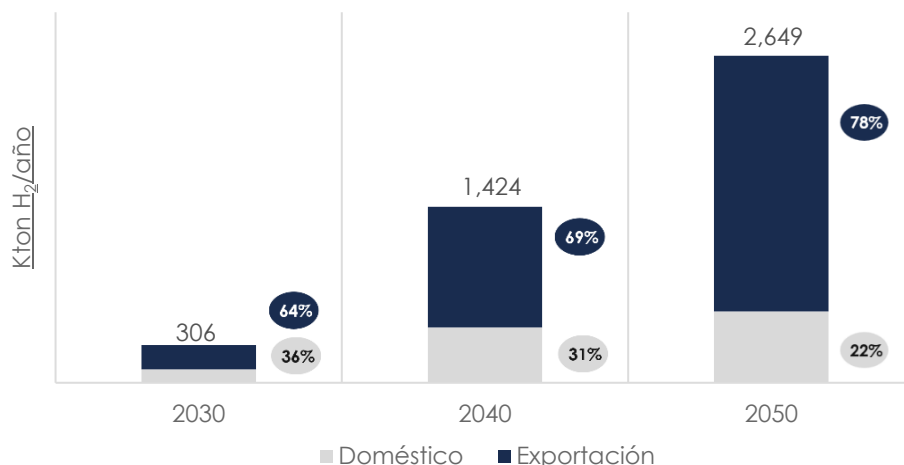


Figura 7: Proyección de demanda de H₂ y derivados para la región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados presentados se proyecta que la región de Antofagasta será mayoritariamente exportadora de H₂ bajo en carbono y de sus derivados, con más de un 60% de participación de la exportación en el total de hidrógeno a producir en esta.

Posteriormente se realizó un desglose de la demanda de la región en hidrógeno¹ y amoníaco para el horizonte temporal anteriormente descrito, considerando las características productivas de la región y los proyectos en desarrollo en esta. Para esto se consideraron las proyecciones de la Estrategia Nacional de Hidrógeno, las cuales incluyen un desglose según sea hidrógeno o amoníaco. Se consideró entonces para esta proyección:

- Ajustar las proporciones productivas según la cantidad y características de los proyectos mapeados en el capítulo anterior para la región de Antofagasta.
- A corto plazo se considera un mercado doméstico con leve predominancia del amoníaco, con penetración únicamente por el reemplazo de este en actividades mineras (explosivos), mientras que el 100% de las exportaciones corresponden a amoníaco.
- A mediano y largo plazo la demanda doméstica de amoníaco se estanca y la de hidrógeno sigue creciendo junto con el desarrollo de nuevas aplicaciones, mientras que en exportación la demanda de ambos productos crece a ritmos similares.

En la Figura 8 se observa que la demanda doméstica de Antofagasta se centra en hidrógeno como producto final, mientras que la demanda de exportación transita desde un valor de casi 200 kton de hidrógeno equivalente únicamente de amoníaco al 2030, a equipararse con la demanda de hidrógeno al 2050 con valores cercanos a los 950-1100 kton de H₂ equivalente.

¹ Hidrógeno considera derivados como metanol y combustibles sintéticos

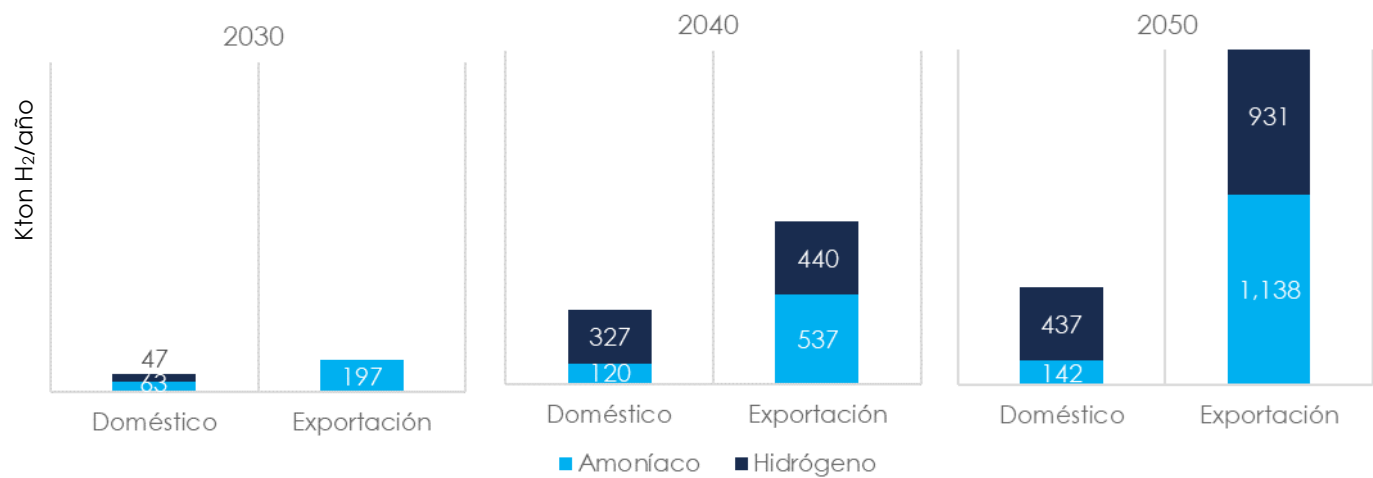


Figura 8: Desglose de demanda en H₂ y NH₃ para la región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia

3. Análisis de infraestructura existente

La región de Antofagasta, tradicionalmente conocida como una de las regiones más importantes en la producción de cobre a nivel mundial, hoy juega un papel fundamental en el desarrollo de energías renovables aprovechando la abundancia en recurso solar y eólico y su sólida infraestructura regional.

Antofagasta, la segunda región más grande de Chile, comprende tres provincias: Antofagasta, El Loa y Tocopilla. Las ciudades más importantes son la ciudad de Antofagasta, capital de la región, ubicada a unos 1100 km de Santiago, que concentra el 63.7% de la población; Calama, el corazón de la industria minera y el 25.3% de la población, ubicada a 200 km al noreste de la ciudad de Antofagasta, a una altitud de 2600 m.s.n.m.; y Mejillones, una pequeña ciudad ubicada a 60 km al norte de la ciudad de Antofagasta, donde se encuentran las principales industrias y las instalaciones portuarias.

La Figura 9 muestra la región de Antofagasta con la infraestructura eléctrica, ferroviaria, caminera y de agua de la región:

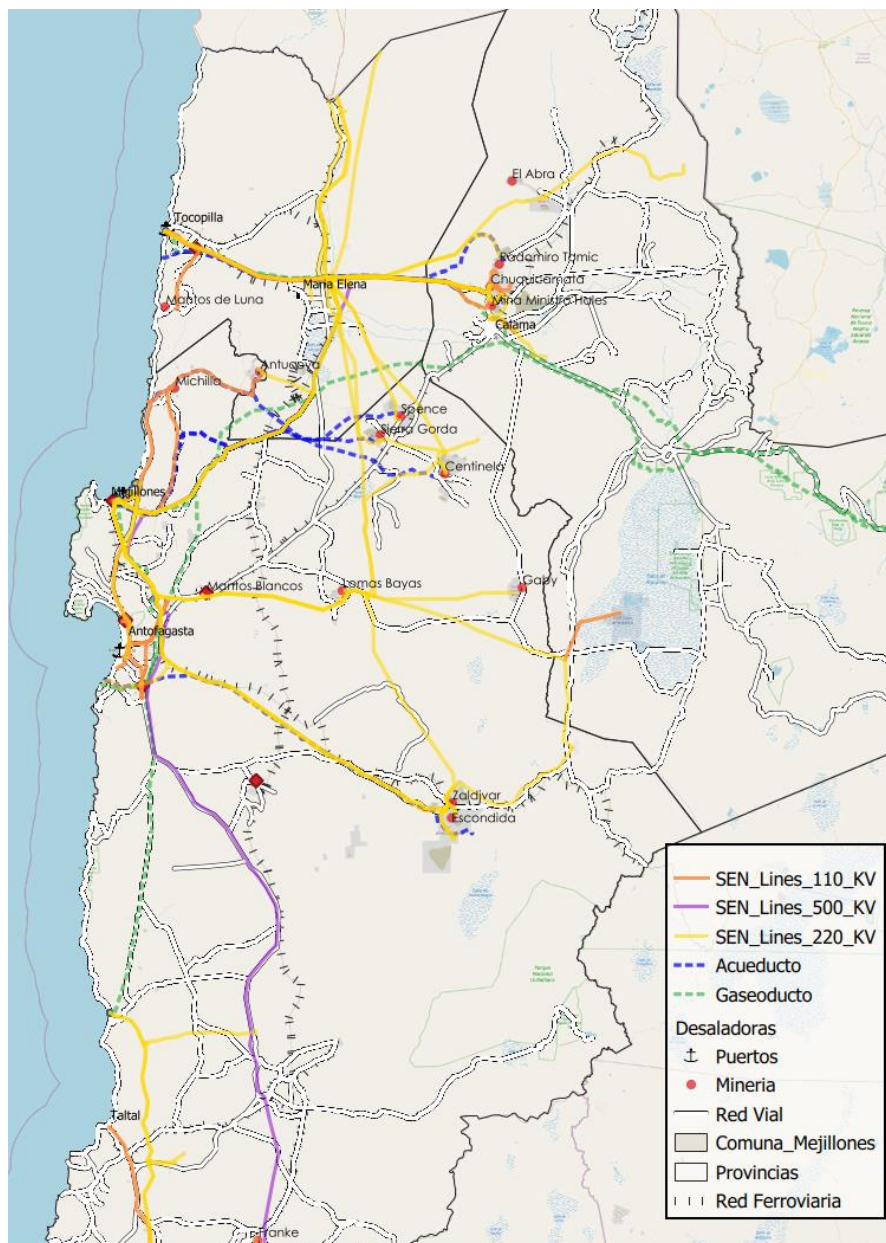


Figura 9: Mapa de la región de Antofagasta (Fuente: Elaboración propia)

3.1. Infraestructura ferroviaria

Antofagasta cuenta con una red ferroviaria que abarca de la costa a la cordillera y de norte a sur conectando Chile con Argentina y Bolivia además de la cual prestar servicios a distintos clientes industriales principalmente mineros. La red ferroviaria conecta los principales puertos de Antofagasta (ATI y EPA) y Mejillones (Puerto Angamos, Interacid, Terminal Mejillones, Puerto Mejillones y Altonorte) con los distintas industrias que están ubicadas hacia el norte en el desierto de Atacama. El transporte abarca distintos tipos de servicios destacando cargas sólidas, líquidas, a granel y envasadas en caja, tambores, maxisacos, contenedores, etc.



3.2. Infraestructura energética

La infraestructura de gas se concentra en Mejillones, donde se encuentra la planta de regasificación GNLM (GNL Mejillones). Esta región depende completamente de las importaciones de gas para satisfacer su demanda, y el uso principal es la generación de electricidad para la industria minera. El terminal de regasificación en tierra GNL Mejillones comenzó sus operaciones comerciales en 2010 y tiene una capacidad de regasificación de 5.5 Mm³ de gas por día, suficiente para producir 1,100 MW de electricidad. Para distribuir el gas, existe una red de 1,223 km de gasoductos controlados por dos compañías, Nor Andino y Gas atacama, que se extienden hacia Tal-Tal, Antofagasta, Mejillones, Tocopilla, Calama y hacia Argentina.

Es posible inyectar hidrógeno en menor cantidad en las redes de gas, pero la factibilidad técnica de esto depende de la infraestructura y estado de cada gasoducto. Junto con esto, el hidrógeno para mezcla en redes de gas no se considera un sustituto competitivo todavía, lo cual depende directamente de los incentivos gubernamentales. En noviembre de 2021 ingresó al congreso una ley de *blending* que podría actuar como impulsor de la inyección de hidrógeno en la red de gas, pero esta sigue en proceso. La ventaja de utilizar las redes de gas es que estas se encuentran en las cercanías del Parque y no se requerirían mayores inversiones para llegar a ellas, pero habrá que esperar a que esté disponible la normativa sobre estas, además de tener claridad respecto a los estudios sobre los gasoductos para establecer la factibilidad de que se realice de forma segura.

Antofagasta forma parte del sistema interconectado de distribución de energía eléctrica de Chile (Sistema Eléctrico Nacional, SEN), que comprende los antiguos sub-sistemas SING y SIC. La capacidad instalada de generación de electricidad en Antofagasta en 2017 era de 6,055 MW y se basa principalmente en combustibles fósiles, es decir, en energía generada a partir de carbón y diésel, seguida de energía solar fotovoltaica y eólica. La demanda de electricidad está dominada por el sector minero, seguido de la industria y el sector CPR (Comercial, Público y Residencial).

La región de Antofagasta cuenta con una potencia bruta máxima de generación de 7,997.83 MW, la que es producida por un total de 63 centrales de distintas tecnologías y manipulada por 207 subestaciones. Estas se encuentran distribuidas como se muestra en la siguiente figura:

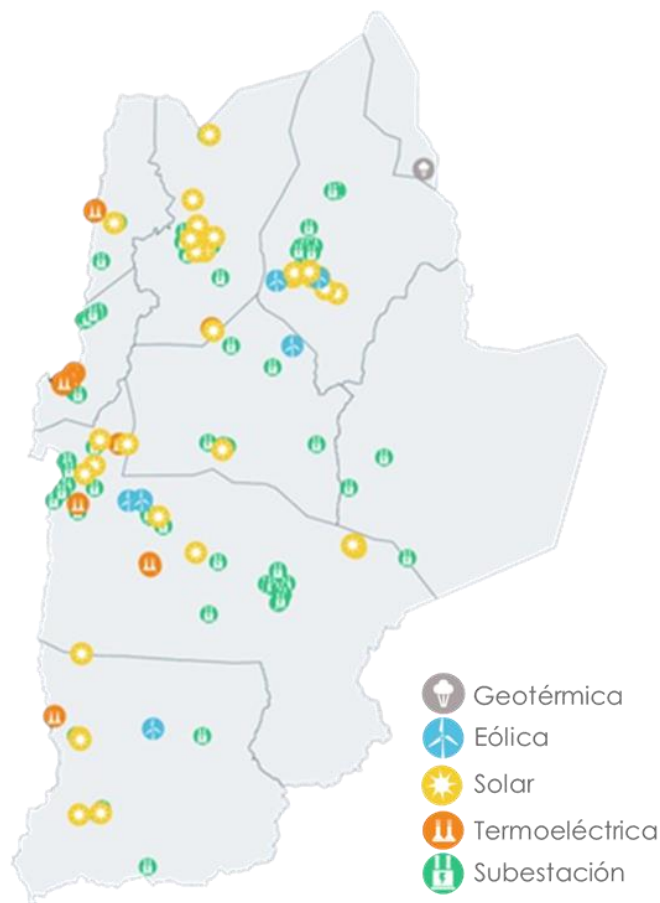


Figura 11: Distribución de plantas de generación en la región de Antofagasta

La tecnología que más destaca es la generación termoeléctrica con más de 4 GW instalados. En segundo lugar, está la energía solar (tanto fotovoltaica como de concentración), que reúne casi 2.8 GW de potencia. En tercer lugar, se encuentra la energía eólica con casi 1 GW y por último la energía geotérmica, con 100 MW (Figura 12).

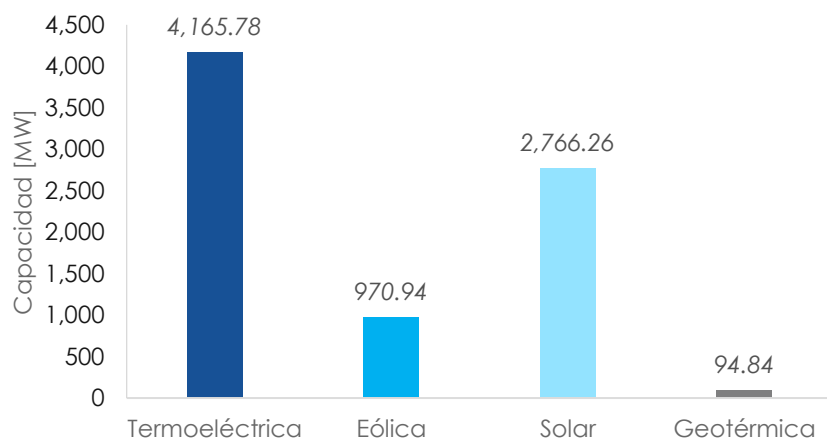


Figura 12: Capacidad instalada por tecnología en Antofagasta

Ante el aumento de generación de energía en los últimos años, y los planes de incrementar la capacidad regional de 8 a 12 GW, se han identificado congestiones en el sistema de transmisión actual producto de un exceso de capacidad instalada. Ante esto, se han confeccionado planes de expansión de las líneas. En particular, se busca aumentar la capacidad de las líneas Kimal-Crucero, Miraje-Encuentro, y Mejillones-Tap Off Desalant, lo que permitirá evitar las congestiones en el mediano plazo.

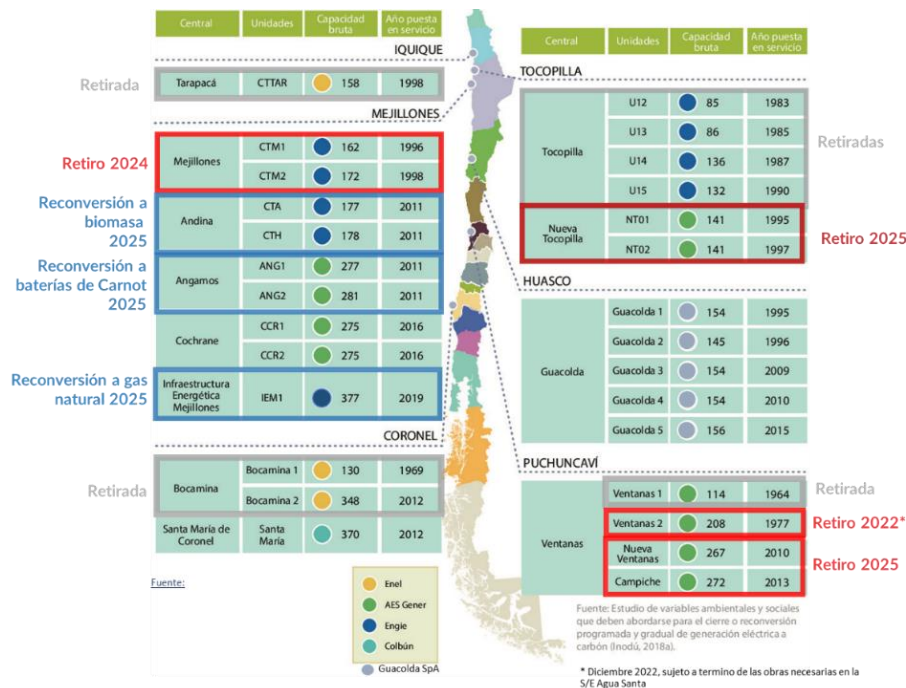


Figura 13: Plan de descarbonización del MEN

Por otro lado, para reducir las emisiones de cara a los objetivos de descarbonización planteados por el gobierno, múltiples centrales termoeléctricas de carbón han sido retiradas de la red (Figura 13). Hasta fines del 2022, 8 fueron cerradas, y se planea que al 2025 se cierren 11 más. En algunos casos, las centrales termoeléctricas cuando cese la operación con carbón serán reconvertidas, como por ejemplo la Central de Angamos, que será reconvertida a baterías de Carnot en 2025.

En total, se modificarán 2,345 MW de energía en la región, incluyendo las centrales de carbón que ya fueron cerradas y los próximos proyectos de cierre y reconversión de centrales luego del 2025.

Con la salida de operación o reconversión de centrales va a quedar infraestructura eléctrica sin uso al cual podría utilizarse para la industria de H2, principalmente subestaciones eléctricas y líneas de transmisión, sin embargo es estima que la capacidad de esta es marginal con las necesidades del Parque en el largo plazo por ende si bien podría utilizarse para algunos proyectos (1 o 2) en el corto plazo, no se estima una sinergia en el largo plazo para la infraestructura eléctrica existente.

3.3. Infraestructura de agua y desalación

En Chile hay 38 plantas operativas con una capacidad de desalinización de 8,535 l/s y una capacidad en desarrollo de 28,859 l/s. Diez de las 38 plantas operativas están asociadas a centrales termoeléctricas (405 l/s, menos del 5% de la capacidad operativa actual).

La región de Antofagasta tiene una capacidad actual de 6,603 l/s que representan el ~77% de la capacidad de Chile y se espera que sea la región con más crecimiento en Chile llegando a 19,591 l/s (esto considera el Proyecto CRAMSA de 8,000 l/s que entró al SEIA en el 2022). En la Tabla 2, se presenta el detalle de las plantas en operación en la región en base a información pública (los proyectos mapeados suman un total ~97% del total de la región).

Tabla 2: Capacidad Instalada de desalación en Antofagasta en Operación. Fuente: (Vicuña & et al., 2022)

ID	NOMBRE	ESTADO	CLIENTE	CAPACIDAD (l/s)	USO
1	Minera Sierra Gorda	Operando	KGHM International	63	Cobre
2	Distrito Centinela (Esperanza + El Tesoro)	Operando	Antofagasta Minerals	50	Cobre
3	Mantos de la Luna	Operando	Minera Mantos de la Luna	20	Cobre
4	Moly-Cop	Operando	-	4.3	Acero
5	Taltal	Operando	EPM	5	Agua Potable
6	Michilla	Operando	Halderman Mining Company S.A.	70	Cobre
7	Angamos	Operando	AES Andes	56	Industrial
8	Spence Growth Option	Operando	BHP	1,000	Cobre
9	EWS y EWSE	Operando	Minera Escondida	3,858	Cobre
10	Desaladora Tocopilla	Operando	EPM	75	Agua potable
11	Desaladora Norte Antofagasta	Operando	EPM	1,053	Agua potable
12	Mejillones Planta Hornitos	Operando	Caja Compensación Los Andes	4.34	Agua potable

13	Norgener	Operando	AES Andes	25	Industrial
14	CTT Tocopilla	Operando	ENGIE	22	Industrial
15	Minera Antucoya	Operando	AMSA	30	Cobre
16	EE Cochrane	Operando	AES Andes	56	Industrial

El uso de agua es principalmente dedicado para la producción de cobre (~64.5%), mayor consumidor de agua de la región, seguido por producción de agua potable (16.9%) y consumo de agua industrial (2.5%), el cual hace referencia al uso en centrales termoeléctricas. Sobre este último es interesante destacar que el consumo industrial es principalmente asociado a plantas desaladoras de centrales termoeléctricas las cuales van a cesar de operar en el futuro de acuerdo al plan de descarbonización. Esto trae oportunidades de reconversión de plantas termoeléctricas a plantas desaladoras utilizando los emisarios de carga y descarga de agua de los sistemas de enfriamiento actuales.

En la Tabla 2 se destaca en celeste la capacidad instalada de desalación de agua en la bahía de Mejillones, la cual asciende a 1,116 l/s.

Respecto a la disponibilidad de agua futura:

- La región tiene un pipeline de desarrollo de 19,591 l/s de los cuales el 42% es para minería, 41% multipropósito y el resto es agua sanitaria (en la Figura 5 se presentó la proyección total de H2 equivalente al 2050 para todo Chile, el equivalente consumo de agua sería de 3,000 l/s, un 15% de la capacidad en desarrollo de desalación)
- El 2022 entró al sistema de evaluación ambiental el proyecto CRAMSA que espera tener una producción de 8,000 l/s (x1.25 la capacidad actual de desalación)
- El plan de descarbonización da la posibilidad de reconvertir los acueductos existentes para la aducción y desalación de agua de mar la cual puede abastecer nuevas industrias como el la del hidrogeno o el litio.
- Las plantas desaladoras existentes de las termoeléctricas que saldrán de operación quedarán disponibles para comercializar esos volúmenes. En Mejillones con la salida de la central Cochrane y Angamos existiría capacidad disponible de 112 l/s

Además de la infraestructura disponible para desalación relacionada a las termoeléctricas, se encuentran los sistemas de captación de agua de mar para abastecer el sistema de enfriamiento del condensador de la planta, la cual podría ser reconvertida para la aducción de agua de mar para plantas desaladoras. Un ejemplo concreto, para entregar una dimensión de estos acueductos, es el del proyecto Infraestructura Energética Mejillones (IEM) para la generación térmica de 750 MW brutos. En este caso, el sistema de captación de agua está compuesto por 4 ductos de aducción de 2,500 mm de diámetro interior para conducir un caudal de 110,515 m³/h, según indica la Estudio de Impacto Ambiental presentado el 2009 por Engie ante la Comisión Nacional de Medio Ambiente en la Región de Antofagasta.

3.4. Infraestructura portuaria

La bahía de Mejillones, núcleo neurálgico del comercio marítimo en Chile, se encuentra situada 65 km al norte de la ciudad de Antofagasta. La ubicación de la bahía ofrece un acceso conveniente a las rutas marítimas globales y cuenta con múltiples terminales privados tanto como de libre acceso para manejar diversos tipos de carga, incluyendo

productos a granel sólido, líquido, contenedores y carga general. En esta área se encuentran localizados los siguientes terminales portuarios (Tabla 3).

Tabla 3: Terminales portuarios de la bahía de Mejillones. Fuente: (Vicuña & et al., 2022)

Nombre	Productos	Productos Relevantes	Tipo	Operación	Propiedad
Enaex	Graneles líquidos	Amoniaco Anhidro	Uso Privado	Operado por los propietarios.	Enaex
Oxiquim	Graneles líquidos	GLP	Uso Privado	Operado por los propietarios.	Oxiquim
Puerto Mejillones	Graneles sólidos y líquidos	Carbón, Ácido sulfúrico, Concentrados Minerales, Clinker	Privado Uso Público	Operado por los propietarios.	Puerto Mejillones SA
Puerto Andino	Graneles sólidos	Carbón	Uso Privado	Operado por los propietarios.	Puerto Mejillones SA
Interacid	Graneles líquidos	Ácido sulfúrico	Uso Privado	Operado por los propietarios.	Interacid Trading
Puerto Angamos	Contenedores, Carga General, Fraccionada, Graneles sólidos	Cobre metálico, Concentrado de Cobre, Fertilizantes, otros	Uso Público	Compañía Portuaria Mejillones	Complejo Portuario Mejillones
Terminal Graneles del Norte (TGN)	Graneles sólidos	Carbón	Privado Uso Público	Operado por TGN	Complejo Portuario Mejillones
GNL Mejillones	Graneles líquidos	GNL	Uso Privado	Operado por los propietarios.	Engie Chile, GNL Ameris IPM SpA
Michilla	Graneles sólidos y líquidos	Concentrado de Cobre, Ácido sulfúrico	Uso Privado	Operado por los propietarios.	Antofagasta Minerals S.A (AMSA)

El Complejo Portuario Mejillones S.A. (CPM), que se muestra en la Figura 14 (encerrado en color celeste), es una empresa filial de Codelco creada para consolidar un polo logístico y portuario en la bahía de Mejillones. La Compañía Portuaria Mejillones es la sociedad anónima formada por Ultramar y grupo Belfi que tiene la concesión para operar el Terminal N° 1 del Complejo Portuario Mejillones S.A. (Puerto Angamos), el cual se encuentra del lado izquierdo de la imagen, y el Terminal de Graneles Norte, ubicado al lado derecho de esta.

A nivel nacional, Puerto Angamos es la principal entrada de proyectos relacionados a la minería y desarrollo energético (eólicos y solares) y hoy se consolida como principal puerto multipropósito del norte Chile.

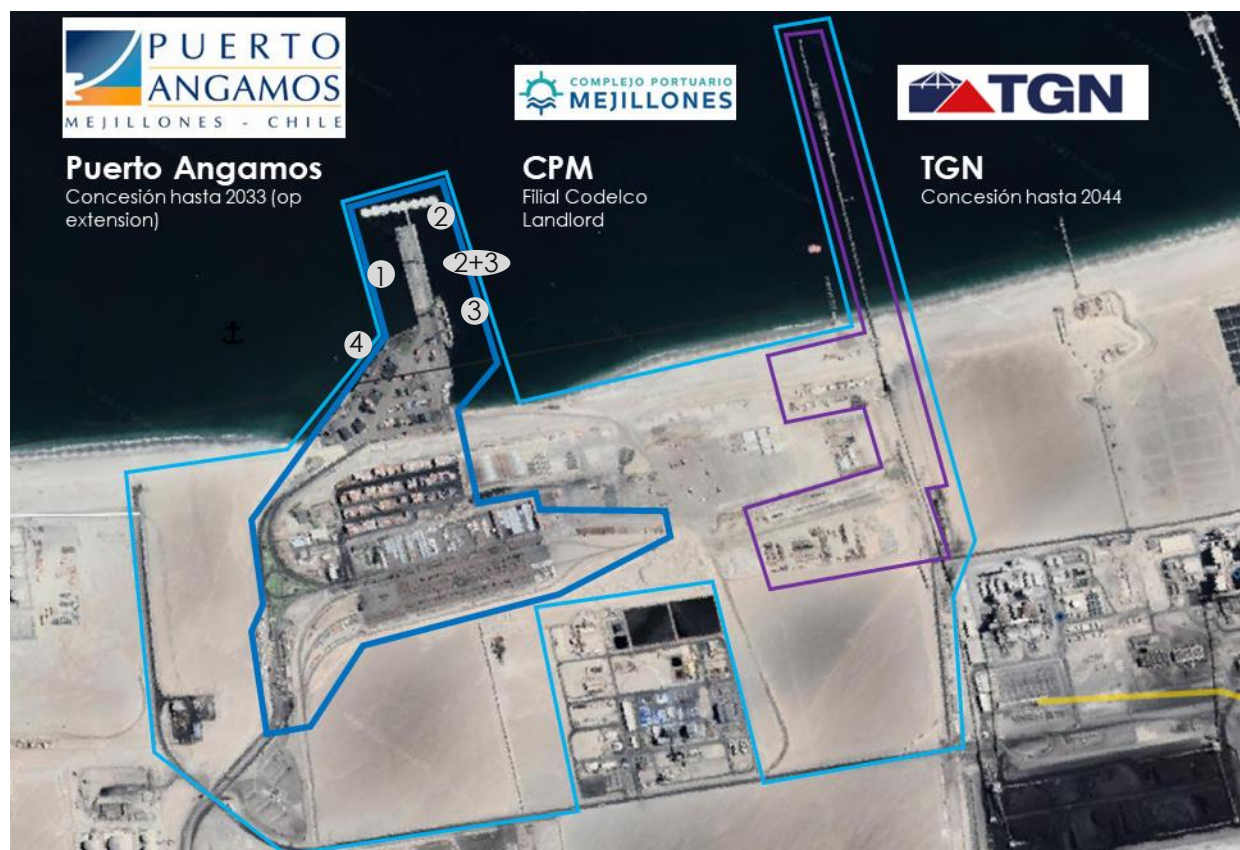


Figura 14: Instalaciones del Complejo Portuario Mejillones

El terminal multipropósito, o Puerto Angamos, consta de una plataforma de 210 m de largo que se adentra en el mar con 4 sitios de atraque (ilustrados en la Figura 14) y explanadas de apoyo a las operaciones de transferencia. Estas obras están protegidas por un rompeolas perpendicular al muelle. Durante el 2022 el terminal movió 3500 kton de carga mixta con atraque de 350 naves (máxima carga movida desde sus inicios ~4500 kton).

El terminal TGN, actualmente usado para descarga de carbón para las centrales eléctricas de AES Gener, tiene una capacidad de transferencia de 3.5 Mton anuales. Actualmente se encuentra en construcción en el lado sur de la galería un nuevo sitio de embarque para

concentrado de cobre. Debido a los planes de salida de las centrales a carbón se espera que disminuya la utilización del terminal de 70% a un 30%.

Las capacidades máximas para naves según cada terminal son:

Tabla 4: Capacidades máximas del terminal multipropósito y TGN

Terminal	Sitio	Eslora	Manga	Calado	TPM
Multipropósito	1	225	-	12.84	-
	2	220	-	13.7	-
	2+3	366	-	13.7	-
	3	200	-	10.7	-
	4	180	-	13.7	-
TGN	1	250 m	32.3 m	14.4 m	95,000 ton

Adicional a estos 2 terminales ,de acuerdo al Plan Maestro Portuario desarrollado por CPM (Figura 15) se contempla el desarrollo de 2 nuevos terminales, 1 multipropósito a ubicarse entre el terminal No.1 y TGN y un terminal de graneles líquidos a ubicarse al sur del terminal No.1. Es este último el que podría diseñarse para poder mover toda la carga proyectada de H2 y derivados de Antofagasta.

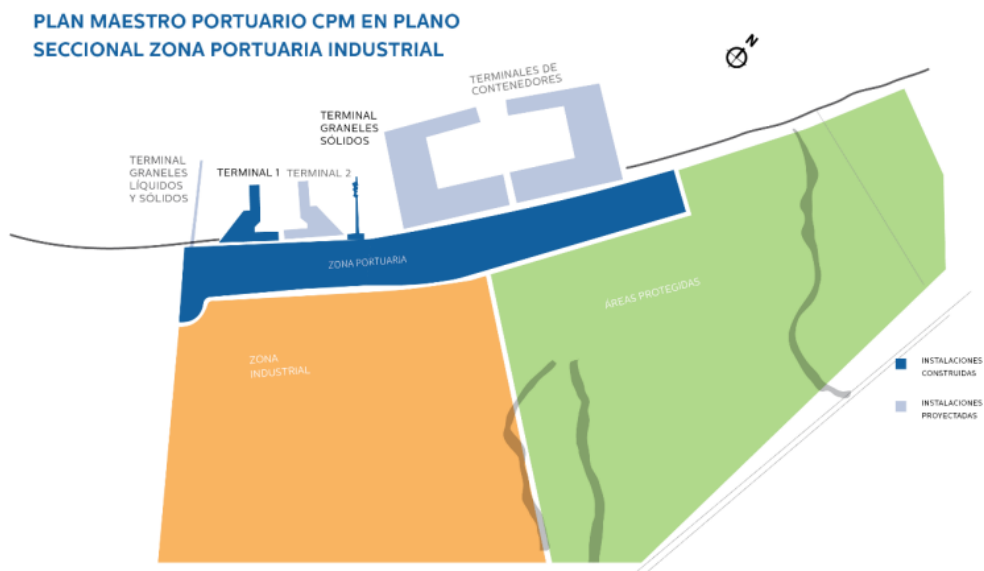


Figura 15: Plan Maestro CPM

Luego de reunirnos con Puerto Angamos para conversar sobre la perspectiva para el amoniaco nos mencionaron que la opción que se está viabilizando es la reconversión de TGN para mover graneles líquidos debido a los siguientes aspectos:

- Existe disponibilidad actual en muelle para transferencia de cargas adicionales
- La utilización del terminal va a bajar a un 30% una vez salgan de operación las centrales de AES Gener a 2025.
- La infraestructura terrestre y en muelle de TGN permite la transferencia de diversos graneles.
- Existen terrenos dentro de la concesión para construcción de zonas de almacenamiento.
- Menores niveles de inversión para un terminal de amoniaco el cual se podría viabilizar con menor cantidad de proyectos

El concepto estudiado busca prestar servicios de recepción y almacenamiento, trasvasije de producto y embarque a las naves de exportación. La recepción se realizaría por vía terrestre (tren o pipelines) y se almacenará en estanques aislados para amoniaco a -33°C , se está estudiando una capacidad de almacenamiento de 100.000 m³ en una configuración de 2x 50.000 m³ o 3 x 33.000 m³. Luego considera un sistema de bombeo y presurización con una capacidad de 2000 t NH₃/h y tuberías por puente de acceso en el muelle existente además de un sistema de recuperación de gases (BOG). El embarque se realizará mediante brazo de carga a los buques de amoniaco.

Concepto

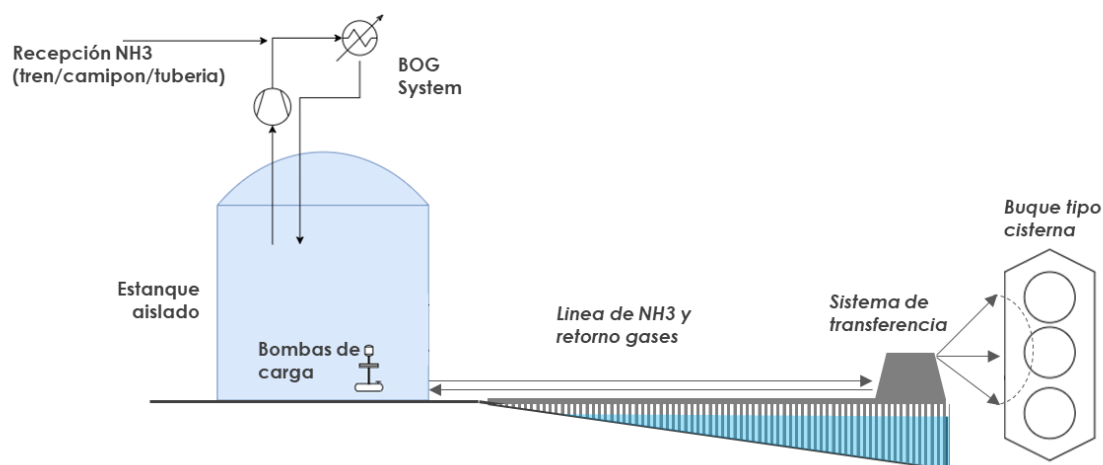


Figura 16: Diseño conceptual del terminal de amoniaco en TGN

Tabla 5: volúmenes y capacidades diseño terminal amoniaco

Capacidad anual	Capacidad de carga	Almacenamiento	Capacidad de buque
7000 kton²	2000 ton/h	2 x 50,000 m ³ 3 x 33,000 m ³	60 kton

² Puerto Angamos mencionó una capacidad teórica máxima 7 millones de ton Nh₃ al año para TGN.

Este nuevo terminal tiene que entrar al SEIA por ende se estima un tiempo total de desarrollo y construcción de unos 5 años con una inversión total de 120-150 MUSD.

Cabe mencionar, que en caso de que este sitio de atraque se congestione, existen alternativas para atender un aumento de demanda de servicios portuarios. Si esto ocurriera, un nuevo terminal adicional para estos fines puede ser construido en el sitio del terminal de graneles líquidos, a pesar de que se considera que no es la alternativa más óptima.

Para determinar si un terminal puede recibir buques criogénicos que transporten amoníaco, es necesario analizar las características de un buque tipo en términos de dimensiones. Según información interna del equipo consultor, un buque con capacidad de 38,000 m³ de amoníaco tiene unas dimensiones de 10.64 m de calado cargado y 179.87 m de eslora; mientras que un buque de 84,000 m³ de amoníaco presenta dimensiones de 11.83 m y 226.1 m respectivamente. Al considerar un buque de tamaño intermedio o cercano a estas capacidades, se esperaría que este pueda ser recibido al menos por los terminales 1,2 y 2+3, al igual que por el terminal TGN, quedando fuera de los dos primeros terminales aquellos del límite superior ya que la eslora excede el máximo permitido.

4. Análisis de localización del Parque Industrial

4.1. Análisis territorial (IPT)

Con la finalidad de destacar las zonas geográficas de la comuna de Mejillones en las que se podría emplazar el parque industrial para la producción de amoníaco verde, se realizó un análisis de los instrumentos de planificación territorial que afectan a la comuna. Para realizar el análisis se consideraron los siguientes supuestos:

1. Dentro de este análisis se comenzó por identificar la calificación industrial del Proyecto por parte de la SEREMI de Salud competente, y su incidencia en la factibilidad de emplazarlo en las zonas del área urbana de la comuna de Mejillones. La clasificación sanitaria de industrias, infraestructura y actividades de impacto similar al industrial puede ser: inofensivas, molestas, insalubres o contaminantes y peligrosas. En el caso del parque industrial se considerará que las instalaciones y operación del mismo es una actividad que será calificada como peligrosa por la autoridad sanitaria. Al mismo tiempo, la DDU 470 estableció que los proyectos que tengan por finalidad la generación de hidrógeno, independiente del proceso que se utilice para obtener ese energético, corresponden al tipo de uso Infraestructura Energética (N° 3). Es decir, se requiere un uso de suelo que permita infraestructura energética cuya calificación industrial sea peligrosa.
2. Por otra parte, el inciso tercero del 2.1.28 de la OGUC establece: En aquellos casos en que el instrumento de planificación territorial permita la actividad de industria, estará siempre admitido el emplazamiento de las instalaciones o edificaciones destinadas a infraestructura que sean calificadas conforme al artículo 4.14.2. de esta Ordenanza, en forma idéntica o con menor riesgo al de la actividad permitida. Con todo, el instrumento de planificación territorial que corresponda podrá prohibir la aplicación de este inciso dentro de su territorio. Esto quiere decir que si el Instrumento de Planificación Territorial (IPT) no prohíbe el uso de infraestructura o no limita su uso, éste se encuentra permitido por asimilación al uso Actividad productiva (que comprende todo tipo de industrias), y se ajusta, en cuanto a su calificación industrial, a lo señalado en el IPT para el uso de suelo de Actividades Productivas.
3. Los instrumentos de planificación territorial que regulan la zona urbana y rural, Macro Zona de aquí en adelante, de la comuna son:
 - Ordenanza Plan Regulador Comunal del Puerto y Bahía de Mejillones
 - Ordenanza N° 33 11/Nov/2000 Plan Regulador del Puerto y Bahía de Mejillones
 - Modificación Zona Consolidada y portuaria
 - Plan Seccional Pequeña Industria Mejillones
 - Plan Regulador Intercomunal Borde Costero Región de Antofagasta (PRIBCA)
 - Plan Seccional Costanera Sur
 - Plan Seccional Meseta Mejillones
4. La Macro Zona que se muestra destacada en amarillo en la Figura 17 corresponde a la zona urbana de la comuna de Mejillones, se encuentra debidamente conectada por vía terrestre y por el complejo portuario de Mejillones por vía marítima. El Aeropuerto más cercano en el que operan vuelos comerciales corresponde al Andrés Sabella de Antofagasta, el cual se localiza a 34 km de distancia.



Figura 17: Macro Zona. Fuente: (González Cruz Abogados, 2023).

Junto con esto, se analizaron parámetros como el tamaño del Parque y el distanciamiento de las plantas según su calificación correspondiente.

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones ("OGUC") hace referencia a la calificación de "establecimientos industriales" en base a criterios que atienden a los riesgos que su funcionamiento pueda causar a los trabajadores, vecindario y comunidad, sin establecer parámetros sobre sus dimensiones y sin restricciones referidas a un número máximo de establecimientos que tengan aquella calificación industrial. Sumado a lo anterior, las actividades propias de la operación de los proyectos de elaboración de amoníaco verde, en atención a sus procesos usuales, se califican generalmente como peligrosas, y no como contaminantes (Circular B32 de 2020 del Ministerio de Salud).

En cuanto a distanciamientos entre plantas, estos se encuentran principalmente establecidos en consideración a las instalaciones que en definitiva el Proyecto considere, principalmente para el almacenamiento de sustancias peligrosas y manejo de residuos peligrosos. Aquellas exigencias y limitaciones de distanciamientos se encuentran reguladas en el DS 43/2016 (Reglamento de Almacenamiento de Sustancias Peligrosas) y DS 148/2003 (Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos), ambos del Ministerio de Salud. De esta forma, los distanciamientos específicos dependerán finalmente de las características de las instalaciones que se definan para cada planta que conforme el parque industrial. Lo anterior, podría verse afectado en caso de que la normativa se modifique a futuro en específico para proyectos de productivos de la índole del Parque Industrial.

Para llevar a cabo el análisis territorial se clasificaron las zonas estudiadas en dos grupos:

- a) **Zonas aptas para el parque industrial:** aquellas zonas (Figura 18) en las que el parque

industrial podría ser construido y operado de acuerdo al uso de suelo que tienen en los distintos instrumentos de planificación territorial mencionados anteriormente. Estas zonas permiten actividades productivas peligrosas, y el IPT no limita el uso de infraestructura en este lugar, por lo que el uso de suelo Infraestructura, incluyendo la infraestructura energética, es admitida. En esta clasificación se encuentran las siguientes zonas, que se describen con detalle en el Anexo 1:

- **Zona U-4:** esta zona cuenta con una superficie aproximada de 600 hectáreas y está destinada a usos industriales, bodegaje, acopio y almacenamiento, principalmente. Permite el desarrollo de la industria y el bodegaje peligroso.
- **Zona U-6:** esta zona cuenta con una superficie aproximada de 850 hectáreas y se encuentra al sur de la zona U-4, y con capacidad para recibir el crecimiento en extensión previsto exclusivamente de equipamiento para la industria. Permite el uso de suelo para equipamiento de apoyo para la industria y el bodegaje peligroso.
- **Zona Industrial Mixta (ZIM):** esta zona aumenta las posibilidades de tres escalas de inversión, dos de ellas son: la escala mayor, las de parques industriales privados o públicos, puertos secos y/o incubadoras tecnológicas; en la escala media, inversiones de fábricas, industrias o productoras de bienes y servicios en todas sus categorías de impacto y escala.



A. Zona U-4.



B. Zona U-6



C. Zona Industrial Mixta (ZIM)

Figura 18: Zonas aptas para el parque industrial. Fuente: (González Cruz Abogados, 2023).

- b) **Zonas no aptas para el parque industrial:** si lo que se pretende es la producción de Hidrógeno, necesitamos un uso de suelo que permita infraestructura energética cuya calificación industrial sea peligrosa. La Zona ZP1 establece como uso prohibido

la infraestructura energética, razón por la cual no es admitida en ninguna de sus calificaciones industriales

- **Zona Portuaria 1 (ZP 1):** esta zona se encuentra en el sector norponiente del área portuaria. Es un área específica de recintos portuarios y las actividades asociadas, como el atraque, embarque, descarga y transferencia de carga calificadas como peligrosa, molesta e inofensiva. Se prohíben todas las actividades industriales y aquellas de impacto similar al industrial, calificadas como insalubres o contaminantes. Se prohíben todas las edificaciones o instalaciones de infraestructura de transporte aéreo, infraestructura sanitaria y energética.



Figura 19: Zona ZP 1 no apta para el parque industrial. Fuente: (González Cruz Abogados, 2023).

- c) **Zonas no aptas, pero convenientes para el parque industrial:** actualmente el parque industrial no puede ser construido en ellas por el uso de suelo con el que cuentan, que es determinado en los instrumentos de planificación territorial mencionados anteriormente. Sin embargo, son atractivas por su tamaño y por su ubicación, que es lejana a centros de concentración urbana y se encuentran inmediatamente detrás de terminales portuarios. Para que estas zonas (Figura 20) puedan ser utilizadas para el desarrollo del parque industrial se requiere una modificación del actual Plan Regulador Comunal de Mejillones. En esta clasificación se encuentran las siguientes zonas, las que se describen con detalle en el Anexo 1:

- **Zona Área Portuaria (ZAP):** corresponde al sector sur poniente del área portuaria y se concibe como de apoyo a esta actividad. Esta zona prohíbe las actividades industriales clasificadas como peligrosas y se prohíben las instalaciones o edificaciones del uso infraestructura. Esta zona tiene un tamaño aproximado de 1,060 hectáreas, tiene una excelente conectividad vial y actualmente se encuentra alejada de cualquier centro habitado, por lo que se destaca como una zona idónea para el proyecto.
- **Zona Área Portuaria (ZP 2):** corresponde a los territorios posteriores al sector portuario y se concibe como de apoyo a esta actividad. Esta zona prohíbe las actividades industriales clasificadas como peligrosas, pero destaca como idónea para el proyecto por su ubicación y tamaño de 1,130 hectáreas, aproximadamente.

Es importante mencionar que existe el riesgo de que estas zonas hayan sido altamente requeridas por los proyectos de hidrógeno verde que fueron objeto de

una licitación (aún en curso) en el contexto del proyecto “Ventana al Futuro” convocada por el Ministerio de Bienes Nacionales (BBNN). Se considera lo anterior como un potencial riesgo ya que existe la posibilidad de que al ir a solicitar un terreno amplio existan solicitudes previas y ciertas áreas consideradas para el proyecto no se encuentren disponibles. Aun así, puede también ser una oportunidad en caso de que los proyectos ya ubicados previamente en este terreno deseen formar parte del Parque Industrial, lo cual es difícil de prever. Por otra parte, no se descarta que existan otras concesiones de uso oneroso u otros derechos actualmente vigentes. Los riesgos expresados en este párrafo deberán ser descartados realizando el respectivo estudio de títulos.



Figura 20: Zonas no aptas pero convenientes para el desarrollo del parque industrial, Fuente (González Cruz Abogados, 2023).

Por otra parte, en la zona urbana de Mejillones, existen importantes áreas afectadas con trazados de redes (líneas eléctricas, gasoductos, acueductos, Ferrocarril). Es importante considerar estos trazados, tanto por lo que contribuyen al diseño del parque industrial como por lo que podrían afectar. Aun cuando su cercanía facilita la conexión del proyecto a esas redes, dificulta el hecho de que estas redes limitan el uso del suelo porque lo fragmentan. En la Figura 21 se muestra el emplazamiento de los principales trazados de redes de infraestructura. El detalle de cada trazado se encuentra en el Anexo 1.

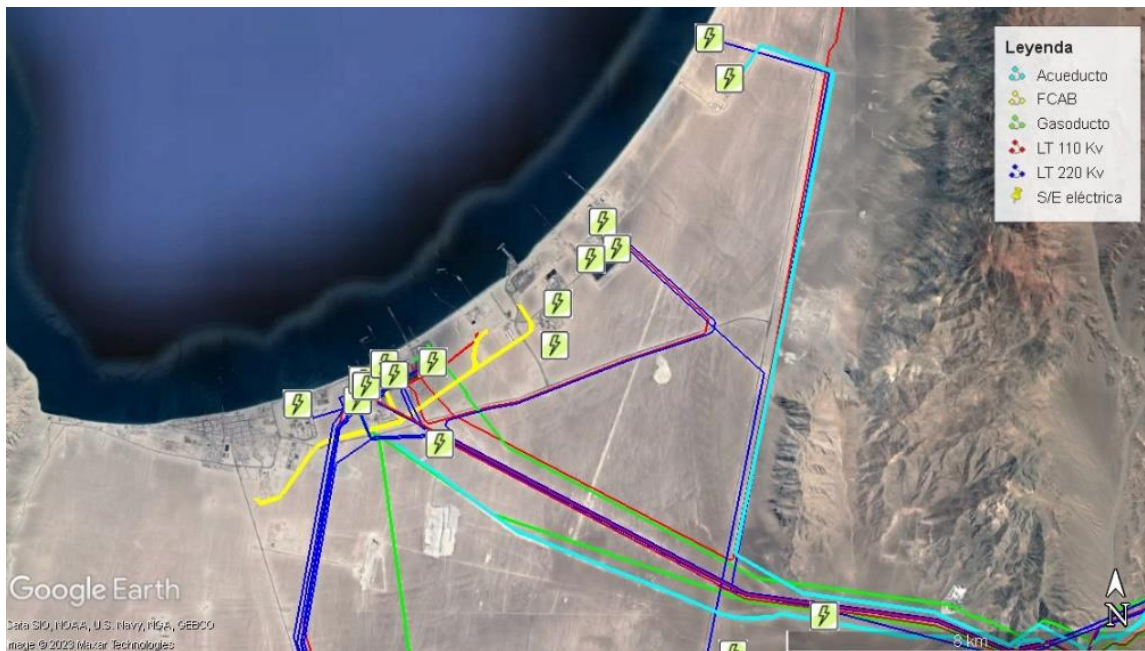


Figura 21: Trazados de redes zona de Mejillones. Fuente: (González Cruz Abogados, 2023).

4.2. Alternativas de localización

Al realizar el análisis de las zonas mencionadas, considerando la clasificación de las zonas y los trazados, se concluye que dependiendo del tamaño del parque industrial, en cualquiera de las zonas clasificadas como aptas es posible ejecutar el proyecto. En cuanto a las que actualmente son clasificadas como no aptas, las zonas ZAP y ZP2 presentan grandes ventajas debido a su ubicación, conectividad y tamaño.

Además de las zonas mencionadas, fuera del área urbana existen zonas con terrenos importantes que se encuentran disponibles, los cuales son regulados por el plan intercomunal del borde costero de Antofagasta, PRIBCA. Este plan permite la instalación de plantas de producción de hidrógeno verde, ya que son consideradas infraestructura energética, pero no sucede lo mismo para el caso de las plantas de amoníaco verde. Junto con esto es importante recordar que en el área urbana de Mejillones, existe una alta demanda de terrenos para proyectos de H_2 y NH_3 por el proyecto "Ventana Futuro", además de otros proyectos industriales, por lo que podrían no haber terrenos disponibles para la ubicación del Parque. Aun así, posible "unirse" o acoplar estos proyectos de H_2 y sus derivados ya previstos, al igual que las industrias existentes, para que formen parte del Parque y poder ubicarlo en la zona. La información mencionada se debe recabar ante el Ministerio de Bienes Nacionales (MBN) y el Conservador de Bienes Raíces, y se debe tener presente para evitar gestiones complicadas relacionadas con estos terrenos. Dentro de poco tiempo se debiesen dar a conocer los lugares en los que el MBN emplazará dichos proyectos y según eso se deberán tomar acciones.

En el caso de que la extensión del parque industrial excediera de lo disponible en Mejillones, siempre es posible su localización fuera del área afecta por el PRIBCA, lo que facilita la obtención de permisos sectoriales y disminuye la demanda por el uso de suelo en BBNN. Para eso será importante conocer y tener en cuenta las redes de infraestructura de esos lugares. Por otra parte, actualmente existe un área verde en la bahía de Mejillones,

destinada a la protección del Gaviotín Chico, ave protegida. Aun cuando es posible la modificación de esa área verde, se deben tener presente las concesiones que el MBN entregó a la Fundación para la protección del Gaviotín, que abarcan buen parte de dichas áreas.

En el caso de las zonas no aptas que requieren modificaciones en el Plan Regulador Comunal de Mejillones, es importante considerar que según la información disponible en portales públicos de la Municipalidad y MINVU y otros de noticias, la modificación del Plan Regulador Comunal de Mejillones, si bien está anunciada, aun no comienza con la elaboración de la imagen objetivo a que se refiere el art. 28 OCTIES de la LGUC. Tampoco se ha comenzado con el estudio ambiental estratégico (EAE) de conformidad al art. 7 bis de la ley 19.300. Por lo anterior no es posible aun conocer el anteproyecto.

Debido a la cercanía al puerto, extensión y accesibilidad se selecciona para el análisis de dimensionamiento e infraestructura el área ZAP, de aproximadamente 1,000 hectáreas, según presentado en la Figura 20.

5. Dimensionamiento del Parque Industrial

5.1. Dimensionamiento preliminar

En el presente capítulo se detallará la metodología para el dimensionamiento del Parque Industrial H2 Mejillones, y se presentarán los principales resultados de este proceso. A continuación se muestra un resumen de los pasos que se siguieron para llevar esto a cabo:

- **Análisis de demanda de Antofagasta:** Se comenzó por realizar un análisis de la demanda de hidrógeno y derivados en la Región de Antofagasta, el cual se presentó en [capítulos anteriores](#).
- **Estimación de la producción del Parque Industrial H2 Mejillones:** A partir del análisis de demanda realizado anteriormente, se continua identificando la participación de Mejillones en la producción regional de hidrógeno y derivados, para determinar la producción proyectada del Parque Industrial. A la vez, se definen dos categorías de proyectos a ubicarse en este según la fuente de generación de energía utilizada, ya sea esta únicamente solar o solar y eólica, asignando un porcentaje de participación a cada uno.
- **Dimensionamiento de del parque industrial:**
 - A partir de los dos tipos de proyectos de generación definidos, se comienza por identificar las capacidades productivas del parque y la capacidad de electrólisis necesaria para este.
 - Se calcularon las dimensiones y el área estimada del Parque Industrial:
 - Se considera la participación dentro del Parque de proyectos de amoníaco para exportación y consumo local, de hidrógeno para consumo local, y de otros derivados como el metanol y SAF para la exportación de hidrógeno.
 - Se considera almacenamiento de hidrógeno como buffer dentro del Parque para lidiar con la variabilidad del recurso renovable. Además, se incluye almacenamiento de derivados de hidrógeno como buffer según estime necesario cada proyecto en su sitio, lo cual se asignó a partir de un buffer en el dimensionamiento.
 - Se considera que dentro del Parque se instalarán industrias y servicios adicionales, con el objetivo de aprovechar las sinergias.
 - Para los derivados de exportación, los estanques de almacenamiento se encontrarán en la zona de terminales cercana al puerto, fuera del Parque Industrial.
 - Por último, La metodología y los principales resultados obtenidos en cada paso se detallarán en los próximos capítulos.

5.1.1. Análisis de demanda de Antofagasta

En el capítulo 2.2.2. *Demanda de hidrógeno y amoníaco*, se presentó el análisis de la demanda proyectada de hidrógeno bajo en carbono y derivados para la región de Antofagasta, con un desglose según sea demanda para consumo local o exportación. La demanda total de Antofagasta para el año 2050 se proyecta por el equipo consultor en 2,649 kton de hidrógeno equivalente, donde los principales resultados de este análisis se resumen en la Tabla 6.

Tabla 6: Proyección de demanda de hidrógeno y derivados de la región de Antofagasta

Demanda	Unidad	Consumo doméstico	Exportación	Total
Hidrógeno	ktpa H2	437	931	1,368
Amoníaco	ktpa H2 equivalente	142	1,139	1,281
Total	ktpa H2 equivalente	579	2,070	2,649

5.1.2. Estimación de la producción del Parque Industrial H2 Mejillones

El dimensionamiento del Parque Industrial H2 Mejillones se llevó a cabo a partir del análisis de demanda proyectada al 2050 para la región de Antofagasta. Para esto, se consideró que la producción del parque industrial en este horizonte de tiempo supliría la totalidad de la demanda de la región, tanto para consumo local como para exportación. Se considera este supuesto como un escenario optimista y considerando que el parque a futuro podría albergar otras plantas de derivados indirectos y otros servicios, que obtengan beneficios de la infraestructura y sinergias del Parque. De esta forma, se considera que el dimensionamiento se realiza según el equivale al máximo **total potencial que podría alojar el Parque Industrial**.

Mejillones se presenta como una zona con múltiples oportunidades y beneficios que le permiten posicionarse como el *hub* de la región: infraestructura clave existente, geografía apta para la escalabilidad de los proyectos, y localización óptima debido a su cercanía a múltiples industrias, al puerto y al sector minero, asegurando la demanda y a la vez permitiendo la creación de sinergias entre estos y el parque. Se espera por tanto el desarrollo de industrias vinculadas en la zona que se apalanquen de esta industria de hidrógeno y de los derivados químicos. Además, al incentivar la creación del Parque Industrial H2 Mejillones desde etapas tempranas, se logra crear tracción hacia otros proyectos e industrias para acentuarse en esta zona, impulsando a que sea el parque quien supla la totalidad de la demanda de la región a largo plazo.

Para el dimensionamiento del Parque Industrial, se consideraron dos tipologías de proyectos: el primero consta de generación en su totalidad a partir de energía solar, y el segundo complementa la generación con energía solar y eólica, representando el 70% y el 30% de los proyectos a largo plazo respectivamente. La racionalidad de la selección viene dado principalmente a:

1. La región se caracteriza por su alto potencial solar sin embargo existen zonas de alto potencial eólico (existen varios proyectos eólicos en desarrollo en la zona de Taltal y Calama)
2. La complementariedad solar y eólica benefician la producción de hidrógeno aumentando el factor de carga del electrolizador
3. Existen proyectos en desarrollo de ambas configuraciones.

Para cada tipología se presentan ratios para estimar la cadena de valor los cuales son genéricos y representan un rendimiento estimado en base a perfiles promedios.

El Proyecto de tipo 1 contempla la producción *off-grid* a partir de un parque fotovoltaico (Figura 22), produciendo electricidad e hidrógeno durante el día para producir amoníaco y cargar el almacenamiento de hidrógeno el cual suministra hidrógeno durante la noche. Para esto existe un sobredimensionamiento del suministro renovable y de electrolizadores lo que permite sobre producir hidrógeno en periodos de alto recurso renovable.

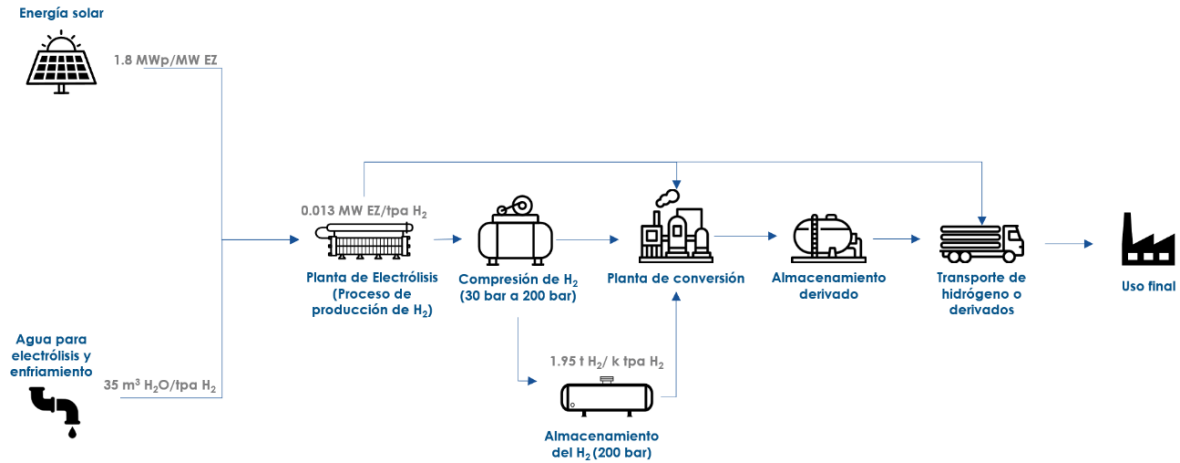


Figura 22: Esquema de proyecto tipo 1 a partir de energía solar. Fuente: Hinicio.

Por otro lado, el restante de los proyectos se compone por generación híbrida solar y eólica, lo cual permite aumentar el factor de utilización de los equipos debido a la complementariedad de ambas fuentes energéticas. Al igual que el otro existe también almacenamiento de hidrógeno bajo el mismo principio. La Figura 23 esquematiza un proyecto de tipo 2, en el cual se presentan la utilización de los equipos respectivos.

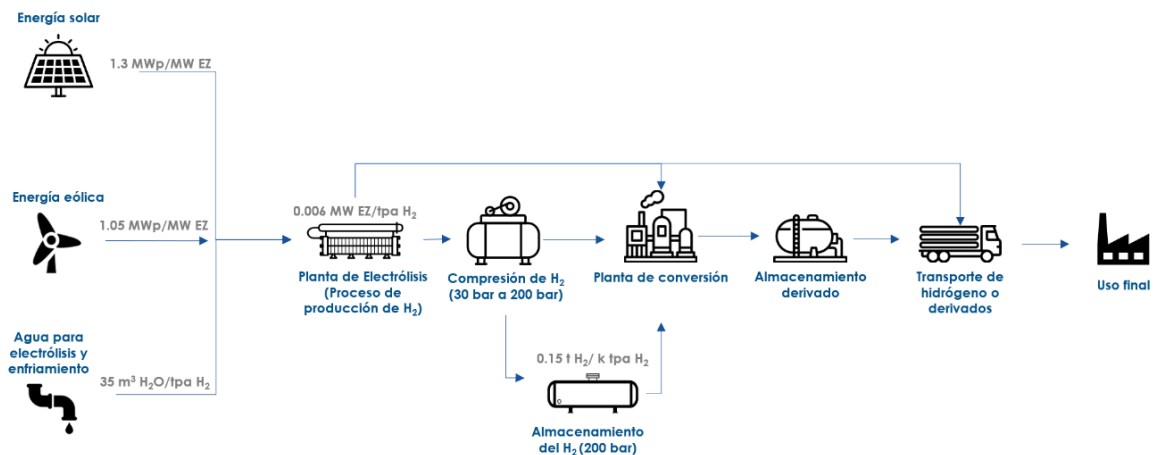


Figura 23: Esquema de proyecto tipo 2 a partir de energía solar y eólica. Fuente: Hinicio.

5.1.3. Dimensionamiento del Parque Industrial

Capacidades productivas del Parque

Para el cálculo de las capacidades estimadas del Parque Industrial al 2050 se consideró una producción proyectada de 2.65 Mtpa de hidrógeno equivalente, junto con las dos tipologías de proyectos de generación y las respectivas utilidades de los equipos en cada uno. A partir de esta información se dimensiona la capacidad de electrólisis necesaria para alcanzar la producción proyectada del Parque, obteniendo un total de 28.3 GW de electrólisis.

Con el objetivo de profundizar sobre la capacidad productiva del Parque según compuesto, se busca identificar las características de los proyectos que se albergarán en este. Se comienza entonces por utilizar el desglose de la demanda de hidrógeno y amoníaco de la región de Antofagasta (Tabla 6) para consumo doméstico y exportación, el cual corresponde también al detalle productivo del Parque Industrial, ya que se considera que este suplirá la totalidad de la demanda de la región. El mayor desafío se identifica en el hidrógeno para exportación que requiere ser transportado a largas distancias mediante vía marítima, el cual presenta múltiples inconvenientes en términos económicos y técnicos:

- Dada las tecnologías existentes y sus proyecciones, los principales métodos para el transporte de grandes volúmenes de esta molécula son mediante su forma líquida o comprimida. Sin embargo, para el desarrollo de una economía madura de hidrógeno en un futuro, ninguna de estas tecnologías se prevé que sea la más económica o eficiente para realizar esta tarea (OIES, 2022).
- El transporte de hidrógeno comprimido se realiza generalmente mediante tuberías (las cuales no son factibles a nivel transoceánico) o por *tube trailers* de pequeña y mediana escala con capacidades limitadas. Este transporte también se proyecta pueda ser realizado por grandes embarcaciones, pero debido a las bajas capacidades volumétricas del hidrógeno comprimido, se reduce significativamente la cantidad de hidrógeno a transportar en comparación con el hidrógeno líquido en el mismo espacio, lo cual sumado al tamaño e infraestructura especial requerida para mantener la presión adecuada desencadena un alto costo de transporte.
- El transporte de hidrógeno líquido requiere de bajas temperaturas (-253°C) para alcanzar y mantener la licuefacción del hidrógeno, lo cual conlleva a altos costos energéticos y por ende monetarios del proceso. Al mismo tiempo el hidrógeno líquido presenta pérdidas termodinámicas significativas a lo largo del proceso, generadas por el *boil off* o pérdida por evaporación del hidrógeno, lo cual se ve acentuado dadas las grandes distancias a recorrer.
- Ante los desafíos presentados anteriormente, se está prestando especial atención en otras formas de transportar hidrógeno, principalmente basadas en los derivados de este, las cuales se estima sean potencialmente más óptimas en términos energéticos y económicos. Los derivados como metanol, amoníaco y keroseno llevan un largo tiempo siendo transportados a nivel transoceánico, no presentando un mayor desafío en su manejo y transporte, por lo que se los consideran una alternativa prometedora para estos fines.

Por estas razones, el hidrógeno a producir en el Parque que tenga como fin último la exportación, se caracterizó en sus derivados metanol y SAF (*Sustainable Aviation Fuel*), los cuales se proyecta sean unos de los más demandados en conjunto con el amoníaco. Estos tres compuestos serán exportados utilizando las instalaciones del puerto de Mejillones, contando con almacenamiento respectivo en el área del complejo portuario. Lo anterior, ya que la distancia entre el almacenamiento y buque debe ser mínima debido a las altas

velocidades de carga y las condiciones de almacenamiento (en el caso de amoníaco a -33°C), ya que el tener estanques intermedios va a requerir líneas aisladas y encarece la solución. Si cada proyecto lo estima necesario podría considerar almacenar NH_3 en su sitio, sin embargo va a depender de los requerimientos específicos de cada proyecto (además podría afectar distancias mínimas entre los sitios).

En cuanto al hidrógeno y amoníaco dedicado al consumo local, se propone sean transportados vía terrestre en vehículos, por ferrocarril o por tuberías, según se estime conveniente, para consumo por aquellas industrias cercanas y del sector minero de la zona. En términos de almacenamiento dentro del parque se realiza un dimensionamiento del mismo para el hidrógeno, con el fin entregar un buffer a las plantas productivas y para suplir la demanda local, considerando la variabilidad del recurso renovable.

En cuanto al almacenamiento de amoníaco doméstico y otros derivados, como se dijo anteriormente este dependerá de las características del proyecto, y puede situarse dentro del Parque si se considera necesario. Para esto, se considera un buffer de dimensionamiento adicional asignado al terreno de cada proyecto, el cual puede ser utilizado para estos fines y para el resto de la infraestructura requerida, tal y como se explicará posteriormente. Además, es posible el uso de las capacidades de almacenamiento de los potenciales *offtakers* de la zona, los cuales generalmente ya cuentan con instalaciones para esto.

El desglose de la producción de hidrógeno y derivados del parque se presenta en la Tabla 7 a continuación, acompañado de la capacidad de almacenamiento que debe considerarse en el parque para hidrógeno:

Tabla 7: Resumen de las capacidades del Parque Industrial H2 Mejillones.

Producción	Unidad	Total Parque Industrial
Capacidad electrólisis	GW	28.3
Producción de Hidrógeno	ktpa H_2	437
Producción de Amoníaco	ktpa NH_3	7,155
Producción de otros derivados	ktpa H_2 equivalente	931
Almacenamiento de hidrógeno	kt H_2	3.7

Dimensiones y áreas estimadas del Parque

El dimensionamiento geográfico de las plantas de hidrógeno para consumo local y las de amoníaco, se realiza a partir de *footprints* estimados por el equipo consultor de plantas promedios con estos fines. Para las plantas del hidrógeno destinado a exportación que será convertido dentro del Parque y comercializado como metanol y SAF, se utiliza un supuesto grueso de los espacios requeridos de una planta de conversión promedio de estos productos.

A partir de esto se definen *land footprints* de las plantas de hidrógeno, amoníaco, y otros derivados, con información proveniente de bases de datos internas de Hinicio, los cuales se resumen en la Tabla 8.

Tabla 8: *Footprint unitarios promedio de plantas tipo del Parque Industrial (Fuente: Hinicio).*

Módulo	Unidad	Footprint unitario
Planta de hidrógeno	m ² /MW	65
Planta conversión amoníaco (incluye ASU)	m ² / tpa NH ₃	0.06
Planta conversión otros derivados	m ² / tpa H ₂ equiv.	0.17
Almacenamiento de H ₂	m ² / t H ₂	135

Utilizando la información contenida en la tabla anterior, es posible estimar a groso modo la ocupación de suelo de una planta tipo de producción de hidrógeno, amoníaco, y otros derivados como el metanol y SAF. En el caso de las plantas de hidrógeno, el *footprint* incluye las subestaciones y transformadores, el sistema de tratamiento de agua y el sistema de enfriamiento; mientras que la planta de amoníaco incluye el sistema de captación de aire para obtención de nitrógeno.

En este contexto y a modo de ejemplo, la configuración de una planta de producción tipo 1 con una capacidad productiva anual de 1 Mton de amoníaco, que es lo mismo que 0.18 Mton de hidrógeno equivalente, implicaría 2.3 GW de electrólisis y 4 GW de capacidad solar instalada, y tendría un *footprint* de 26 ha.

Aun así, estos dimensionamientos consideran únicamente el *footprint* del equipamiento principal de las plantas, siendo necesario considerar una holgura adicional que permita la distancia entre las mismas (según lo especificado en 3.1, donde el distanciamiento en específico requerido depende del diseño de cada planta), la existencia de espacio en el sitio en caso de requerir almacenamiento de derivados como buffer, y la existencia de caminos y de otros servicios necesarios (e.g. logísticos, de operación y mantenimiento, entre otros). Del espacio total del Parque 2/3 se utilizaran para proyectos Power-to-X de los cuales el *footprint* del equipamiento de las plantas corresponde a 1/3 y el área adicional requerida por planta como buffer para otras instalaciones, al otro 1/3. Teniendo en cuenta lo anterior, para el ejemplo analizado anteriormente de la planta de con capacidad productiva de 1 Mton de amoníaco, se tendría un *footprint* de 52 ha.

El 1/3 de espacio restante será considerado para otras industrias (incluyendo por ejemplo las plantas de fertilizantes y explosivos, y otros derivados indirectos), y otros servicios que pueden instalarse en el Parque Industrial H₂ Mejillones (maestranzas, servicios de mantenimiento, bodegas, otros servicios logísticos, etc.), para el aprovechamiento de las sinergias que se generarán en el lugar.

El dimensionamiento final del parque es de aproximadamente 885 hectáreas. En este espacio, siguiendo el ejemplo inicial presentado, se podrían ubicar 11 plantas de amoníaco tipo 1 con capacidad productiva de 1 Mton. La participación de los distintos componentes en el total del Parque Industrial se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9: Footprints de los módulos productivos del Parque Industrial (Fuente: Hinicio).

Módulo	Footprint Tecnologías Power-to-X (ha)	Footprint con buffer (ha)	Footprint total Parque Industrial (ha)
Planta de hidrógeno	184	368	Considera el espacio adicional para otras industrias y servicios en el Parque Industrial
Planta conversión amoníaco (incluye ASU)	45	90	
Planta conversión otros derivados	16	32	
Almacenamiento de H2	50	100	
Footprint total	295	590	885

5.2. KPIs y análisis comparativo

5.2.1. KPIs operaciones del Parque Industrial

A partir del dimensionamiento estimado para el Parque Industrial, se calcularon diversos KPIs asociados al funcionamiento de este, incluyendo la capacidad solar y eólica requerida, el consumo de agua y las emisiones abatidas por año que tendría el Parque.

La capacidad renovable total requerida para alcanzar la producción deseada es de 47.6 GW de capacidad solar y 4.6 de capacidad eólica. Por último, el consumo de agua tanto para electrólisis como para enfriamiento alcanzaría los 32.6 millones de m³ al año o 1,033 l/s, mientras que el total de emisiones abatidas es de 26.5 Mton CO₂ equivalentes. La Tabla 10 presenta un detalle de los KPIs según tipología de proyecto.

Adicionalmente, se calcularon las capacidades y el área requerida para el almacenamiento de los productos destinados a exportación, los cuales se localizarían fuera del Parque Industrial en las cercanías del puerto.

Tabla 10: KPIs operacionales del Parque Industrial Mejillones (Fuente: Hinicio)

KPI operacional	Unidad	Total Parque Industrial
Capacidad solar	GW	47.6
Capacidad eólica	GW	4.6
Consumo de agua	M m3/año	32.6
Emisiones abatidas	M ton CO ₂ equiv.	26.5

La metodología que se siguió para el dimensionamiento de estos equipos considera una semana de almacenamiento para amoníaco y el resto de los derivados. Según bases de datos de Hinicio e información pública se consideraron capacidades estimadas de buques de los productos respectivamente, usando como restricción la capacidad máxima del terminal TGN existente, la cual es de 95,000 ton. Tomando en consideración lo anterior, se definieron un total de 3 buques de entre 25,000 – 40,000 ton a la semana para despacho de SAF y Metanol al 2050, dependiendo del derivado, y 2 buques adicionales exclusivos para amoníaco de 50,000 ton NH₃ a la semana. Un buque de amoníaco de estas capacidades equivale a aproximadamente 73,000 m³ de amoníaco criogénico, lo cual según las dimensiones de buques y lo máximo permitido en los terminales de Mejillones presentado en el capítulo 5.8, permitiría el uso de estos buques en los terminales 1, 2 y 2+3 del terminal multipropósito, y al TGN.

Lo anteriormente presentado entrega necesidades de almacenamiento de:

Tabla 11: Almacenamiento requerido para derivados de hidrógeno para exportación (Fuente: Hinicio).

Almacenamiento requerido	Unidad	Total Parque Industrial
Almacenamiento de amoníaco	kt NH ₃	100 – 120
Almacenamiento de otros derivados	kt H ₂ equiv.	34

Lo anterior es superior a la capacidad de almacenamiento del nuevo terminal de amoníaco proyectado en el puerto, el cual está estudiado en una capacidad de 100,000 m³. La propuesta de Hinicio considera una mayor capacidad para soportar una operación *back-to-back*, en el cual las plantas de producción de amoníaco continúan llenando el estanque a medida que los 2 buques semanales lo vacían para su despacho.

Los *footprint* específico para cada uno de estos almacenamientos se muestran a continuación:

Tabla 12: Footprints de los módulos de almacenamiento en el Complejo portuario (Fuente: Hinicio).

Módulo	Unidad	Footprint unitario
Almacenamiento de amoníaco	m ² /t NH ₃	0.1
Almacenamiento de otros derivados	m ² /t H ₂ equiv.	0.9

Bajo los supuestos considerados se obtiene un área máxima de almacenamiento de derivados de hidrógeno para su exportación de 4.3 ha.

5.2.2. Benchmark del Parque Industrial H2 Mejillones

En el presente capítulo se presenta un análisis comparativo del Parque Industrial H2 Mejillones con otros *hubs* industriales o polos productivos de hidrógeno y sus derivados, en términos de producción anual y dimensionamiento, con el objetivo de entregar un punto referencial sobre el cual validar los parámetros clave propuestos para este.

Al comparar la producción propuesta para el Parque de 2.65 Mtpa de hidrógeno equivalente al 2050, vemos que este tiene valores similares a la proyección estimada para Namibia *Southern Corridor Development Initiative (SCDI)* de 3 Mtpa al mismo año. Para el complejo portuario e industrial de Pecém, se identificó únicamente la producción proyectada al año 2030, la cual corresponde a un 49% de aquella de Mejillones al 2050. A pesar de esta diferencia se espera que la capacidad de Pecém probablemente continúe aumentando en el transcurso de los años al igual que la demanda de hidrógeno a nivel global, por lo que se puede esperar que ambos parques tengan producciones similares al 2050. Lo mismo ocurre para otros *hubs* de hidrógeno a nivel global como Hydrom en Omán y el Hub Europeo de hidrógeno (Puerto de Rotterdam), ambos con proyecciones de producción cercanas a 1 Mton de hidrógeno equivalente al 2030.

Por otro lado, el puerto de Rotterdam proyecta importar alrededor de 20 Mton de hidrógeno equivalente al año 2050, y muchos otros puertos que se proyectan como grandes importadores, como el puerto de Onahama y de Kobe en Japón, se están preparando con grandes estructuras de almacenamiento para la importación de hidrógeno y sus derivados de hasta 160,000 m³, el primero con proyecciones de importación de 1.6 Mton de amoníaco al 2030. Esto entrega un parámetro sobre la inherente demanda que habrá por parte de múltiples polos importadores de hidrógeno y derivados, hacia los cuales puede apuntar el Parque H2 Mejillones.

Al evaluar la producción de amoníaco del Parque H2 Mejillones, la cual alcanza valores de 7.2 Mton aproximadamente, se observa que esta supera la producción actual del parque Point Lisas Industrial Estate en Trinidad y Tobago en un 40%, y en un 53% a la producción que presenta la Compañía de Fertilizantes de Qatar (QAFCO) en el puerto de Mesaieed, Qatar. Aun así, la proyección del Parque es sólo un 4% de la producción global de amoníaco al año 2022; la cual en su mayoría es utilizada para la producción de fertilizantes, por lo que se espera que una vez desarrolladas nuevas aplicaciones de este producto la producción crezca significativamente, tal como se ilustró en la Figura 3.

El caso particular de del parque Point Lisas Industrial Estate en Trinidad y Tobago, dedicado principalmente a la producción de amoníaco y fertilizantes, es un ejemplo claro de cómo los parques industriales, con características similares a las del Parque H2 Mejillones, pueden albergar múltiples industrias y coexistir exitosamente, incluso junto con el desarrollo urbano. La forma en que el parque está distribuido en la Figura 24. En términos generales se observa que las separaciones entre las plantas que conforman el parque, no implican porciones considerables del terreno disponible, y que el parque industrial se encuentra ubicado en las cercanías de zonas pobladas, siendo un *hub* concentrado con múltiples plantas. Algunas de las industrias que se encuentran en este Parque incluyen fertilizantes, explosivos, hierro, generación energética, logística, entre otras.

A pesar de lo anterior, las limitaciones en cuanto a la distribución de las plantas dentro del Parque Industrial H2 Mejillones, deberán respetar el marco regulatorio existente en Chile,

el cual puede tener distintas consideraciones en comparación a la regulación bajo la cual se desarrolló el ejemplo analizado.



Figura 24: Point Lisas Industrial State en Trinidad y Tobago. Fuente: Google Earth

En términos de dimensiones de superficies donde se ubican los parques industriales, Pecém estima un uso de suelo aproximado de 1,900 ha para la ubicación de proyectos Power-to-X, el doble de aquel espacio propuesto para el Parque H2 Mejillones de 885 ha, ya que en su interior se albergarán también las plantas de generación renovable. Lo mismo ocurre en el caso del complejo Hydrom, proyecto que estima 32,000 ha para su materialización.

Son los parques Industriales de Point Lisas Industrial Estate y el Mesaieed Industrial Zone aquellos complejos portuarios con dimensiones similares a las propuestas para el de Mejillones, con dimensiones que rondan las 800-900 ha. Por último, otros Parque Industriales que se encuentran en funcionamiento son el Heroya Industrial Park en Noruega y el Cepsa's La Rabida Energy Park en España, los cuales presentan dimensiones menores cerca de las 200 ha, con una menor capacidad productiva de amoníaco cercana a las 400-500 Mtpa de producto; y en las cercanías de la zona destaca el Parque Industrial La Negra que alcanza también las 200 ha.

5.3. Análisis de sinergias en infraestructura e inversiones del Parque Industrial

5.3.1. Análisis de inversiones directas asociadas al Parque Industrial

El desarrollo del Parque Industrial H2 Mejillones atraerá y generará inversiones asociadas a distintas partes de la cadena de valor de hidrógeno verde y derivados en la región de Antofagasta, considerando lo descrito en las secciones anteriores, se espera que las inversiones estén asociadas a:

1. **Inversiones relacionadas al "Upstream"** : Principalmente inversiones asociadas a las plantas de energías renovables (solares y eólicas), líneas de transmisión, planta de electrólisis y suministro de agua (desalinización, transporte de agua, almacenamiento)

2. **Inversiones relacionadas al “midstream”:** Principalmente inversiones asociadas a la compresión y almacenamiento de hidrógeno, transporte de hidrógeno, plantas de conversión de hidrógeno a derivados (principalmente amoníaco, metanol, SAF), sistemas de transporte de derivados, infraestructura portuaria para exportación de derivados de hidrógeno.

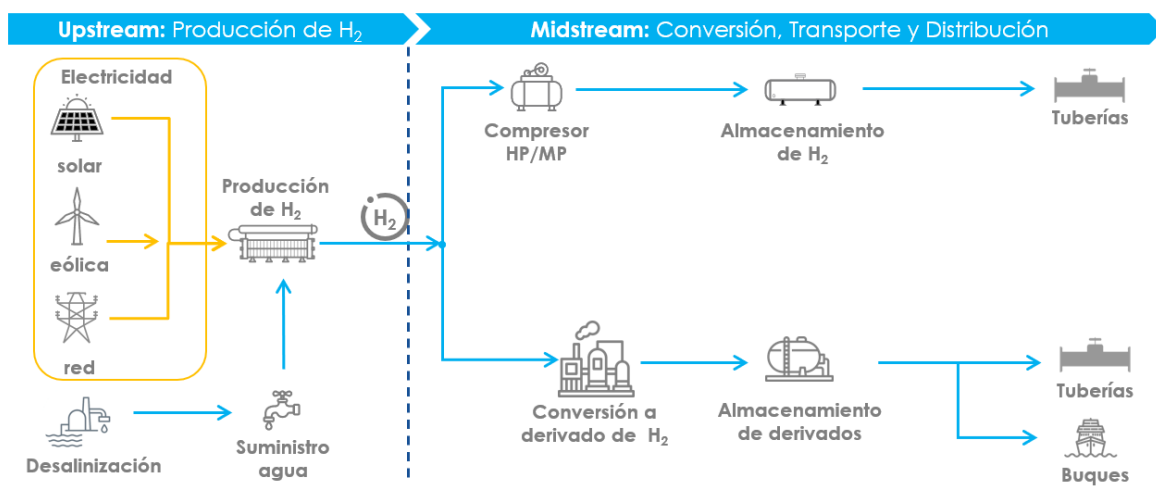


Figura 25: Cadena de valor de hidrógeno verde y derivados. Fuente: Hinicio.

En la Figura 26, se muestra un desglose de las inversiones directas necesarias para hacer operacional el Parque Industrial H₂ Mejillones separadas por las distintas etapas de la cadena de valor, considerando un enfoque “greenfield”, es decir, en caso de decidir no reutilizar ninguna infraestructura actual.

Un punto importante a mencionar es que estas **inversiones consideran factores de escalamiento**, principalmente relacionados a: la infraestructura eléctrica, las plantas de electrólisis, el almacenamiento de hidrógeno y las plantas de conversión a derivados, que resalta el beneficio de diseñar un *HUB* de producción como lo es el Parque Industrial, que no se obtendrían en el caso de desarrollar plantas de producción de hidrógeno y/o derivados de manera distribuida en la región de Antofagasta. Por lo tanto, en el desglose de la Figura 26 ya se encuentran incorporados “ahorros” dados por las sinergias del Parque Industrial en comparación a la instalación de la misma cantidad de plantas pero de forma distribuida.

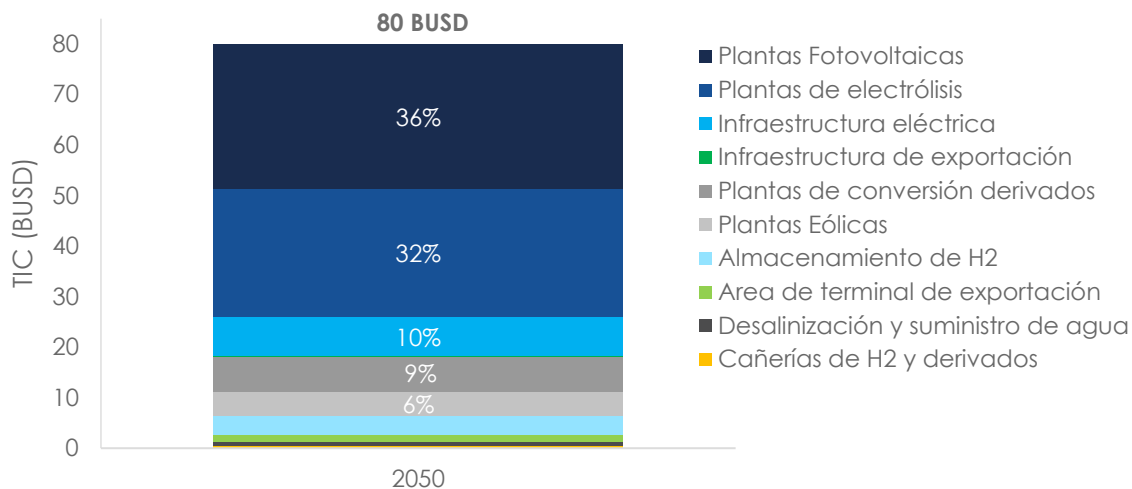


Figura 26: Desglose de inversiones directas para el desarrollo del Parque Industrial. Fuente: Hinicio.

En la Tabla 13, se detalla los principales equipos y alcance de cada una de las inversiones asociadas.

Tabla 13: Equipos y alcance considerados en la cadena de valor del Parque Industrial. Fuente: Hinicio.

Etapa de cadena de valor	Principales equipos incluidos
Plantas Fotovoltaicas	Parque fotovoltaico completo incluyendo subestación elevadora
Plantas Eólicas	Parque eólico completo incluyendo subestación elevadora
Infraestructura eléctrica	Líneas de transmisión para conectar las distintas plantas de energía renovable en la región de Antofagasta con el Parque industrial. Además incluye las subestaciones de bajada en el Parque Industrial.
Desalinización y suministro de agua	Planta de desalinización para el agua requerida en el parque industrial, en conjunto con las cañerías de agua.
Plantas de electrólisis	Todos los equipos necesarios para convertir electricidad y agua en hidrógeno a 30 bar. Incluye transformadores y rectificadores.
Almacenamiento de H2	Almacenamiento de hidrógeno dentro del parque industrial.
Plantas de conversión a derivados de H2	Plantas de amoníaco, metanol y SAF para convertir el hidrógeno en derivados

Área de terminal de exportación – Almacenamiento de derivados	Estanques de exportación de amoníaco, metanol y SAF además de infraestructura adicional para operarlos.
Infraestructura de exportación	Estructura superior e inferior del muelle (tipo "jetty") y tuberías de interconexión.
Cañerías de H2 y derivados a otras zonas de Antofagasta	Cañerías de transporte de hidrógeno y derivados a otros potenciales "off-takers" dentro de la región de Antofagasta.




Del listado presentado en la tabla anterior, aquella infraestructura que puede ser compartida entre los distintos desarrolladores de proyectos es: infraestructura eléctrica, desalinización y suministro de agua, área de terminal de exportación, infraestructura de exportación, y cañerías de hidrógeno y derivados a otras zonas de Antofagasta.





El análisis de esa infraestructura compartida se realiza en la siguiente sección.

5.3.2. Análisis de infraestructura compartida existente y requerida

El análisis de las brechas entre la infraestructura existente y requerida para el desarrollo del Parque Industrial H2 Mejillones, tiene como objetivo la identificación temprana de oportunidades en término de infraestructura compartida a aprovechar, en particular para suministro de agua industrial, servicios portuarios y logísticos, sistemas de transmisión de electricidad y cañerías de hidrógeno y derivados. Además, se busca cuantificar la necesidad de inversiones relacionada a la nueva infraestructura a desarrollar en la comuna para 2050, y así entregar una herramienta que pueda ser útil para la planificación a largo plazo de esta.

Tabla 14: Análisis de infraestructura existente y requerida para el Parque Industrial. Fuente: Hinicio.

N	Infraestructura	Requerida	Existente	Comentarios
1	Desalinización/Suministro de Agua			Como se mencionó en secciones anteriores, la capacidad de agua de desalinización proyectada y que podría quedar disponible debido al retiro de termoeléctricas permitiría reutilizar estas inversiones y que el suministro de agua se parte del "OPEX" del Parque Industrial.
2	Sistemas de transmisión eléctrica			El diseño del Parque considera que se transportará energía renovable de nuevas plantas desde distintos puntos de Antofagasta, con un enfoque "off-grid", por lo tanto, no se puede reutilizar infraestructura eléctrica.

3	Área de terminal de exportación			El diseño del Parque Industrial considera la inversión en estanques de almacenamiento de amoníaco y derivados de hidrógeno con fines de exportación. Estos estanques no se encuentran actualmente y por lo tanto no se puede reutilizar infraestructura actual.
4	Servicios portuarios/infraestructura de exportación			Como se mencionó actualmente el TGN está analizando la posibilidad de reutilizar la infraestructura de su puerto para en el futuro exportar amoníaco. Por lo tanto, se puede considerar el uso de la futura infraestructura del puerto por parte del Parque Industrial.
5	Cañerías de hidrógeno y derivados			El diseño del Parque Industrial considera la inversión de cañerías de hidrógeno y derivados para suministrar estos vectores energéticos a otros puntos de consumo dentro de la Región de Antofagasta. Esta infraestructura no está construida, por lo tanto, se requieren nuevas inversiones, aunque es importante mencionar que se podría reutilizar la servidumbre de actuales cañerías de gas natural.

Entre otras infraestructuras compartidas de menor grado de inversión relacionadas con el Parque Industrial Mejillones, se encuentran accesos ferroviarios y accesos de camiones que podrían ser relevantes para la logística de desarrollo y construcción de este. En el caso que existan *off-takers* dentro de la región de Antofagasta donde la distribución de productos (hidrógeno y/o derivados) a través de trenes y/o camiones llegue a ser más costo-efectiva que cañerías de hidrógeno y/o derivados, los accesos ferroviarios y de camiones podrían ser reutilizados para distribución de productos.

5.3.3. Sinergias asociadas a la reutilización de infraestructura

Se realizó un análisis de las potenciales sinergias de Parque Industrial H2 Mejillones asociadas a la reutilización de infraestructura existente, en específico de aquella analizada en capítulos anteriores. En la Figura 27 se presentan de las sinergias o "ahorros" de inversión que son posibles de alcanzar al considerar la reutilización de infraestructura ya existente o proyectada por otras instituciones (por ejemplo, la capacidad de desalación y de puerto).

Se observa que:

1. Debido a la reutilización de las plantas desalinizadoras que se planean construir, la inversión asociada podría pasar a ser un "OPEX" del Parque Industrial. Y por lo tanto, se requiere invertir sólo en la infraestructura de transporte de esa agua, reduciéndose fuertemente la inversión.

- La reutilización del TGN en Mejillones (infraestructura ya existente) y que está analizando la opción de reconvertir uno de sus brazos de carga, en una instalación de carga de amoníaco, podría reducir la infraestructura de exportación (puerto) reduciendo la inversión desde 203 MUSD a 14 MUSD, esta última inversión asociada a las líneas para cargar el amoníaco.

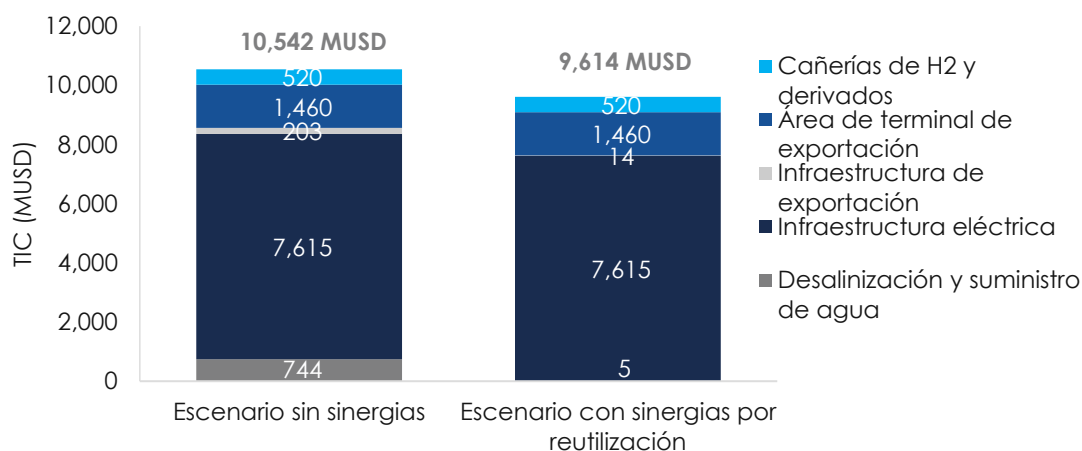


Figura 27: Desglose de inversiones directas para el desarrollo del Parque Industrial, según escenario sin sinergias y con sinergias por reutilización. Fuente: Inicio.

Como se observa en la Figura 27, considerando las sinergias de reutilización de infraestructura, se podría reducir la inversión en infraestructura compartida hasta en ~1 BUSD.

6. Conclusiones

La conceptualización del parque industrial en la comuna de Mejillones para suplir la demanda local y de exportación de amoníaco e hidrógeno se realizó considerando la demanda proyectada de hidrógeno y sus derivados en la región de Antofagasta en el horizonte temporal 2050, la infraestructura existente en la región y un análisis territorial de la comuna.

Se proyecta que la demanda doméstica en la región de Antofagasta será mayoritariamente de hidrógeno, con 372 ktpa H₂ para 2040 y 437 ktpa H₂ para 2050. En el caso de la demanda de exportación, esta será mayoritariamente de amoníaco, con 537 ktpa de H₂ equivalente para 2040 y 1,100 ktpa H₂ equivalente para 2050, aproximadamente. Para 2050 se espera que la demanda total de hidrógeno y derivados de la región corresponda a 2.65 Mtpa H₂ equivalente.

La región de Antofagasta, destaca como una zona prometedora para el desarrollo de proyectos Power-to-X, ofreciendo ventajas con respecto a otras zonas del país gracias al buen recurso renovable, disponibilidad de terrenos e infraestructura energética, logística de suministro de agua y servicios portuaria. De esta infraestructura se destaca el potencial de desalación y la disponibilidad de puerto de embarque. Antofagasta tiene el 77% de la capacidad de desalinización del país y se espera que sea la con mayor crecimiento con un pipeline de desarrollo de 19,591 l/s. Parte de esta nueva capacidad puede suministrar los consumos de agua del Parque Industrial H₂ Mejillones, o bien proyectos de reconversión de centrales termoeléctricas a centrales de desalación debido al plan de descarbonización de Chile. Respecto a la infraestructura portuaria se está estudiando el desarrollo de un terminal de amoníaco en el existente TGN, usado actualmente para la descarga de carbón para centrales eléctricas. Esta reconversión considera la adaptación para mover graneles líquidos, como amoníaco, con lo que buscan prestar servicios desde la recepción y almacenamiento hasta el embarque de 7 M ton de amoníaco al año.

En el análisis territorial se consideraron todos los instrumentos territoriales vigentes para identificar zonas aptas y no aptas pero con potencial para el desarrollo del parque industrial en la comuna de Mejillones. Al considerar su ubicación, tamaño y conectividad se determinó, luego de realizar el análisis, que para el análisis de dimensionamiento e infraestructura se selecciona la zona ZAP porque es cercana al puerto, tiene una extensión aproximada de 1,000 hectáreas, se encuentra con poca intervención de servidumbres y cuenta con buenos accesos. Esta zona actualmente se clasifica como no apta pero presenta grandes ventajas. Para poder utilizarla debe modificar el actual Plan Regulador Comunal de Mejillones.

Para el dimensionamiento del parque industrial fueron consideradas dos tipologías de proyectos: el tipo 1 (Figura 22) con el 100% de su generación a partir de energía solar, y el tipo 2 (Figura 23) con el 70% de su generación a partir de energía solar y el 30% restante a partir de energía eólica. Además se considera que el parque suple la totalidad de la demanda, hidrógeno y amoníaco, en la región de Antofagasta, para lo que se necesitan 28.3 GW de electrólisis. El transporte transoceánico de hidrógeno para suplir la demanda de exportación se consideró a partir de derivados como metanol, amoníaco y keroseno, principalmente, debido a los desafíos del transporte transoceánico de hidrógeno como tal. En cuanto al transporte para suplir la demanda local de hidrógeno y amoníaco se propone la vía terrestre.

En cuanto a la capacidad del parque industrial, se espera que con la electrólisis requerida determinada se produzcan 473 ktpa H₂ y la producción de amoníaco corresponda a 7,155

ktpa NH₃, de otros derivados de hidrógeno se esperan 931 ktpa H₂ equivalente. También se considera una capacidad de almacenamiento de 3.7 kt H₂. A través de un análisis de los *footprint* de plantas ubicadas en complejos industriales se definió que para una planta con configuración de proyecto tipo 1 con capacidad productiva anual de 1 Mton NH₃, implicaría un *footprint* de 26 hectáreas, considerando la configuración neta de las plantas que corresponde a un tercio del espacio total requerido, aproximadamente. Se estima por tanto que según la capacidad del parque industrial, el espacio total requerido es de aproximadamente 885 hectáreas.

Considerando el dimensionamiento del parque industrial se establecieron KPI's operacionales. Se requieren 47.6 y 4.6 GW de capacidad solar y eólica, respectivamente. El consumo de agua para electrólisis y enfriamiento sería de 32.6 millones de m³ al año y las toneladas totales de CO₂ abatidas sería 26.5 kton CO₂. También se estima que la capacidad de almacenamiento de amoníaco requerida es de 100 – 120 kton NH₃ y de derivados de 34 kton de H₂ equivalente, considerando la restricción de la capacidad actual del terminal portuario. La propuesta de Hinicio considera una mayor capacidad de almacenamiento que la proyectada en el nuevo terminal de amoníaco que se espera con el objetivo de soportar una operación *back-to-back*.

Al comparar el parque industrial conceptualizado para la comuna de Mejillones al año 2050 se tiene que en producción es similar a la proyección estimada para Namibia *Southern Corridor Development Initiative (SCDI)* de 3 Mtpa al mismo año y supera la capacidad de otros parques estudiados. Además, la capacidad estimada es menos de un 15% de la capacidad de importación de hidrógeno equivalente que se espera que tenga el puerto de Rotterdam en el año 2050.

En cuanto a las inversiones que generará el parque industrial, se pueden separar en dos: *upstream* y *midstream*. Las primeras relacionadas con generación de energía renovable, líneas de transmisión, subestaciones, plantas de electrólisis, desalinización y suministro de agua. Las segundas, relacionadas con la compresión y almacenamiento de hidrógeno, principalmente, plantas de conversión de hidrógeno a derivados, áreas y almacenamiento del terminal de exportación, el puerto y cañerías de H₂ y derivados para otros puntos de demanda en Antofagasta. Dentro de la infraestructura que puede ser potencialmente compartida se encuentra la infraestructura eléctrica, la de desalinización y suministro de agua, el área de terminal de exportación, la infraestructura de exportación y cañerías de hidrógeno y derivados a otras zonas de la región. Dentro de esta infraestructura compartida destacan la infraestructura de suministro de agua y la infraestructura de exportación (servicios portuarios) como infraestructura que puede ser reutilizada, disminuyendo los costos de inversión.

En la Figura 28 se presenta una ilustración del Parque Industrial H₂ Mejillones donde destacan las casi 1,000 Ha dedicadas a proyectos Power-to-X y otras industrias, suministro de agua electricidad y servicios de almacenamiento y de exportación del producto en base un nuevo terminal de NH₃. En la Tabla 15 se muestran las principales resultados obtenidos en la planificación del parque a 2050.

Tabla 15: Principales capacidades estimadas para el Parque Industrial de Mejillones. Fuente: Hinicio.

	Total Parque Industrial	Unidad
Área necesaria para que parque	800 – 900	ha
Producción de H2	437	ktpa H2
Producción de NH3	7,155	ktpa NH3
Potencia de electrólisis	28.3	GW
Capacidad solar	47.6	GW
Capacidad eólica	4.6	GW
Demanda de agua desalinizada	32.6	M m3/año

Las principales recomendaciones por parte del equipo consultor, teniendo en cuenta el ejercicio teórico realizado para conceptualizar el Parque Industrial Mejillones, es adelantarse y entablar conversaciones con las autoridades y principales *stakeholders*, incluyendo los del Terminal Graneles Norte, desarrolladores de proyectos de hidrógeno y derivados, y desarrolladores y encargados de plantas desaladoras.

Se recomienda por tanto, con el objetivo de generar instancias de colaboración y acelerar el ecosistema, mantener un diálogo con las autoridades correspondientes en Mejillones, siendo partícipes de la planificación territorial de la zona. En términos de Stakeholder, se sugiere conversar con las personas del Terminal de Graneles Norte, para crear sinergias entre el Parque y la planificación de este, asegurándose que se tenga contemplado el mismo en los planes futuros; y considerando la disminución de la ocupación actual producto del cierre de centrales termoeléctricas. Al mismo tiempo, es importante conversar con desarrolladores de plantas de hidrógeno y derivados con el objetivo de formar alianzas que permitan crear y potenciar el Parque Industrial Mejillones. Por último, se recomienda crear instancias con desarrolladores de plantas desaladoras para determinar si existen nuevos proyectos en el horizonte que puedan suplir la demanda que tendrá el Parque, y asegurar que esto sea posible, al igual que con las personas encargadas de las plantas desaladoras que proveen agua a las centrales termoeléctricas que dejarán de operar en el corto y mediano plazo, lo que deja capacidad disponible para otros usos como el Parque Industrial.

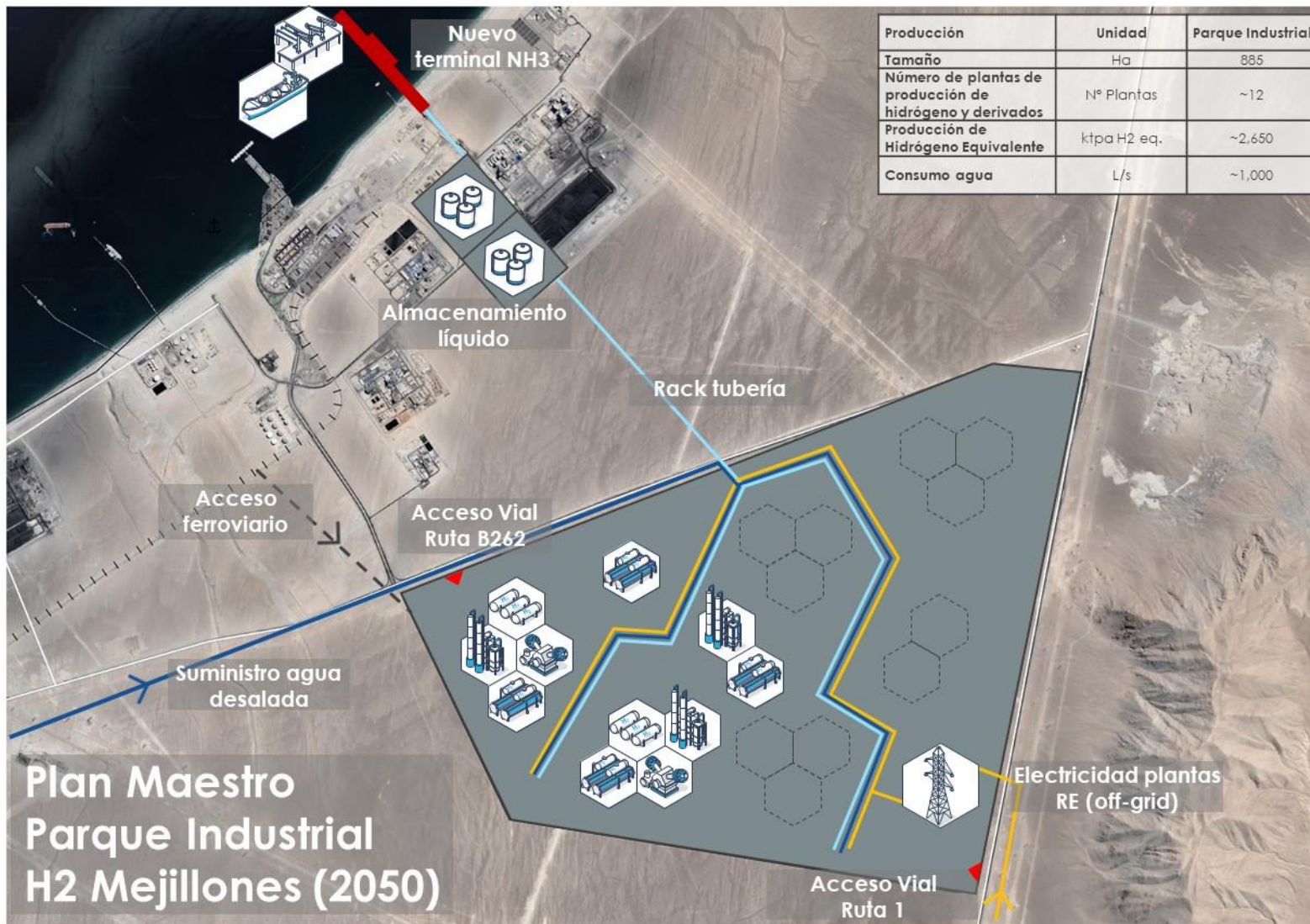


Figura 28: Plan Maestro del Parque Industrial H2 de Mejillones. Fuente: Elaboración propia.

7. Bibliografía

- Bloomberg NEF. (2021). *New Energy Outlook*.
- Engie Energía Chile SA. (2009). *Estudio de Impacto Ambiental "Infraestructura Energética Mejillones"*.
- European Commission. (2022). *Strategy on Hydrogen*.
- Goldman Sachs, C. (2022). *The clean hydrogen revolution*.
- González Cruz Abogados. (2023). *Análisis Territorial Proyecto Parque Industrial Mejillones*.
- Hydrogen Council. (2021). *Hydrogen for Net-Zero - A Critical Cost-competitive Energy Vector*.
- IEA. (2021). *Global Hydrogen Review*.
- IRENA. (2021). *The Geopolitics of the Energy Transformation*.
- IRENA. (2022). *World Energy Transitions Outlook*.
- IRENA, & AEA. (2022). *Innovation Outlook Renewable Ammonia*.
- Ludwi Bölkow Systemtechnik. (2022). *Development pathways for "Hydrogen Hubs" in Chile*.
- Ministerio de Energía Chile. (2020). *Estrategia Nacional Hidrógeno Verde*.
- Ministerio de Energía Chile. (2021). *Informe Preliminar PELP 2023-2027*.
- OIES. (2022). *Global trade of hydrogen: what is the best way to transfer hydrogen over long distances?*.
- PELP. (2021). *Planificación energética de largo plazo*.
- Vicuña, S., & et al. (2022). *Desalinización: Oportunidades y desafíos para abordar la inseguridad hídrica en Chile*. Comité Asesor Ministerial Científico sobre Cambio Climático; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

8. Anexos

Anexo 1: Análisis Territorial. Fuente: (González Cruz Abogados, 2023).

Zonas aptas

1. Zona U-6.

Comprende el área planificada externa y adyacente localizada al Sur de la zona U 4, con capacidad de recibir el crecimiento en extensión previsto exclusivamente de equipamiento para la industria. En cuanto a sus condiciones de uso de suelo tiene como usos permitidos el equipamiento de apoyo a la actividad ferroviaria y portuaria a escala regional, la Industria y bodegaje peligroso, molesto e inofensivo, la instalación de equipamiento de transporte marítimo y terrestre: carretero, ferroviario y ductos; patios de acopio, oficinas, áreas verdes y vialidad. Usos prohibidos: Todos los no indicados como permitidos. Esta zona tiene una cabida aproximada de 850 Hectáreas.



Zona U-6

2. Zona U-4

Destinadas a usos predominantemente industriales, bodegaje, acopio y almacenamiento. Esta zona reconoce las actividades y estructuras portuarias existentes, pudiendo mejorar sus instalaciones dentro de los límites actuales y sin que éstas puedan constituir una instalación portuaria de diferente carácter al actual. En cuanto a usos permitidos, esta zona permite equipamiento de apoyo a la actividad portuaria, ferroviario y pesquero a escala regional y el desarrollo de la Industria y bodegaje peligroso, molesto e inofensivo, equipamiento de transporte marítimo y terrestre: carretero, ferroviario y ductos; patios de acopio, oficinas, áreas verdes y vialidad. Usos prohibidos: Todos los no indicados como permitidos.

Esta zona tiene una cabida de aproximadamente 600 hectáreas.



Zona U-4

3. Zona Industrial Mixta ZIM

Esta zona cumple un rol de aumentar las posibilidades de tres escalas de inversión que son, en una primera escala mayor, las de parques industriales privados o públicos, puertos secos y/o incubadoras tecnológicas; en segunda escala media las inversiones de fábricas, industrias o productoras de bienes y servicios en todas sus categorías de impacto y escala; finalmente esta zona incluye las pequeñas inversiones, que pueden estar asociadas a las grandes inversiones a través de parques industriales o pequeños loteos industriales organizados en torno a una actividad común o inversiones públicas de equipamientos altamente requeridos por este sector.

Por otro lado esta zona está asociada a una gran inversión pública y privada de infraestructuras viales y espacios libres urbanos que puedan hacer frente al control requerido por este tipo de empresas y sus impactos medio ambientales los cuales en esta zona medias del sector meseta de Mejillones posee un mayor control.

En este sector de la meseta y que corresponde, en su gran mayoría, a la ZIM, se tienen grandes paños de terrenos los cuales posibilitan la llegada de una gran cantidad de empresas e infraestructuras, sobre todo relacionados con medios de transporte múltiple como el tren, caminera y portuaria.



Zona ZIM

Zonas no aptas

1. Zona Portuaria 1- ZP 1

Corresponde al sector norponiente del área portuaria. Se concibe como área específica de recintos portuarios y su actividad asociada, por lo que se permite toda actividad relacionada a ello y que son parte de las instalaciones, tales como oficinas, viviendas de cuidador, entre otras.

Actividades productivas relacionadas con actividad portuaria: de atraque, embarque, descarga y transferencia de carga calificadas como peligrosa, molesta e inofensiva. Se prohíben todas las actividades industriales y aquellas de impacto similar al industrial, calificadas como insalubres o contaminantes. Se prohíben todas las edificaciones o instalaciones de infraestructura de transporte aéreo, infraestructura sanitaria y energética.



Zona ZP 1

Zonas no aptas pero interesantes

1. Zona Área Portuaria - ZAP

Corresponde al sector sur poniente del área portuaria. Se concibe como área de apoyo a los terminales portuarios por lo que se permite toda actividad relacionada a ello y que son parte de las instalaciones, tales como oficinas, viviendas de cuidador, entre otras.

Actividades industriales y de impacto similar al Industrial, como Depósitos, talleres y bodegas de apoyo a la infraestructura Portuaria, calificadas como inofensivas y molestas. Terminales de Transporte Terrestre Redes y Trazados según artículo 2.1.29.- de la OGUC

Se prohíben todas las actividades industriales o de impacto similar al industrial calificadas como peligrosas, insalubres o contaminantes. Se prohíben otras edificaciones o instalaciones del uso

Infraestructura (transporte marítimo, portuario y aéreo) además de la Infraestructura sanitaria y energética.

Si bien esta zona prohíbe actividades industriales que sea catalogadas como peligrosas, tanto por sus dimensiones como por su ubicación podrían resultar especialmente idónea para el Proyecto. Esta zona tiene un tamaño aproximado de 1.060 hectáreas. Colinda por el poniente con la ruta número 1 y por el oriente con la ruta B-262, por lo que tiene una excelente conectividad vial. Se encuentra actualmente alejada de cualquier centro habitado.

Para que esta zona pueda ser utilizada para el Proyecto, debe cambiar su tolerancia a actividades peligrosas, lo cual requiere una modificación del Plan Regulador Comunal de Mejillones.

Existe el riesgo de que esta zona haya sido altamente requerida por los proyectos de hidrógeno verde que fueron objeto de una licitación (aún en curso) en el contexto del proyecto "Ventana al Futuro" convocada por el Ministerio de Bienes Nacionales. Por otra parte, no se descarta que existan otras concesiones de uso oneroso actualmente vigente. Los riesgos expresados en este párrafo deberán ser descartados realizando el respectivo estudio de títulos.



Zona Área Portuaria – ZAP

2. Zona Área Portuaria – ZP 2

Esta zona corresponde a los territorios posteriores al sector portuario (al suroriente de la Zona ZP1) y se concibe como de apoyo a esta actividad, de infraestructura de recintos portuarios, por lo que se permite acopio, almacenamiento entre otros.

Si bien esta zona prohíbe actividades industriales que sea catalogadas como peligrosas, tolerando solo aquellas que resulten inofensivas y molestas, tanto por sus dimensiones como por su ubicación podría resultar especialmente idónea para el Proyecto. Esta zona tiene un tamaño aproximado de 1.130 hectáreas. Colinda por el oriente con la ruta B-262, por lo que tiene una excelente conectividad vial. Se encuentra actualmente alejada de cualquier centro habitado.

Para que esta zona pueda ser utilizada para el Proyecto, debe cambiar su tolerancia a actividades peligrosas, lo cual requiere una modificación del Plan Regulador Comunal de Mejillones.

Existe el riesgo de que esta zona haya sido altamente requerida por los proyectos de hidrógeno verde que fueron objeto de una licitación (aún en curso) en el contexto del proyecto “Ventana al Futuro” convocada por el Ministerio de Bienes Nacionales. Por otra parte, no se descarta que existan otras concesiones de uso oneroso actualmente vigente. Los riegos expresados en este párrafo deberán ser descartados realizando el respectivo estudio de títulos.



Zona Área Portuaria – ZP 2

Redes de Mejillones

1. Líneas FCAB en Mejillones

En la zona Industrial de Mejillones, el FCAB cuenta con 2 concesiones ferroviarias pero en realidad son 3 trazados, porque uno de ellos al parecer carece de la Concesión ferroviaria:

- Decreto N° 278 de 28 de octubre de 1994 (MTT), Desvío Ferroviario "Barrio Industrial Puerto de Mejillones". (6.747 m.)
- Decreto N°18 de 24 de febrero de 2004 (MTT), desvío ferroviario "Acceso compañía Puerto de Mejillones S.A." (889 m.)
- No aparece el desvío ferroviario que accede al puerto Angamos desde el desvío Interacid. De todas formas, debe ser esa la razón por la cual el FCAB compró el inmueble con esa franja que abarca buena parte de la línea en ese tramo.

2. Líneas eléctricas

Se obtienen las líneas eléctricas de 220 Kv y 110 Kv, desde fuentes oficiales.

3. Gasoductos

Se obtienen los trazados de gasoductos en Mejillones (NorAndino y Gas Atacama y sus ramificaciones), desde fuentes oficiales

4. Acueductos

Se emplazan los acueductos existentes en el sector.



Redes de Mejillones