



Identificación de aspectos ambientales, sectoriales y territoriales para el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde en toda su cadena de valor.

20 de Octubre 2020

Edición:

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 40
53113 Bonn • Alemania

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn • Alemania

Nombre del proyecto:

Descarbonización del Sector Energía en Chile

Marchant Pereira 150
7500654 Providencia
Santiago • Chile
T +56 22 30 68 600
I www.giz.de

Responsable:

Rainer Schröer

En coordinación:

Ministerio de Energía de Chile
Alameda 1449, Pisos 13 y 14, Edificio Santiago Downtown II
Santiago de Chile

T +56 22 367 3000
I www.minenergia.cl

Registro de Propiedad Intelectual Inscripción, ISBN: 978-956-8066-19-2. Primera edición digital: octubre 2020

Cita:

Título: Identificación de aspectos ambientales, sectoriales y territoriales para el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde en toda su cadena de valor
Autor(es): GIZ, Inodú, Ministerio de Energía, Servicio de Evaluación Ambiental
Revisión y modificación: Rodrigo Vásquez Torres
Edición Pablo Tello Guerra.
Santiago de Chile, 2020.
139 páginas
Energía - Hidrógeno verde – Evaluación ambiental - DIA – EIA -Pertinencia ambiental

inodú
energy & sustainability

Aclaración:

Esta publicación ha sido preparada por encargo del proyecto “Descarbonización del Sector Energía en Chile” implementado por el Ministerio de Energía y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en el marco de la cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania. El proyecto se financia a través de la Iniciativa internacional sobre el clima (IKI) del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania - BMU. Sin perjuicio de ello, las conclusiones y opiniones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile o de GIZ. Además, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar en ningún caso constituye una recomendación por parte del Gobierno de Chile o de GIZ.

Santiago de Chile, 20 de octubre de 2020

Resumen Ejecutivo

El presente estudio ha tenido como propósito identificar y describir los desafíos ambientales que plantea la industria del hidrógeno verde a partir de electrólisis en todas sus etapas, junto con sus usuales prácticas de manejo a nivel internacional. Adicionalmente, se ha tenido la intención de facilitar antecedentes del proceso de regulación ambiental, sectorial, territorial chilena que tengan relación al desarrollo, implementación, ejecución y operación de proyectos de generación, almacenamiento, transporte y consumo de hidrógeno verde.

La clasificación de sustancias de interés para cada proceso evaluado se realizó a partir de su número de las Naciones Unidas y clasificación de peligro, de acuerdo con la información presentada en la hoja de seguridad específica a cada caso, en línea con la Norma Chilena. El análisis de riesgos y permisos se realiza considerando la clasificación del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (Figura 1).

El hidrógeno está asociado a los números de la ONU 1049 (gas comprimido) y 1966 (líquido criogénico), dependiendo de sus condiciones de almacenamiento. Ambos casos tienen asignado una clase de peligro 2.1, correspondiente a gases inflamables.

El hidrógeno, a diferencia de las sustancias peligrosas para la salud, tiene un potencial de peligro debido únicamente a su inflamabilidad. El hidrógeno es un gas industrial cuya producción corresponde a un proceso químico o industrial tradicional; por lo tanto, la producción de hidrógeno verde a partir de fuentes renovables no se diferencia del resto de las alternativas para producir hidrógeno. No obstante, la electrólisis es un proceso que tiene un potencial de peligro significativamente menor que otras plantas químicas ya que no implica condiciones potencialmente peligrosas (como altas presiones o temperaturas), ni grandes cantidades de sustancias peligrosas. En este contexto, el riesgo no está determinado por la capacidad de producción, sino por la cantidad de hidrógeno que se tenga almacenado.

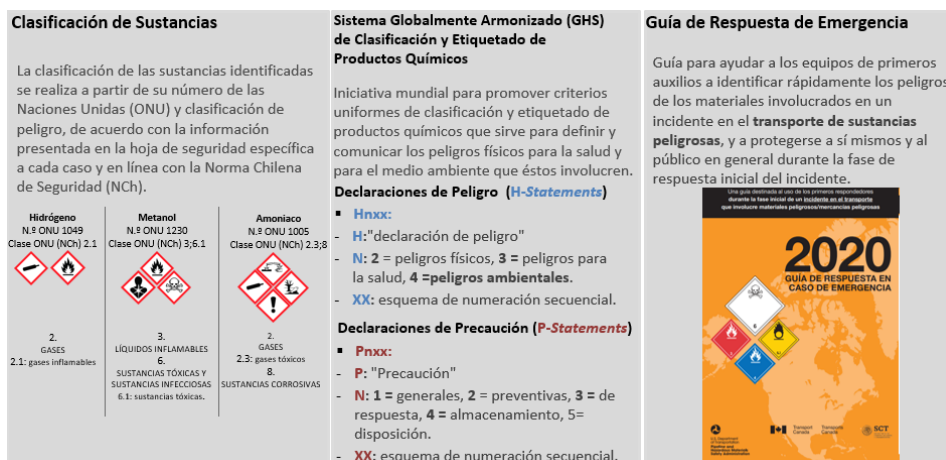


Figura 1: Clasificación de sustancias. Fuente: elaboración propia.

En conjunto con la contraparte técnica del estudio se definieron diez tipologías de proyectos asociados a la cadena de valor de la industria de hidrógeno verde. Para cada caso se realizó una descripción general de la tipología; un análisis de los riesgos y permisos; una síntesis de los aspectos asociados a la localización, la pertinencia ambiental, y el listado de permisos ambientales y sectoriales aplicables a un potencial proyecto. Finalmente, para cada tipología, se incluye una síntesis de aspectos asociados a la experiencia internacional y se indican las instalaciones secundarias aplicables.

Se ha tenido en consideración los requerimientos del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (DS 40). Independiente de los aspectos particulares identificados para cada tipología evaluada, se identificó las siguientes consideraciones genéricas susceptibles de ingreso al SEIA:



- Si el proyecto es una modificación de un proyecto existente (DS 40, Artículo 2, letra g).
- Proyectos de desarrollo urbano en zonas no comprendidas en alguno de los planes evaluados estratégicamente de conformidad a lo establecido en la Ley 19.300, particularmente los instrumentos de planificación territorial (DS 40, Artículo 3, letra g). Se entiende por proyectos de desarrollo urbano aquellos señalados en las especificaciones de la letra g.1.
- Proyectos industriales con una superficie mayor a 20 hectáreas que se instalen en zonas saturadas o latentes (DS 40, Artículo 3, letra h.2).
- Si el proyecto se ubica en un área de al menos 10 mil metros cuadrados que contenga contaminantes y que requiera la recuperación o reparación de dicha área (DS 40, Artículo 3, letra o.2).
- Si el proyecto se instala en parques nacionales, reservas nacionales, monumentos naturales, reservas de zonas vírgenes, santuarios de la naturaleza, parques marinos, reservas marinas o en cualesquiera otras áreas colocadas bajo protección oficial (DS 40, Artículo 3, letra p).
- Ingreso de manera voluntaria al SEIA (DS 40, Artículo 164).

En caso de que el titular tenga dudas respecto del ingreso obligatorio al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental de su proyecto, se puede presentar una consulta de pertinencia, para obtener un pronunciamiento de la autoridad al respecto.

Se debe tener en cuenta objetivos de prevención de accidentes graves y de limitación de sus consecuencias para la salud humana y el medio ambiente en las políticas de ocupación del suelo. Por lo tanto, también se consideró los aspectos que la Secretaría Regional Ministerial de Salud debería tener en consideración para clasificar los establecimientos industriales o de bodegaje como inofensivos, molestos, peligrosos o contaminantes, de acuerdo al requerimiento establecido en la ordenanza general de la ley general de urbanismo y construcciones (DS 47), Artículo 4.14.2. Tras una revisión de la regulación se identificó que, si se tiene la intención de considerar el hidrógeno como combustible, es necesaria su inscripción en el registro que se establece en el Artículo segundo del decreto con fuerza de ley N° 1 de 1979, del Ministerio de Minería según se indica en la ley N° 20339, de 2009, del Ministerio de Hacienda.

En las figuras a continuación se sintetiza los principales aspectos asociados al análisis de pertinencia y calificación de establecimientos industriales que se ha desarrollado para cada tipología.

Análisis de pertinencia | Generación de hidrógeno verde

	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, DS 40, Artículo 3	Calificación de actividades productivas y de servicio de carácter industrial. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (1998).	Circular N° B32 de la Subsecretaría de Salud. Almacenamiento sustancias peligrosas reguladas por el DS 43/2015 (2020).																													
Hidrógeno N.º ONU 1049 Clase ONU (NCh) 2.1 	Letra ñ.3): Producción, disposición o reutilización de sustancias inflamables . <ul style="list-style-type: none"> Cantidad igual o superior a 80.000 kg/día. Con capacidad de almacenamiento de al menos 80.000 kg." 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-5 ton</td> <td>No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.</td> </tr> <tr> <td>5-50 ton</td> <td>Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.</td> </tr> <tr> <td>>50 ton</td> <td>Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.</td> </tr> </tbody> </table>	Capacidad	Procedimiento	0-5 ton	No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.	5-50 ton	Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.	>50 ton	Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Estanques superficiales</th> <th colspan="2">Estanques enterrados</th> </tr> <tr> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-30 m³</td> <td>Inofensiva</td> <td>0-60 m³</td> <td>Inofensiva</td> </tr> <tr> <td>30-40000 m³</td> <td>Molesta</td> <td>60-60000 m³</td> <td>Molesta</td> </tr> <tr> <td>>40000m³</td> <td>Peligrosa</td> <td>>60000m³</td> <td>Peligrosa</td> </tr> </tbody> </table>		Estanques superficiales		Estanques enterrados		Capacidad	Procedimiento	Capacidad	Procedimiento	0-30 m³	Inofensiva	0-60 m³	Inofensiva	30-40000 m³	Molesta	60-60000 m³	Molesta	>40000m³	Peligrosa	>60000m³	Peligrosa
		Capacidad	Procedimiento																													
0-5 ton	No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.																															
5-50 ton	Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.																															
>50 ton	Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.																															
Estanques superficiales		Estanques enterrados																														
Capacidad	Procedimiento	Capacidad	Procedimiento																													
0-30 m³	Inofensiva	0-60 m³	Inofensiva																													
30-40000 m³	Molesta	60-60000 m³	Molesta																													
>40000m³	Peligrosa	>60000m³	Peligrosa																													
Oxígeno N.º ONU 1072 Clase ONU (NCh) 2.2; 5.1. 	Producto Letra ñ.4): Producción, disposición o reutilización de sustancias reactivas . <ul style="list-style-type: none"> Cantidad igual o superior a 120.000 kg/día. Con capacidad de almacenamiento de al menos 120.000 kg." Residuo Letra o.9): disposición o reutilización de residuos reactivos . <ul style="list-style-type: none"> Límite de 1.000 kg/día. 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-5 ton</td> <td>No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.</td> </tr> <tr> <td>5-50 ton</td> <td>Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.</td> </tr> <tr> <td>>50 ton</td> <td>Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.</td> </tr> </tbody> </table>	Capacidad	Procedimiento	0-5 ton	No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.	5-50 ton	Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.	>50 ton	Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Estanques superficiales</th> <th colspan="2">Estanques enterrados</th> </tr> <tr> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-30 m³</td> <td>Inofensiva</td> <td>0-60 m³</td> <td>Inofensiva</td> </tr> <tr> <td>30-40000 m³</td> <td>Molesta</td> <td>60-60000 m³</td> <td>Molesta</td> </tr> <tr> <td>>40000m³</td> <td>Peligrosa</td> <td>>60000m³</td> <td>Peligrosa</td> </tr> </tbody> </table>		Estanques superficiales		Estanques enterrados		Capacidad	Procedimiento	Capacidad	Procedimiento	0-30 m³	Inofensiva	0-60 m³	Inofensiva	30-40000 m³	Molesta	60-60000 m³	Molesta	>40000m³	Peligrosa	>60000m³	Peligrosa
		Capacidad	Procedimiento																													
0-5 ton	No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.																															
5-50 ton	Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.																															
>50 ton	Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.																															
Estanques superficiales		Estanques enterrados																														
Capacidad	Procedimiento	Capacidad	Procedimiento																													
0-30 m³	Inofensiva	0-60 m³	Inofensiva																													
30-40000 m³	Molesta	60-60000 m³	Molesta																													
>40000m³	Peligrosa	>60000m³	Peligrosa																													
Instalaciones fabriles*	Letra k.1): <ul style="list-style-type: none"> Si una instalación fabril tiene una potencia instalada igual o superior a 2.000 kVA. 	No aplica	No aplica																													


* Quedan excluidas aquellas instalaciones emplazadas en loteos industriales cuya superficie sea menor a las 20 hectáreas.

Descarga directa de agua al sistema de alcantarillado

Ministerio de Obras Públicas, DS 609	
Descarga de aguas	Volumen máximo de aguas residuales de descarga es definido en certificado de factibilidad de conexión otorgado por prestador de servicio sanitario.

Figura 2: Generación de hidrógeno verde. Fuente: elaboración propia.

Análisis de pertinencia | Almacenamiento de hidrógeno comprimido

	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, DS 40, Artículo 3	Calificación de actividades productivas y de servicio de carácter industrial. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (1998).	Circular N° B32 de la Subsecretaría de Salud. Almacenamiento sustancias peligrosas reguladas por el DS 43/2015 (2020).																													
Hidrógeno N.º ONU 1049 Clase ONU (NCh) 2.1 	Letra ñ.3): Producción, disposición o reutilización de sustancias inflamables . <ul style="list-style-type: none"> Con capacidad de almacenamiento de al menos 80.000 kg." 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-5 ton</td> <td>No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.</td> </tr> <tr> <td>5-50 ton</td> <td>Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.</td> </tr> <tr> <td>>50 ton</td> <td>Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.</td> </tr> </tbody> </table>	Capacidad	Procedimiento	0-5 ton	No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.	5-50 ton	Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.	>50 ton	Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Estanques superficiales</th> <th colspan="2">Estanques enterrados</th> </tr> <tr> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-30 m³</td> <td>Inofensiva</td> <td>0-60 m³</td> <td>Inofensiva</td> </tr> <tr> <td>30-40000 m³</td> <td>Molesta</td> <td>60-60000 m³</td> <td>Molesta</td> </tr> <tr> <td>>40000m³</td> <td>Peligrosa</td> <td>>60000m³</td> <td>Peligrosa</td> </tr> </tbody> </table>		Estanques superficiales		Estanques enterrados		Capacidad	Procedimiento	Capacidad	Procedimiento	0-30 m³	Inofensiva	0-60 m³	Inofensiva	30-40000 m³	Molesta	60-60000 m³	Molesta	>40000m³	Peligrosa	>60000m³	Peligrosa
		Capacidad	Procedimiento																													
0-5 ton	No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.																															
5-50 ton	Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.																															
>50 ton	Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.																															
Estanques superficiales		Estanques enterrados																														
Capacidad	Procedimiento	Capacidad	Procedimiento																													
0-30 m³	Inofensiva	0-60 m³	Inofensiva																													
30-40000 m³	Molesta	60-60000 m³	Molesta																													
>40000m³	Peligrosa	>60000m³	Peligrosa																													
Instalaciones fabriles*	Letra k.1): <ul style="list-style-type: none"> Si una instalación fabril tiene una potencia instalada igual o superior a 2.000 kVA. 	No aplica	No aplica																													

Análisis de pertinencia | Almacenamiento de hidrógeno líquido**


	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, DS 40, Artículo 3	Calificación de actividades productivas y de servicio de carácter industrial. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (1998).	Circular N° B32 de la Subsecretaría de Salud. Almacenamiento sustancias peligrosas reguladas por el DS 43/2015 (2020).																													
Hidrógeno líquido N.º ONU 1966 Clase ONU (NCh) 2.1 	Letra ñ.3): Producción, disposición o reutilización de sustancias inflamables . <ul style="list-style-type: none"> Con capacidad de almacenamiento de al menos 80.000 kg." 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-5 ton</td> <td>No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.</td> </tr> <tr> <td>5-50 ton</td> <td>Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.</td> </tr> <tr> <td>>50 ton</td> <td>Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.</td> </tr> </tbody> </table>	Capacidad	Procedimiento	0-5 ton	No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.	5-50 ton	Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.	>50 ton	Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Estanques superficiales</th> <th colspan="2">Estanques enterrados</th> </tr> <tr> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-30 m³</td> <td>Inofensiva</td> <td>0-60 m³</td> <td>Inofensiva</td> </tr> <tr> <td>30-40000 m³</td> <td>Molesta</td> <td>60-60000 m³</td> <td>Molesta</td> </tr> <tr> <td>>40000m³</td> <td>Peligrosa</td> <td>>60000m³</td> <td>Peligrosa</td> </tr> </tbody> </table>		Estanques superficiales		Estanques enterrados		Capacidad	Procedimiento	Capacidad	Procedimiento	0-30 m³	Inofensiva	0-60 m³	Inofensiva	30-40000 m³	Molesta	60-60000 m³	Molesta	>40000m³	Peligrosa	>60000m³	Peligrosa
		Capacidad	Procedimiento																													
0-5 ton	No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.																															
5-50 ton	Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.																															
>50 ton	Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.																															
Estanques superficiales		Estanques enterrados																														
Capacidad	Procedimiento	Capacidad	Procedimiento																													
0-30 m³	Inofensiva	0-60 m³	Inofensiva																													
30-40000 m³	Molesta	60-60000 m³	Molesta																													
>40000m³	Peligrosa	>60000m³	Peligrosa																													
Instalaciones fabriles**	Letra k.1): <ul style="list-style-type: none"> Si una instalación fabril tiene una potencia instalada igual o superior a 2.000 kVA. 	No aplica	No aplica																													

* Quedan excluidas aquellas instalaciones emplazadas en loteos industriales cuya superficie sea menor a las 20 hectáreas.

** El N2 utilizado como parte del proceso posee clasificación 2.2: no inflamables, no tóxicos. No representa factor que pueda causar impacto ambiental de acuerdo al DS 40.

Figura 3: Almacenamiento de hidrógeno comprimido e hidrógeno líquido. Fuente: elaboración propia.

Análisis de pertinencia | Transporte de hidrógeno en camiones

	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, DS 40, Artículo 3	Calificación de actividades productivas y de servicio de carácter industrial. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (1998).	Circular N° B32 de la Subsecretaría de Salud. Almacenamiento sustancias peligrosas reguladas por el DS 43/2015 (2020).
Hidrógeno N.º ONU 1049 Clase ONU (Nch) 2.1 Hidrógeno líquido N.º ONU 1966 Clase ONU (Nch) 2.1 	Letra f.5): Transporte por medios terrestres de sustancias tóxicas, explosivas, inflamables, corrosivas o reactivas. <ul style="list-style-type: none"> Cantidad igual o superior a 400.000 kg/día. 	No aplica	No aplica

Análisis de pertinencia | Hidrógeno en red


	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, DS 40, Artículo 3	Calificación de actividades productivas y de servicio de carácter industrial. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (1998).	Circular N° B32 de la Subsecretaría de Salud. Almacenamiento sustancias peligrosas reguladas por el DS 43/2015 (2020).
Hidrógeno N.º ONU 1049 Clase ONU (Nch) 2.1 	Letra j): Si el proyecto considera el desarrollo de un nuevo tramo de gasoducto, es susceptible de causar impacto ambiental. <ul style="list-style-type: none"> aplicable si el ducto está destinado al transporte de sustancias y/o residuos, conectando centros de producción, almacenamiento, tratamiento o disposición, con centros de similares características o con redes de distribución. 	No aplica	No aplica

Figura 4: Transporte de hidrógeno en camiones y en red de gas. Fuente: elaboración propia.


Análisis de pertinencia | Estación de carga y dispensación

	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, DS 40, Artículo 3	Calificación de actividades productivas y de servicio de carácter industrial. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (1998).	Circular N° B32 de la Subsecretaría de Salud. Almacenamiento sustancias peligrosas reguladas por el DS 43/2015 (2020).																												
Hidrógeno N.º ONU 1049 Clase ONU (Nch) 2.1 	Letra f.3): Producción, disposición o reutilización de sustancias inflamables. <ul style="list-style-type: none"> Con capacidad de almacenamiento de al menos 80.000 kg.º 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-5 ton</td> <td>No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.</td> </tr> <tr> <td>5-50 ton</td> <td>Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.</td> </tr> <tr> <td>>50 ton</td> <td>Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.</td> </tr> </tbody> </table>	Capacidad	Procedimiento	0-5 ton	No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.	5-50 ton	Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.	>50 ton	Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Estanques superficiales</th> <th colspan="2">Estanques enterrados</th> </tr> <tr> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-30 m³</td> <td>Inofensiva</td> <td>0-60 m³</td> <td>Inofensiva</td> </tr> <tr> <td>30-40000 m³</td> <td>Molesta</td> <td>60-60000 m³</td> <td>Molesta</td> </tr> <tr> <td>>40000m³</td> <td>Peligrosa</td> <td>>60000m³</td> <td>Peligrosa</td> </tr> </tbody> </table>	Estanques superficiales		Estanques enterrados		Capacidad	Procedimiento	Capacidad	Procedimiento	0-30 m³	Inofensiva	0-60 m³	Inofensiva	30-40000 m³	Molesta	60-60000 m³	Molesta	>40000m³	Peligrosa	>60000m³	Peligrosa
Capacidad	Procedimiento																														
0-5 ton	No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.																														
5-50 ton	Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.																														
>50 ton	Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.																														
Estanques superficiales		Estanques enterrados																													
Capacidad	Procedimiento	Capacidad	Procedimiento																												
0-30 m³	Inofensiva	0-60 m³	Inofensiva																												
30-40000 m³	Molesta	60-60000 m³	Molesta																												
>40000m³	Peligrosa	>60000m³	Peligrosa																												
Expendio de combustibles*	Letra e.6): <ul style="list-style-type: none"> Si el proyecto considera una capacidad de almacenamiento igual o superior a doscientos mil litros para el expendio de combustibles líquidos o gaseosos a vehículos motorizados u otros usos, es susceptible de causar impacto ambiental. 	No aplica	No aplica																												

* Si se considera el hidrógeno como combustible, es necesaria su inscripción en el registro que se estable en el Artículo segundo del decreto con fuerza de ley N° 1, de 1979, del Ministerio de Minería según se indica en la ley N° 20339, de 2009, del Ministerio de Hacienda.

Figura 5: Estación de carga y dispensación. Fuente: elaboración propia.

Análisis de pertinencia | Metanol verde*




	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, DS 40, Artículo 3	Calificación de actividades productivas y de servicio de carácter industrial. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (1998).	Circular N° B32 de la Subsecretaría de Salud. Almacenamiento sustancias peligrosas reguladas por el DS 43/2015 (2020).																												
Hidrógeno N.º ONU 1049 Clase ONU (Nch) 2.1 	Letra f.3): Producción, disposición o reutilización de sustancias inflamables. <ul style="list-style-type: none"> Cantidad igual o superior a 80.000 kg/día. Con capacidad de almacenamiento de al menos 80.000 kg.º 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-5 ton</td> <td>No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.</td> </tr> <tr> <td>5-50 ton</td> <td>Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.</td> </tr> <tr> <td>>50 ton</td> <td>Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.</td> </tr> </tbody> </table>	Capacidad	Procedimiento	0-5 ton	No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.	5-50 ton	Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.	>50 ton	Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Estanques superficiales</th> <th colspan="2">Estanques enterrados</th> </tr> <tr> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-30 m³</td> <td>Inofensiva</td> <td>0-60 m³</td> <td>Inofensiva</td> </tr> <tr> <td>30-40000 m³</td> <td>Molesta</td> <td>60-60000 m³</td> <td>Molesta</td> </tr> <tr> <td>>40000m³</td> <td>Peligrosa</td> <td>>60000m³</td> <td>Peligrosa</td> </tr> </tbody> </table>	Estanques superficiales		Estanques enterrados		Capacidad	Procedimiento	Capacidad	Procedimiento	0-30 m³	Inofensiva	0-60 m³	Inofensiva	30-40000 m³	Molesta	60-60000 m³	Molesta	>40000m³	Peligrosa	>60000m³	Peligrosa
Capacidad	Procedimiento																														
0-5 ton	No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.																														
5-50 ton	Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.																														
>50 ton	Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.																														
Estanques superficiales		Estanques enterrados																													
Capacidad	Procedimiento	Capacidad	Procedimiento																												
0-30 m³	Inofensiva	0-60 m³	Inofensiva																												
30-40000 m³	Molesta	60-60000 m³	Molesta																												
>40000m³	Peligrosa	>60000m³	Peligrosa																												
Metanol N.º ONU 1230 Clase ONU (Nch) 3;6.1 	Letra f.1): Producción, disposición o reutilización de tóxicos. <ul style="list-style-type: none"> Cantidad superior a 10.000 kg/día. Con capacidad de almacenamiento de al menos 30.000 kg.º 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-500 ton</td> <td>No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.</td> </tr> <tr> <td>500-5000 ton</td> <td>Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.</td> </tr> <tr> <td>>5000 ton</td> <td>Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.</td> </tr> </tbody> </table>	Capacidad	Procedimiento	0-500 ton	No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.	500-5000 ton	Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.	>5000 ton	Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Estanques superficiales</th> <th colspan="2">Estanques enterrados</th> </tr> <tr> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-30 m³</td> <td>Inofensiva</td> <td>0-60 m³</td> <td>Inofensiva</td> </tr> <tr> <td>30-40000 m³</td> <td>Molesta</td> <td>30-60000 m³</td> <td>Molesta</td> </tr> <tr> <td>>40000m³</td> <td>Peligrosa</td> <td>>60000m³</td> <td>Peligrosa</td> </tr> </tbody> </table>	Estanques superficiales		Estanques enterrados		Capacidad	Procedimiento	Capacidad	Procedimiento	0-30 m³	Inofensiva	0-60 m³	Inofensiva	30-40000 m³	Molesta	30-60000 m³	Molesta	>40000m³	Peligrosa	>60000m³	Peligrosa
Capacidad	Procedimiento																														
0-500 ton	No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.																														
500-5000 ton	Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.																														
>5000 ton	Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.																														
Estanques superficiales		Estanques enterrados																													
Capacidad	Procedimiento	Capacidad	Procedimiento																												
0-30 m³	Inofensiva	0-60 m³	Inofensiva																												
30-40000 m³	Molesta	30-60000 m³	Molesta																												
>40000m³	Peligrosa	>60000m³	Peligrosa																												
Instalaciones fabriles**	Letra k.1): <ul style="list-style-type: none"> Si una instalación fabril tiene una potencia instalada igual o superior a 2.000 kVA. 	No aplica	No aplica																												

* El CO₂ utilizado como parte del proceso posee clasificación 2.2: no inflamables, no tóxicos. No representan factor que pueda causar impacto ambiental de acuerdo al DS 40.

** Quedan excluidas aquellas instalaciones emplazadas en loteos industriales cuya superficie sea menor a las 20 hectáreas.

Figura 6: Producción de metanol verde. Fuente: elaboración propia.

Análisis de pertinencia | Amoniaco verde*

	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, DS 40, Artículo 3	Calificación de actividades productivas y de servicio de carácter industrial. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (1998).	Circular N° B32 de la Subsecretaría de Salud. Almacenamiento sustancias peligrosas reguladas por el DS 43/2015 (2020).																													
Hidrógeno N.º ONU 1049 Clase ONU (NCh) 2.1 	Letra ñ.3): Producción, disposición o reutilización de sustancias inflamables . <ul style="list-style-type: none"> Cantidad igual o superior a 80.000 kg/día. Con capacidad de almacenamiento de al menos 80.000 kg.º 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-5 ton</td> <td>No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.</td> </tr> <tr> <td>5-50 ton</td> <td>Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.</td> </tr> <tr> <td>>50 ton</td> <td>Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.</td> </tr> </tbody> </table>	Capacidad	Procedimiento	0-5 ton	No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.	5-50 ton	Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.	>50 ton	Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Estanques superficiales</th> <th colspan="2">Estanques enterrados</th> </tr> <tr> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-30 m³</td> <td>Inofensiva</td> <td>0-60 m³</td> <td>Inofensiva</td> </tr> <tr> <td>30-40000 m³</td> <td>Molesta</td> <td>60-60000 m³</td> <td>Molesta</td> </tr> <tr> <td>>40000m³</td> <td>Peligrosa</td> <td>>60000m³</td> <td>Peligrosa</td> </tr> </tbody> </table>		Estanques superficiales		Estanques enterrados		Capacidad	Procedimiento	Capacidad	Procedimiento	0-30 m³	Inofensiva	0-60 m³	Inofensiva	30-40000 m³	Molesta	60-60000 m³	Molesta	>40000m³	Peligrosa	>60000m³	Peligrosa
		Capacidad	Procedimiento																													
		0-5 ton	No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.																													
5-50 ton	Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.																															
>50 ton	Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.																															
Estanques superficiales		Estanques enterrados																														
Capacidad	Procedimiento	Capacidad	Procedimiento																													
0-30 m³	Inofensiva	0-60 m³	Inofensiva																													
30-40000 m³	Molesta	60-60000 m³	Molesta																													
>40000m³	Peligrosa	>60000m³	Peligrosa																													
Amoniaco N.º ONU 1005 Clase ONU (NCh) 2.3;8 	Letra ñ.4): Producción, disposición o reutilización de sustancias corrosivas . <ul style="list-style-type: none"> Cantidad superior a 120.000 kg/día. Con capacidad de almacenamiento de al menos 120.000 kg.º 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-60 ton</td> <td>No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.</td> </tr> <tr> <td>60-600ton</td> <td>Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.</td> </tr> <tr> <td>>600 ton</td> <td>Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.</td> </tr> </tbody> </table>	Capacidad	Procedimiento	0-60 ton	No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.	60-600ton	Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.	>600 ton	Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Estanques superficiales</th> <th colspan="2">Estanques enterrados</th> </tr> <tr> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-30 m³</td> <td>Inofensiva</td> <td>0-60 m³</td> <td>Inofensiva</td> </tr> <tr> <td>30-40000 m³</td> <td>Molesta</td> <td>30-60000 m³</td> <td>Molesta</td> </tr> <tr> <td>>40000m³</td> <td>Peligrosa</td> <td>>60000m³</td> <td>Peligrosa</td> </tr> </tbody> </table>		Estanques superficiales		Estanques enterrados		Capacidad	Procedimiento	Capacidad	Procedimiento	0-30 m³	Inofensiva	0-60 m³	Inofensiva	30-40000 m³	Molesta	30-60000 m³	Molesta	>40000m³	Peligrosa	>60000m³	Peligrosa
		Capacidad	Procedimiento																													
		0-60 ton	No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.																													
60-600ton	Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.																															
>600 ton	Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.																															
Estanques superficiales		Estanques enterrados																														
Capacidad	Procedimiento	Capacidad	Procedimiento																													
0-30 m³	Inofensiva	0-60 m³	Inofensiva																													
30-40000 m³	Molesta	30-60000 m³	Molesta																													
>40000m³	Peligrosa	>60000m³	Peligrosa																													
Oxígeno N.º ONU 1072 Clase ONU (NCh) 2.2; 5.1 	Producto Letra ñ.4): Producción, disposición o reutilización de sustancias reactivas . <ul style="list-style-type: none"> Cantidad igual o superior a 120.000 kg/día. Con capacidad de almacenamiento de al menos 120.000 kg.º Residuo Letra o.9): disposición o reutilización de residuos reactivos . <ul style="list-style-type: none"> Límite de 1.000 kg/día. 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-5 ton</td> <td>No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.</td> </tr> <tr> <td>5-50 ton</td> <td>Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.</td> </tr> <tr> <td>>50 ton</td> <td>Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.</td> </tr> </tbody> </table>	Capacidad	Procedimiento	0-5 ton	No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.	5-50 ton	Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.	>50 ton	Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Estanques superficiales</th> <th colspan="2">Estanques enterrados</th> </tr> <tr> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-30 m³</td> <td>Inofensiva</td> <td>0-60 m³</td> <td>Inofensiva</td> </tr> <tr> <td>30-40000 m³</td> <td>Molesta</td> <td>60-60000 m³</td> <td>Molesta</td> </tr> <tr> <td>>40000m³</td> <td>Peligrosa</td> <td>>60000m³</td> <td>Peligrosa</td> </tr> </tbody> </table>		Estanques superficiales		Estanques enterrados		Capacidad	Procedimiento	Capacidad	Procedimiento	0-30 m³	Inofensiva	0-60 m³	Inofensiva	30-40000 m³	Molesta	60-60000 m³	Molesta	>40000m³	Peligrosa	>60000m³	Peligrosa
		Capacidad	Procedimiento																													
		0-5 ton	No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.																													
5-50 ton	Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.																															
>50 ton	Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.																															
Estanques superficiales		Estanques enterrados																														
Capacidad	Procedimiento	Capacidad	Procedimiento																													
0-30 m³	Inofensiva	0-60 m³	Inofensiva																													
30-40000 m³	Molesta	60-60000 m³	Molesta																													
>40000m³	Peligrosa	>60000m³	Peligrosa																													
Instalaciones fabriles**	Letra k.1): <ul style="list-style-type: none"> Si una instalación fabril tiene una potencia instalada igual o superior a 2.000 kVA. 	No aplica	No aplica																													

* El N2 utilizado como parte del proceso posee clasificación 2.2: no inflamables, no tóxicos. No representan factor que pueda causar impacto ambiental de acuerdo al DS 40.

** Quedan excluidas aquellas instalaciones emplazadas en loteos industriales cuya superficie sea menor a las 20 hectáreas.


Figura 7: Producción de amoniaco verde. Fuente: elaboración propia.

Análisis de pertinencia | Generación eléctrica

	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, DS 40, Artículo 3	Calificación de actividades productivas y de servicio de carácter industrial. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (1998).	Circular N° B32 de la Subsecretaría de Salud. Almacenamiento sustancias peligrosas reguladas por el DS 43/2015 (2020).																													
Hidrógeno N.º ONU 1049 Clase ONU (NCh) 2.1 	Letra ñ.3): Producción, disposición o reutilización de sustancias inflamables . <ul style="list-style-type: none"> Con capacidad de almacenamiento de al menos 80.000 kg.º 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-5 ton</td> <td>No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.</td> </tr> <tr> <td>5-50 ton</td> <td>Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.</td> </tr> <tr> <td>>50 ton</td> <td>Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.</td> </tr> </tbody> </table>	Capacidad	Procedimiento	0-5 ton	No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.	5-50 ton	Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.	>50 ton	Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Estanques superficiales</th> <th colspan="2">Estanques enterrados</th> </tr> <tr> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-30 m³</td> <td>Inofensiva</td> <td>0-60 m³</td> <td>Inofensiva</td> </tr> <tr> <td>30-40000 m³</td> <td>Molesta</td> <td>60-60000 m³</td> <td>Molesta</td> </tr> <tr> <td>>40000m³</td> <td>Peligrosa</td> <td>>60000m³</td> <td>Peligrosa</td> </tr> </tbody> </table>		Estanques superficiales		Estanques enterrados		Capacidad	Procedimiento	Capacidad	Procedimiento	0-30 m³	Inofensiva	0-60 m³	Inofensiva	30-40000 m³	Molesta	60-60000 m³	Molesta	>40000m³	Peligrosa	>60000m³	Peligrosa
		Capacidad	Procedimiento																													
		0-5 ton	No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.																													
5-50 ton	Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.																															
>50 ton	Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.																															
Estanques superficiales		Estanques enterrados																														
Capacidad	Procedimiento	Capacidad	Procedimiento																													
0-30 m³	Inofensiva	0-60 m³	Inofensiva																													
30-40000 m³	Molesta	60-60000 m³	Molesta																													
>40000m³	Peligrosa	>60000m³	Peligrosa																													
Generación eléctrica	Letra c): Central generadora de energía eléctrica. <ul style="list-style-type: none"> Mayor a 3 MW. 	No aplica	No aplica																													

Figura 8: Uso de hidrógeno verde para generar energía eléctrica en motores o turbinas. Fuente: elaboración propia.

Análisis de pertinencia | Caldera

	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, DS 40, Artículo 3	Calificación de actividades productivas y de servicio de carácter industrial. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (1998).	Circular N° B32 de la Subsecretaría de Salud. Almacenamiento Sustancias peligrosas reguladas por el DS 43/2015 (2020).																													
Hidrógeno N.º ONU 1049 Clase ONU (NCh) 2.1 	Letra ñ.3): Producción, disposición o reutilización de sustancias inflamables . <ul style="list-style-type: none"> Con capacidad de almacenamiento de al menos 80.000 kg.º 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-5 ton</td> <td>No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.</td> </tr> <tr> <td>5-50 ton</td> <td>Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.</td> </tr> <tr> <td>>50 ton</td> <td>Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.</td> </tr> </tbody> </table>	Capacidad	Procedimiento	0-5 ton	No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.	5-50 ton	Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.	>50 ton	Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Estanques superficiales</th> <th colspan="2">Estanques enterrados</th> </tr> <tr> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> <th>Capacidad</th> <th>Procedimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-30 m³</td> <td>Inofensiva</td> <td>0-60 m³</td> <td>Inofensiva</td> </tr> <tr> <td>30-40000 m³</td> <td>Molesta</td> <td>60-60000 m³</td> <td>Molesta</td> </tr> <tr> <td>>40000m³</td> <td>Peligrosa</td> <td>>60000m³</td> <td>Peligrosa</td> </tr> </tbody> </table>		Estanques superficiales		Estanques enterrados		Capacidad	Procedimiento	Capacidad	Procedimiento	0-30 m³	Inofensiva	0-60 m³	Inofensiva	30-40000 m³	Molesta	60-60000 m³	Molesta	>40000m³	Peligrosa	>60000m³	Peligrosa
		Capacidad	Procedimiento																													
		0-5 ton	No requiere declaración ni estudio de riesgos. Clasificada según molestia.																													
5-50 ton	Declaración de riesgos. Clasificada como molesta.																															
>50 ton	Estudio de riesgos. Resultado da clasificación.																															
Estanques superficiales		Estanques enterrados																														
Capacidad	Procedimiento	Capacidad	Procedimiento																													
0-30 m³	Inofensiva	0-60 m³	Inofensiva																													
30-40000 m³	Molesta	60-60000 m³	Molesta																													
>40000m³	Peligrosa	>60000m³	Peligrosa																													
Instalaciones fabriles*	Letra k.1): <ul style="list-style-type: none"> Si una instalación fabril tiene una potencia instalada igual o superior a 2.000 kVA. 	No aplica	No aplica																													

* Quedan excluidas aquellas instalaciones emplazadas en loteos industriales cuya superficie sea menor a las 20 hectáreas.

Figura 9: Uso de hidrógeno verde en calderas. Fuente: elaboración propia.

Finalmente, el listado de permisos ambientales, ambientales mixtos y sectoriales aplicables a cada tipología se detalla en el Anexo 6.3, incluyendo el servicio responsable de otorgar el permiso y el plazo estimado para su gestión, en aquellos casos en que dicho plazo esté definido.

LISTADO DE CONTENIDOS

RESUMEN EJECUTIVO	3
1 INTRODUCCIÓN	14
2 ESTÁNDARES Y NORMATIVAS CONSIDERADOS	18
2.1 CERTIFICACIÓN DE ORIGEN DEL HIDRÓGENO VERDE	18
2.2 ASPECTOS RELACIONADOS A SEGURIDAD	19
2.2.1 <i>Estados Unidos</i>	20
2.2.2 <i>Unión Europea</i>	22
2.2.3 <i>Chile</i>	23
2.3 CLASIFICACIÓN DE LAS SUSTANCIAS.....	24
2.4 SISTEMA GLOBALMENTE ARMONIZADO	24
2.5 GUÍA DE RESPUESTA DE EMERGENCIA PARA EL TRANSPORTE DE SUSTANCIAS PELIGROSAS.....	26
3 TIPOLOGÍAS ANALIZADAS.....	27
3.1 PRODUCCIÓN - GENERACIÓN DE HIDRÓGENO VERDE.....	28
3.1.1 <i>Aspectos asociados a la localización del proyecto</i>	31
3.1.2 <i>Pertinencia ambiental</i>	33
3.1.3 <i>Listado Permisos ambientales y sectoriales pertinentes</i>	35
3.1.4 <i>Experiencia y Legislación internacional</i>	37
3.2 ALMACENAMIENTO – GAS COMPRIMIDO	40
3.2.1 <i>Aspectos asociados a la localización del proyecto</i>	42
3.2.2 <i>Pertinencia ambiental</i>	43
3.2.3 <i>Listado Permisos ambientales y sectoriales pertinentes</i>	44
3.2.4 <i>Experiencia y Legislación internacional</i>	46
3.3 ALMACENAMIENTO – LICUEFACCIÓN	48
3.3.1 <i>Aspectos asociados a la localización del proyecto</i>	50
3.3.2 <i>Pertinencia ambiental</i>	52
3.3.3 <i>Listado Permisos ambientales y sectoriales pertinentes</i>	53
3.3.4 <i>Experiencia y Legislación internacional</i>	55
3.4 TRANSPORTE – TRANSPORTE DE HIDRÓGENO EN CAMIONES.....	58



3.4.1	<i>Aspectos asociados a la localización del proyecto</i>	59
3.4.2	<i>Pertinencia ambiental</i>	59
3.4.3	<i>Listado Permisos ambientales y sectoriales pertinentes</i>	59
3.4.4	<i>Experiencia y Legislación internacional</i>	60
3.5	TRANSPORTE – HIDRÓGENO EN RED	61
3.5.1	<i>Aspectos asociados a la localización del proyecto</i>	64
3.5.2	<i>Pertinencia ambiental</i>	64
3.5.3	<i>Listado Permisos ambientales y sectoriales pertinentes</i>	65
3.5.4	<i>Experiencia y Legislación internacional</i>	66
3.6	ESTACIÓN DE CARGA Y DISPENSACIÓN	68
3.6.1	<i>Aspectos asociados a la localización del proyecto</i>	71
3.6.2	<i>Pertinencia ambiental</i>	73
3.6.3	<i>Listado Permisos ambientales y sectoriales pertinentes</i>	73
3.6.4	<i>Experiencia y Legislación Internacional</i>	75
3.7	PRODUCCIÓN DE METANOL VERDE	76
3.7.1	<i>Aspectos asociados a la localización del proyecto</i>	79
3.7.2	<i>Pertinencia ambiental</i>	81
3.7.3	<i>Listado Permisos ambientales y sectoriales pertinentes</i>	82
3.7.4	<i>Experiencia y Legislación Internacional</i>	83
3.8	PRODUCCIÓN DE AMONIACO VERDE	84
3.8.1	<i>Aspectos asociados a la localización del proyecto</i>	87
3.8.2	<i>Pertinencia ambiental</i>	89
3.8.3	<i>Listado Permisos ambientales y sectoriales pertinentes</i>	91
3.8.4	<i>Experiencia y Legislación Internacional</i>	92
3.9	GENERACIÓN ELÉCTRICA CON MOTORES O TURBINAS	94
3.9.1	<i>Aspectos asociados a la localización del proyecto</i>	96
3.9.2	<i>Pertinencia ambiental</i>	98
3.9.3	<i>Listado Permisos ambientales y sectoriales pertinentes</i>	98
3.9.4	<i>Experiencia y Legislación Internacional</i>	100
3.10	USO INDUSTRIAL - CALDERA	101

3.10.1	<i>Aspectos asociados a la localización del proyecto</i>	103
3.10.2	<i>Pertinencia ambiental</i>	104
3.10.3	<i>Listado Permisos ambientales y sectoriales pertinentes</i>	105
3.10.4	<i>Experiencia y Legislación Internacional</i>	106
3.11	PERTINENCIA AMBIENTAL DE INSTALACIONES SECUNDARIAS.....	107
3.11.1	<i>Generación eléctrica</i>	107
3.11.2	<i>Línea de conexión</i>	107
3.11.3	<i>Subestación eléctrica</i>	108
3.11.4	<i>Planta de Pretratamiento de Agua (Alimentación de Agua)</i>	108
4	CONCLUSIONES	110
5	REFERENCIAS	114
6	ANEXOS	124
6.1	EMISIONES	124
6.1.1	<i>Termoeléctricas (DS 13)</i>	124
6.1.2	<i>Emisiones de calderas en proceso de aprobación (anteproyecto res ex 459)</i>	125
6.1.3	<i>Emisiones de grupos electrógenos en proceso de aprobación (res ex -1671)</i>	126
6.2	DENSIDADES DE ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO SEGÚN PRESIÓN Y TEMPERATURA.....	128
6.3	PERMISOS AMBIENTALES Y SECTORIALES.....	130
6.4	MEMO ENERGY POWER RESEARCH INSTITUTE (EPRI).....	138

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1: CLASIFICACIÓN DE SUSTANCIAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	3
FIGURA 2: GENERACIÓN DE HIDRÓGENO VERDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	5
FIGURA 3: ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO COMPRIMIDO E HIDRÓGENO LÍQUIDO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	5
FIGURA 4: TRANSPORTE DE HIDRÓGENO EN CAMIONES Y EN RED DE GAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	6
FIGURA 5: ESTACIÓN DE CARGA Y DISPENSACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	6
FIGURA 6: PRODUCCIÓN DE METANOL VERDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	6
FIGURA 7: PRODUCCIÓN DE AMONIACO VERDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	7
FIGURA 8: USO DE HIDRÓGENO VERDE PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN MOTORES O TURBINAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	7
FIGURA 9: USO DE HIDRÓGENO VERDE EN CALDERAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	7
FIGURA 10: PRINCIPALES INSUMOS, PRODUCTOS Y RESIDUOS DE LAS TIPOLOGÍAS EN ESTUDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ...	16
FIGURA 11: ESTÁNDARES INTERNACIONALES DENTRO DE LA CADENA DE VALOR DEL HIDRÓGENO. FUENTE: (FICHTNER, 2020)....	19
FIGURA 12: PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO VERDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	28
FIGURA 13: TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DE HIDRÓGENO POR ELECTRÓLISIS. FUENTE: (SMOLINKA, 2019).....	29
FIGURA 14: EMISIONES DE CO2 EQUIVALENTES PARA LAS DISTINTAS ALTERNATIVAS DE GENERACIÓN DE H2. FUENTE: (SHELL, 2017).	30
FIGURA 15: CENTRAL PEM ENERGIEPARK MAINZ. FUENTE: MODIFICADO A PARTIR DE (LINDE AG, MAINZER STADTWERKE, 2016).	37
FIGURA 16: ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO VERDE – GAS COMPRIMIDO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	41
FIGURA 17: ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO – LICUEFACCIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	48
FIGURA 18: CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO LÍQUIDO A NIVEL MUNDIAL (AZUL) E INSTALACIONES EN CONSTRUCCIÓN (ROJO). FUENTE: (CARDELLA, 2019).....	55
FIGURA 19: TRANSPORTE DE HIDRÓGENO EN CAMIONES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	58
FIGURA 20: TRANSPORTE – HIDRÓGENO EN RED. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	62
FIGURA 21: APLICACIÓN – ESTACIÓN DE CARGA Y DISPENSACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	68
FIGURA 22: ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE HIDRÓGENO: (1) PRODUCCIÓN EN SITIO, (2) ABASTECIMIENTO CH2 CON CAMIONES. FUENTE: MODIFICADO A PARTIR DE (FRAUNHOFER ICE, 2013).....	69
FIGURA 23: ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO H2: LH2. FUENTE: MODIFICADO A PARTIR DE (FRAUNHOFER ICE, 2013).	70
FIGURA 24: CADENA DE VALOR DEL METANOL VERDE. FUENTE: MODIFICADO A PARTIR DE THYSSENKRUPP.	77
FIGURA 25: APLICACIÓN – METANOL VERDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	77
FIGURA 26: CENTRAL METANOL VERDE GEORGE OLAH. FUENTE: (CARBON RECYCLING INTERNATIONAL, 2020).	83



FIGURA 27: APLICACIÓN – AMONIACO VERDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	86
FIGURA 28: PLANTA DE GENERACIÓN DE FERTILIZANTES DE YARA PILBARA. FUENTE: (YARA, 2020).	93
FIGURA 29: APLICACIÓN – GENERACIÓN ELÉCTRICA CON MOTORES O TURBINAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	94
FIGURA 30: APLICACIÓN – CALDERA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	102
FIGURA 31: PRINCIPALES INSUMOS, PRODUCTOS Y RESIDUOS DE LAS TIPOLOGÍAS EN ESTUDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	110
FIGURA 32: DENSIDAD (KG/M3) DEL HIDRÓGENO GASEOSO A DIFERENTES NIVELES DE PRESIÓN (MPA) Y TEMPERATURA (°C). FUENTE: (HYDROGEN TOOLS, 2020).....	129

LISTADO DE TABLAS

TABLA 1: LÍMITES DE EMISIONES DE CO ₂ EQ PARA CERTIFICAR ORIGEN DE HIDRÓGENO DE ELECTRÓLISIS. FUENTE: (TÜV SÜD, 2020).	18
TABLA 2: LISTADO DE PERMISOS PERTINENTES A LA GENERACIÓN DE HIDRÓGENO VERDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	36
TABLA 3: LISTADO DE PERMISOS PERTINENTES AL ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	45
TABLA 4: RESUMEN DE PERMISOS PARA ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	46
TABLA 5: LISTADO DE PERMISOS PERTINENTES A LA LICUEFACCIÓN DE HIDRÓGENO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	54
TABLA 6: RESUMEN DE PERMISOS PARA ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	56
TABLA 7: LISTADO DE PERMISOS PERTINENTES AL TRANSPORTE DE HIDRÓGENO EN CAMIONES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ...	60
TABLA 8: LISTADO DE PERMISOS PERTINENTES AL TRANSPORTE DE HIDRÓGENO EN RED. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	66
TABLA 9: LISTADO DE PERMISOS PERTINENTES A UNA ESTACIÓN DE CARGA Y DISPENSADO DE HIDRÓGENO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	74
TABLA 10: LISTADO DE PERMISOS PERTINENTES A LA GENERACIÓN DE METANOL VERDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	82
TABLA 11: LISTADO DE PERMISOS PERTINENTES A LA GENERACIÓN DE AMONIACO VERDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	91
TABLA 12: LISTADO DE PERMISOS PERTINENTES A LA GENERACIÓN ELÉCTRICA CON H ₂ EN MOTORES/TURBINAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	99
TABLA 13: LISTADO DE PERMISOS PERTINENTES AL USO DE HIDRÓGENO EN CALDERAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	106
TABLA 14: LISTADO DE PERMISOS APLICABLES A UNA CENTRAL DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	107
TABLA 15: LISTADO DE PERMISOS LÍNEA DE CONEXIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	108
TABLA 16: LISTADO DE PERMISOS PERTINENTES A LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	108
TABLA 17: LISTADO DE PERMISOS PERTINENTES A LA PLANTA DE PRETRATAMIENTO DE AGUA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. .	109
TABLA 18: NÚMERO DE PERMISOS IDENTIFICADOS APLICABLE A CADA TIPOLOGÍA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	113
TABLA 19: EMISIONES PARA TERMOELÉCTRICAS SEGÚN EL COMBUSTIBLE UTILIZADO.	124
TABLA 20: EMISIONES DE CALDERAS EN PROCESO DE APROBACIÓN (ANTEPROYECTO RES EX 459). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	125
TABLA 21: EMISIONES DE GRUPOS ELECTRÓGENOS EN PROCESO DE APROBACIÓN (RES EX -1671). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	126
TABLA 22: DENSIDAD (KG/M ³) DEL HIDRÓGENO GASEOSO A DIFERENTES NIVELES DE PRESIÓN (MPA) Y TEMPERATURA (°C). FUENTE: (HYDROGEN TOOLS, 2020).	128



1 Introducción

Chile se destaca como una región con alto potencial para producir hidrógeno renovable a partir de electrólisis¹, el cual podría estar disponible a un costo de unos 2,50 dólares por kg a principios de esta década y llegar a 1,20 dólares por kg al año 2030 (Hydrogen Council, 2020).

El Ministerio de Energía ha definido los siguientes objetivos estratégicos para consolidar una economía del hidrógeno verde en Chile (Ministerio de Energía, 2020):

- Fomentar el uso de hidrógeno verde en reemplazo de combustibles fósiles en aplicaciones de transporte, industria y minería para reducir emisiones en 2 megatoneladas de dióxido de carbono equivalentes al 2030.
- Lograr que Chile se vuelva un país exportador de hidrógeno verde al 2030².
- Promover creación de empleos, desarrollo de proveedores nacionales, reducción de contaminación local y crecimiento económico sostenible en torno a la industria del hidrógeno verde para generar beneficio a los ciudadanos.

Para avanzar en el cumplimiento de los objetivos planteados es crítico tener claridad en el proceso de obtención de permisos ambientales, ambientales mixtos y sectoriales y elaborar una reglamentación coherente con estándares internacionales para limitar las barreras del mercado.

La asesoría tiene como objetivo desarrollar un levantamiento de información sobre posibles y eventuales impactos de carácter ambiental por desarrollo e implementación de proyectos futuros de hidrógeno verde en Chile. El análisis incluye los requerimientos asociados a la tramitación ambiental y sectorial chilena. Particularmente, se han definido los siguientes objetivos específicos:

- Identificar y describir los desafíos ambientales que plantea la industria del hidrógeno verde en todas sus etapas, junto con sus usuales prácticas de manejo a nivel internacional.

¹ Término usado para designar el hidrógeno de bajo carbono producido a partir de fuentes renovables mediante la electrólisis del agua o el uso de biomasa. Sin embargo, las cantidades actuales de producción a partir de la biomasa son insignificantes y los procesos bioquímicos aún no han alcanzado la madurez de mercado. Para efectos del estudio, el término hidrógeno verde es utilizado para identificar al hidrógeno electrolítico (Jensterle, et al., 2019).

² El Ministerio de Energía, en el contexto de La Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, señala que el mercado potencial para Chile en el año 2050 incluye la captura del 50% del mercado de Japón y Corea del Sur y un 20% del mercado chino. La producción alcanzaría valores de 25 millones de toneladas al año con ingresos superiores a los 30 billones de dólares al año (Ministerio de Energía, 2020).



- Facilitar antecedentes del proceso de regulación ambiental, sectorial, territorial chilena que tengan relación al desarrollo, implementación, ejecución y operación de proyectos de generación, almacenamiento, transporte y consumo de hidrógeno verde.

El hidrógeno verde se integrará en diferentes conceptos de uso a partir de su generación, dependiendo la etapa que se considere dentro de su cadena de valor y los bordes del sistema. Por ejemplo, una planta puede alimentar la red de gas natural o una red de hidrógeno, entregar el hidrógeno a remolques para su transporte, estar disponible directamente en una estación de servicio de gas para reabastecer vehículos motorizados, ser utilizada para un procesamiento posterior del gas en la industria química, entre otros.

Los usos posibles son variados y se pueden combinar entre sí según la instalación, lo que puede dar lugar a un amplio abanico de posibilidades en el proceso de aprobación; por lo tanto, es fundamental definir claramente los bordes de cada proyecto a la hora de evaluar las instalaciones que requieren ser aprobadas. Los componentes de la planta necesarios para su funcionamiento, así como las instalaciones secundarias que están conectadas espacial y operacionalmente con posible importancia en la operación del sistema, son importantes para determinar la planta que se va a autorizar (DVGW, 2020).

El reporte encargado por la GIZ a ImplementaSur “Estudio para definir esquemas de financiamiento para acelerar la adopción tecnológica e implementación de proyectos de generación, almacenamiento, transporte, consumo y exportación de Hidrógeno Verde en Chile” presenta 9 iniciativas de proyectos en base a hidrógeno con potencial de ser desarrolladas en diversos sectores de la economía del país (ImplementaSur, 2020). En base a estas iniciativas, en conjunto con la contraparte de este estudio, se segmentó la cadena de valor en cuatro etapas y se identificó diez tipologías genéricas susceptibles a operar potencialmente como instalaciones independientes y por ende con la necesidad de ser evaluadas por separado, en función de la magnitud de sus impactos.

La Figura 10 presenta las tipologías seleccionadas para los efectos de este estudio. En cada tipología, se identifican los principales insumos, productos y residuos; señalando, para cada caso, el número correspondiente de las Naciones Unidas y su clasificación de peligro de acuerdo a lo indicado en la Norma Chilena de Seguridad (NCh).

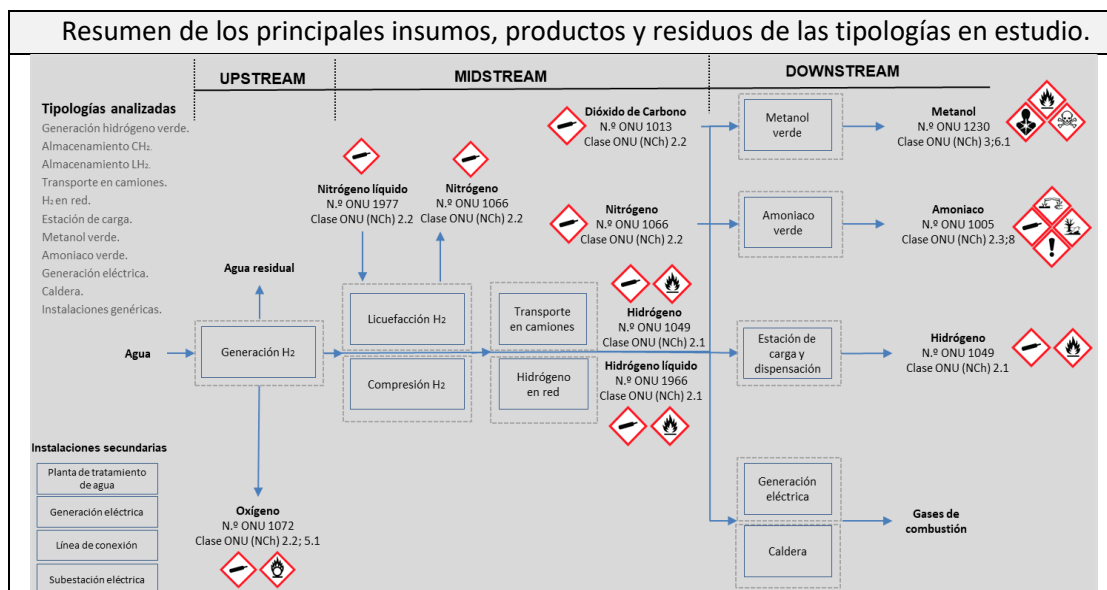


Figura 10: Principales insumos, productos y residuos de las tipologías en estudio. Fuente: elaboración propia.

En el Capítulo 2 se presentan aspectos comunes asociados a seguridad de los distintos proyectos. En el Capítulo 3 se analizan las distintas tipologías, particularmente:

1. Producción - generación de hidrógeno verde (Sección 3.1).
2. Almacenamiento - gas comprimido (Sección 3.2).
3. Almacenamiento – licuefacción (Sección 3.3).
4. Transporte – transporte de hidrógeno en camiones (Sección 3.4).
5. Transporte – hidrógeno en red (Sección 3.5).
6. Estación de carga y dispensación (Sección 3.6).
7. Producción de metanol verde (Sección 3.7).
8. Producción de amoníaco verde (Sección 3.8).
9. Generación eléctrica con motores o turbinas (Sección 3.9).
10. Uso industrial en calderas (Sección 3.10).

Durante el desarrollo del proyecto se contó con el apoyo del Energy Power Research Institute (EPRI) de Estados Unidos, con el fin de revisar aspectos asociados a la experiencia internacional en materia de desarrollo de proyectos. La mayoría de los proyectos analizados son de pequeña escala y han sido desarrollados como pilotos, con un creciente número de instalaciones a gran escala en distintas etapas de planificación. Los aspectos particulares identificados por EPRI se incluyen como Anexo a este reporte. Se indica que en general las evaluaciones de impacto ambiental están enfocadas en

impactos a poblaciones aledañas, fauna, flora, objetos con valor nacional, uso de suelo y calidad de aire; tal como ocurre con cualquier proyecto industrial genérico.

En términos generales, tal como ocurre con un proyecto industrial que no corresponde a una tipología asociada a la cadena de valor del hidrógeno verde, para desarrollar una evaluación de impacto ambiental completa es importante tener en consideración el uso de agua y suelo; el impacto en la flora, fauna y objetos de interés nacional; y aspectos asociados a la participación ciudadana. Adicionalmente, se deben considerar aspectos relacionados a posibles fugas de hidrógeno y peligros en el manejo y transporte de hidrógeno. Los aspectos que son similares a cualquier proyecto industrial dependen del contexto específico y no son materia del alcance de este estudio dado que ya son materias abordadas sectorialmente por las instituciones correspondientes.

En el Anexo 6.3 también se incluye el listado de permisos ambientales y sectoriales aplicable a cada caso, indicando el servicio responsable de otorgar el permiso y el plazo estimado para su gestión, en aquellos casos en que dicho plazo esté definido.

2 Estándares y normativas considerados

2.1 Certificación de origen del hidrógeno verde

La producción limpia de hidrógeno debe garantizar una reducción sustancial de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en comparación con el uso de combustibles fósiles o de hidrógeno convencional, y contribuir a la transición a un sistema energético sostenible (Jensterle, et al., 2019). Para ello, al definir los umbrales de emisión, se deben considerar las emisiones de GEI de todo el ciclo de vida de la cadena de generación de hidrógeno. Esto incluye las emisiones de la producción y extracción de los insumos y del propio proceso de producción de hidrógeno. Además, se deben identificar las emisiones causadas por el transporte del hidrógeno hasta el punto de utilización. A continuación, se enuncian las limitantes establecidas por identidades certificadoras a nivel internacional.

La norma TÜV SÜD³ CMS 70 (Versión 01/2020) identifica dos alternativas de producción de electricidad para su uso en la generación de hidrógeno a partir de electrólisis:

- Generación renovable verificable en el lugar sin conexión a la red.
- Generación renovable verificable a partir de la red. Este uso debe cumplir con una de tres alternativas: ser cubierto al menos en un 30% por centrales nuevas⁴, cumplir requisitos específicos respecto a su mix energético de abastecimiento o pagar un valor fijo por KWh a un fondo de apoyo con el que se respaldan proyectos que sirven para ampliar y/o integrar las energías renovables (TÜV SÜD, 2020).

Se define que el hidrógeno verde producido debe cumplir al menos los requisitos de calidad del hidrógeno 3.0 (>99,9%) en lo que respecta a la pureza. Además, los umbrales máximos de emisiones de CO₂ equivalentes para el hidrógeno de electrólisis son diferenciados en un contexto de un reemplazo de combustibles fósiles en transporte y de su generación con origen fósil:

Tabla 1: límites de emisiones de CO₂eq para certificar origen de hidrógeno de electrólisis. Fuente: (TÜV SÜD, 2020).

	Uso en transporte (gCO ₂ eq/MJ)	Producción de H ₂ (gCO ₂ eq/MJ)
Producción	9,4 (-90%)	9,0 (-90%)
Producción y transporte	23,5 (-75%)	22,4 (-75%)

³ Las empresas de la Asociación para la Energía Limpia (principalmente de los sectores de la automoción y del petróleo y el gas, incluidos los fabricantes de automóviles Honda y Toyota, así como Audi, BMW y Daimler) adhieren a todos los criterios y requisitos de la norma TÜV SÜD CMS 70 (Jensterle, et al., 2019).

⁴ No más de 3 años al momento de la primera certificación, perdiendo su calificación a los 10 años.

El plan CertifHy de la Unión Europea establece como criterio para el hidrógeno electrolítico una reducción de al menos 60% de GEI, en comparación con la producción de hidrógeno por reformado de gas natural, cuyo punto de referencia establece en un nivel de emisiones de 91 gCO₂eq/MJ. De esta forma, las emisiones máximas admisibles para el hidrógeno electrolítico se definen en 36,4 gCO₂eq/MJ.

2.2 Aspectos relacionados a seguridad

Los aspectos de seguridad del hidrógeno son abordados en el estudio “Descarbonización del sector energético chileno Hidrógeno – cadenas de valor y legislación internacional” encargado por GIZ a Fichtner. A partir de la experiencia de diversos países en el área del hidrógeno, el documento analiza sus regulaciones y estándares para desarrollar un mapa analítico y comparativo del marco internacional sobre el hidrógeno como vector energético y toda su cadena de valor (Fichtner, 2020).

El capítulo 4 del estudio de Fichtner presenta los estándares internacionales más relevantes, entre los cuales se encuentran estándares ISO, ASME, IEC, EIGA, CGA, SAE, entre otros, y los clasifica de acuerdo con su fin dentro de la cadena de valor de la industria del hidrógeno (Figura 11).

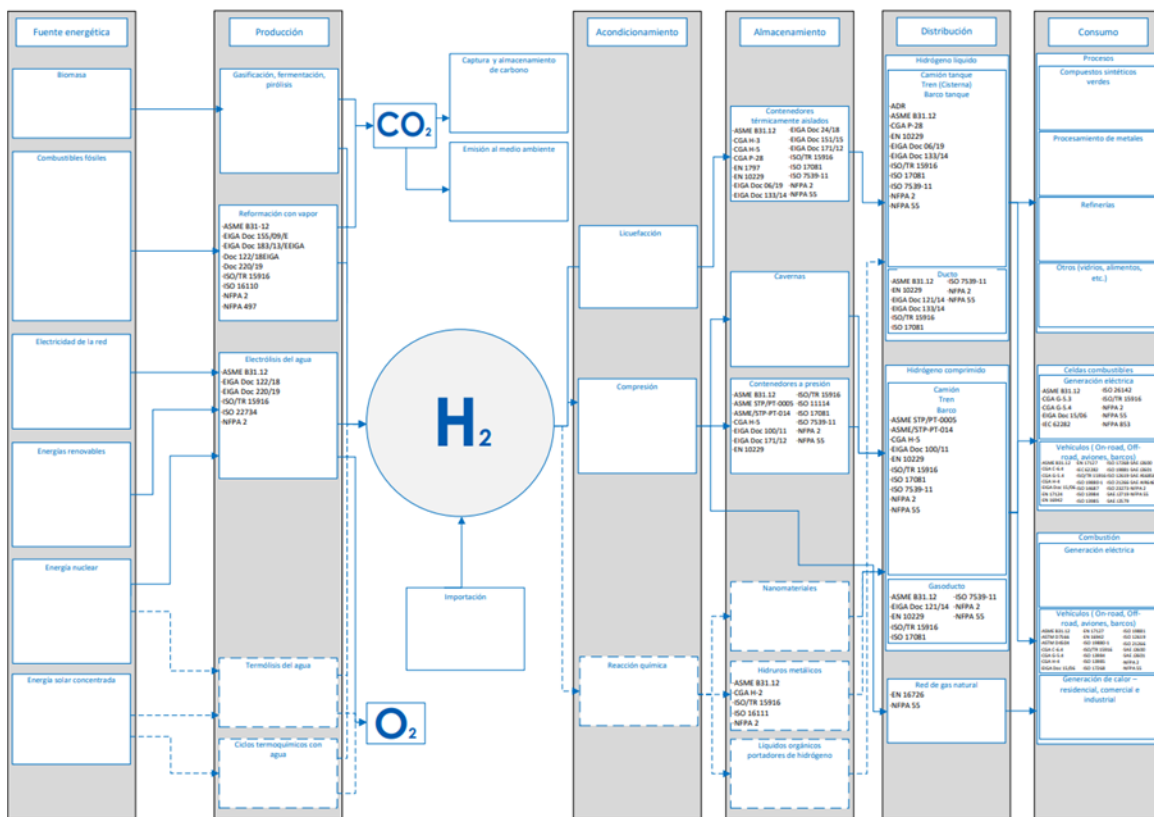


Figura 11: Estándares internacionales dentro de la cadena de valor del hidrógeno. Fuente: (Fichtner, 2020).



Adicionalmente, el reporte detalla la legislación vigente de la Unión Europea, incluyendo el acuerdo internacional con mayor relevancia para el desarrollo de la cadena de valor del hidrógeno, que está asociado al transporte de sustancias peligrosas, tanto por vía terrestre, fluvial, marítima y aérea.

A continuación, se sintetizan los aspectos comunes relacionados a seguridad en la cadena de valor del hidrógeno en Estados Unidos, la Unión Europea y a nivel local.

2.2.1 Estados Unidos

Los requerimientos de seguridad para uso de hidrógeno a nivel industrial están bien desarrollados (Rivkin, Burgess, & Buttner, Hydrogen Technologies Safety Guide, 2015) y han sido elaborados históricamente por la National Fire Protection Association (NFPA) y la Compressed Gas Association (CGA).

A futuro se espera que aumente el interés por el uso de hidrógeno en nuevas aplicaciones tanto estacionarias como asociadas a movilidad sostenible. La aparición y masificación de nuevas aplicaciones requerirá la operación de sistemas de carga de hidrógeno por personas de distinto nivel de calificación. La exposición al público general a instalaciones de hidrógeno en zonas urbanas representa un desafío significativo en término de riesgos potenciales que anteriormente eran gestionados por trabajadores especializados en ambientes industriales controlados. Estos desafíos están produciendo la creación y modificación de estándares de seguridad que serán aplicados a distintos contextos.

En términos generales, los requerimientos de seguridad se abordan en distintos códigos y estándares que definen requisitos de construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de producción, almacenamiento y dispensación de hidrógeno.

El nivel superior de jerarquía consiste en códigos de construcción e incendio que son adoptados directamente en distintas jurisdicciones y, por lo tanto, son un documento legalmente exigible. De manera complementaria es posible encontrar documentos en áreas temáticas específicas, incluyendo el Código de Tecnologías del Hidrógeno NFPA 2⁵ y el Estándar NFPA 853 para Sistemas de Energía de Celdas de Combustible. Estos últimos detallan las normas de cada componente; un ejemplo de ello son los documentos CGA S para dispositivos de alivio de presión y la norma B31.12 de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) para tuberías.

A continuación, se presenta un listado general de los reglamentos, códigos y normas que abordan la seguridad de las tecnologías del hidrógeno (Rivkin, Burgess, & Buttner, Hydrogen Technologies Safety Guide, 2015).

⁵ El propósito de este código será proporcionar garantías fundamentales para: la generación, la instalación, el almacenamiento, la conducción, el uso y la manipulación del hidrógeno en forma de gas comprimido (GH2) o de líquido criogénico (LH2).



Regulaciones Federales

- Regulaciones OSHA 29 CFR 1910 Apartado H
Almacenado, uso y manejo seguro de hidrógeno en el lugar de trabajo
- Regulaciones DOT 49 CFR 171-179
Transporte seguro del hidrógeno comercializado

Códigos Nacionales (Estados Unidos)

- Códigos de Construcción Internacional (IBC)
Requisitos generales para la construcción basados en la clase de ocupación
- Código internacional de fuego (IFC)/NFPA 1 código de fuego uniforme
Requisitos para estaciones de carga de hidrógeno y almacenamiento de gas inflamable y fluido criogénico
- Código internacional mecánico (IMC)
Requisitos para la ventilación del uso de hidrógeno en instalaciones *indoor*.
- Código internacional de gases combustibles (IFGC)
Requisitos para tuberías de gas inflamable.

Códigos y estándares específicos a las tecnologías de hidrógeno

- Código de tecnologías de hidrógeno NFPA 2
Código completo para las tecnologías del hidrógeno elaborado a partir de material extraído de documentos como NFPA 55 y 853 y material original.
- Código de gas comprimido y fluidos criogénicos NFPA 55
Código completo de seguridad de gases que aborda los gases inflamables como una clase de materiales peligrosos y también contiene requisitos específicos para el hidrógeno
- Estándar para la instalación de sistemas estacionarios de celdas de combustible NFPA 853
Cubre la instalación de todas las celdas de combustible comerciales, incluyendo las celdas de combustible de hidrógeno PEM

Estándares de performance e instalación de componentes específicos a tecnologías de hidrógeno

- ASME B31.3 y B31.12 Tuberías y conductos
Códigos de diseño e instalación de tuberías que también cubren la selección de materiales
- Código ASME de calderas y recipientes a presión (BPV)
Aborda el diseño de los recipientes a presión de aleación de acero y compuestos
- CGA S series
Aborda requisitos de liberación de presión para containers.

- CGA H series
Componentes y sistemas
- UL 2075
Sensores
- CSA H serie de estándares de componentes de hidrógeno
- CSA FC1
Celdas de combustible estacionarias
- SAE J2601/SAE J2600
Boquillas dispensadoras

La regulación OSHA 29 CFR 1910, Apartado H, establece una serie de requerimientos para el almacenamiento, uso y manejo de hidrógeno gaseoso y licuado⁶. En la OSHA 29 CFR 1910 se establecen requerimientos de localización y distancias mínimas de seguridad en función del volumen máximo de hidrógeno del sistema de almacenamiento⁷; entre otros factores.

2.2.2 Unión Europea

A medida que las tecnologías asociadas a la cadena de valor del hidrógeno se comienzan a desarrollar a mayor escala, las prácticas de producción, almacenamiento, distribución y utilización segura del gas son esenciales para la percepción positiva, confianza y la aceptación del público (European Hydrogen Safety Panel, 2019).

La planificación de la seguridad debe considerar reglamentos, códigos y normas pertinentes. Los reglamentos establecen requisitos mínimos de seguridad y exigen el cumplimiento de requerimientos definidos en normas, directrices sobre prácticas adecuadas, códigos de la industria, publicaciones científicas, entre otros.

Las Directivas de la Unión Europea establecen los requisitos esenciales de seguridad; el fabricante es quien define el procedimiento que utilizará para demostrar que se cumplen los requisitos exigidos. A continuación, se presentan tres directivas que abordan la seguridad aspectos de seguridad relevantes para el contexto del estudio.

⁶ Esta regulación está basada en normas NFPA más antiguas, y en diversas jurisdicciones se considera como parte de la reglamentación.

⁷ Se definen tres categorías de sistemas de almacenamiento según volumen: menor a 3.000 pies cúbicos (85 m³), entre 3.000 y 15.000 pies cúbicos (425 m³) y mayor a 15.000 pies cúbicos.

Directiva ATEX 99/92/EC

Define requisitos mínimos para mejorar la protección de la seguridad y la salud de los trabajadores expuestos a riesgos derivados de atmósferas explosivas (ATEX)⁸. De esta forma, define zonas sobre la base de la frecuencia y la duración de la aparición de una atmósfera explosiva.

Directiva ATEX 2014/34/EU

Normas y reglamentos para todos los actores de la cadena de valor. Tiene la intención de garantizar que sólo se vendan y apliquen equipos seguros para su uso en atmósferas potencialmente explosivas. Se incluye:

- Equipos y sistemas de protección.
- Requisitos esenciales de salud.
- Requisitos esenciales de seguridad.
- Procedimientos de evaluación evaluados a productos comercializados en la Unión Europea.

Directiva PED 2014/68/EU

Es pertinente a todos los recipientes a presión y accesorios de seguridad (válvulas, mangueras flexibles, conectores) utilizados en la estación de carga y dispensación de hidrógeno. Esta directiva de equipos a presión permite utilizar en toda la Unión Europea el mismo diseño para los recipientes a presión y los accesorios asociados, definiendo requisitos esenciales. Los requisitos detallados se encuentran disponibles en los estándares de seguridad.

Dado que esta directiva es obligatoria en Europa, existe una serie de organismos certificados, los cuales pueden llevar a cabo una evaluación de conformidad del equipo a presión.

2.2.3 Chile

El estudio encargado por la GIZ al Centro de Energía de la Pontificia Universidad Católica de Chile “Proposición de Estrategia Regulatoria del Hidrógeno para Chile” detalla la regulación nacional que aplica al hidrógeno, especialmente sobre aspectos de seguridad, identificando las brechas de cobertura existentes en cada etapa de su cadena de valor (Centro de Energía UC, 2020). El estudio incluye la regulación de sustancias peligrosas de los Ministerios de Salud, de Transportes y Telecomunicaciones, y del Trabajo y Previsión Social, además de las normas aplicables del Instituto Nacional de Normalización (Capítulo 4.3). Adicionalmente, revisa el Reglamento de Seguridad Minera del Ministerio de Minería y la regulación de todos los servicios públicos para determinar si hay otros

⁸ El hidrógeno es un gas inflamable que puede formar una atmósfera explosiva cuando se mezcla con el aire: mezcla en la que, después de producirse la ignición, la combustión se propaga a toda la mezcla no quemada (European Hydrogen Safety Panel, 2019).



reglamentos que puedan afectar a proyectos asociados a la cadena de valor del hidrógeno (Centro de Energía UC, 2020).

Las principales conclusiones del reporte establecen que las normas internacionales cubren satisfactoriamente casi la totalidad de las necesidades más inmediatas que tiene Chile en materias de regulación del hidrógeno, por lo que se propone su adopción a nivel nacional ante la falta de capacidad técnica y experiencia necesaria para preparar normas chilenas equivalentes. Como única excepción se indica su uso en minería, área en la cual no hay normas internacionales (Centro de Energía UC, 2020).

2.3 Clasificación de las sustancias

La clasificación de sustancias de interés para cada proceso evaluado se realizó a partir de su número de las Naciones Unidas (ONU) y clasificación de peligro, de acuerdo con la información presentada en la hoja de seguridad específica a cada caso, en línea con la Norma Chilena de Seguridad (NCh). Los números ONU son números de cuatro dígitos asignados por el comité de Expertos del Consejo Económico y Social sobre el Transporte de Mercancías Peligrosas de las Naciones Unidas; son usados para identificar sustancias o materiales peligrosos en el marco del transporte internacional. Asociado a cada número ONU hay un identificador de peligro, que codifica la clase y subdivisión de peligro general. Si una sustancia plantea varios peligros, pueden especificarse identificadores de riesgo secundarias (ILPI, 2016).

El hidrógeno está asociado a los números de la ONU 1049 (gas comprimido) y 1966 (líquido criogénico), dependiendo de sus condiciones de almacenamiento. Ambos casos tienen asignado una categoría de peligro 2.1, correspondiente a gases inflamables, al ser inflamable en mezcla de proporción igual o inferior al 13% en volumen con el aire a 20 °C y una presión de referencia de 101,3 kPa⁹.

2.4 Sistema Globalmente Armonizado

El análisis de riesgos y permisos se realiza considerando la clasificación del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (GHS, por sus siglas en inglés). Esta iniciativa busca promover criterios uniformes de clasificación y etiquetado de productos químicos, comunicando los peligros físicos para la salud y el medio ambiente. Dentro de sus ventajas destacan una mayor coherencia y comprensión de la información sobre peligros y una mayor protección y gestión de los impactos ambientales de los productos tratados (Ministerio de Salud, 2016).

⁹ De acuerdo con la hoja de seguridad del hidrógeno, sus límites de inflamabilidad con el aire a 101,3 kPa son de 4-75% en volumen.

Actualmente, el Reglamento Europeo (CE) N° 1272/2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas adopta el GHS en todos los países de la Unión Europea; de la misma forma, los Estados Unidos han aplicado el GHS en el lugar de trabajo mediante la revisión de la Norma de Comunicación de Riesgos publicada por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, por sus siglas en inglés) en 2012.

En Chile, El Consejo de Ministros para la Sustentabilidad aprobó en 2018 la propuesta de Reglamento de Clasificación, Etiquetado y Notificación de Sustancias y Mezclas Peligrosas, que busca estandarizar la clasificación de peligros y etiquetado de los productos químicos de acuerdo con el GHS, mejorando la entrega de información y registro, incrementando los niveles de prevención de riesgo y la seguridad de usuarios y operarios, y protegiendo de mejor manera el entorno (Ministerio del Medio Ambiente, 2018).

Para definir la peligrosidad de las sustancias identificadas en el presente informe, se utilizarán las siguientes declaraciones del GHS:

- Declaraciones de peligro (*H-Statements*): redacción normalizada para indicar los peligros de un producto incluido, cuando procede, el grado de peligro¹⁰. Se codifica de la forma Hnxx, donde H significa “declaración de peligro”, n=2 para peligros físicos, n=3 para peligros a la salud y n=4 para peligros ambientales. Finalmente, se adopta un esquema de numeración secuencial (xx).
- Declaraciones de precaución (*P-Statements*): redacción estandarizada para describir las medidas preventivas sobre los efectos adversos resultantes de la exposición a un producto peligroso, o el almacenamiento, la manipulación o la eliminación inadecuados. Los códigos siguen el formato Pnxx, siendo P la precaución, n=1 para precauciones generales, n=2 para precauciones preventivas, n=3 para precauciones de respuesta, n=4 para precauciones de almacenamiento y n=5 para precauciones de disposición. Finalmente, se adopta un esquema de numeración secuencial (xx).

En el GHS, los peligros para el medio se dividen en peligros para el medio ambiente acuático y peligros para la capa de ozono, considerándose adecuado para su aplicación no solo en mercancías embaladas/envasadas, sino también en su distribución, utilización y transporte multimodal tanto terrestre como marítimo (ONU, 2011).

El proceso de clasificación se detalla en los capítulos 4.1 y 4.2 del documento base del Reglamento de Clasificación, Etiquetado y Notificación de Sustancias y Mezclas Peligrosas (ONU, 2011).

¹⁰ La autoridad puede aplicar reglas de precedencia para evitar duplicaciones o redundancias. Por ejemplo, si se asigna la indicación H410 “Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos”, puede omitirse la indicación H400 “Muy tóxico para los organismos acuáticos.”

2.5 Guía de respuesta de emergencia para el transporte de sustancias peligrosas

Para identificar las distancias de seguridad ante eventos catastróficos en el transporte de sustancias peligrosas se utilizó la Guía de Respuesta en Caso de Emergencia del Departamento de Transporte de Estados Unidos que se encuentra especificada en la NCh382, cuyo objetivo es ayudar a los equipos de primeros auxilios a identificar rápidamente los peligros específicos o genéricos de los materiales involucrados en un incidente, y protegerse a sí mismos y al público en general durante la fase de respuesta inicial del incidente. El documento está organizado en guías numeradas, las cuales tienen asignadas sustancias de acuerdo con su número de las Naciones Unidas y su clasificación específica de peligro. La estructura de cada guía es la siguiente:

- Título y número de guía. Indica los peligros generales asociados con los materiales de la guía.
- Peligros potenciales. Describe el peligro del material en términos de incendio o explosión y los efectos de salud debido a la exposición en orden de prioridad. Permite tomar decisiones para proteger al equipo de respuesta de emergencia y población adyacente.
- Seguridad pública. Esta sección está dividida en tres subsecciones: información general (medidas iniciales de precaución), ropa protectora (de acuerdo con propiedades del material) y evacuación (distancias de protección).
- Respuesta de emergencia. Esta sección está dividida en tres subsecciones: fuego (procedimientos de extinción para incendios según tamaño), derrame o fuga (incluye recomendaciones generales y respuesta según tamaño), primeros auxilios (orientación general).

Para efectos del presente documento se enfatiza en la sección de evacuación, la cual sugiere distancias de protección como medidas de precaución inmediatas para derrames¹¹ pequeños y mayores, incluida una distancia sugerida para las condiciones en las que el fuego está presente o es probable. Para mayor detalle se sugiere revisar el documento guía con el número de la ONU de la sustancia a evaluar (U.S. Department of Transportation, 2020).

Un derrame pequeño consiste en la liberación de 208 litros o menos. Esto generalmente corresponde a un derrame desde un envase pequeño (tambor o cilindro) o una fuga pequeña de un envase grande. A partir de los 208 litros se considera un derrame mayor (U.S. Department of Transportation, 2020).

¹¹ Una fuga y/o derrame se refiere a cualquier liberación no prevista de una sustancia química peligrosa, la cual expone a los trabajadores a lesiones graves (ACHS, 2014).

3 TIPOLOGÍAS ANALIZADAS

En este capítulo se presenta el análisis de cada tipología. En cada caso se realiza una descripción general de la tipología, un análisis de los riesgos y permisos, una síntesis de los aspectos asociados a la localización, la pertinencia ambiental, y el listado de permisos ambientales y sectoriales aplicables de un potencial proyecto. Finalmente, se incluye una síntesis de aspectos asociados a la experiencia internacional para la tipología en estudio y una evaluación de las instalaciones secundarias aplicables.

Al tener en consideración los requerimientos del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), DS 40, independiente de los aspectos particulares identificados para cada tipología, se identificó las siguientes consideraciones genéricas susceptibles de ingreso al SEIA:

- Si el proyecto es una modificación de un proyecto existente (DS 40, Artículo 2, letra g).
- Proyectos de desarrollo urbano en zonas no comprendidas en alguno de los planes evaluados estratégicamente de conformidad a lo establecido en la Ley 19.300, particularmente los instrumentos de planificación territorial (DS 40, Artículo 3, letra g). Se entiende por proyectos de desarrollo urbano aquellos señalados en las especificaciones de la letra g.1.
- Proyectos industriales con una superficie mayor a 20 hectáreas que se instalen en zonas saturadas o latentes (DS 40, Artículo 3, letra h.2).
- Si el proyecto se ubica en un área de al menos 10 mil metros cuadrados que contenga contaminantes y que requiera la recuperación o reparación de dicha área (DS 40, Artículo 3, letra o.2).
- Si el proyecto se instala en parques nacionales, reservas nacionales, monumentos naturales, reservas de zonas vírgenes, santuarios de la naturaleza, parques marinos, reservas marinas o en cualesquiera otras áreas colocadas bajo protección oficial (DS 40, Artículo 3, letra p).

En caso de que el titular tenga dudas respecto del ingreso obligatorio al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental de su proyecto, se puede presentar una consulta de pertinencia, para obtener un pronunciamiento de la autoridad al respecto¹².

Los proyectos también pueden ingresar de manera voluntaria al SEIA (DS 40, Artículo 164).

¹² Más información en <https://www.sea.gob.cl/consulta-de-pertinencia>

3.1 Producción - Generación de hidrógeno verde

El objetivo del sistema es producir hidrógeno mediante la separación de una molécula de agua en hidrógeno y oxígeno producto de la aplicación de energía eléctrica generada por una fuente renovable¹³.

La definición de bordes del sistema se presenta en la Figura 12; la planta de producción de hidrógeno puede estar conectada directamente a un generador de energía eléctrica o bien ser suministrada desde la red, en cuyo caso es deseable que se cuente con un mecanismo de certificación de suministro 100% renovable.

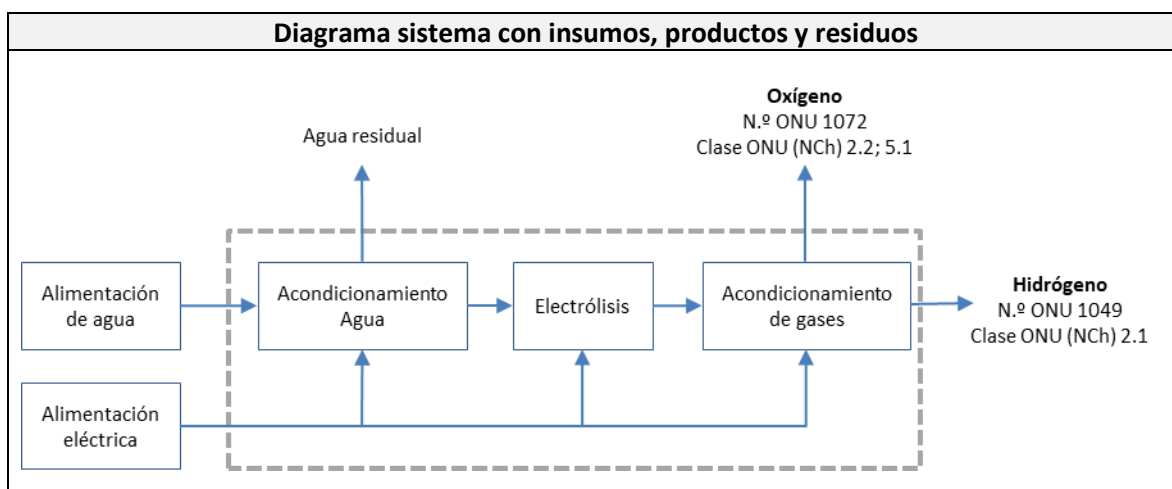


Figura 12: Producción de hidrógeno verde. Fuente: elaboración propia.

El sistema de acondicionamiento de agua tiene por objetivo producir agua de alta pureza a partir de la extracción de sus sales disueltas. El proceso puede involucrar varias etapas¹⁴ y posee un rechazo en rangos de 30% a 43% y produce agua con una conductividad en rangos de 1 a 5 $\mu S/cm$ ¹⁵. Un estanque de amortiguación asegura el suministro constante de agua para el electrolizador.

La Agencia Internacional de Energía (IEA) define tres tecnologías principales para la generación de hidrógeno mediante la electrólisis (IEA, 2019), las cuales se ilustran en la Figura 13:

¹³ En general, por 1 tonelada de hidrógeno se utilizan 10 toneladas de agua y se producen 8 toneladas de oxígeno (Asociación Chilena de Hidrógeno, 2020).

¹⁴ Para el electrolizador PEM de la Central Energiepark Mainz (Alemania), estas etapas son descalcificación, osmosis reversa, membrana de desgasificación y electro deionización. La pureza del agua de salida es menor a los 1 $\mu S/cm$.

¹⁵ Valores referenciados del reporte de aprobación de la construcción y funcionamiento del electrolizador alcalino de la Empresa Green Hydrogen Esslingen y la declaración de impacto ambiental del West Sydney Green Gas Project.

- **Electrólisis alcalina (AEL).** Tecnología de mayor madurez, con 100 años de presencia en la industria. Utiliza un electrolito alcalino disuelto en el agua de alimentación (generalmente hidróxido de potasio, KOH), por lo que incluye un estanque de preparación y almacenamiento de dicho electrolito. Este último es recuperado al finalizar el proceso (no se consideran residuos en esta etapa); a partir de un manejo adecuado de la pureza del agua de alimentación se considera que debiese ser adecuado como medio operativo durante 6-8 años (DLR, Fraunhofer ISE, LBST, 2015). La membrana entre el ánodo y el cátodo permite el transporte de iones de hidróxido (OH) al mismo tiempo que impide la mezcla de los gases de oxígeno e hidrógeno producidos. El proceso se lleva a cabo a presiones de 1-30 bar (0.1-3 MPa) y temperaturas de 60-80 °C.
- **Electrólisis con membrana de intercambio de protones (PEM).** Se basa en el uso de una membrana polimérica conductora de protones como electrolito, lo que permite la alimentación de agua pura, sin la necesidad de recuperar y el reciclar la solución electrolítica que es necesaria en electrolizadores alcalinos¹⁶. El agua se divide en oxígeno y protones en el ánodo. Los protones pasan entonces a través de la membrana conductora y forman gas de hidrógeno en el cátodo. El proceso se lleva a cabo a presiones de 30-80 bar (3-8 MPa) y temperaturas de 50-80 °C.
- **Electrólisis de alta temperatura (HTEL).** Corresponde a la tecnología de electrólisis menos desarrollada, sin haber sido comercializada aún. El proceso se lleva a cabo a una presión de 1 bar y temperatura entre 650-1.000 °C. No forma parte de la cobertura de este reporte.

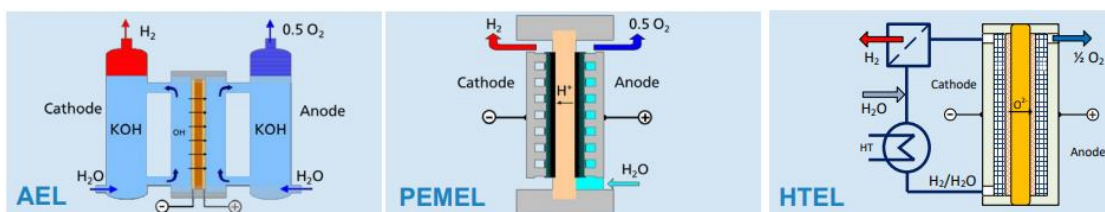


Figura 13: Tecnologías de generación de hidrógeno por electrólisis. Fuente: (Smolinka, 2019).

Los gases de salida pasan por un proceso de acondicionamiento y secado que produce hidrógeno de pureza superior al 99,9% (clasificado como número UN 1049, NCh382, clase 2.1) y oxígeno (clasificado como número UN 1072, NCh382, clase primario 2.2, secundario 5.1). Finalmente, el gas es almacenado en recipientes de baja presión, de acuerdo con las condiciones específicas de salida del sistema, para posteriormente ser tratado de acuerdo con sus requerimientos de uso.

¹⁶ No obstante, el agua suministrada debe ser de mayor pureza que en la electrólisis alcalina, ya que incluso pequeñas concentraciones de contaminantes dañan los catalizadores y reducen la conductividad de la membrana (DLR, Fraunhofer ISE, LBST, 2015).

La producción de hidrógeno de origen fósil sin captura de carbono representa entre un 80% y el 90% del total de las emisiones a lo largo de su cadena de valor (Jensterle, et al., 2019), por lo que el proceso de producción de hidrógeno es la etapa más intensiva en energía dentro de su cadena de valor.

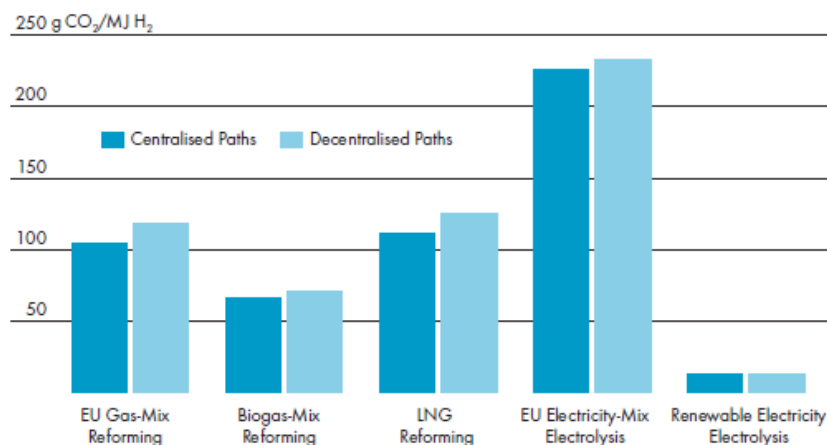


Figura 14: Emisiones de CO₂ equivalentes para las distintas alternativas de generación de H₂. Fuente: (Shell, 2017).

Los valores típicos de emisiones directas son retribuidos de (JEC, 2014) en (Shell, 2017). Para la electrólisis a partir de fuentes renovables, las emisiones están relacionada con el acondicionamiento y distribución del gas, y serían del orden de 13 gCO₂/MJ H₂ (ver Figura 14). En el caso de obtener la electricidad a partir de la red, estos valores están íntimamente relacionados con la matriz energética del país en estudio (150 gCO₂/MJ de electricidad en este caso), obteniendo valores superiores a los 200 gCO₂/MJ H₂ en países de la Unión Europea. En Chile, las emisiones de la matriz de generación son cercanas a los 100 gCO₂/MJ de electricidad.

Riesgos

A continuación, se indican los riesgos y precauciones identificados para esta tipología teniendo en consideración las indicaciones del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos.

Riesgos y precauciones		
Tipo	Hidrógeno gaseoso	Oxígeno
Riesgos físicos	<ul style="list-style-type: none"> Gas extremadamente inflamable (H220). Contiene gas bajo presión; puede explotar si es calentado (H280). 	<ul style="list-style-type: none"> Puede causar o intensificar fuego; oxidante (H270). Contiene gas bajo presión. Puede explotar si es calentado (H280).



Riesgos a la salud	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos a la salud (H3xx). 	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos a la salud (H3xx¹⁷).
Riesgos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos medioambientales (H4xx) 	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos medioambientales (H4xx).
Precaución almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> Use y almacene al aire libre o en un lugar seco y bien ventilado (P271 - P403). 	<ul style="list-style-type: none"> Use y almacene al aire libre o en un lugar seco y bien ventilado (P271 - P403).

3.1.1 Aspectos asociados a la localización del proyecto

Todas las obras deben ajustarse a las normas técnicas, a la ordenanza general y al Plan Regulador Comunal que corresponda (Ley 458 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, que aprueba la ley general de urbanismo y construcciones, Artículo 116). En caso de requerirse una concesión marítima, se debe tener en consideración la Planificación y Desarrollo del Borde Costero.

Los establecimientos industriales o de bodegaje deben cumplir con todas las disposiciones que le sean aplicables establecidas en la ordenanza general de la ley general de urbanismo y construcciones (DS 47) y sólo podrán establecerse en los emplazamientos que determine el instrumento de planificación territorial correspondiente o, a falta de éste, en los lugares que determine la autoridad municipal.

De acuerdo con el DS 47, Artículo 4.14.2, los establecimientos industriales o de bodegaje se deben clasificar caso a caso por la Secretaría Regional Ministerial de Salud en inofensivas, molestas, peligrosas o contaminantes. La Circular B32 (de abril de 2020) de la Subsecretaría de Salud instruye a las Seremi de Salud criterios técnicos para la calificación de actividades productivas e infraestructura. Para las sustancias reguladas por el DS 43/2015 del Ministerio de Salud, la Circular B32 establece requerimientos según volumen almacenado y tipo de sistema de almacenamiento (estanques superficiales o estanques enterrados):

- El establecimiento se clasifica como inofensivo si se almacena un máximo de 30 m³ en estanques superficiales y un máximo de 60 m³ en estanques enterrados.
- El establecimiento se clasifica como molesto si se almacena entre 30 y 40.000 m³ en estanques superficiales y entre 60 y 60.000 m³ en estanques enterrados.

¹⁷ La hoja de datos EPA para el oxígeno (Cameo Chemicals, Chemical Datasheet) especifica Peligros para la Salud al inhalar 100% de oxígeno.



- El establecimiento se clasifica como peligroso si se almacena más de 40.000 m³ en estanques superficiales y más de 60.000 m³ en estanques enterrados.

La masa de hidrógeno (toneladas) contenida en un volumen dado (metros cúbicos) dependerá de las condiciones específicas de presión y temperatura de almacenamiento. Por lo tanto, se debe realizar un análisis caso a caso para definir los umbrales específicos a considerar para cada proyecto¹⁸.

Previo a la publicación de la Circular B32, se contaba con una pauta de referencia calificación de actividades productivas y de servicio de carácter industrial (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1998), donde se definían los siguientes requerimientos.

- Para almacenamiento menor a 5 toneladas no se requiere declaración ni estudio de riesgos, estas actividades son clasificadas de acuerdo con las molestias que generen¹⁹.
- Para almacenamiento entre 5 y 50 toneladas se requiere declaración de riesgos, estas actividades se clasifican como molestas.
- Para almacenamiento mayor a 50 toneladas se requiere estudio de riesgos. En base a los resultados del estudio de riesgo, la autoridad de salud clasifica la actividad industrial como inofensiva (si corresponde a actividad inofensiva y presenta riesgo de categoría 1), molesta (si la actividad no es inofensiva y presenta riesgo de categoría 1, o presenta riesgo de categoría 2), o peligrosa (si presenta riesgo de categoría 3).
 - Categoría 1 corresponde a aquellos accidentes en los que se prevea que no producen daños a la comunidad, personas o el entorno, controlando y neutralizando sus efectos dentro del propio predio e instalaciones.
 - Categoría 2 corresponde a aquellos accidentes en los que se prevea que pueden ocasionalmente causar daños a la salud o a la propiedad, y que normalmente quedan circunscritos al predio de la propia instalación.

¹⁸ En el Anexo 6.2 se adjunta curva de transformación a partir de las densidades del hidrógeno bajo diferentes combinaciones de presión y temperatura.

¹⁹ En el caso de Directive 2012/18/EU, Anexo 1, Parte 2, no se definen obligaciones para cantidades inferiores a 5 ton.



- Categoría 3 corresponde a aquellos accidentes en los que se prevea que pueden llegar a causar daños de carácter catastrófico para la salud o la propiedad, en un radio que excede los límites del propio predio.

Los umbrales mencionados anteriormente (en toneladas) están alineados con los definidos en la Directive 2012/18/EU, Anexo 1, Parte 2, normativa vigente en la Unión Europea.

Adicionalmente, teniendo en consideración lo analizado en la pertinencia ambiental, específicamente en lo que se refiere al venteo del oxígeno, dependiendo del caso, se debe cumplir con el requerimiento establecido en el Artículo 48 del DS 148, que se refiere al emplazamiento de una Instalación de eliminación de residuos peligrosos.

En cuanto a la alternativa de almacenamiento de residuos para los residuos reactivos (artículo 16) o inflamables (artículos 15), el DS 148 artículo 35, indica que deben estar a 15 metros, a lo menos, de los deslindes de la propiedad.

3.1.2 Pertinencia ambiental

La intención de esta sección es evaluar la pertinencia de un proyecto genérico que cumple la función de generación de hidrógeno verde. Si bien los aspectos específicos de una evaluación se deben definir caso a caso, a continuación, se presenta un listado de consideraciones de la legislación ambiental aplicable que podrían derivar en que un proyecto con la funcionalidad descrita deba ingresar al SEIA.

- Si el proyecto considera la producción, disposición o reutilización de sustancias inflamables (hidrógeno, clase 2 división 2.1 NCh382) en una cantidad de al menos 80.000 kg/día, durante un semestre o más y con una periodicidad mensual o mayor, es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra ñ.3).
- Si el proyecto considera una capacidad de almacenamiento de sustancias inflamables de al menos 80.000 kg, es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra ñ.3).
- Teniendo en consideración que por cada tonelada de hidrógeno se producen 8 toneladas de oxígeno, si el proyecto considera la producción, disposición o reutilización de sustancias reactivas (oxígeno, clase 5 NCh382, en caso de que el oxígeno sea un producto reutilizado) en una cantidad igual o superior a 120.000 kg/día, durante un semestre o más, entonces el proyecto es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra ñ.4).
- Si el proyecto considera una capacidad de almacenamiento de sustancias reactivas en una cantidad igual o superior a 120.000 kg, es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra ñ.4).



- Si el proyecto considera el oxígeno como un residuo²⁰, la disposición o reutilización de residuos clasificados como corrosivos o reactivos debido a que se encuentran en alguna de las hipótesis de los artículos 16 o 17 del DS 148, de 2003, del Ministerio de Salud, o aquel que lo reemplace, entonces el proyecto es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra o.9)²¹. Se establece un límite de 1.000 kg/día.
- Si la instalación fabril tiene una potencia instalada igual o superior a 2.000 kVA, es susceptible de causar impacto ambiental. Instalaciones emplazadas en loteos o uso de suelo industrial, definido mediante el instrumento de planificación territorial aprobado ambientalmente conforme a la Ley, deben ingresar al SEIA si tienen una superficie igual o mayor a 20 hectáreas (DS 40, Artículo 3, letra k.1)²².
- Si el proyecto considera sistema de generación, línea de conexión y subestaciones eléctricas, estas deben ser evaluadas como tipologías secundarias.

En caso de tener la intención de modificar un proyecto o actividad existente con fines de producir hidrógeno verde, se debe considerar lo establecido en el Artículo 11 ter de la Ley 19.300, es decir,

²⁰ El Artículo 3 del DS 148 define como residuo o desecho a una sustancia, elemento u objeto que el generador elimina, se propone eliminar o está obligado a eliminar.

²¹ El oxígeno puede explotar si el calentado (H280), por lo que se considera dentro de lo establecido en el artículo 16, letra f) del DS 148, que indica: cuando es capaz de detonar o explosionar por la acción de una fuente de energía de activación o cuando es calentado en forma confinada.

Las mezclas potencialmente explosivas de agentes oxidantes y agentes reductores pueden persistir sin cambios durante largos períodos si se evitan las perturbaciones (calor, chispas, catalizador, choque mecánico). La EPA incluye como ejemplo específico al oxígeno.

El Artículo 10 del DS 148 indica que un residuo o una mezcla de residuos es peligrosa si presenta riesgo para la salud pública y/o efectos adversos al medio ambiente ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto, como consecuencia de presentar diversas características, entre las cuales se encuentra la inflamabilidad. Al mismo tiempo, indica que bastará la presencia de una de estas características en un residuo para que sea calificado como residuo peligroso. Las características de inflamabilidad son definidas en Artículo 15 entre las cuales incluye en el punto d) a sustancia oxidante tal como los cloratos, permanganatos, peróxidos inorgánicos o nitratos, que genera oxígeno lo suficientemente rápido como para estimular la combustión de materia orgánica. El oxígeno puede causar o intensificar fuego; oxidante (H270).

Teniendo en consideración lo analizado, el venteo del oxígeno debe cumplir con el DS 148 con lo indicado en los artículos 15 (inflamabilidad) y artículo 16 (reactividad).

²² Instalaciones que generen una emisión diaria esperada de algún contaminante causante de saturación o latencia de la zona igual o superior al 5% de la emisión diaria estimada de ese contaminante en la zona declarada latente o saturada para ese tipo de fuente, también deben ingresar al SEIA.

la calificación ambiental deberá recaer sobre la modificación y no sobre el proyecto o actividad existente, aunque la evaluación de impacto ambiental considerará la suma de los impactos provocados por la modificación y el proyecto o actividad existente para todos los fines legales pertinentes.

Si la generación de hidrógeno es instalada en un sector urbano, las aguas residuales de la etapa de acondicionamiento de agua pueden ser descargadas directamente al sistema de alcantarillado cumpliendo los requerimientos establecidos en el DS 609 que regula los contaminantes asociados de las descargas de residuos industriales líquidos. El volumen máximo de aguas residuales de descarga es definido en el certificado de factibilidad de conexión otorgado por prestador del servicio sanitario, cuya prefactibilidad debe ser demostrada durante el proceso de evaluación ambiental. Existe la alternativa que el prestador del servicio sanitario y el operador del proyecto industrial acuerden mayores concentraciones de sólidos suspendidos totales en la descarga.

Se debe utilizar las normas de referencia indicadas en el Artículo 11 del DS 40 para evaluar si el proyecto genera o presenta el riesgo indicado en la letra a) y los efectos adversos señalados en la letra b) del artículo 11 de la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente (Ley 19.300).

3.1.3 Listado Permisos ambientales y sectoriales pertinentes

En cuanto a los plazos de gestión para la aprobación de la RCA, dependiendo de la complejidad del proyecto y las correcciones que sean necesarias, se puede tener entre 1 a 3 años.

El listado de permisos ambientales, ambientales mixtos y sectoriales se detalla en el Anexo 6.3, incluyendo el servicio responsable de otorgar el permiso y el plazo estimado para su gestión, en aquellos casos en que dicho plazo esté definido. Para esta tipología de proyecto aplican 11 permisos ambientales mixtos y 34 permisos sectoriales (ver Tabla 2); no aplican permisos ambientales.

Tabla 2: Listado de permisos pertinentes a la generación de Hidrógeno verde. Fuente: elaboración propia.

Autoridad	Tipo de permiso	Documento	Descripción del Permiso	depende de la ubicación: <input type="checkbox"/> aplicable al H ₂ como combustible
Ministerio de Medio Ambiente	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 132	Permisos para hacer excavaciones de tipo arqueológico, antropológico y paleontológico.	
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 138	Permisos para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier obra pública o particular destinada a la evacuación, tratamiento o disposición final de desagües, aguas servidas de cualquier naturaleza.	
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 140	Permisos para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier planta de tratamiento de basuras y desperdicios de cualquier clase o para la instalación de todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cualquier clase.	
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 142	Permisos para todo sitio destinado al almacenamiento de residuos peligrosos.	
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 144	Permisos para instalaciones de eliminación de residuos peligrosos.	
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 146	Permisos para la caza o captura de ejemplares de animales de especies protegidas para fines de investigación, para el establecimiento de centros de reproducción o criaderos y para la utilización sustentable del recurso.	
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 148	Permisos para corta de bosque nativo.	
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 149	Permisos para la corta de plantaciones en terrenos de aptitud preferentemente forestal.	
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 151	Permisos para la corta, destrucción o descepado de formaciones xerofíticas.	
Ministerio de Medio Ambiente	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 160	Permisos para subdividir y urbanizar terrenos rurales o para construcciones fuera de los límites urbanos.	
	Ambiental Pronunciamiento	DS 40, Art. 161	Calificación de instalaciones industriales y de bodegaje.	
Ministerio de Agricultura	Construcción	DS-458	Certificado de uso de suelo.	
Ministerio de Economía	Combustible	Comparativo (*)	Inscripción como producción, importación, transporte, almacenamiento, distribución, mezcla y comercialización de nuevo combustible.	
	Instalación Eléctrica	DFL-4	Declaración de instalación eléctrica.	
Ministerio de Energía	Combustible	Comparativo	Certificado de conformidad de tercera parte.	
	Combustible	Comparativo	Comunicación previo inicio de construcción.	
	Combustible	Comparativo	Declaración previa puesta en servicio.	
	Combustible	Comparativo	Comunicación de cambio de operador.	
	Combustible	Comparativo	Informe término de operación.	
	Combustible	Comparativo	Declaración de instalación de gas.	
Ministerio de Interior	Industrial	DS-2385	Patentes comerciales e industriales.	
Ministerio de Obras Públicas	Caminos	DFL-850	Autorización de acceso a un camino público y/o concesionado.	
Ministerio de Salud	Agua y Residuo Líquido	DS-735	Aprobación de proyectos de agua potable o aguas servidas domésticas particular.	
	Agua y Residuo Líquido	DS-735	Autorización de obras de agua potable o aguas servidas domésticas particular.	
	Industrial	DFL-725	Informe sanitario para la instalación, ampliación o traslado de industrias y talleres.	
	Nuclear	DS-133	Licencia de operación para instalaciones nucleares especiales (instrumentos con fuente sellada).	
	Nuclear	DS-133	Autorización sanitaria para personas que se desempeñan en instalaciones radiactivas (instrumentos con fuentes selladas).	
	Nuclear	DFL-725	Autorización sanitaria para importar sustancias radiactivas y/o equipos con fuentes radiactivas (instrumentos con fuentes selladas).	
	Nuclear	DFL-725	Certificado de Destinación Aduanera (CDA) para sustancias radiactivas y equipos con fuentes radiactivas selladas.	
	Nuclear	DFL-725	Autorización de uso para sustancias radiactivas y equipos (instrumentos con fuentes selladas).	
	Nuclear	DFL-725	Autorización de disposición para sustancias radiactivas y equipos (instrumentos con fuentes selladas).	
	Residuo Peligroso	DS-148	Aprobación de plan de manejo de residuos peligrosos.	
	Residuo Peligroso	DS-148	Autorización sanitaria de sitios de almacenamiento de residuos peligrosos.	
	Residuo Peligroso	DS-148	Aprobación de proyecto de instalación de eliminación de residuos peligrosos.	
	Residuo Peligroso	DS-148	Autorización de plan de cierre de instalación de eliminación de residuos peligrosos.	
	Sustancias Peligrosas	DFL-725	Autorización sanitaria para la fabricación de sustancias peligrosas.	
	Sustancias Peligrosas	DS-43	Autorización sanitaria para almacenamiento de sustancias peligrosas.	
	Sustancias Peligrosas	DFL-725	Autorización de uso y disposición para sustancias químicas peligrosas importadas.	
Ministerio de Vivienda y Urbanismo	Construcción	DS-47	Certificado de informaciones previas.	
	Construcción	DS-47	Autorización de cambio de destino.	
	Construcción	DS-47	Aprobación de anteproyecto.	
	Construcción	DS-47	Permiso obras preliminares (instalación de faenas).	
	Construcción	DS-47	Permiso de edificación.	
	Construcción	DS-47	Modificación de proyecto.	
	Construcción	DS-47	Recepción definitiva de obras.	

(*) Comparativo hace referencia a permisos asociados a gases definidos como combustibles de acuerdo a la legislación nacional.

Los permisos sectoriales para la producción de hidrógeno verde se encuentran definidos; es posible su asociación como una planta de producción química peligrosa.

Si se considera el hidrógeno como combustible, es necesaria su inscripción en el registro que se establece en el artículo segundo del DFL N° 1, de 1979, del Ministerio de Minería según se indica en la ley N° 20339, de 2009, del Ministerio de Hacienda. Adicionalmente, se debe definir si el hidrógeno será considerado dentro de los permisos sectoriales como un producto químico o como un gas combustible.

3.1.4 Experiencia y Legislación internacional

De acuerdo con la base de datos de la Agencia Internacional de Energía²³, la central productora de hidrógeno Energiepark Mainz es la instalación de mayor capacidad a nivel mundial en funcionamiento con la tecnología de membrana de intercambio de protones (IEA, 2020).

Este proyecto consiste en un electrolizador PEM de 6 MW, dividido en tres stacks de 2 MW de inyección máxima conectados directamente a la red de media tensión de Mainz y a un parque eólico a través de una estación de corriente continua. Una vez completado el proceso de producción y acondicionamiento del hidrógeno, la central cuenta con la alternativa de almacenamiento a baja presión a 20-80 bar (2-8 MPa) y posterior inyección a la red de gas natural adyacente a sus instalaciones o bien almacenamiento a alta presión previa compresión a 250 bar (25 MPa) para ser transportado en camiones (ver Figura 15).

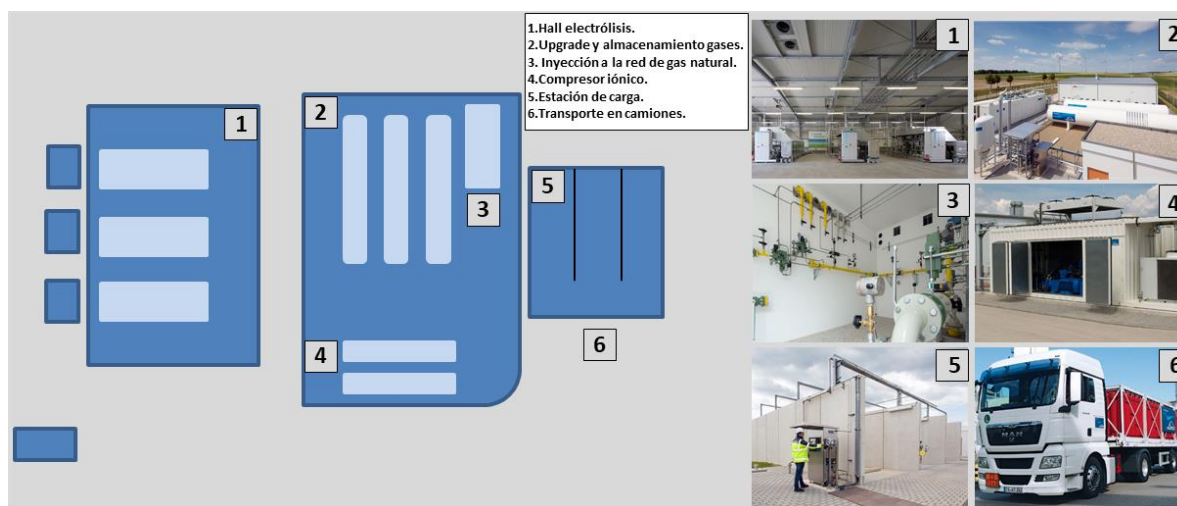


Figura 15: Central PEM Energiepark Mainz. Fuente: modificado a partir de (Linde AG, Mainzer Stadtwerke, 2016).

De acuerdo con el Procedimiento de Aprobación del Energiepark Mainz, la central no genera emisiones contaminantes a la atmósfera ni residuos sólidos durante su funcionamiento; el oxígeno y el hidrógeno se liberan a la atmósfera por separado y de manera controlada. Los niveles de ruido son medidos y controlados de acuerdo con los niveles permitidos en la legislación alemana. El sistema no causa ninguna molestia por olores.

²³ Este documento cubre todos los proyectos encargados en todo el mundo desde el año 2000 para producir hidrógeno con fines energéticos o de mitigación del cambio climático. Incluye proyectos activos, en planificación y en construcción cuyo objetivo es reducir las emisiones asociadas a la producción de hidrógeno para aplicaciones existentes, utilizarlo como portador de energía o materia prima industrial en nuevas aplicaciones que tengan el potencial de ser una tecnología de bajo carbono (IEA, 2020).

La central tiene un permiso para verter las aguas residuales de producción del parque energético en el sistema de alcantarillado público de la ciudad de Mainz. Como se indica en su solicitud de aprobación, las aguas residuales se descargan primero en el sistema de alcantarillado de la planta, que a su vez las descarga en el sistema de alcantarillado público. Se identifican tres corrientes parciales de aguas residuales: dos provenientes del tratamiento de agua (concentrado de osmosis inversa y agua residual de las células del deionizador) y una proveniente del agua condensada en el proceso de acondicionamiento del gas (Linde AG, Mainzer Stadtwerke, 2016).

El proyecto no tiene ningún impacto ambiental adverso significativo que deba tenerse en cuenta en virtud la legislación vigente; por lo tanto, no hay obligación de realizar un estudio del impacto ambiental (Grün-und Umweltamt Mainz, 2019).

La Central Power-to-Gas en Grenzach-Wyhlen es una planta de electrólisis alcalina de 1 MW de capacidad acoplada a una planta piloto de 300 kW, alcanza una producción electrolítica de hasta 300 Nm³/h de hidrógeno a partir de la energía de la central hidroeléctrica de pasada de Wyhlen. Ambos electrolizadores suministran el hidrógeno a una planta de purificación y secado de gas, donde este se comprime a 300 bar (30 MPa) por medio de un compresor de diafragma y se almacena en un tanque de almacenamiento de alta presión con 1,6 toneladas de capacidad. El hidrógeno se carga en los vehículos de remolque.

El documento de aprobación para la construcción y operación de la planta indica que la operación esencialmente producirá emisiones de hidrógeno y oxígeno, contabilizando estas últimas un volumen máximo de 150 Nm³/h, liberadas a través del techo de la central. Adicionalmente, se considera un flujo de soplado del secado y purificación del hidrógeno de 5 Nm³/h consistente en gas de hidrógeno con humedad del agua y descargado a través del tubo de soplado que se encuentra por encima del techo, sin necesidad de fijar valores límite en las fuentes de emisión.

El agua de alimentación del proyecto Power-to-Gas en Grenzach-Wyhlen se desmineraliza en una planta de ósmosis inversa y se alimenta directamente al generador de gas de hidrógeno desde un tanque de almacenamiento atmosférico utilizando una bomba de agua de alimentación a presión. La planta produce 2.300 toneladas de aguas residuales al año; no se producen otros residuos. Se abastece del suministro de agua existentes dentro de las instalaciones de la empresa y no indica el destino del agua residual (Regierungspräsidium Freiburg, 2018).

El proyecto no tiene ningún impacto ambiental adverso significativo que deba tenerse en cuenta en virtud la legislación vigente; por lo tanto, no hay obligación de realizar un estudio del impacto ambiental (Regierungspräsidium Freiburg, 2018).

Respecto del punto específico de eliminación de aguas residuales en centrales de generación de hidrógeno a partir de electrólisis, la Asociación Alemana para el gas y el agua (DVGW, por sus siglas en alemán) señala dos opciones:



- Descarga directa en masas de agua después del manejo en planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa. Esta alternativa requiere un procedimiento de aprobación separado según lo estipulado en el artículo 57 de la Ley Federal de Aguas de Alemania.
- Descarga indirecta en sistemas de alcantarillado públicos o privados. De acuerdo con el artículo 58 de la Ley Federal de Aguas de Alemania, únicamente será posible el vertido de aguas residuales en estos sistemas si se cumplen los requisitos pertinentes para la descarga de acuerdo con la Ordenanza de Aguas Residuales en su versión actualmente vigente y no se pone en peligro el cumplimiento de los requisitos para la descarga directa del sistema de destino. El permiso necesario para el vertido indirecto es tramitado en forma conjunta a los requisitos como parte del documento de aprobación para la construcción y operación de la planta (DVGW, 2020).

Por su tamaño y ubicación actual, las plantas de generación de hidrógeno en Alemania son principalmente descargadores indirectos, es decir, descargan sus aguas residuales a través del sistema de alcantarillado público en una planta de tratamiento de aguas residuales pública.

La producción de hidrógeno está sujeta a un número importante de requerimientos. Los principales aspectos regulatorios en la Unión Europea para las plantas de producción de hidrógeno se establecen en: la Directiva SEVESO (2012/18/UE)²⁴, la Directiva ATEX (2014/34/UE)²⁵, y la Directiva 2010/75/UE²⁶ sobre las emisiones industriales.

Comentarios generales respecto de recomendaciones de Directivas 2012/18/UE, 2014/34/UE, 2010/75/UE

- El hidrógeno se trata como un gas industrial cuya generación es catalogada como un proceso químico o industrial tradicional; por lo tanto, la producción de hidrógeno verde a partir de fuentes renovables no se diferencia del resto de las alternativas para producir hidrógeno. No obstante, la electrólisis es un proceso que tiene un potencial de peligro significativamente menor que otras plantas químicas; no implica condiciones potencialmente peligrosas (como altas presiones o temperaturas), ni grandes cantidades de sustancias peligrosas (Energiepark Mainz, 2016).
- La Directiva sobre emisiones industriales estipula que la producción debe entenderse como "la producción a escala industrial mediante procesamiento químico de sustancias o grupos

²⁴ Directiva 2012/18/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2012, relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

²⁵ Directiva 2014/34/UE - que cubre los equipos y sistemas de protección destinados a ser utilizados en atmósferas potencialmente explosivas.

²⁶ Directiva 2010/75/UE sobre emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación).



de sustancias [...]”, sin una definición clara de dicha escala industrial. La ausencia de umbrales claros para la aplicación de requisitos significa que la puesta en marcha de pequeñas unidades de producción puede ser tan complicada como la de las grandes.

- El hidrógeno sólo tiene un potencial de peligro debido a su inflamabilidad.
- El potencial de peligro de una planta de energía a gas no está determinado principalmente por la capacidad de producción, sino por la cantidad almacenada en el lugar.
- Se debe redactar, y actualizar cuando sea necesario, un documento en el que se define una política de prevención de accidentes graves; el documento se debe enviar a la autoridad competente. La política de prevención de accidentes graves se aplicará mediante medios y estructuras adecuadas y mediante un sistema de gestión de la seguridad, acorde a los peligros de accidente grave y a la complejidad de la organización o las actividades del establecimiento. Este requerimiento aplica a establecimientos que almacenen más de 50 toneladas.
- Las instalaciones de mayor tamaño deben presentar un informe de seguridad y planes de emergencia, cuyos requerimientos se definen en la Directiva 2012/18/UE, artículos 10 y 12 respectivamente. Este requerimiento aplica a establecimientos que almacenen más de 50 toneladas.
- Se debe tener en cuenta los objetivos de prevención de accidentes graves y de limitación de sus consecuencias para la salud humana y el medio ambiente en las políticas de ocupación del suelo (Directiva 2012/18/UE, artículos 13).

3.2 Almacenamiento – Gas Comprimido

El hidrógeno (clasificado como número UN 1049, NCh382, clase 2.1), a diferencia de las sustancias peligrosas para la salud, tiene un potencial de peligro debido únicamente a su inflamabilidad. En este contexto, el riesgo no está determinado por la capacidad de producción, sino por la cantidad que se tenga almacenada (Linde AG, Siemens AG, 2016).

Si bien el hidrógeno tiene un valor energético por unidad de peso que es aproximadamente tres veces el de la gasolina y el petróleo, su densidad energética por unidad de volumen en condiciones estándar es del orden de uno a diez mil; por lo tanto, para utilizar el hidrógeno como combustible, este se tiene que almacenar al alta presión y baja temperatura.

Si el hidrógeno gaseoso a temperatura ambiente se comprime a una presión de 350 bar (35 MPa), la densidad aumenta de 0,09 kg/m³ a 25 kg/m³ aproximadamente, reduciendo considerablemente

el espacio necesario para el almacenamiento. Para lograr una densidad de 42 kg/m³ se tiene que almacenar a una presión de 700 bar (70 MPa), estándar en tanques de hidrógeno comprimido de vehículos particulares; para vehículos utilitarios y autobuses de transporte público, con menores restricciones de espacio, se puede utilizar tanques de hidrógeno comprimido a 350 bar (35 MPa) (Klell & Eichseder, 2018). En el Anexo 6.2 se presenta más detalle sobre las densidades del hidrógeno a diferentes presiones y temperaturas.

Las alternativas tecnológicas para la etapa de compresión del hidrógeno son variadas, destacando los compresores de pistón, aire comprimido, diafragma o iónicos, cuya selección se realiza en función de las características de diseño del sistema (Hydrogen Europe, 2017).

La intensidad de las emisiones del proceso está definida por la alternativa de alimentación eléctrica, la cual queda fuera de los bordes del sistema (ver Figura 16).

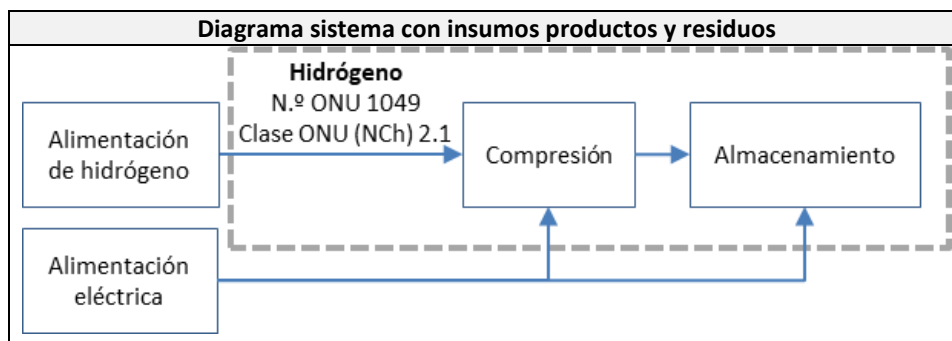


Figura 16: Almacenamiento de hidrógeno verde – gas comprimido. Fuente: elaboración propia.

Riesgos

A continuación, se indican los riesgos y precauciones identificados para esta tipología teniendo en consideración las indicaciones del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos.

Riesgos y precauciones	
Tipo	Hidrógeno gaseoso
Riesgos físicos	<ul style="list-style-type: none"> Gas extremadamente inflamable (H220). Contiene gas bajo presión; puede explotar si es calentado (H280).
Riesgos a la salud	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos a la salud (H3xx).
Riesgos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos medioambientales (H4xx)
Precaución almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> Use y almacene al aire libre o en un lugar seco y bien ventilado (P271 - P403).



3.2.1 Aspectos asociados a la localización del proyecto

Todas las obras deben ajustarse a las normas técnicas, a la ordenanza general y al Plan Regulador Comunal que corresponda (Ley 458 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, que aprueba la ley general de urbanismo y construcciones, Artículo 116^o).

Los establecimientos industriales o de bodegaje deben cumplir con todas las disposiciones que le sean aplicables establecidas en la ordenanza general de la ley general de urbanismo y construcciones (DS 47) y sólo podrán establecerse en los emplazamientos que determine el instrumento de planificación territorial correspondiente, o a falta de éste, en los lugares que determine la autoridad municipal.

De acuerdo con el DS 47, Artículo 4.14.2, los establecimientos industriales o de bodegaje se deben clasificar caso a caso por la Secretaría Regional Ministerial de Salud en inofensivas, molestas, peligrosas o contaminantes. La Circular B32 (de abril de 2020) de la Subsecretaría de Salud instruye a las Seremi de Salud criterios técnicos para la calificación de actividades productivas e infraestructura. Para las sustancias reguladas por el DS 43/2015 del Ministerio de Salud, la Circular B32 establece requerimientos según volumen almacenado y tipo de sistema de almacenamiento (estanques superficiales o estanques enterrados):

- El establecimiento se clasifica como inofensivo si se almacena un máximo de 30 m³ en estanques superficiales y un máximo de 60 m³ en estanques enterrados.
- El establecimiento se clasifica como molesto si se almacena entre 30 y 40.000 m³ en estanques superficiales y entre 60 y 60.000 m³ en estanques enterrados.
- El establecimiento se clasifica como peligroso si se almacena más de 40.000 m³ en estanques superficiales y más de 60.000 m³ en estanques enterrados.

La masa de hidrógeno (toneladas) contenida en un volumen dado (metros cúbicos) dependerá de las condiciones específicas de presión y temperatura de almacenamiento. Por ende, se debe realizar un análisis caso a caso para definir los umbrales específicos a considerar para cada proyecto²⁷.

Previo a la publicación de la Circular B32, se contaba con una pauta de referencia de calificación de actividades productivas y de servicio de carácter industrial (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1998), donde se definían los siguientes requerimientos.

²⁷ En el Anexo 6.2 se adjunta curva de transformación a partir de las densidades del hidrógeno bajo diferentes combinaciones de presión y temperatura.

- Para almacenamiento menor a 5 toneladas no se requiere declaración ni estudio de riesgos, estas actividades son clasificadas de acuerdo con las molestias que generen²⁸.
- Para almacenamiento entre 5 y 50 toneladas se requiere declaración de riesgos, estas actividades se clasifican como molestias.
- Para almacenamiento mayor a 50 toneladas se requiere estudio de riesgos. En base a los resultados del estudio de riesgo, la autoridad de salud clasifica la actividad industrial como inofensiva (si corresponde a actividad inofensiva y presenta riesgo de categoría 1), molesta (si la actividad no es inofensiva y presenta riesgo de categoría 1, o presenta riesgo de categoría 2), o peligrosa (si presenta riesgo de categoría 3).
 - Categoría 1 corresponde a aquellos accidentes en los que se prevea que no producen daños a la comunidad, personas o el entorno, controlando y neutralizando sus efectos dentro del propio predio e instalaciones.
 - Categoría 2 corresponde a aquellos accidentes en los que se prevea que pueden ocasionalmente causar daños a la salud o a la propiedad, y que normalmente quedan circunscritos al predio de la propia instalación.
 - Categoría 3 corresponde a aquellos accidentes en los que se prevea que pueden llegar a causar daños de carácter catastrófico para la salud o la propiedad, en un radio que excede los límites del propio predio.

Los umbrales mencionados anteriormente (en toneladas) están alineados con los definidos en la Directive 2012/18/EU, Anexo 1, Parte 2, normativa vigente en la Unión Europea, normativa vigente en la Unión Europea.

3.2.2 Pertinencia ambiental

La intención de esta sección es evaluar la pertinencia de un proyecto genérico que cumple la función de almacenamiento de hidrógeno mediante gas comprimido. Si bien los aspectos específicos de una evaluación se deben definir caso a caso, a continuación, se presenta un listado de consideraciones de la legislación ambiental aplicable que podrían derivar en que un proyecto con la funcionalidad descrita deba ingresar al SEIA.

²⁸ En el caso de Directive 2012/18/EU, Anexo 1, Parte 2, no se definen obligaciones para cantidades inferiores a 5 ton.

- Si el proyecto considera una capacidad de almacenamiento de sustancias inflamables (hidrógeno, clase 2 división 2.1 NCh382) de al menos 80.000 kg, es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra ñ.3).
- Si la instalación fabril tiene una potencia instalada igual o superior a 2.000 kVA, es susceptible de causar impacto ambiental. Instalaciones emplazadas en loteos o uso de suelo industrial, definido mediante el instrumento de planificación territorial aprobado ambientalmente conforme a la Ley, deben ingresar al SEIA si tienen una superficie igual o mayor a 20 hectáreas (DS 40, Artículo 3, letra k.1)²⁹.
- Si el proyecto considera sistema de generación, línea de conexión y subestaciones eléctricas, estas deben ser evaluadas como tipologías secundarias.

Se debe utilizar las normas de referencia indicadas en el Artículo 11 del DS 40 para evaluar si el proyecto genera o presenta el riesgo indicado en la letra a) y los efectos adversos señalados en la letra b) del artículo 11 de la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente (Ley 19.300).

3.2.3 Listado Permisos ambientales y sectoriales pertinentes

En cuanto a los plazos de gestión para la aprobación de la RCA, dependiendo de la complejidad del proyecto y las correcciones que sean necesarias, se puede tener entre 1 a 3 años.

El listado de permisos ambientales, ambientales mixtos y sectoriales se detalla en el Anexo 6.3, incluyendo el servicio responsable de otorgar el permiso y el plazo estimado para su gestión, en aquellos casos en que dicho plazo esté definido. Para esta tipología de proyecto, aplican 10 permisos ambientales mixtos y 23 permisos sectoriales; no aplican permisos ambientales (ver Tabla 3).

²⁹ Instalaciones que generen una emisión diaria esperada de algún contaminante causante de saturación o latencia de la zona igual o superior al 5% de la emisión diaria estimada de ese contaminante en la zona declarada latente o saturada, para ese tipo de fuente también deben ingresar al SEIA.

Tabla 3: Listado de permisos pertinentes al almacenamiento de hidrógeno. Fuente: elaboración propia.

Autoridad	Tipo de permiso	Documento	Descripción del Permiso
Ministerio de Medio Ambiente	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 132	Permisos para hacer excavaciones de tipo arqueológico, antropológico y paleontológico.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 138	Permisos para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier obra pública o particular destinada a la evacuación, tratamiento o disposición final de desagües, aguas servidas de cualquier naturaleza.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 140	Permisos para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier planta de tratamiento de basuras y desperdicios de cualquier clase o para la instalación de todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cualquier clase.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 142	Permisos para todo sitio destinado al almacenamiento de residuos peligrosos.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 146	Permisos para la caza o captura de ejemplares de animales de especies protegidas para fines de investigación, para el establecimiento de centros de reproducción o criaderos y para la utilización sustentable del recurso.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 148	Permisos para corta de bosque nativo.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 149	Permisos para la corta de plantaciones en terrenos de aptitud preferentemente forestal.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 151	Permisos para la corta, destrucción o descepa de formaciones xerofíticas.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 160	Permisos para subdividir y urbanizar terrenos rurales o para construcciones fuera de los límites urbanos.
Ambiental Pronunciamiento	DS 40, Art. 161	Calificación de instalaciones industriales y de bodegaje.	
Ministerio Agricultura	Construcción	DS-458	Certificado de uso de suelo.
Ministerio de Economía	Combustible	Comparativo (*)	Inscripción como producción, importación, transporte, almacenamiento, distribución, mezcla y comercialización de nuevo combustible.
	Instalación Eléctrica	DFL-4	Declaración de instalación eléctrica.
Ministerio de Energía	Combustible	Comparativo	Certificado de conformidad de tercera parte.
	Combustible	Comparativo	Comunicación previo inicio de construcción.
	Combustible	Comparativo	Declaración previa puesta en servicio.
	Combustible	Comparativo	Comunicación de cambio de operador.
	Combustible	Comparativo	Informe término de operación.
	Combustible	Comparativo	Declaración de instalación de gas.
Ministerio de Interior	Industrial	DS-2385	Patentes comerciales e industriales.
Ministerio de Obras Públicas	Caminos	DFL-850	Autorización de acceso a un camino público y/o concesionado.
Ministerio de Salud	Agua y Residuo Líquido	DS-735	Aprobación de proyectos de agua potable o aguas servidas domésticas particular.
	Agua y Residuo Líquido	DS-735	Autorización de obras de agua potable o aguas servidas domésticas particular.
	Industrial	DFL-725	Informe sanitario para la instalación, ampliación o traslado de industrias y talleres.
	Sustancias Peligrosas	DFL-725	Autorización sanitaria para la fabricación de sustancias peligrosas.
	Sustancias Peligrosas	DS-43	Autorización sanitaria para almacenamiento de sustancias peligrosas.
	Sustancias Peligrosas	DFL-725	Autorización de uso y disposición para sustancias químicas peligrosas importadas.
Ministerio de Vivienda y Urbanismo	Construcción	DS-47	Certificado de informaciones previas.
	Construcción	DS-47	Autorización de cambio de destino.
	Construcción	DS-47	Aprobación de anteproyecto.
	Construcción	DS-47	Permiso obras preliminares (instalación de faenas).
	Construcción	DS-47	Permiso de edificación.
	Construcción	DS-47	Modificación de proyecto.
	Construcción	DS-47	Recepción definitiva de obras.

(*) Comparativo hace referencia a permisos asociados a gases definidos como combustibles de acuerdo a la legislación nacional.

Por una parte, se puede inferir que los permisos sectoriales para el almacenamiento de hidrógeno verde se encuentran definidos, ya que es posible asociarlo al almacenamiento de sustancias peligrosas. No obstante, el Reglamento de Almacenamiento de Sustancias Peligrosas del Ministerio de Salud, DS-43, Artículo 3, indica expresamente que quedan excluidos del ámbito de aplicación los combustibles líquidos y gaseosos, utilizados como recursos energéticos, ya que estos son regulados por los decretos respectivos del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. Luego, es necesario revisar la completitud legal y técnica del hidrógeno para su aplicación como combustible.

Si se considera el hidrógeno como combustible, es necesaria su inscripción en el registro que se establece en el Artículo segundo del decreto con fuerza de ley N° 1, de 1979, del Ministerio de Minería según se indica en la ley N° 20339, de 2009, del Ministerio de Hacienda. Adicionalmente, se debe definir si el hidrógeno será considerado dentro de los permisos sectoriales como un producto químico o como un gas combustible.



3.2.4 Experiencia y Legislación internacional

El proyecto Central Energiepark Mainz cuenta con dos etapas de compresión y una capacidad total de almacenamiento de 3,7 ton. La primera etapa se encuentra a la salida de la electrólisis, alcanzando presiones de 20-80 bar (2-8 MPa), donde el gas se almacena en recipientes presurizados (almacenamiento *buffer*) para ser alimentado a la red de gas natural. Alternativamente, el gas pasa por un compresor iónico que aumenta la presión del gas desde un mínimo de 15 bar (1.5 MPa) hasta 250 bar (25 MPa). Una sal líquida lubrica, enfría y sella el compresor de pistón de accionamiento hidráulico sin contaminar el hidrógeno. La unidad se desarrolló para un funcionamiento multivariable con cambios rápidos de carga (10-100%) y una alta eficiencia de carga parcial (máximo consumo de 350 kW) y su objetivo es alimentar tanto a los estanques de almacenamiento como directamente a los remolques de carga (Linde AG, Mainzer Stadtwerke, 2016).

De acuerdo con la Cuarta Ordenanza sobre la aplicación de la Ley de Control de Emisiones de Alemania, la construcción y explotación de las instalaciones de almacenamiento de hidrógeno está sujeta a un permiso cuando sea razonable esperar que sean explotadas con fines comerciales en el mismo lugar durante más de 12 meses a partir de la fecha de su puesta en servicio. Adicionalmente, Ley de Evaluación del Impacto Ambiental de Alemania, Anexo 1 numeral 9.3, regula la construcción y funcionamiento de una instalación para el almacenamiento de las sustancias que requiere una Evaluación de Impacto Ambiental. La pertinencia de cada permiso es evaluada según la capacidad de hidrógeno almacenada, de acuerdo con los valores presentados en la Tabla a continuación.

Tabla 4: Resumen de permisos para almacenamiento de hidrógeno. Fuente: elaboración propia.

Permisos		
Capacidad	Ley de Control de Emisiones	Ley de Evaluación de Impacto Ambiental
0-3 ton	No se debe desarrollar ningún proceso de aprobación.	No se debe desarrollar ningún proceso de aprobación.
3-30 ton	Se desarrollará un procedimiento simplificado (sin participación pública).	Se desarrollará una evaluación de impacto ambiental, en caso de ser necesario, tras un examen preliminar relacionado con la localización ³⁰ . La pertinencia dependerá si, a pesar de la pequeña envergadura o rendimiento del proyecto, cabe esperar

³⁰ El examen comprende la identificación, descripción y evaluación de los impactos del proyecto que son pertinentes para el proceso simplificado y los procesos de conservación de la naturaleza y gestión del paisaje, teniendo en cuenta los criterios de uso, calidad y protección (Bezirkregierung Düsseldorf, 2020).



		efectos ambientales adversos ³¹ significativos únicamente debido a condiciones locales especiales.
30-200.000 ton	Se debe desarrollar un proceso de aprobación con participación pública.	Se desarrollará una Evaluación de Impacto Ambiental, en caso de ser necesario, tras un examen preliminar general.
> 200.000 ton	Se debe desarrollar un proceso de aprobación con participación pública.	Se debe desarrollar una Evaluación de Impacto Ambiental.

La evaluación del cumplimiento de los límites de capacidad indicados en la Tabla 4 incluye instalaciones del mismo tipo estrechamente conectadas³² (espacialmente o según funcionamiento) si estas alcanzan o superan los límites establecidos de forma conjunta³³. Si debido a la ampliación de una planta existente, el límite de capacidad o el tamaño de la planta, entonces la planta entera debe ser aprobada.

La Ordenanza de Accidentes Graves de Alemania, a su vez, define la instalación como una zona de operaciones de accidentes graves y exige llevar a cabo una declaración de riesgos de identifique que el operador tomará las precauciones necesarias de acuerdo con la naturaleza y el alcance de los peligros potenciales (DVGW, 2020). Los umbrales específicos son los siguientes:

- Almacenamiento menor a 5 toneladas no requiere declaración ni estudio de riesgos.
- Almacenamiento entre 5 y 50 toneladas requiere declaración de riesgos y prevención de accidentes peligrosos.
- Almacenamiento mayor a 50 toneladas requiere estudio de riesgos de acuerdo a la Ordenanza de Accidentes Graves de Alemania.

El Energiepark Mainz funcionó entre 2014 y 2017 de acuerdo con el numeral 6 de la Ordenanza sobre instalaciones que requieren una Evaluación de Impacto Ambiental, que indica que no se requiere ningún permiso para las instalaciones utilizadas para la investigación, el desarrollo o el ensayo de nuevos insumos, combustibles, productos o procesos a escala de laboratorio o de planta

³¹ Contaminación atmosférica, ruido, vibraciones, luz, calor, radiación y otros efectos ambientales similares que afectan a los seres humanos, los animales y las plantas, el suelo, el agua, la atmósfera, los bienes culturales y otros bienes materiales (Regierungspräsidium Freiburg, 2018).

³² El vínculo espacial y operacional se considera estrecho si las instalaciones están ubicadas en el mismo lugar, están conectadas a instalaciones de operación comunes o sirven a un propósito técnico comparable.

³³ Se evalúa caso a caso de acuerdo con los límites específicos para cada sustancia y el proceso de aprobación llevado a cabo previamente por la instalación previa, en caso de ampliaciones.

piloto³⁴. El permiso se concedió por un período de tres años después de la puesta en marcha de la planta. Para poder seguir operando la planta más allá del período de operación de prueba, fue necesario llevar a cabo el permiso detallado en la Sección 3.1.4. Debido a la suficiente madurez tecnológica y al rápido crecimiento de la red de estaciones de servicio de hidrógeno, esta exención difícilmente es aplicable a la construcción de electrolizadores en plantas de hidrógeno verde en el futuro (Hylaw, 2019).

3.3 Almacenamiento – Licuefacción

El hidrógeno tiene una alta densidad energética por unidad de masa; 1 kg de hidrógeno contiene 33,33 kWh de energía utilizable, valor tres veces más alto que el de la gasolina y el diésel (IDEALHY, 2012). No obstante, en términos de densidad energética volumétrica, el hidrógeno es superado por los combustibles líquidos. Esto plantea un desafío cuando el hidrógeno debe ser transportado desde el lugar de su generación hasta una estación de servicio o centro de consumo.

La licuefacción del hidrógeno (clasificado como número UN 1966, NCh382, clase 2.1) puede realizarse mediante diferentes procesos, que difieren en la selección de los pasos de enfriamiento, los refrigerantes y sus combinaciones. El proyecto IDEALHY³⁵ establece un proceso en cuatro etapas sucesivas (Figura 17).

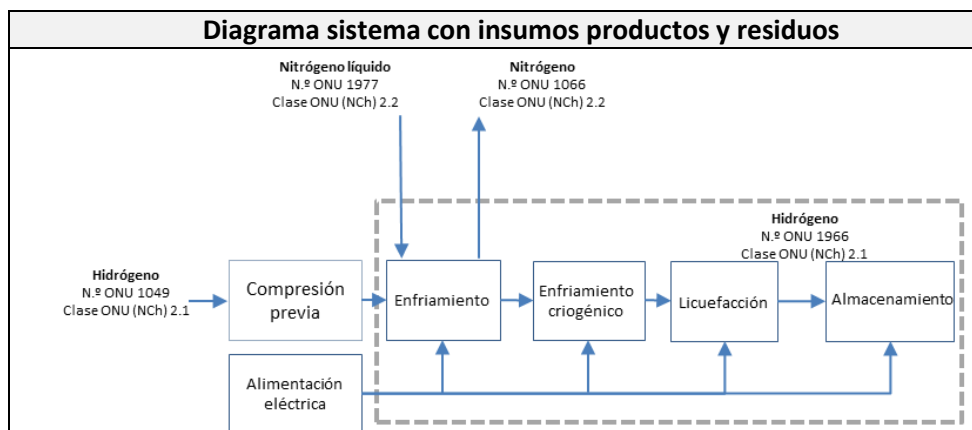


Figura 17: Almacenamiento de hidrógeno – Licuefacción. Fuente: elaboración propia.

³⁴ Esto incluye también las instalaciones a escala de laboratorio o de planta piloto en las que se fabrican nuevos productos en la cantidad necesaria para que terceros prueben sus propiedades antes de su lanzamiento al mercado, siempre que los nuevos productos sigan siendo investigados o desarrollados.

³⁵ IDEALHY fue un proyecto habilitador de una capacidad de licuefacción viable y económica en Europa, para acelerar la inversión racional en infraestructura y permitir la rápida difusión de las estaciones de reabastecimiento de H2 en toda Europa. Para más información: <https://hydrogeneurope.eu/project/idealhy>.



- **Compresión previa:** Como parámetro de entrada al proceso de licuefacción, la presión del gas juega un rol preponderante, ya que, al comprimir la alimentación a una presión más alta, parte de la demanda de refrigeración puede ser suministrada a una temperatura más alta, lo que reduce el trabajo de refrigeración necesario (Walnum, et al., 2012). La necesidad de contar con una etapa de compresión previa depende de las condiciones de salida del sistema de generación; para mayor detalle ver sección de almacenamiento – hidrógeno comprimido (Sección 3.2).
- **Enfriamiento:** Para permitir que la temperatura del hidrógeno disminuya durante las etapas de expansión sucesivas, el hidrógeno se debe enfriar por debajo de su temperatura de inversión, aproximadamente 80° K (-193° C) (DOE, 2019). Para ello, existen diversas alternativas, pero el uso de nitrógeno líquido de una planta de licuefacción de nitrógeno independiente asociada es la dominante en la industria³⁶. La principal alternativa a considerar es un circuito de nitrógeno cerrado. Este último da la posibilidad de una mejor integración y coincidencias de temperatura en los intercambiadores de calor al desplazar la mayor parte de la producción de nitrógeno líquido al nitrógeno gaseoso frío. Otras alternativas son la utilización de hidrógeno/helio como refrigerante y los sistemas de refrigerantes mixtos, ampliamente utilizados en la industria del GNL (Walnum, et al., 2012).
- **Enfriamiento criogénico:** La solución más común en las plantas de licuefacción de última generación son los ciclos cerrados de hidrógeno o helio como medio refrigerante.
- **Licuefacción:** Una expansión en etapas lleva el hidrógeno a las condiciones de almacenamiento, particularmente a una temperatura de fusión cercana a los 20° K (-253 ° C) a presiones de 1-2 bar (0.1-0.2 MPa) y a una densidad de 70 kg/m³. Queda una fracción de vapor que entra en un ciclo de gas para recalentarse, enfriarse y luego licuarse.
- **Almacenamiento:** Se dispone de diferentes diseños, basados en la tasa de evaporación y los requisitos de tiempo de retención específicos del proceso.

La licuefacción se asocia principalmente a plantas químicas de gran capacidad que producen hidrógeno a partir de combustibles fósiles o bien como subproducto, por sobre la alternativa de hidrógeno a partir de electrólisis (ver Sección 3.3.4). Por ende, la intensidad de sus emisiones contaminantes estará definida por la alternativa de alimentación de hidrógeno y electricidad, las cuales quedan fuera de los bordes del sistema (Figura 17). El uso de nitrógeno como gas refrigerante, a su vez,

³⁶ De acuerdo con (Walnum, et al., 2012) en (Eckroll, 2017) el nitrógeno líquido es el único medio de preenfriamiento utilizado en las plantas de licuefacción de hidrógeno en funcionamiento a la fecha.

es clasificado como gas no inflamable, no tóxico y no representa un factor que pueda causar impacto ambiental.

Riesgos

A continuación, se indican los riesgos y precauciones identificados para esta tipología teniendo en consideración las indicaciones del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos.

Riesgos y precauciones				
Tipo	Hidrógeno gaseoso	Hidrógeno líquido	Nitrógeno gaseoso	Nitrógeno líquido
Riesgos físicos	<ul style="list-style-type: none"> Gas extremadamente inflamable (H220). Contiene gas bajo presión; puede explotar si es calentado (H280). 	<ul style="list-style-type: none"> Gas extremadamente inflamable (H220). Contiene gas refrigerado. Puede causar quemaduras o daños criogénicos (H281). 	<ul style="list-style-type: none"> Contiene gas bajo presión; puede explotar si es calentado (H280). 	<ul style="list-style-type: none"> Contiene gas refrigerado. Puede causar quemaduras o daños criogénicos (H281).
Riesgos a la salud	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos a la salud (H3xx). 	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos a la salud (H3xx). 	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos a la salud (H3xx). 	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos a la salud (H3xx).
Riesgos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos ambientales (H4xx). 	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos ambientales (H4xx). 	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos ambientales (H4xx). 	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos ambientales (H4xx).
Precaución almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> Use y almacene al aire libre o en un lugar seco y bien ventilado (P271 - P403). 	<ul style="list-style-type: none"> Use y almacene al aire libre o en un lugar seco y bien ventilado (P271 - P403). 	<ul style="list-style-type: none"> Use y almacene al aire libre o en un lugar seco y bien ventilado (P271 - P403). 	<ul style="list-style-type: none"> Use y almacene al aire libre o en un lugar seco y bien ventilado (P271 - P403).

3.3.1 Aspectos asociados a la localización del proyecto

Todas las obras deben ajustarse a las normas técnicas, a la ordenanza general, y al Plan Regulador Comunal que corresponda (Ley 458 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, que aprueba la ley



general de urbanismo y construcciones, Artículo 116º). En caso de requerirse una concesión marítima, se debe tener en consideración la Planificación y Desarrollo del Borde Costero.

Los establecimientos industriales o de bodegaje deben cumplir con todas las disposiciones que le sean aplicables establecidas en la ordenanza general de la ley general de urbanismo y construcciones (DS 47), y sólo podrán establecerse en los emplazamientos que determine el instrumento de planificación territorial correspondiente, o a falta de éste, en los lugares que determine la autoridad municipal.

De acuerdo con el DS 47, Artículo 4.14.2, los establecimientos industriales o de bodegaje se deben clasificar caso a caso por la Secretaría Regional Ministerial de Salud en inofensivas, molestas, peligrosas o contaminantes.

La Circular B32 (de abril de 2020) de la Subsecretaría de Salud instruye a las Seremi de Salud criterios técnicos para la calificación de actividades productivas e infraestructura. Para las sustancias reguladas por el DS43/2015 del Ministerio de Salud, la Circular B32 establece requerimientos según volumen almacenado y tipo de sistema de almacenamiento (estanques superficiales o estanques enterrados):

- El establecimiento se clasifica como inofensivo si se almacena un máximo de 30 m³ en estanques superficiales y un máximo de 60 m³ en estanques enterrados.
- El establecimiento se clasifica como molesto si se almacena entre 30 y 40.000 m³ en estanques superficiales y entre 60 y 60.000 m³ en estanques enterrados.
- El establecimiento se clasifica peligroso si se almacena más de 40.000 m³ en estanques superficiales y más de 60.000 m³ en estanques enterrados.

Previo a la publicación de la Circular B32, se contaba con una pauta de referencia calificación de actividades productivas y de servicio de carácter industrial (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1998), donde se definían los siguientes requerimientos.

- Para almacenamiento menor a 5 toneladas no se requiere declaración ni estudio de riesgos, estas actividades son clasificadas de acuerdo con las molestias que generen³⁷.
- Para almacenamiento entre 5 y 50 toneladas se requiere declaración de riesgos, estas actividades se clasifican como molestas.

³⁷ En el caso de Directive 2012/18/EU, Anexo 1, Parte 2, no se definen obligaciones para cantidades inferiores a 5 ton.

- Para almacenamiento mayor a 50 toneladas se requiere estudio de riesgos. En base a los resultados del estudio de riesgo, la autoridad de salud clasifica la actividad industrial como inofensiva (si corresponde a actividad inofensiva y presenta riesgo de categoría 1), molesta (si la actividad no es inofensiva y presenta riesgo de categoría 1, o presenta riesgo de categoría 2), o peligrosa (si presenta riesgo de categoría 3).
 - Categoría 1 corresponde a aquellos accidentes en los que se prevea que no producen daños a la comunidad, personas o el entorno, controlando y neutralizando sus efectos dentro del propio predio e instalaciones.
 - Categoría 2 corresponde a aquellos accidentes en los que se prevea que pueden ocasionalmente causar daños a la salud o a la propiedad, y que normalmente quedan circunscritos al predio de la propia instalación.
 - Categoría 3 corresponde a aquellos accidentes en los que se prevea que pueden llegar a causar daños de carácter catastrófico para la salud o la propiedad, en un radio que excede los límites del propio predio.

Los umbrales mencionados anteriormente (en toneladas) están alineados con los definidos en la Directive 2012/18/EU, Anexo 1, Parte 2, legislación vigente en la Unión Europea.

3.3.2 Pertinencia ambiental

La intención de esta sección es evaluar la pertinencia de un proyecto genérico que cumple la función de almacenamiento de hidrógeno mediante licuefacción. Si bien los aspectos específicos de una evaluación se deben definir caso a caso, a continuación, se presenta un listado de consideraciones de la legislación ambiental aplicable que podrían derivar en que un proyecto con la funcionalidad descrita deba ingresar al SEIA.

- Si el proyecto considera una capacidad de almacenamiento de sustancias inflamables (hidrógeno, clase 2 división 2.1 NCh382) de al menos 80.000 kg, es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra ñ.3).
- Si la instalación fabril tiene una potencia instalada igual o superior a 2.000 kVA, es susceptible de causar impacto ambiental. Instalaciones emplazadas en loteos o uso de suelo industrial, definido mediante el instrumento de planificación territorial aprobado ambientalmente conforme

a la Ley, deben ingresar al SEIA si tienen una superficie igual o mayor a 20 hectáreas (DS 40, Artículo 3, letra k.1)³⁸.

- Si el proyecto considera sistema de generación, línea de conexión y subestaciones eléctricas, estas deben ser evaluadas como tipologías secundarias.

El uso de nitrógeno como gas refrigerante es clasificado como gas no inflamable, no tóxico (clase 2, división 2.2 NCh382) y no representa un factor que pueda causar impacto ambiental de acuerdo con las tipologías definidas en el DS 40.

Se debe utilizar las normas de referencia indicadas en el Artículo 11 del DS 40 para evaluar si el proyecto genera o presenta el riesgo indicado en la letra a) y los efectos adversos señalados en la letra b) del artículo 11 de la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente (Ley 19.300).

3.3.3 Listado Permisos ambientales y sectoriales pertinentes

En cuanto a los plazos de gestión para la aprobación de la RCA, dependiendo de la complejidad del proyecto y las correcciones que sean necesarias, se puede tener entre 1 a 3 años.

El listado de permisos ambientales, ambientales mixtos y sectoriales se detalla en el Anexo 6.3, incluyendo el servicio responsable de otorgar el permiso y el plazo estimado para su gestión, en aquellos casos en que dicho plazo esté definido. Para esta tipología de proyecto aplican 10 permisos ambientales mixtos y 32 permisos sectoriales; no aplican permisos ambientales (Tabla 5).

³⁸ Instalaciones que generen una emisión diaria esperada de algún contaminante causante de saturación o latencia de la zona igual o superior al 5% de la emisión diaria estimada de ese contaminante en la zona declarada latente o saturada para ese tipo de fuente, también deben ingresar al SEIA.

Tabla 5: Listado de permisos pertinentes a la licuefacción de hidrógeno. Fuente: elaboración propia.

Autoridad	Tipo de permiso	Documento	Descripción del Permiso
Ministerio de Medio Ambiente	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 132	Permisos para hacer excavaciones de tipo arqueológico, antropológico y paleontológico.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 138	Permisos para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier obra pública o particular destinada a la evacuación, tratamiento o disposición final de desagües, aguas servidas de cualquier naturaleza.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 140	Permisos para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier planta de tratamiento de basuras y desperdicios de cualquier clase o para la instalación de todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cualquier clase.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 142	Permisos para todo sitio destinado al almacenamiento de residuos peligrosos.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 146	Permisos para la caza o captura de ejemplares de animales de especies protegidas para fines de investigación, para el establecimiento de centros de reproducción o criaderos y para la utilización sustentable del recurso.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 148	Permisos para corta de bosque nativo.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 149	Permisos para la corta de plantaciones en terrenos de aptitud preferentemente forestal.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 151	Permisos para la corta, destrucción o descepa de formaciones xerofíticas.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 160	Permisos para subdividir y urbanizar terrenos rurales o para construcciones fuera de los límites urbanos.
Ministerio Agricultura	Ambiental Pronunciamiento	DS 40, Art. 161	Calificación de instalaciones industriales y de bodegaje.
	Construcción	DS-458	Certificado de uso de suelo.
Ministerio de Economía	Combustible	Comparativo (*)	Inscripción como producción, importación, transporte, almacenamiento, distribución, mezcla y comercialización de nuevo combustible.
	Instalación Eléctrica	DFL-4	Declaración de instalación eléctrica.
Ministerio de Energía	Combustible	Comparativo	Certificado de conformidad de tercera parte.
	Combustible	Comparativo	Comunicación previo inicio de construcción.
	Combustible	Comparativo	Declaración previa puesta en servicio.
	Combustible	Comparativo	Comunicación de cambio de operador.
	Combustible	Comparativo	Informe término de operación.
	Combustible	Comparativo	Declaración de instalación de gas.
Ministerio de Interior	Industrial	DS-2385	Patentes comerciales e industriales.
Ministerio de Obras Públicas	Caminos	DFL-850	Autorización de acceso a un camino público y/o concesionado.
Ministerio de Salud	Agua y Residuo Líquido	DS-735	Aprobación de proyectos de agua potable o aguas servidas domésticas particular.
	Agua y Residuo Líquido	DS-735	Autorización de obras de agua potable o aguas servidas domésticas particular.
	Industrial	DFL-725	Informe sanitario para la instalación, ampliación o traslado de industrias y talleres.
	Nuclear	DS-133	Licencia de operación para instalaciones nucleares especiales (instrumentos con fuente sellada).
	Nuclear	DS-133	Autorización sanitaria para personas que se desempeñan en instalaciones radiactivas (instrumentos con fuentes selladas).
	Nuclear	DFL-725	Autorización sanitaria para importar sustancias radiactivas y/o equipos con fuentes radiactivas (instrumentos con fuentes selladas).
	Nuclear	DFL-725	Certificado de Destinación Aduanera (CDA) para sustancias radiactivas y equipos con fuentes radiactivas selladas.
	Nuclear	DFL-725	Autorización de uso para sustancias radiactivas y equipos (instrumentos con fuentes selladas).
	Nuclear	DFL-725	Autorización de disposición para sustancias radiactivas y equipos (instrumentos con fuentes selladas).
	Residuo Peligroso	DS-148	Aprobación de plan de manejo de residuos peligrosos.
	Residuo Peligroso	DS-148	Autorización sanitaria de sitios de almacenamiento de residuos peligrosos.
	Sustancias Peligrosas	DFL-725	Autorización sanitaria para la fabricación de sustancias peligrosas.
	Sustancias Peligrosas	DS-43	Autorización sanitaria para almacenamiento de sustancias peligrosas.
Sustancias Peligrosas	DFL-725	Autorización de uso y disposición para sustancias químicas peligrosas importadas.	
Ministerio de Vivienda y Urbanismo	Construcción	DS-47	Certificado de informaciones previas.
	Construcción	DS-47	Autorización de cambio de destino.
	Construcción	DS-47	Aprobación de anteproyecto.
	Construcción	DS-47	Permiso obras preliminares (instalación de faenas).
	Construcción	DS-47	Permiso de edificación.
	Construcción	DS-47	Modificación de proyecto.
Construcción	DS-47	Recepción definitiva de obras.	

(*) Comparativo hace referencia a permisos asociados a gases definidos como combustibles de acuerdo a la legislación nacional.

Por una parte, se puede inferir que los permisos sectoriales para el almacenamiento de hidrógeno verde se encuentran definidos, ya que es posible asociarlo al almacenamiento de sustancias peligrosas. No obstante, el Reglamento de Almacenamiento de Sustancias Peligrosas, DS-43, Artículo 3, del Ministerio de Salud, indica expresamente que quedan excluidos del ámbito de aplicación los combustibles líquidos y gaseosos, utilizados como recursos energéticos, ya que estos son regulados por los decretos respectivos del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. Luego, es necesario revisar la completitud legal y técnica del hidrógeno para su aplicación como combustible.

Si se considera el hidrógeno como combustible, es necesaria su inscripción en el registro que se estable en el Artículo segundo del decreto con fuerza de ley N° 1, de 1979, del Ministerio de Minería según se indica en la ley N° 20339, de 2009, del Ministerio de Hacienda. Adicionalmente, se debe



definir si el hidrógeno será considerado dentro de los permisos sectoriales como un producto químico o como un gas combustible.

3.3.4 Experiencia y Legislación internacional

Las instalaciones de licuefacción de hidrógeno están relacionadas con la producción a gran escala y el transporte a través de largas distancias (Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, Fraunhofer IOSB-AST, 2019). Dado que actualmente las instalaciones de hidrógeno renovable a partir de electrólisis a nivel mundial son primordialmente de menor escala, la presencia de equipos de licuefacción está asociada principalmente a países con grandes reservas de gas en plantas químicas que producen el hidrógeno a partir de combustibles fósiles o bien como subproducto (Figura 18).

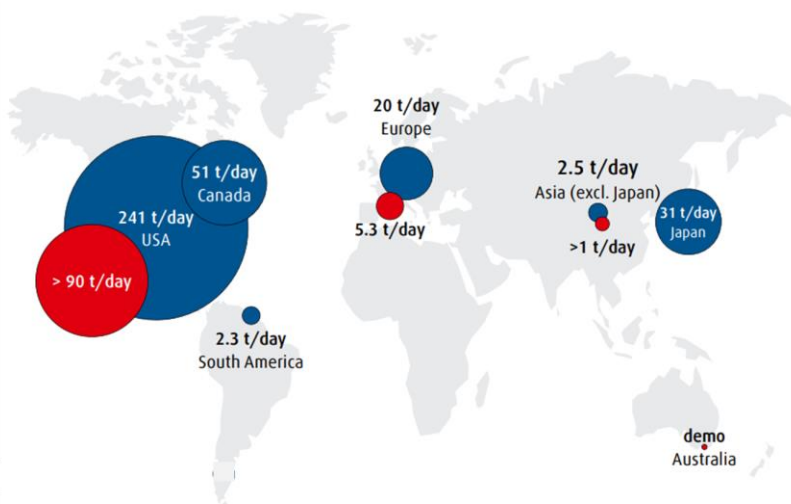


Figura 18: Capacidad de producción de hidrógeno líquido a nivel mundial (azul) e instalaciones en construcción (rojo).
Fuente: (Cardella, 2019).

Europa cuenta actualmente con tres plantas de licuefacción de hidrógeno en funcionamiento a cargo de Air Liquide (Lille), Air Products (Rosenburg) y Linde (Leuna), alcanzando una capacidad de 20 ton/día de producción.

La planta de Leuna es capaz de producir actualmente 5 ton/día de hidrógeno líquido: se abastece con el producto bruto gaseoso de las plantas de producción de hidrógeno vecinas a través de un oleoducto. El hidrógeno se licua a $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($20\text{ }^{\circ}\text{K}$) y luego se carga para su transporte en vehículos contenedores. Actualmente, la central se encuentra en proceso de construcción de un nuevo sistema de licuefacción, el cual poseerá una capacidad de producción de hidrógeno líquido de 5 toneladas diarias adicionales.

De acuerdo con la Cuarta Ordenanza sobre la aplicación de la Ley de Control de Emisiones de Alemania, la construcción y explotación de las instalaciones de almacenamiento de hidrógeno estará sujeta a un permiso cuando sea razonable esperar que sean explotadas con fines comerciales en el mismo lugar durante más de 12 meses a partir de la fecha de su puesta en servicio. Adicionalmente,



Ley de Evaluación del Impacto Ambiental de Alemania, Anexo 1, numeral 9.3, regula la construcción y funcionamiento de una instalación para el almacenamiento de las sustancias que requiere una Evaluación de Impacto Ambiental. La pertinencia de cada permiso es evaluada según la capacidad de hidrógeno almacenada, de acuerdo con los valores presentados en la Tabla a continuación.

Tabla 6: Resumen de permisos para almacenamiento de hidrógeno. Fuente: elaboración propia.

Permisos		
Capacidad	Ley de Control de Emisiones	Ley de Evaluación de Impacto Ambiental
0-3 ton	No se debe desarrollar ningún proceso de aprobación.	No se debe desarrollar ningún proceso de aprobación.
3-30 ton	Se desarrollará un procedimiento simplificado (sin participación pública).	Se desarrollará una evaluación de impacto ambiental, en caso de ser necesario, tras un examen preliminar relacionado con la localización ³⁹ . La pertinencia dependerá si, a pesar de la pequeña envergadura o rendimiento del proyecto, cabe esperar efectos ambientales adversos significativos únicamente debido a condiciones locales especiales.
30-200.000 ton	Se debe desarrollar un proceso de aprobación con participación pública.	Se desarrollará una Evaluación de Impacto Ambiental, en caso de ser necesario, tras un examen preliminar general.
> 200.000 ton	Se debe desarrollar un proceso de aprobación con participación pública.	Se debe desarrollar una Evaluación de Impacto Ambiental.

La evaluación del cumplimiento de dichas condiciones incluye instalaciones del mismo tipo estrechamente conectadas⁴⁰ (especialmente o según funcionamiento) si estas alcanzan o superan los límites establecidos de forma conjunta. Si debido a la ampliación de una planta existente, el límite de capacidad o el tamaño de la planta se supera, entonces la planta entera debe ser aprobada⁴¹.

La Ordenanza de Accidentes Graves de Alemania define la instalación como una zona de operaciones de accidentes graves y exige llevar a cabo una declaración de riesgos de identifique que el operador tomará las precauciones necesarias de acuerdo con la naturaleza y el alcance de los peligros

³⁹ El examen comprende la identificación, descripción y evaluación de los impactos del proyecto que son pertinentes para el proceso simplificado y los procesos de conservación de la naturaleza y gestión del paisaje, teniendo en cuenta los criterios de uso, calidad y protección (Consejo de Distrito de Düsseldorf, 2020).

⁴⁰ El vínculo espacial y operacional se considera estrecho si las instalaciones están ubicadas en el mismo lugar, están conectadas a instalaciones de operación comunes o sirven a un propósito técnico comparable.

⁴¹ Se evalúa caso a caso de acuerdo con los límites específicos para cada sustancia y el proceso de aprobación llevado a cabo previamente por la instalación previa, en caso de ampliaciones.

potenciales evitarlos a partir de 5 toneladas de hidrógeno almacenado (DVGW, 2020). Los umbrales específicos son los siguientes:

- Almacenamiento menor a 5 toneladas no requiere declaración ni estudio de riesgos.
- Almacenamiento entre 5 y 50 toneladas requiere declaración de riesgos y prevención de accidentes peligrosos.
- Almacenamiento mayor a 50 toneladas requiere estudio de riesgos de acuerdo a la Ordenanza de Accidentes Graves de Alemania.

En California, Estados Unidos, la empresa Air Products desarrolló un estudio inicial para la instalación de una planta criogénica de licuefacción de hidrógeno de 10 ton/día para procesar alrededor del 4% del gas de hidrógeno producido por la empresa a partir de reformado de metano (instalación actualmente en funcionamiento). El hidrógeno licuado se almacenará en dos recipientes horizontales de acero de 60.000 galones (aprox. 273 m³). El transporte del hidrógeno líquido a los clientes industriales del sur de California requerirá en promedio de 4 viajes de camiones cisterna de gran tonelaje por día.

De acuerdo con el Memo desarrollado por el Energy Power Research Institute disponible en el Anexo 6.4, el estudio de Air Products arrojó las siguientes conclusiones:

- Construcción y operación de la planta: las emisiones atmosféricas adicionales creadas por el funcionamiento del proyecto estarán dentro de los límites de la capacidad operativa contemplada, evaluada funcionalmente para las instalaciones de Air Products existente desde 1998. Las emisiones de gases de efecto invernadero tampoco son significativas (menores al 10% de los límites definidos por las autoridades locales).
- Peligros del proyecto: se lleva a cabo un estudio de consecuencias, el cual concluye que los impactos del sistema de licuefacción de hidrógeno propuesto producirán zonas de impacto más pequeñas que las examinadas en la instalación existente y no se extenderán a las zonas residenciales.
- Transporte en camiones: el estudio llega a la conclusión de que los riesgos del transporte de materiales peligrosos en camiones están por debajo de los niveles identificados para la instalación de hidrógeno de Air Products existente (un promedio de 14 camiones por día), por lo que no se requieren medidas de mitigación adicionales. Los camiones utilizarán rutas designadas para vehículos comerciales de más de 6.000 libras (aprox. 2,7 ton) para minimizar emisiones y peligros para los residentes.

3.4 Transporte – Transporte de hidrógeno en camiones

El transporte de hidrógeno en camiones se puede realizar en forma de gas comprimido o líquido criogénico. El gas comprimido se transporta en presiones desde los 45 a los 500 bar (4.5-50 MPa) y en cantidades máximas cercanas a los 900 kg (Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, Fraunhofer IOSB-AST, 2019), con la alternativa de cumplir una función dual de almacenamiento en su lugar de destino, según los requerimientos específicos del proyecto. El hidrógeno líquido permite capacidades de entrega y almacenamiento mucho mayores en comparación con su par comprimido, oscilando entre 400 y 4.000 kg de hidrógeno a 2,5 bar (0.25 MPa) por remolque (Linde, 2019). Los bordes del sistema son definidos en la Figura 19.

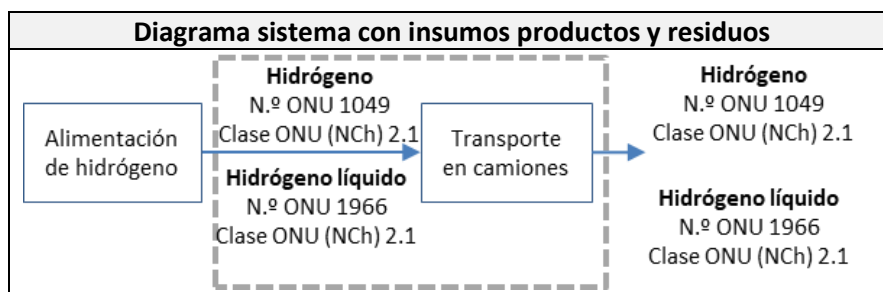


Figura 19: Transporte de hidrógeno en camiones. Fuente: elaboración propia.

Riesgos

A continuación, se indican los riesgos y precauciones identificados para esta tipología teniendo en consideración las indicaciones del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos.

Riesgos y precauciones		
Tipo	Hidrógeno gaseoso	Hidrógeno líquido
Riesgos físicos	<ul style="list-style-type: none"> Gas extremadamente inflamable (H220). Contiene gas bajo presión; puede explotar si es calentado (H280). 	<ul style="list-style-type: none"> Gas extremadamente inflamable (H220). Contiene gas refrigerado. Puede causar quemaduras o daños criogénicos (H281).
Riesgos a la salud	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos a la salud (H3xx). 	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos a la salud (H3xx).
Riesgos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos ambientales (H4xx). 	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos ambientales (H4xx).



Precaución almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> Use y almacene al aire libre o en un lugar seco y bien ventilado (P271 - P403). 	<ul style="list-style-type: none"> Use y almacene al aire libre o en un lugar seco y bien ventilado (P271 - P403).
Respuesta de emergencia en transporte	<ul style="list-style-type: none"> Para derrames mayores, evacuación inicial a favor de viento de 800 metros (guía 115). Para transporte con estanques, aislar 1600 metros en caso de verse involucrado en incendio (guía 115). 	<ul style="list-style-type: none"> Para derrames mayores, evacuación inicial a favor de viento de 800 metros (guía 115). Para transporte con estanques, aislar 1600 metros en caso de verse involucrado en incendio (guía 115).

3.4.1 Aspectos asociados a la localización del proyecto

No aplicable a esta tipología de proyecto.

3.4.2 Pertinencia ambiental

La intención de esta sección es evaluar la pertinencia de un proyecto genérico que cumple la función de transporte de hidrógeno en camiones. Si bien los aspectos específicos de una evaluación se deben definir caso a caso, a continuación, se presenta un listado de consideraciones de la legislación ambiental aplicable que podrían derivar en que un proyecto con la funcionalidad descrita deba ingresar al SEIA.

- Si el proyecto considera el transporte por medios terrestres de sustancias tóxicas, explosivas, inflamables (hidrógeno, clase 2 división 2.1 NCh382), corrosivas o reactivas en una cantidad igual o superior a 400 t/día, que se realice durante al menos un semestre, entonces es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra ñ.5).

Se debe utilizar las normas de referencia indicadas en el Artículo 11 del DS 40 para evaluar si el proyecto genera o presenta el riesgo indicado en la letra a) y los efectos adversos señalados en la letra b) del artículo 11 de la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente (Ley 19.300).

3.4.3 Listado Permisos ambientales y sectoriales pertinentes

En cuanto a los plazos de gestión para la aprobación de la RCA, dependiendo de la complejidad del proyecto y las correcciones que sean necesarias, se puede tener entre 1 a 3 años.

El listado de permisos ambientales, ambientales mixtos y sectoriales se detalla en el Anexo 6.3, incluyendo el servicio responsable de otorgar el permiso y el plazo estimado para su gestión, en aquellos casos en que dicho plazo esté definido. Para esta tipología de proyecto aplica 1 permiso ambiental mixto y 9 permisos sectoriales; no aplican permisos ambientales (Tabla 7).

Tabla 7: Listado de permisos pertinentes al transporte de hidrógeno en camiones. Fuente: elaboración propia.

Autoridad	Tipo de permiso	Documento	Descripción del Permiso	depende de la ubicación	aplicable al H ₂ como combustible
Ministerio de Medio Ambiente	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 143	Permiso para el transporte e instalaciones necesarias para la operación del sistema de transporte de residuos peligrosos.		
Ministerio de Economía	Combustible	Comparativo	Inscripción como producción, importación, transporte, almacenamiento, distribución, mezcla y comercialización de nuevo combustible.		
	Instalación Eléctrica	DFL-4	Declaración de camión estanque.		
Ministerio de Energía	Combustible	Comparativo (*)	Certificado de conformidad de tercera parte.		
	Combustible	Comparativo	Comunicación previo inicio de construcción.		
	Combustible	Comparativo	Declaración previa puesta en servicio.		
	Combustible	Comparativo	Comunicación de cambio de operador.		
	Combustible	Comparativo	Informe término de operación.		
	Combustible	Comparativo	Declaración de camión estanque.		
Ministerio de Interior	Industrial	DS-2385	Patentes comerciales e industriales.		

(*) Comparativo hace referencia a permisos asociados a gases definidos como combustibles de acuerdo a la legislación nacional.

Se puede inferir que los permisos sectoriales de transporte de hidrógeno en camiones se encuentran definidos ya que es posible su asociación al transporte de sustancias peligrosas.

Si se considera el hidrógeno como combustible, es necesaria su inscripción en el registro que se estable en el Artículo segundo del decreto con fuerza de ley N° 1, de 1979, del Ministerio de Minería según se indica en la ley N° 20339, de 2009, del Ministerio de Hacienda. Adicionalmente, se debe definir si el hidrógeno será considerado dentro de los permisos sectoriales como un producto químico o como un gas combustible.

3.4.4 Experiencia y Legislación internacional

El Acuerdo Europeo sobre el Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera (ADR, por sus siglas en inglés) regula el transporte de mercancías peligrosas a nivel internacional, definiendo las exigencias para llevarlo a cabo de forma segura. Su objetivo principal es hacer que los requisitos sean más accesibles y fáciles de utilizar para que pudieran aplicarse más fácilmente no sólo a las operaciones de transporte internacional por carretera, sino también al tráfico nacional en todos los Estados Europeos y, en última instancia, garantizar un marco normativo coherente en el continente. Cada país conserva el derecho de reglamentar o prohibir, por razones distintas de la seguridad durante el transporte, la entrada de mercancías peligrosas en su territorio. Las partes contratantes también conservan el derecho de disponer, mediante acuerdos bilaterales o multilaterales, que determinadas mercancías peligrosas prohibidas puedan ser transportadas, en determinadas condiciones, en sus territorios (Organización de Naciones Unidas, 2016).

Cada sustancia peligrosa es identificada de acuerdo con su número de la ONU y posee una clasificación en la Tabla A del capítulo 3.2 del documento⁴². Para ello, se rotula la sustancia según tres códigos de identificación adicionales: nombre (descripción), clase de peligro y código de clasificación⁴³

⁴² La plataforma ADR Tool ofrece una alternativa de identificación de cada sustancia, de acuerdo con su número de la ONU. Mayor detalle en: <https://adr-tool.com/415/un-1049>.

⁴³ El código de clasificación separa las sustancias en categorías 1, 2 y 3 y una letra de compatibilidad. El hidrógeno comprimido y gaseoso poseen la clasificación 1F y 3F, respectivamente: líquido comprimido inflamable y líquido refrigerado gaseoso (gas parcialmente licuado debido a baja temperatura).



(hidrógeno comprimido UN 1049, clase 2, código 1F; hidrógeno líquido UN 1966, clase 2, código 3F). A continuación, se entregan todas las provisiones especiales mínimas aplicables para cada sustancia en formato de código estandarizado⁴⁴.

El hidrógeno no posee limitantes a la cantidad transportada de acuerdo con el ADR, por lo que su manejo estará asociado a las limitaciones de volumen de los contenedores y al peso máximo permitido para vehículos de transporte (40 toneladas en Alemania). El ADR no restringe los límites de presión para el transporte de hidrógeno, pero el recipiente a presión debe tener un factor de seguridad 3 (relación entre la presión de explosión y la presión nominal de llenado). Por lo demás, se definen limitantes para los equipos a presión transportables⁴⁵. Si se transportan cantidades superiores a las indicadas se considera como bien peligroso de alta consecuencia. Para los gases inflamables el límite es de 3.000 litros para estanques cilíndricos y de 450 litros para cada tubo a presión (Hylaw, 2018).

Un ejemplo presente en la industria es el hidrógeno transportado por medio de un camión con hidrógeno líquido que se mueve entre Rotterdam y un depósito de autobuses en Leyton (Reino Unido) por Air Products con 3.500 kg de hidrógeno por entrega de remolque. Los remolques de tubos de alta presión de Air Products, a su vez, entregan 720 kg de hidrógeno a 500 bar (50 MPa) (Hylaw, 2018).

3.5 Transporte – Hidrógeno en red

El hidrógeno (clasificado como número UN 1049, NCh382, clase 2.1) puede ser producido en el sitio, suministrado mediante tuberías o transportado en camiones (esta última opción fue analizada en la Sección 3.4). Su transporte o distribución a través de oleoductos y gasoductos es económicamente viable, especialmente para grandes cantidades en distancias relativamente cortas (conectando una central de generación con una instalación de uso final) o muy largas (superiores a los 1.000 km para su distribución o transmisión (CSIRO, KMPG, 2019)). Esto se debe principalmente a los costos construcción de nuevos ductos (Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, Fraunhofer IOSB-AST, 2019). Esta

⁴⁴ Las disposiciones incluyen grupo de etiquetado, categoría de riesgo, disposiciones especiales, cantidades limitadas, instrucciones y condiciones especiales de empaquetado, instrucciones y disposiciones para contenedores y estanques portables, codificación y disposiciones de estanques de la ADR, vehículos aptos para el transporte de estanques, categoría de transporte/código de restricción para túneles, provisiones especiales para el transporte (paquetes, masivo, carga/descarga/manejo/operación), número de identificación de peligro (Organización de Naciones Unidas, 2016).

⁴⁵ Para el hidrógeno, las categorías de empaquetado son P200 y P203. Para mayor información revisar el documento ADR, página 64.

alternativa permite las mayores capacidades y tasas de entrega de todas las posibilidades de suministro, evitando la dependencia de un suministro limitado de remolques.

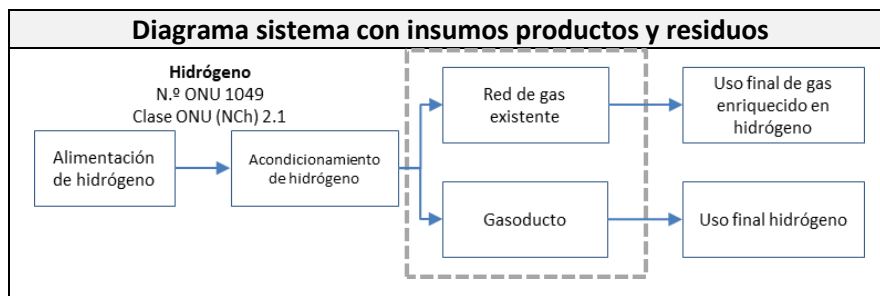


Figura 20: Transporte – Hidrógeno en red. Fuente: elaboración propia.

También es posible inyectar hidrógeno puro directamente en la red de gas (Figura 20), logrando una mezcla homogénea sin mayores complicaciones, dependiendo en gran medida de las condiciones de funcionamiento de la red de gas y de las características específicas del hidrógeno entrante. En general, el hidrógeno se clasifica como un gas aditivo y como tal puede ser alimentado en la medida que se asegure una mezcla suficiente con el gas natural. De esta forma, será el operador de la red de gas quien establecerá el límite de hidrógeno para la inyección en función el cumplimiento de la definición de gas de red establecida en el Decreto 66, que aprueba el reglamento de instalaciones interiores y medidores de gas, del Ministerio de Economía (2007).

Actualmente el Decreto 66, que aprueba el reglamento de instalaciones interiores y medidores de gas, del Ministerio de Economía (2007), establece tres familias de gases (Artículo 1, y numerales 10.63.2 al 10.63.4), las cuales se describen a continuación:

- Primera familia. Gases manufacturados, aire metanado (mezcla aire-gas natural) y aire propinado (mezcla aire-propano), con un índice de Wobbe superior comprendido entre $22,4 \text{ MJ/m}^3$ y $24,8 \text{ MJ/m}^3$, a $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ($288,16 \text{ }^\circ\text{K}$) y a una presión de $101,325 \text{ kPa}$. Se distinguen dos tipos de gas:
 - De ciudad: Gas manufacturado adecuado para ser utilizado como combustible de uso residencial, comercial o industrial, con densidad relativa al aire de hasta $0,8$; con un poder calorífico superior de hasta 30 MJ/Nm^3 , que se conduce y distribuye a través de tuberías a los consumidores desde el lugar o lugares de producción y/o almacenamiento. Sus especificaciones están establecidas en la R.E. N° 657/1986 de la Superintendencia, que fija requisitos del gas de ciudad suministrado a los usuarios de consumo doméstico.
 - Manufacturado. Gas combustible producido a partir de carbón, coque, derivados del petróleo crudo, transformación de los gases naturales o de los gases licuados de petróleo o cualquier mezcla de ellos.



- Segunda familia: Gas natural y aire propanado (mezcla aire-propano), con un índice de Wobbe superior⁴⁶ entre $39,1 \text{ MJ/m}^3$ y $54,7 \text{ MJ/m}^3$, a $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ($288,16 \text{ }^\circ\text{K}$) y a una presión de $101,325 \text{ kPa}$.
 - Gas Natural. Es una mezcla de gases hidrocarburos y no hidrocarburos, que se generan naturalmente y que se encuentran en formaciones geológicas porosas bajo la superficie de la tierra, a menudo asociada con petróleo. Su constituyente principal es el metano (CH_4) y sus especificaciones están establecidas en la Norma Oficial Chilena NCh2264.Of1999 - Gas Natural - Especificaciones, o la disposición que la reemplace.
- Tercera familia. Gases licuados del petróleo con un índice de Wobbe superior comprendido entre $72,9 \text{ MJ/m}^3$ y $87,3 \text{ MJ/m}^3$, a $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ($288,16 \text{ }^\circ\text{K}$) y a una presión de $101,325 \text{ kPa}$.
 - Licuado de petróleo: Mezcla de gases del petróleo formada principalmente por propano y butano comercial. Sus especificaciones están establecidas en la Norma Oficial Chilena NCh72.Of1999 - Gases licuados de petróleo - Especificaciones, o disposición que la reemplace.

Para la integración de sistemas de producción de hidrógeno con gas de red es importante perfeccionar aspectos asociados al acceso a la red de gas como, por ejemplo, permisos de conexión, permisos para inyectar hidrógeno y mezclar gas cumpliendo estándares de calidad, aspectos asociados a la seguridad, entre otros. Estos aspectos no forman parte del alcance del estudio, pero pueden ser relevantes en un contexto de transformación gradual de la red de gas de modo de reducir emisiones de gases de efecto invernadero.

Alternativamente, la mezcla de hidrógeno en las redes de gasoductos de gas natural también se ha propuesto como un medio de suministrar hidrógeno puro a los mercados, utilizando tecnologías de separación y purificación aguas abajo para extraer el hidrógeno de la mezcla de gas natural cerca del punto de uso final (Hydrogen Europe, 2017).

Riesgos

A continuación, se indican los riesgos y precauciones identificados para esta tipología teniendo en consideración las indicaciones del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos.

⁴⁶ El índice de Wobbe superior se define como el cociente del valor del poder calorífico superior y la raíz cuadrada de la densidad relativa. Se utiliza para caracterizar la calidad de los gases combustibles y es necesario para evaluar la su intercambiabilidad.

Riesgos y precauciones	
Tipo	Hidrógeno gaseoso
Riesgos físicos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gas extremadamente inflamable (H220). ▪ Contiene gas bajo presión; puede explotar si es calentado (H280).
Riesgos a la salud	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No se especifican riesgos a la salud (H3xx).
Riesgos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No se especifican riesgos ambientales (H4xx).
Precaución almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Use y almacene al aire libre o en un lugar seco y bien ventilado (P271 - P403).
Respuesta de emergencia en transporte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Para derrames mayores, evacuación inicial a favor de viento de 800 metros (guía 115). ▪ Para estanques, o transporte con estanques, aislar 1600 metros en caso de verse involucrado en incendio (guía 115).

3.5.1 Aspectos asociados a la localización del proyecto

Si el proyecto corresponde a la construcción de una acometida de longitud considerable, puede haber aspectos específicos del emplazamiento que requieran el desarrollo de una declaración o estudio de impacto ambiental, por ejemplo, debido a potenciales efectos sobre elementos pertenecientes al patrimonio cultural (hallazgos arqueológicos). Los aspectos específicos se deben evaluar caso a caso dependiendo del emplazamiento.

3.5.2 Pertinencia ambiental

La intención de esta sección es evaluar la pertinencia de un proyecto genérico que cumple la función de transportar hidrógeno en red. Si bien los aspectos específicos de una evaluación se deben definir caso a caso, a continuación, se presenta un listado de consideraciones de la legislación ambiental aplicable que podrían derivar en que un proyecto con la funcionalidad descrita deba ingresar al SEIA.

- Si el proyecto considera el desarrollo de un nuevo tramo de gasoducto, es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra j). Lo anterior es aplicable si el ducto está destinado al transporte de sustancias y/o residuos, conectando centros de producción, almacenamiento, tratamiento o disposición, con centros de similares características o con redes de distribución.

Se exceptúan las redes de distribución y aquellos ductos destinados al transporte de sustancias y/o residuos al interior de los referidos centros de producción.

Una acometida, entendiéndose por acometida la conexión de un consumo a una red de distribución o gasoducto existente⁴⁷, no está considerada explícitamente; por lo tanto, podría entenderse que no está considerada dentro del alcance de lo indicado en el artículo 3, letra j). No obstante, se ha identificado algunos proyectos que han sido considerados como gasoductos e ingresado al SEIA⁴⁸.

Se debe utilizar las normas de referencia indicadas en el Artículo 11 del DS 40 para evaluar si el proyecto genera o presenta el riesgo indicado en la letra a) y los efectos adversos señalados en la letra b) del artículo 11 de la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente (Ley 19.300).

3.5.3 Listado Permisos ambientales y sectoriales pertinentes

En cuanto a los plazos de gestión para la aprobación de la RCA, dependiendo de la complejidad del proyecto y las correcciones que sean necesarias, se puede tener entre 1 a 3 años.

El listado de permisos ambientales, ambientales mixtos y sectoriales se detalla en el Anexo 6.3, incluyendo el servicio responsable de otorgar permiso y el plazo estimado para su gestión, en aquellos casos en que dicho plazo esté definido. Para esta tipología de proyecto aplican 9 permisos ambientales mixtos y 12 permisos sectoriales; no aplican permisos ambientales (Tabla 8).

⁴⁷ La Re Ex N°1128, de 2006, de la SEC en la declaración TC6 de Declaración Instalaciones Interiores de Gas se indica el concepto de acometida como una conexión entre una matriz de distribución de media presión instalada en el sector de la acera hasta la línea de edificación.

⁴⁸ 1. Proyecto: Ramal del Gasoducto Atacama a Minera Cerro Dominador

https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=2304

Longitud: 13 km aprox.

2. Proyecto: Suministro de Gas Natural para las Divisiones Chuquicamata y Radomiro Tomic de Codelco

http://seia.sea.gob.cl/seia-web/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id_expediente=5501

Longitud: 12 km aprox.

En este caso, se concluye que se tiene que hacer estudio de impacto ambiental debido a potenciales efectos sobre elementos pertenecientes al patrimonio cultural (hallazgos arqueológicos).

Tabla 8: Listado de permisos pertinentes al transporte de hidrógeno en red. Fuente: elaboración propia.

Autoridad	Tipo de permiso	Documento	Descripción del Permiso
Ministerio de Medio Ambiente	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 132	Permisos para hacer excavaciones de tipo arqueológico, antropológico y paleontológico.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 140	Permisos para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier planta de tratamiento de basuras y desperdicios de cualquier clase o para la instalación de todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cualquier clase.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 142	Permisos para todo sitio destinado al almacenamiento de residuos peligrosos.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 146	Permisos para la caza o captura de ejemplares de animales de especies protegidas para fines de investigación, para el establecimiento de centros de reproducción o criaderos y para la utilización sustentable del recurso.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 148	Permisos para corta de bosque nativo.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 149	Permisos para la corta de plantaciones en terrenos de aptitud preferentemente forestal.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 151	Permisos para la corta, destrucción o descepa de formaciones xerofíticas.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 160	Permisos para subdividir y urbanizar terrenos rurales o para construcciones fuera de los límites urbanos.
Ministerio de Economía	Ambiental Pronunciamiento	DS 40, Art. 161	Calificación de instalaciones industriales y de bodegaje.
	Combustible	Comparativo (*)	Inscripción como producción, importación, transporte, almacenamiento, distribución, mezcla y comercialización de nuevo combustible.
	Gasoducto	Comparativo	Solicitud de concesión provisoria.
	Gasoducto	Comparativo	Solicitud de concesión definitiva.
	Gasoducto	Comparativo	Certificado de conformidad de tercera parte.
	Gasoducto	Comparativo	Comunicación previo inicio de construcción.
	Gasoducto	Comparativo	Declaración previa puesta en servicio.
	Gasoducto	Comparativo	Mantenimiento información as-built DOM.
Gasoducto	Comparativo	Informe termino de operación.	
Ministerio de Interior	Industrial	DS-2385	Patentes comerciales e industriales.
Ministerio de Obras Públicas	Caminos	DFL-850	Autorización de acceso a un camino público y/o concesionado.
	Caminos	LEY-8946	Permiso de rotura y reposición de pavimentos.
Ministerio de Salud	Sustancias Peligrosas	DS-43	Autorización sanitaria para almacenamiento de sustancias peligrosas.

(*) Comparativo hace referencia a permisos asociados a gases definidos como combustibles de acuerdo a la legislación nacional.

Los permisos sectoriales asociados al transporte de hidrógeno por gasoducto no se encuentran definidos, ya que la reglamentación de esta aplicación actualmente está asociada al área de combustibles convencionales.

El DS 280, del Ministerio de Economía, que norma redes de transporte y distribución de gas de red, unificó la reglamentación respecto a las redes de transporte y distribución de manera que se abarque la totalidad del gas de red, de acuerdo con la definición contenida en el decreto con DFL 323, del Ministerio del Interior, Ley de Servicios de Gas.

Si se plantea como posible aplicación la mezcla de gas (GN) con hidrógeno para ser distribuido como combustible (gas de red), esta no sería factible considerando al hidrógeno como producto químico. Si se considera el hidrógeno como combustible, es necesaria su inscripción en el registro que se estable en el Artículo segundo del DFL N° 1 de 1979, del Ministerio de Minería según se indica en la ley N° 20339, de 2009, del Ministerio de Hacienda. Adicionalmente, se debe definir si el hidrógeno será considerado dentro de los permisos sectoriales como un producto químico o como un gas combustible.

3.5.4 Experiencia y Legislación internacional

Un caso de una red de hidrógeno a nivel internacional es la estación de servicio del parque industrial Höchst, cerca de Frankfurt (Alemania), la cual obtiene hidrógeno como un producto secundario en la generación de cloro en el orden de miles de toneladas por año. En el marco del proyecto "Zero-Regio" en Hessen, un gasoducto de alta presión de unos 1,7 km de longitud suministra hidrógeno a una gasolinera cercana al parque industrial a 1.000 bar (10 MPa) de presión (BMW, 2016). Este tipo



de instalaciones son escasas, sin presencia de una red interconectada de distribución de hidrógeno en estado puro.

Para el caso de la inyección de hidrógeno en la red de gas natural, el proyecto HyDeploy destaca como el primer proyecto práctico del Reino Unido⁴⁹ que demuestra que el hidrógeno puede mezclarse con seguridad en el sistema de distribución de gas natural sin necesidad de cambios en los equipos y la consiguiente interrupción del servicio (Isaac, 2019).

HyDeploy está estructurado en tres fases distintas. La primera fue un programa técnico para establecer la base de pruebas detalladas en apoyo de una solicitud al Ejecutivo de Salud y Seguridad para la exención de regulación vigente en Reino Unido que le permita inyectar hidrógeno al 20 mol%⁵⁰. Esto es necesario para permitir que el hidrógeno se mezcle en un suministro de gas natural por encima del límite británico actual de 0,1 mol%. La segunda fase comprendió la construcción del electrolizador y la unidad de entrada a la red, junto con las tuberías y válvulas necesarias, para permitir inyectar y mezclar el hidrógeno en la red de distribución de gas de la Universidad de Keele. La tercera fase fue el ensayo propiamente tal, el cual se está desarrollando actualmente. Los clientes de Keele usan la mezcla de forma normal y no han notado diferencia en la calidad del gas (HyDeploy, 2020).

En el caso de Alemania, la legislación vigente hace distinción entre la planta de generación de hidrógeno y la planta de alimentación a la red de gas, siendo esta última parte de la red de suministro de gas y por ende propiedad del operador de la red de gas. Es dicho operador quien planifica y construye esta planta y se ocupa de las aprobaciones necesarias; esto incluye la línea de suministro, el equipo de medición y, si es necesario, el sistema de alimentación. Por lo tanto, el operador de la planta de hidrógeno sólo es responsable del sistema técnico perteneciente a la generación del hidrógeno.

Se considera permisible la introducción de hidrógeno a partir de electrólisis por debajo del 10% en volumen; sin embargo, esto está sujeto a restricciones locales de clientes finales posiblemente afectados, dando lugar a una reducción de la concentración permisible: por ejemplo, si hay una estación de servicio de gas natural en las cercanías, ya que el límite de la mezcla se limita al 2% en volumen

⁴⁹ Gran Bretaña tiene una red de gas de clase mundial y el gas domina su curva de suministro de calor, calentando el 83% de sus edificios y proporcionando la mayor parte de su calor industrial. La mezcla de hidrógeno al 20% molar con gas natural ahorraría alrededor de 6 millones de toneladas de emisiones de dióxido de carbono cada año, el equivalente a la eliminación de 2,5 millones de autos en carretera. (Isaac, 2019).

⁵⁰ En el Reino Unido, el Ejecutivo de Salud y Seguridad (HSE, por sus siglas en inglés) es la autoridad competente a la hora de definir el porcentaje de hidrógeno que se pueda mezclar con gas natural en la red, asegurando que el gas mezclado aprobado será tan seguro de usar como el gas normal. Dicha aprobación se proporciona como una exención al Reglamento de Seguridad del Gas. Tras dicha aprobación, se instalarán unidades de producción de hidrógeno y de inyección en red, y se llevará a cabo un amplio programa de pruebas.

de acuerdo con la norma DIN 51624 debido a los tanques de los vehículos de gas natural. (Parlamento de Alemania, 2019).

La alimentación de hidrógeno producido a partir de electrólisis una tasa de electricidad renovable superior al 80% cuenta a su vez con privilegios en la Ordenanza sobre el acceso a la red de gas. Según esto, el operador de la red asume el 75% de los costos de conexión de la red y el interesado en desarrollar el proyecto asume el 25% restante, si la línea de conexión es de hasta 10 km de largo⁵¹. En los tramos de línea de más de 10 km, el promotor del proyecto es responsable del 100% de los costos adicionales.

Por lo demás, el operador de la red está obligado a dar prioridad a la alimentación con hidrógeno producido de forma regenerativa; no obstante, el cliente de la red debe regirse por los requisitos de calidad del gas de la Asociación Alemana para el gas y el agua (DVGW, por sus siglas en alemán). Si se alcanza el límite de mezcla de hidrógeno con gas natural en la red, el operador no podrá alimentarla con hidrógeno. Si la concentración no se alcanza todavía, el operador de la planta puede alimentarla proporcionalmente. En la actualidad no existe una normativa legal que regule estos riesgos (DVGW, 2020).

3.6 Estación de carga y dispensación

Una estación de carga y dispensación es una infraestructura diseñada para llenar un vehículo con combustible de hidrógeno, formando parte de un proyecto existente para el reabastecimiento de combustibles convencionales o de una infraestructura independiente (Hydrogen Europe, 2017).

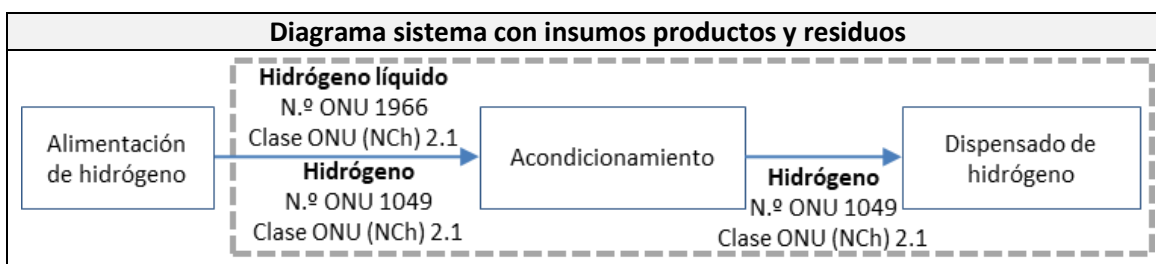


Figura 21: Aplicación – Estación de carga y dispensación. Fuente: elaboración propia.

El sistema se diferencia por el tipo de alimentación de hidrógeno y su proceso de acondicionamiento (ver Figura 21), destacando tres alternativas: producción en el sitio, transporte de hidrógeno comprimido gaseoso (número UN 1049, NCh382, clase 2.1) en camiones y transporte de hidrógeno líquido (número UN 1966, NCh382, clase 2.1) en camiones.

⁵¹ La cantidad está limitada a las líneas de conexión de hasta 1 km: el conectado paga el 25%, pero no más de 250.000 euros.

Para los dos primeros casos se considera un sistema de almacenamiento de paquetes de cilindros, tubos o recipientes sobre la superficie, bajo tierra (protegido contra corrosión) o en altura. A partir de ahí, para el dispensado del combustible, se considera la alternativa de un sistema de cascada desde el almacenamiento de alta presión⁵² y de la compresión directa desde el almacenamiento (ver Figura 22). Para ello, la estación debe contar con un sistema de compresión que permita llevar el hidrógeno recibido a las presiones de dispensado correspondientes, cuya capacidad dependerá de la capacidad general de la estación y la presión de entrada al sistema. Para minimizar el tiempo de carga sin exceder la temperatura de almacenamiento de hidrógeno gaseoso en el vehículo, se requiere de un sistema de enfriamiento que controle su temperatura previo al proceso de inyección (Fraunhofer ICE, 2013).

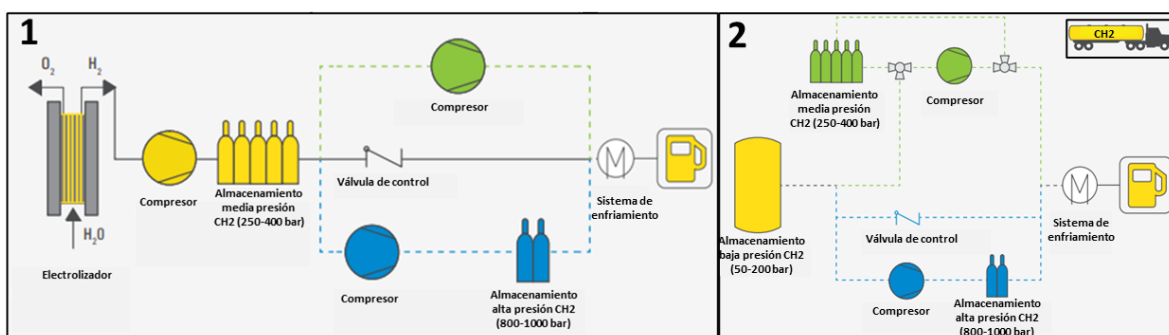


Figura 22: Alternativas de suministro de hidrógeno: (1) producción en sitio, (2) abastecimiento CH₂ con camiones.
 Fuente: modificado a partir de (Fraunhofer ICE, 2013).

Los niveles específicos de presión y la capacidad del sistema de almacenamiento se diseñan teniendo en cuenta la presión de suministro, la frecuencia de entrega, consideraciones económicas y la especificación del rendimiento del proceso (H2 Mobility, 2010).

El hidrógeno líquido, a su vez, se utiliza para el suministro en distancias más largas de 400-1.000 km. Este se entrega en un remolque, se bombea en un tanque aislado y se almacena. En el caso del reabastecimiento de combustible, el hidrógeno líquido se bombea a través de un evaporador mediante una bomba criogénica, se vaporiza y se carga en el vehículo en forma de gas (ver Figura 23). Debido a las bajas temperaturas del hidrógeno, no es necesaria una unidad de refrigeración⁵³ (Fraunhofer ICE, 2013).

⁵² Aquí, los tanques de almacenamiento se separan en diferentes niveles de presión hasta 1.000 bar y se acoplan en línea en nivel de presión ascendente (HyApproval WP2, 2008).

⁵³ Un sistema de gestión de la temperatura integrado y termodinámicamente eficiente ajusta la temperatura de dispensación de acuerdo con los requisitos específicos de carga (Linde, 2019).

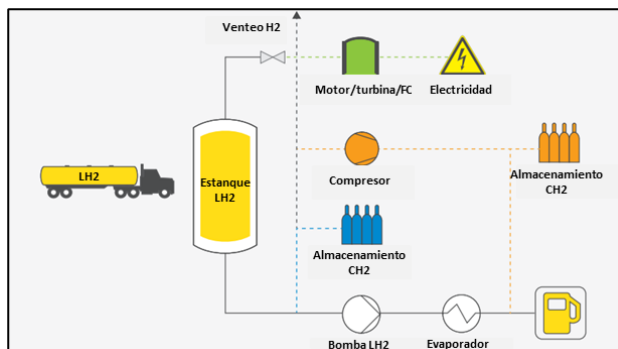


Figura 23: Alternativas de suministro H₂: LH₂. Fuente: modificado a partir de (Fraunhofer ICE, 2013).

La evaporación de parte del hidrógeno desde el tanque de líquido criogénico representa el principal desafío de estos sistemas ya que el hidrógeno evaporado debe ser liberado para evitar un aumento de la presión que lleve a una sobrecarga. Para evitar su venteo a la atmósfera existen varias alternativas de uso:

- Puede ser usado para el reabastecimiento de vehículos (70 MPa) almacenándolo en forma gaseosa y mezclándolo con hidrógeno líquido.
- Puede utilizarse para el reabastecimiento de vehículos utilitarios (35 MPa) al incluirse un compresor y un almacenamiento.
- Puede ser utilizado para generar electricidad a partir de un motor, una turbina o una celda de combustible (para mayor detalle revisar Sección 3.11.1).

Riesgos

A continuación, se indican los riesgos y precauciones identificados para esta tipología teniendo en consideración las indicaciones del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos.

Riesgos y precauciones		
Tipo	Hidrógeno gaseoso	Hidrógeno líquido
Riesgos físicos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gas extremadamente inflamable (H220). ▪ Contiene gas bajo presión; puede explotar si es calentado (H280). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gas extremadamente inflamable (H220). ▪ Contiene gas refrigerado. Puede causar quemaduras o daños criogénicos (H281).



Riesgos a la salud	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos de salud (H3xx). 	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos de salud (H3xx).
Riesgos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos ambientales (H4xx). 	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos ambientales (H4xx).
Precaución almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> Use y almacene al aire libre o en un lugar seco y bien ventilado (P271 - P403). 	<ul style="list-style-type: none"> Use y almacene al aire libre o en un lugar seco y bien ventilado (P271 - P403).

3.6.1 Aspectos asociados a la localización del proyecto

Todas las obras deben ajustarse a las normas técnicas, a la ordenanza general y al Plan Regulador Comunal que corresponda (Ley 458 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, que aprueba la ley general de urbanismo y construcciones, Artículo 116^º).

Los establecimientos industriales o de bodegaje deben cumplir con todas las disposiciones que le sean aplicables establecidas en la ordenanza general de la ley general de urbanismo y construcciones (DS 47) y sólo podrán establecerse en los emplazamientos que determine el instrumento de planificación territorial correspondiente, o a falta de éste, en los lugares que determine la autoridad municipal.

De acuerdo con el DS 47, Artículo 4.14.2, los establecimientos industriales o de bodegaje se deben clasificar caso a caso por la Secretaría Regional Ministerial de Salud en inofensivas, molestas, peligrosas o contaminantes.

La Circular B32 (de abril de 2020) de la Subsecretaría de Salud instruye a las Seremi de Salud criterios técnicos para la calificación de actividades productivas e infraestructura. Para las sustancias reguladas por el DS43/2015 del Ministerio de Salud, la Circular B32 establece requerimientos según volumen almacenado y tipo de sistema de almacenamiento (estanques superficiales o estanques enterrados):

- El establecimiento se clasifica como inofensivo si se almacena un máximo de 30 m³ en estanques superficiales y un máximo de 60 m³ en estanques enterrados.
- El establecimiento se clasifica como molesto si se almacena entre 30 y 40.000 m³ en estanques superficiales y entre 60 y 60.000 m³ en estanques enterrados.
- El establecimiento se clasifica como peligroso si se almacena más de 40.000 m³ en estanques superficiales y más de 60.000 m³ en estanques enterrados.

La masa de hidrógeno (toneladas) contenida en un volumen dado (metros cúbicos) depende de las condiciones específicas de presión y temperatura de almacenamiento. Por ende, se debe realizar un análisis caso a caso para definir los umbrales específicos a considerar para cada proyecto⁵⁴.

Previo a la publicación de la Circular B32, se contaba con una pauta de referencia calificación de actividades productivas y de servicio de carácter industrial (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1998), donde se definían los siguientes requerimientos, donde se indicaba:

- Para almacenamiento menor a 5 toneladas no se requiere declaración ni estudio de riesgos, estas actividades son clasificadas de acuerdo con las molestias que generen⁵⁵.
- Para almacenamiento entre 5 y 50 toneladas se requiere declaración de riesgos, estas actividades se clasifican como molestas.
- Para almacenamiento mayor a 50 toneladas se requiere estudio de riesgos. En base a los resultados del estudio de riesgo, la autoridad de salud debía clasificar la actividad industrial como inofensiva (si corresponde a actividad inofensiva y presenta riesgo de categoría 1), molesta (si la actividad no es inofensiva y presenta riesgo de categoría 1, o presenta riesgo de categoría 2), o peligrosa (si presenta riesgo de categoría 3).
 - Categoría 1 corresponde a aquellos accidentes en los que se prevea que no producen daños a la comunidad, personas o el entorno, controlando y neutralizando sus efectos dentro del propio predio e instalaciones.
 - Categoría 2 corresponde a aquellos accidentes en los que se prevea que pueden ocasionalmente causar daños a la salud o a la propiedad, y que normalmente quedan circunscritos al predio de la propia instalación.
 - Categoría 3 corresponde a aquellos accidentes en los que se prevea que pueden llegar a causar daños de carácter catastrófico para la salud o la propiedad, en un radio que excede los límites del propio predio.

⁵⁴ En el Anexo 6.2 se adjunta curva de transformación a partir de las densidades del hidrógeno bajo diferentes combinaciones de presión y temperatura.

⁵⁵ En el caso de Directive 2012/18/EU, Anexo 1, Parte 2, no se definen obligaciones para cantidades inferiores a 5 ton.

Los umbrales mencionados anteriormente (en toneladas) están alineados con los definidos en la Directive 2012/18/EU, Anexo 1, Parte 2, legislación vigente en la Unión Europea.

3.6.2 Pertinencia ambiental

La intención de esta sección es evaluar la pertinencia de un proyecto genérico que cumple la función de estación de carga y dispensación de hidrógeno. Si bien los aspectos específicos de una evaluación se deben definir caso a caso, a continuación, se presenta una lista de consideraciones de la legislación ambiental aplicable que podrían derivar en que un proyecto con la funcionalidad descrita deba ingresar al SEIA.

- Si el proyecto considera el almacenamiento de sustancias inflamables (hidrógeno, clase 2 división 2.1 NCh382) durante un semestre o más, y con una periodicidad mensual o mayor, en una cantidad igual o superior a 80.000 kg, es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra ñ.3).
- Si el proyecto considera una capacidad de almacenamiento igual o superior a 200.000 litros para el expendio de combustibles líquidos o gaseosos a vehículos motorizados u otros usos, es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra e.6). Si se considera el hidrógeno como combustible, es necesaria su inscripción previa en el registro que se establece en el Artículo segundo del decreto con fuerza de ley N° 1, de 1979, del Ministerio de Minería.
- Si el proyecto considera sistema de generación, línea de conexión y subestaciones eléctricas, estas deben ser evaluadas como tipologías secundarias.

Se debe utilizar las normas de referencia indicadas en el Artículo 11 del DS 40 para evaluar si el proyecto genera o presenta el riesgo indicado en la letra a) y los efectos adversos señalados en la letra b) del artículo 11 de la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente (Ley 19.300).

3.6.3 Listado Permisos ambientales y sectoriales pertinentes

En cuanto a los plazos de gestión para la aprobación de la RCA, dependiendo de la complejidad del proyecto y las correcciones que sean necesarias, se puede tener entre 1 a 3 años.

El listado de permisos ambientales, ambientales mixtos y sectoriales se detalla en el Anexo 6.3, incluyendo el servicio responsable de otorgar el permiso y el plazo estimado para su gestión, en aquellos casos en que dicho plazo esté definido. Para esta tipología de proyecto aplican 10 permisos ambientales mixtos y 28 permisos sectoriales; no aplican permisos ambientales (Tabla 9).

Tabla 9: Listado de permisos pertinentes a una estación de carga y dispensado de hidrógeno. Fuente: elaboración propia.

Autoridad	Tipo de permiso	Documento	Descripción del Permiso
Ministerio de Medio Ambiente	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 132	Permisos para hacer excavaciones de tipo arqueológico, antropológico y paleontológico.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 138	Permisos para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier obra pública o particular destinada a la evacuación, tratamiento o disposición final de desagües, aguas servidas de cualquier naturaleza.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 140	Permisos para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier planta de tratamiento de basuras y desperdicios de cualquier clase o para la instalación de todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cualquier clase.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 142	Permisos para todo sitio destinado al almacenamiento de residuos peligrosos.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 146	Permisos para la caza o captura de ejemplares de animales de especies protegidas para fines de investigación, para el establecimiento de centros de reproducción o criaderos y para la utilización sustentable del recurso.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 148	Permisos para corta de bosque nativo.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 149	Permisos para la corta de plantaciones en terrenos de aptitud preferentemente forestal.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 151	Permisos para la corta, destrucción o descepa de formaciones xerofíticas.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 160	Permisos para subdividir y urbanizar terrenos rurales o para construcciones fuera de los límites urbanos.
Ministerio Agricultura	Construcción	DS-458	Certificado de uso de suelo.
Ministerio de Economía	Combustible	Comparativo (*)	Inscripción como producción, importación, transporte, almacenamiento, distribución, mezcla y comercialización de nuevo combustible.
	Combustible	Comparativo	Declaración puesta en servicio de estación surtidora.
	Instalación Eléctrica	DFL-4	Declaración de instalación eléctrica.
Ministerio de Energía	Combustible	Comparativo	Certificado de conformidad de tercera parte.
	Combustible	Comparativo	Comunicación previo inicio de construcción.
	Combustible	Comparativo	Declaración previa puesta en servicio.
	Combustible	Comparativo	Comunicación de cambio de operador.
	Combustible	Comparativo	Informe término de operación.
	Combustible	Comparativo	Declaración de instalación de gas.
Ministerio de Interior	Industrial	DS-2385	Patentes comerciales e industriales.
Ministerio de Obras Públicas	Caminos	DFL-850	Autorización de acceso a un camino público y/o concesionado.
	Caminos	LEY-8946	Permisos de rotura y reposición de pavimentos.
Ministerio de Salud	Agua y Residuo Líquido	DS-735	Aprobación de proyectos de agua potable o aguas servidas domésticas particular.
	Agua y Residuo Líquido	DS-735	Autorización de obras de agua potable o aguas servidas domésticas particular.
	Industrial	DFL-725	Informe sanitario para la instalación, ampliación o traslado de industrias y talleres.
	Industrial	DS-157	Certificado de desratización para predemolición.
	Residuo Peligroso	DS-656	Autorización de un plan de trabajo y disposición final de materiales con asbesto (MCA).
	Sustancias Peligrosas	DS-43	Autorización sanitaria para almacenamiento de sustancias peligrosas.
	Sustancias Peligrosas	DFL-725	Autorización de uso y disposición para sustancias químicas peligrosas importadas.
Ministerio de Vivienda y Urbanismo	Construcción	DS-47	Certificado de informaciones previas.
	Construcción	DS-47	Autorización de cambio de destino.
	Construcción	DS-47	Aprobación de anteproyecto.
	Construcción	DS-47	Permiso de demolición.
	Construcción	DS-47	Permiso obras preliminares (instalación de faenas).
	Construcción	DS-47	Permiso de edificación.
	Construcción	DS-47	Modificación de proyecto.
	Construcción	DS-47	Recepción definitiva de obras.

(*) Comparativo hace referencia a permisos asociados a gases definidos como combustibles de acuerdo a la legislación nacional.

Se puede inferir que los permisos sectoriales asociados a una estación de carga y dispensación de hidrógeno no se encuentran definidos, ya que la reglamentación de esta aplicación actualmente está asociada al área de combustibles energéticos como el GLP⁵⁶.

⁵⁶ La Re. Ex. 1026 que establece requisitos mínimos para instalar y declarar estaciones surtidoras de gas licuado de petróleo a vehículos motorizados, del Ministerio de Economía, aplicable a estaciones surtidoras, unificó los siguientes aspectos:

- El DS 29 que aprueba el reglamento de seguridad para almacenamiento, transporte y expendio de gas licuado,
- El oficio circular 2083 de Superintendencia Eléctrica que imparte instrucciones respecto de la comunicación del inicio de obras de combustibles,

El Reglamento de Almacenamiento de Sustancias Peligrosas DS 43, Artículo 3, del Ministerio de Salud, indica expresamente que quedan excluidos de su ámbito de aplicación los combustibles líquidos y gaseosos, utilizados como recursos energéticos, regulados por los decretos respectivos del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción.

Si se considera el hidrógeno como combustible, es necesaria su inscripción en el registro que se estable en el Artículo segundo del decreto con fuerza de ley N° 1, de 1979, del Ministerio de Minería según se indica en la ley N° 20339 de 2009, del Ministerio de Hacienda. Adicionalmente, se debe definir si el hidrógeno será considerado dentro de los permisos sectoriales como un producto químico o como un gas combustible.

En cuanto a la aplicación del hidrógeno como combustible en vehículos motorizados, se hace notar que existe un conjunto de normas que regula esta aplicación. Por ejemplo, se debe inscribir el tipo de motor en el registro del ministerio de transporte especificando el tipo de combustible y los permisos de circulación de los vehículos son específicos por tipos de combustibles⁵⁷.

3.6.4 Experiencia y Legislación Internacional

La Directiva 2014/94/UE del Parlamento Europeo establece un marco común de medida relativa a la implantación de una infraestructura para combustibles alternativos, con el objetivo de minimizar la dependencia del transporte a partir de combustibles fósiles y su consecuente impacto medioambiental. La Directiva define requisitos mínimos para la creación de una infraestructura para los puntos de repostaje de hidrógeno, a ser aplicados mediante los marcos de acción nacionales de los Estados miembros, así como mediante las especificaciones técnicas comunes y requisitos de información a los usuarios⁵⁸.

Para el caso del hidrógeno, se propone a los Estados miembros tener asegurada a finales del año 2025 la disponibilidad de un número adecuado de puntos de repostaje que garantice la circulación de los vehículos dentro de las redes determinadas por dichos Estados. Para instalaciones posteriores a noviembre del 2017, las especificaciones técnicas presentes en el Anexo II son las siguientes:

-
- La norma chilena NCh 2103 Gases licuados de petróleo - Estaciones surtidoras de GLP para uso como combustible de vehículos motorizados - Requisitos mínimos de seguridad,
 - La norma chilena NCh 2115 Gases licuados de petróleo para uso automotriz – Especificaciones,
 - La resolución SEC 415 Procedimiento para declarar estaciones surtidoras de gas licuado de petróleo para uso automotriz, y
 - La Resolución 520 de la Contraloría General de la República.

⁵⁷ El estudio de estos permisos no está incluido en el alcance del estudio.

⁵⁸ Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:02014L0094-20200524&from=EN>

- Los puntos de carga al aire libre que distribuyan hidrógeno gaseoso para su utilización como combustible en vehículos motorizados deberán cumplir con las especificaciones técnicas de la norma ISO/TS 20100 relativa al suministro de hidrógeno gaseoso.
- El grado de pureza del hidrógeno distribuido por los puntos de carga deberá cumplir con las especificaciones técnicas de la norma ISO 14687-2.
- Los puntos de carga deberán utilizar algoritmos y equipos de suministro conformes con la norma ISO/TS 20100 relativa al suministro de hidrógeno gaseoso.
- Los conectores de los vehículos de motor para la carga de hidrógeno gaseoso deberán cumplir con la norma EN ISO 17268.

De acuerdo con la plataforma H2 Live, Alemania posee hoy en día 86 estaciones de carga de hidrógeno en funcionamiento y más de 21 en etapas de aprobación, alcanzando una demanda mensual promedio cercana a las 10 toneladas (H2 Live, 2020). El proceso regulatorio que se debe llevar a cabo para la instalación de cada una de estas estaciones de carga y dispensado de hidrógeno está directamente relacionado con la capacidad de almacenamiento de la estación y la alternativa de producción de hidrógeno en el sitio o su suministro mediante el uso de camiones o gaseoductos. Si la planta de generación de hidrógeno se construye en un contexto espacial y operativo conjunto a la estación de servicio, suele tratarse de una planta integrada y se considera y aprueba como una planta en su totalidad (DVGW, 2020). Para mayor detalle revisar las secciones 3.1 y 3.2.

3.7 Producción de metanol verde

El metanol verde (clasificado como número UN 1230, NCh382, clase primaria 3, secundaria 6.1) es una sustancia química líquida utilizada en diversos productos cotidianos, incluyendo plásticos, pinturas, cosméticos y combustibles, además de servir como combustible o aditivo de combustible, como materia prima química, disolvente y refrigerante. El metanol se produce tradicionalmente a partir de gas de síntesis: una mezcla de hidrógeno, dióxido de carbono y monóxido de carbono de una amplia gama de materias primas y utilizando diferentes enfoques tecnológicos.

El metanol es un producto químico peligroso con propiedades tóxicas, inflamables y reactivas que pueden causar efectos perjudiciales para la salud y el medio ambiente cuando no se manipula adecuadamente (Methanol Institute, 2008). La cadena de valor del metanol verde se presenta en la Figura 24.

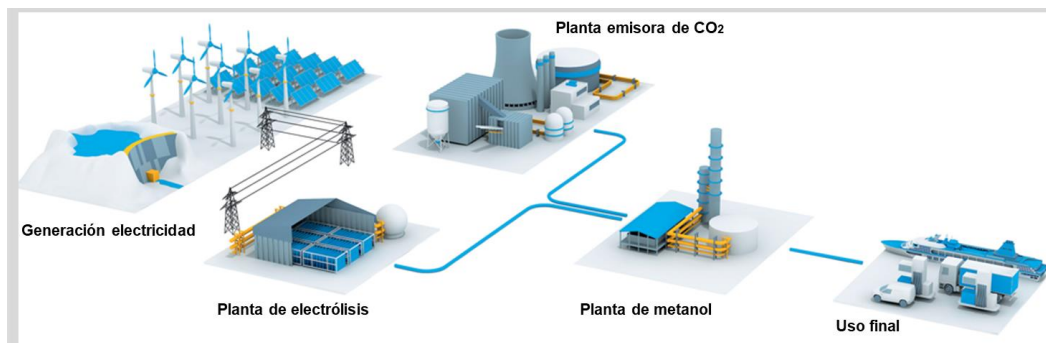


Figura 24: Cadena de valor del metanol verde. Fuente: modificado a partir de ThyssenKrupp.

Para efectos del presente informe, el metanol es generado a partir de la reacción de hidrógeno (clasificado como número UN 1049, NCh382, clase 2.1) y dióxido de carbono (clasificado como número UN 1013, NCh382, clase 2.2), cuyo origen puede ser un proceso adyacente o bien una industria relacionada que capture sus emisiones de dióxido de carbono que, de otro modo, sería liberado a la atmósfera⁵⁹.

Tras una adecuada compresión, el gas de síntesis que contiene hidrógeno generado por la electrólisis del agua y el dióxido de carbono se hace reaccionar catalíticamente para convertirlo en metanol crudo (ver Figura 25), cuyo contenido de agua se elimina por destilación en el último módulo del proceso, reduciendo drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto incluye la reducción de las emisiones de dióxido de carbono hasta un 95%, de óxido de nitrógeno hasta un 80%, y la eliminación de las emisiones de óxido de azufre y material particulado (ATA Markets Intelligence S.L., 2018).

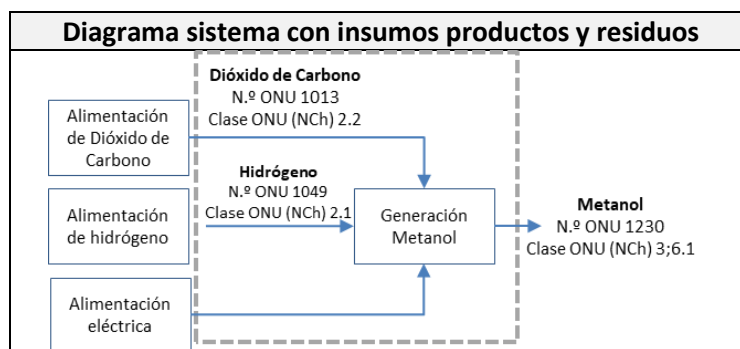


Figura 25: Aplicación – Metanol Verde. Fuente: elaboración propia.

⁵⁹ Se requiere certificación de origen para el dióxido de carbono para poder clasificar el metanol producido como un combustible renovable. Para mayor información dirigirse a https://www.iscc-system.org/wp-content/uploads/2017/02/ISCC_PLUS_260-05_Waste-feedstocks-and-renewable-feedstocks-of-non-biological-origin.pdf



El proceso de fabricación de metanol reemplaza al estándar de producción a partir de gas natural, predominante a nivel internacional y único presente en Chile. Este método consiste en calentar el gas natural, mezclarlo con vapor de agua y traspasarlo luego a un catalizador para producir gas de síntesis: monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrógeno. El gas se enfría y comprime para pasar sobre un catalizador para producir metanol crudo, cuya composición incluye agua, alcoholes superiores y otras impurezas, los cuales son eliminados en una última etapa de destilación; el almacenamiento del metanol estará sujeto a disposiciones similares a las utilizadas para el almacenamiento de gasolina (Methanol Institute, 2008).

Methanex es una empresa productora de metanol presente en Chile, cuyas operaciones han funcionado históricamente por debajo de su capacidad total, debido principalmente a la inestabilidad en el suministro del gas natural. Actualmente, la operación de la planta es cercana al 75% anual, con perspectivas de aumentar la producción en el corto plazo (Methanex, 2019).

El proyecto Highly Innovative Fuels (HIF), a su vez, busca producir metanol verde a partir de dióxido de carbono capturado de la atmósfera e hidrógeno generado a partir de electrólisis con energía proveniente de parques eólicos en la región de Magallanes⁶⁰. Se espera una producción de 350 toneladas de metanol y 250 toneladas de gasolina al año, a partir de 300 MW de capacidad de generación de los electrolizadores.

Riesgos

A continuación, se indican los riesgos y precauciones identificados para esta tipología teniendo en consideración las indicaciones del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos.

Riesgos y precauciones			
Tipo	Hidrógeno gaseoso	Dióxido de Carbono	Metanol
Riesgos físicos	<ul style="list-style-type: none"> Gas extremadamente inflamable (H220). Contiene gas bajo presión; puede explotar si es calentado (H280). 	<ul style="list-style-type: none"> Contiene gas bajo presión. Puede explotar si es calentado (H280). 	<ul style="list-style-type: none"> Líquido y vapor altamente inflamables (H225).
Riesgos a la salud	<ul style="list-style-type: none"> No especifican riesgos a la salud (H3xx). 	<ul style="list-style-type: none"> Asfixiante simple (H380). 	<ul style="list-style-type: none"> Tóxico si es ingerido (H301). Tóxico en contacto con la piel (H311).

⁶⁰ Para mayor información visitar <https://www.hif.cl/>.



			<ul style="list-style-type: none"> Tóxico si es inhalado (H331). Toxicidad específica en determinados órganos (H370).
Riesgos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos ambientales (H4xx). 	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos ambientales (H4xx). 	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos ambientales (H4xx).
Precaución almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> Use y almacene al aire libre o en un lugar seco y bien ventilado (P271 – P403). 	<ul style="list-style-type: none"> La hoja de datos no especifica precaución de almacenamiento (P4xx). 	<ul style="list-style-type: none"> La hoja de datos no especifica precaución de almacenamiento (P4xx).

3.7.1 Aspectos asociados a la localización del proyecto

Todas las obras deben ajustarse a las normas técnicas, a la ordenanza general y al Plan Regulador Comunal que corresponda (Ley 458 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, que aprueba la ley general de urbanismo y construcciones, Artículo 116⁹). En caso de requerirse una concesión marítima, se debe tener en consideración la Planificación y Desarrollo del Borde Costero.

Los establecimientos industriales o de bodegaje deben cumplir con todas las disposiciones que le sean aplicables establecidas en la ordenanza general de la ley general de urbanismo y construcciones (DS 47) y sólo podrán establecerse en los emplazamientos que determine el instrumento de planificación territorial correspondiente, o a falta de éste, en los lugares que determine la autoridad municipal.

De acuerdo con el DS 47, Artículo 4.14.2, los establecimientos industriales o de bodegaje se deben clasificar caso a caso por la Secretaría Regional Ministerial de Salud en inofensivas, molestas, peligrosas o contaminantes.

La Circular B32 (de abril de 2020) de la Subsecretaría de Salud instruye a las Seremi de Salud criterios técnicos para la calificación de actividades productivas e infraestructura. Para las sustancias reguladas por el DS43/2015 del Ministerio de Salud, la Circular B32 establece requerimientos según volumen almacenado y tipo de sistema de almacenamiento (estanques superficiales o estanques enterrados):

- El establecimiento se clasifica como inofensivo si se almacena un máximo de 30 m³ en estanques superficiales y un máximo de 60 m³ en estanques enterrados.



- El establecimiento se clasifica como molesto si se almacena entre 30 y 40.000 m³ en estanques superficiales y entre 60 y 60.000 m³ en estanques enterrados.
- El establecimiento se clasifica como peligroso si se almacena más de 40.000 m³ en estanques superficiales y más de 60.000 m³ en estanques enterrados.

Previo a la publicación de la Circular B32, se contaba con una pauta de referencia calificación de actividades productivas y de servicio de carácter industrial (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1998), donde se definían los siguientes requerimientos.

- Para almacenamiento menor a 500 toneladas no se requiere declaración ni estudio de riesgos, estas actividades son clasificadas de acuerdo con las molestias que generen⁶¹.
- Para almacenamiento entre 500 y 5.000 toneladas se requiere declaración de riesgos, estas actividades se clasifican como molestas.
- Para almacenamiento mayor a 50 toneladas se requiere estudio de riesgos. En base a los resultados del estudio de riesgo, la autoridad de salud clasifica la actividad industrial como inofensiva (si corresponde a actividad inofensiva y presenta riesgo de categoría 1), molesta (si la actividad no es inofensiva y presenta riesgo de categoría 1, o presenta riesgo de categoría 2), o peligrosa (si presenta riesgo de categoría 3).
 - Categoría 1 corresponde a aquellos accidentes en los que se prevea que no producen daños a la comunidad, personas o el entorno, controlando y neutralizando sus efectos dentro del propio predio e instalaciones.
 - Categoría 2 corresponde a aquellos accidentes en los que se prevea que pueden ocasionalmente causar daños a la salud o a la propiedad, y que normalmente quedan circunscritos al predio de la propia instalación.
 - Categoría 3 corresponde a aquellos accidentes en los que se prevea que pueden llegar a causar daños de carácter catastrófico para la salud o la propiedad, en un radio que excede los límites del propio predio.

⁶¹ En el caso de Directive 2012/18/EU, Anexo 1, Parte 2, no se definen obligaciones para cantidades inferiores a 500 ton.

Los umbrales mencionados anteriormente (en toneladas) están alineados con los definidos en la Directive 2012/18/EU, Anexo 1, Parte 2.

3.7.2 Pertinencia ambiental

La intención de esta sección es evaluar la pertinencia de un proyecto genérico que cumple la función de producción de metanol verde. Si bien los aspectos específicos de una evaluación se deben definir caso a caso, a continuación, se presenta un listado de consideraciones de la legislación ambiental aplicable que podrían derivar en que un proyecto con la funcionalidad descrita deba ingresar al SEIA.

- Si el proyecto considera la producción, disposición o reutilización de sustancias tóxicas (metanol, clase secundaria 6 NCh382) en una cantidad igual o superior a 10.000 kg/día, durante un semestre o más, es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra ñ.1).
- Si el proyecto considera una capacidad de almacenamiento de sustancias tóxicas en una cantidad igual o superior a 30.000 kg, es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra ñ.1).
- Si el proyecto considera la producción, disposición o reutilización de sustancias inflamables (metanol, clase primaria 3 NCh382; hidrógeno, clase 2, división 2.1 NCh382) en una cantidad de al menos 80.000 kg/día, durante un semestre o más y con una periodicidad mensual o mayor, es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra ñ.3).
- Si el proyecto considera una capacidad de almacenamiento de sustancias inflamables de al menos 80.000 kg, es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra ñ.3).
- Si la instalación fabril tiene una potencia instalada igual o superior a 2.000 kVA, es susceptible de causar impacto ambiental. Instalaciones emplazadas en loteos o uso de suelo industrial, definido mediante el instrumento de planificación territorial aprobado ambientalmente conforme a la Ley, deben ingresar al SEIA si tienen una superficie igual o mayor a 20 hectáreas (DS 40, Artículo 3, letra k.1)⁶².
- Si el proyecto considera sistema de generación, línea de conexión y subestaciones eléctricas, estas deben ser evaluadas como tipologías secundarias.

⁶² Instalaciones que generen una emisión diaria esperada de algún contaminante causante de saturación o latencia de la zona igual o superior al 5% de la emisión diaria estimada de ese contaminante en la zona declarada latente o saturada para ese tipo de fuente, también deben ingresar al SEIA.

En caso de tener la intención de modificar un proceso existente de producción de metanol a la producción de metanol verde, se debe considerar lo establecido en el Artículo 11 ter de la Ley 19.300, es decir, la calificación ambiental deberá recaer sobre la modificación y no sobre el proyecto o actividad existente, aunque la evaluación de impacto ambiental considerará la suma de los impactos provocados por la modificación y el proyecto o actividad existente para los fines legales pertinentes.

Se debe utilizar las normas de referencia indicadas en el Artículo 11 del DS 40 para evaluar si el proyecto genera o presenta el riesgo indicado en la letra a) y los efectos adversos señalados en la letra b) del artículo 11 de la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente (Ley 19.300).

3.7.3 Listado Permisos ambientales y sectoriales pertinentes

En cuanto a los plazos de gestión para la aprobación de la RCA, dependiendo de la complejidad del proyecto y las correcciones que sean necesarias, se puede tener entre 1 a 3 años.

El listado de permisos ambientales, ambientales mixtos y sectoriales se detalla en el Anexo 6.3, incluyendo el servicio responsable de otorgar el permiso y el plazo estimado para su gestión, en aquellos casos en que dicho plazo esté definido. Para esta tipología de proyecto aplican 10 permisos ambientales mixtos y 25 permisos sectoriales; no aplican permisos ambientales (Tabla 10).

Tabla 10: Listado de permisos pertinentes a la generación de metanol verde. Fuente: elaboración propia.

Autoridad	Tipo de permiso	Documento	Descripción del Permiso
Ministerio de Medio Ambiente	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 132	Permisos para hacer excavaciones de tipo arqueológico, antropológico y paleontológico.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 138	Permiso para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier obra pública o particular destinada a la evacuación, tratamiento o disposición final de desagües, aguas servidas de cualquier naturaleza.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 140	Permiso para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier planta de tratamiento de basuras y desperdicios de cualquier clase o para la instalación de todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cualquier clase.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 142	Permiso para todo sitio destinado al almacenamiento de residuos peligrosos.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 146	Permiso para la caza o captura de ejemplares de animales de especies protegidas para fines de investigación, para el establecimiento de centros de reproducción o criaderos y para la utilización sustentable del recurso.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 148	Permiso para corta de bosque nativo.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 149	Permiso para la corta de plantaciones en terrenos de aptitud preferentemente forestal.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 151	Permiso para la corta, destrucción o descepa de formaciones xerofíticas.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 160	Permiso para subdividir y urbanizar terrenos rurales o para construcciones fuera de los límites urbanos.
Ministerio Agricultura	Construcción	DS-458	Certificado de uso de suelo.
	Ministerio de Economía	Instalación Eléctrica	DFL-4
Ministerio de Interior	Industrial	DS-2385	Patentes comerciales e industriales.
	Ministerio de Obras Públicas	Caminos	DFL-850
Ministerio de Salud	Agua y Residuo Líquido	DS-735	Aprobación de proyectos de agua potable o aguas servidas domésticas particular.
	Agua y Residuo Líquido	DS-735	Autorización de obras de agua potable o aguas servidas domésticas particular.
	Industrial	DFL-725	Informe sanitario para la instalación, ampliación o traslado de industrias y talleres.
	Nuclear	DS-133	Licencia de operación para instalaciones nucleares especiales (instrumentos con fuente sellada).
	Nuclear	DS-133	Autorización sanitaria para personas que se desempeñan en instalaciones radiactivas (instrumentos con fuentes selladas).
	Nuclear	DFL-725	Autorización sanitaria para importar sustancias radiactivas y/o equipos con fuentes radiactivas (instrumentos con fuentes selladas).
	Nuclear	DFL-725	Certificado de Destinación Aduanera (CDA) para sustancias radiactivas y equipos con fuentes radiactivas selladas.
	Nuclear	DFL-725	Autorización de uso para sustancias radiactivas y equipos (instrumentos con fuentes selladas).
	Nuclear	DFL-725	Autorización de disposición para sustancias radiactivas y equipos (instrumentos con fuentes selladas).
	Residuo Peligroso	DS-148	Aprobación de plan de manejo de residuos peligrosos.
	Residuo Peligroso	DS-148	Autorización sanitaria de sitios de almacenamiento de residuos peligrosos.
	Sustancias Peligrosas	DFL-725	Autorización sanitaria para la fabricación de sustancias peligrosas.
	Sustancias Peligrosas	DS-43	Autorización sanitaria para almacenamiento de sustancias peligrosas.
Sustancias Peligrosas	DFL-725	Autorización de uso y disposición para sustancias químicas peligrosas importadas.	
Ministerio de Vivienda y Urbanismo	Construcción	DS-47	Certificado de informaciones previas.
	Construcción	DS-47	Autorización de cambio de destino.
	Construcción	DS-47	Aprobación de anteproyecto.
	Construcción	DS-47	Permiso obras preliminares (instalación de faenas).
	Construcción	DS-47	Permiso de edificación.
	Construcción	DS-47	Modificación de proyecto.
	Construcción	DS-47	Recepción definitiva de obras.



Se puede inferir que los permisos sectoriales a asociados a la producción de metanol verde están definidos; es posible su asociación a una planta de producción química peligrosa.

3.7.4 Experiencia y Legislación Internacional

La generación de metanol verde es una iniciativa incipiente, con una serie de proyectos en diferentes fases de planificación. De hecho, de acuerdo con la base de datos de la Agencia Internacional de Energía, existen en la actualidad únicamente 3 centrales productoras de metanol a partir de hidrógeno obtenido de fuentes renovables y dióxido de carbono, destacándose la central George Olah de la empresa Carbon Recycling International (CRI, Islandia, 6 MW capacidad instalada) como la más grande del mundo en su rubro y la única con una capacidad instalada superior a 1 MW (IEA, 2020).



Figura 26: Central Metanol Verde George Olah. Fuente: (Carbon Recycling International, 2020).

La central (Figura 26), cuya entrada en operación fue en 2012, tiene una capacidad de 4.000 toneladas anuales de metanol. El dióxido de carbono se extrae y purifica de los gases residuales de una planta de energía geotérmica⁶³ cercana, mientras que el hidrógeno necesario para la producción se genera por electrólisis alcalina utilizando la electricidad de la red totalmente renovable de Islandia (Marlin, Sarron, & Sigurbjörnsson, 2018).

⁶³ Los gases no condensables están presentes en forma natural en la mayoría de los fluidos geotérmicos. El gas dominante es el dióxido de carbono, que típicamente constituye más del 95% del contenido total del gas (Bonafin, Pietra, Bonzanini, & Bombarda, 2019).

El producto, también conocido como vulcanol, es un combustible renovable certificado⁶⁴ de alto octanaje de combustión limpia que puede ser usado directamente en vehículos o mezclado con gasolina. También puede utilizarse como materia prima para producir biodiesel o éteres de combustible y como materia prima de hidrocarburos para la producción ulterior de materiales sintéticos. CRI lo suministra a empresas de Islandia, Suecia, los Países Bajos, el Reino Unido y China (ATA Markets Intelligence S.L., 2018).

La base de datos de la Agencia Internacional de Energía destaca tres proyectos en el rango de los 32-250 MW de capacidad eléctrica instalada con fecha de inicio de operaciones entre el 2021 y 2023:

- Proyecto Hyport, Omán. Capacidad instalada de 250 MW. Fecha estimada de inicio de operaciones 2021.
- Proyecto CRI Norway, Noruega. Capacidad instalada de 70 MW. Fecha estimada de inicio de operaciones en 2023.
- Proyecto Liquid Wind, Suecia. Capacidad instalada de 32 MW. Fecha estimada de inicio de operaciones en 2023.

3.8 Producción de amoníaco verde

El amoníaco (clasificado como número UN 1005, NCh382, clase primaria 2.3, secundaria 8) es uno de los productos químicos más producidos y el material básico para la producción de todos los demás compuestos de nitrógeno. La mayor parte del amoníaco se procesa en fertilizantes, especialmente la urea y las sales de amonio. A temperatura ambiente y presión atmosférica, el amoníaco es un gas alcalino e incoloro altamente soluble en agua con un olor acre y sofocante⁶⁵. Por lo demás, el amoníaco puede utilizarse como un vector de energía de hidrógeno. Su industria e infraestructura preexistente ya produce, almacena y comercializa millones de toneladas cada año; esto le entrega una ventaja competitiva para participar en la economía del hidrógeno verde (Siemens, 2020).

⁶⁴ El proceso de generación de metanol de CRI está certificado por ISCC. El detalle del certificado se presenta en: <https://static1.squarespace.com/static/56926c502399a318016c5ed8/t/5d60067ed3a1b80001496f55/1566574207507/ISCC+EU+2019+certificate+Carbon+Recycling.pdf>

⁶⁵ Por lo tanto, es fácilmente detectable por el olfato en concentraciones sustancialmente inferiores a los niveles que causan cualquier consecuencia duradera para la salud (Royal Society, 2020).



El diseño básico de la síntesis de amoníaco verde⁶⁶ consiste en utilizar un electrolizador para producir hidrógeno (clasificado como número UN 1230, NCh382, clase 2.1) a partir de agua y una unidad de separación de aire para obtener nitrógeno⁶⁷ (clasificado como número UN 1066, NCh382, clase 2.2) del aire (tecnología más madura y desarrollada), produciendo oxígeno como residuo (clasificado como número UN 1072, NCh382, clase primario 2.2, secundario 5.1).

Finalmente, el hidrógeno y el nitrógeno se combinan en un reactor de síntesis Haber-Bosch para la producción del amoníaco⁶⁸. En este último, el hidrógeno de alta pureza (99,99%) y el nitrógeno, suelen reaccionar juntos a una temperatura de entre 350 y 550 °C a presiones de entre 100 y 250 bar (10-25 MPa) en la presencia de un material catalítico. De esta forma, la viabilidad de la producción de amoníaco a través del proceso Haber-Bosch depende básicamente de los métodos utilizados para producir nitrógeno e hidrógeno (Dincer & Bicer, 2018), siendo este último responsable de la mayor parte del consumo de energía (8 MWh por tonelada de producto) y alrededor del 90% de las emisiones de carbono de todo el proceso (Royal Society, 2020).

Para el almacenamiento a escala industrial se suelen utilizar bajas temperaturas (-33° C), debido a consideraciones económicas. Para efectos del estudio se profundizará en la alternativa del amoníaco líquido debido a la capacidad instalada actual de almacenamiento en el país, cuya provisión actualmente proviene en su totalidad del extranjero en dicho formato (Superintendencia de Medio Ambiente, 2019).

⁶⁶ El amoníaco verde es definido por la Royal Society como aquel que utiliza la electrólisis del agua para generar hidrógeno y un proceso impulsado por energía sostenible para generar oxígeno (responsable de un 2-3% del consumo energético del proceso).

⁶⁷ En caso de adquirir el nitrógeno como un insumo, el análisis no debe incluir la producción de oxígeno como residuo.

⁶⁸ Existe un creciente interés a nivel internacional por generar amoníaco verde en procesos que tienen menores exigencias en cuanto a presión y temperatura que el reactor Haber-Bosch, a través del uso de catalizadores de última generación. La empresa japonesa JGC una central de prueba de capacidad de 20 kg de amoníaco diarios en Yokohama (JGC Corporation, 2018).

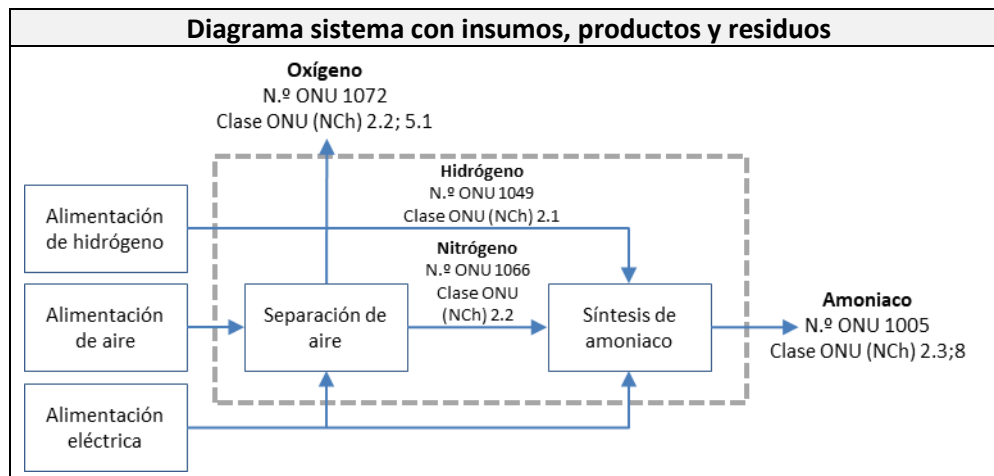


Figura 27: Aplicación – Amoníaco verde. Fuente: elaboración propia.

La producción mundial de 176 millones de toneladas de amoníaco por año representa alrededor del 1,8% de las emisiones globales de dióxido de carbono. Aun cuando se podrían capturar hasta el 90% del dióxido de carbono, las emisiones de gases de efecto invernadero ascendentes asociadas con la extracción de gas natural limitan las reducciones de las emisiones del ciclo de vida para la alternativa del reformado de metano con la captura y almacenamiento de carbono a un 60 - 85%. El amoníaco verde a partir de electrólisis, a su vez, no posee emisiones directas dióxido de carbono equivalentes (Royal Society, 2020).

Riesgos

A continuación, se indican los riesgos y precauciones identificados para esta tipología teniendo en consideración las indicaciones del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos.

Riesgos y precauciones				
Tipo	Hidrógeno gaseoso	Nitrógeno gaseoso	Oxígeno	Amoníaco
Riesgos físicos	<ul style="list-style-type: none"> Gas extremadamente inflamable (H220). Contiene gas bajo presión; puede explotar si es calentado (H280). 	<ul style="list-style-type: none"> Contiene gas bajo presión. Puede explotar si es calentado (H280). 	<ul style="list-style-type: none"> Puede causar o intensificar fuego; oxidante (H270). Contiene gas bajo presión. Puede explotar si es calentado (H280). 	<ul style="list-style-type: none"> Líquido y vapor altamente inflamables (H221). Contiene gas (líquido) bajo presión. Puede explotar si es calentado (H280).



Riesgos a la salud	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos a la salud (H3xx). 	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos a la salud (H3xx). 	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos a la salud (H3xx⁶⁹). 	<ul style="list-style-type: none"> Causa quemaduras severas a la piel y daños oculares (H314). Dañino si es inhalado (H332). Corrosivo para el tracto respiratorio (H335).
Riesgos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos ambientales (H4xx). 	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos ambientales (H4xx). 	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos ambientales (H4xx). 	<ul style="list-style-type: none"> Muy tóxico para la vida acuática (H400).
Precaución almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> Use y almacene al aire libre o en un lugar seco y bien ventilado (P271 - P403). 	<ul style="list-style-type: none"> Use y almacene al aire libre o en un lugar seco y bien ventilado (P271 - P403). 	<ul style="list-style-type: none"> Use y almacene al aire libre o en un lugar seco y bien ventilado (P271 - P403). 	<ul style="list-style-type: none"> Use y almacene al aire libre o en un lugar seco y bien ventilado (P271 - P403).

3.8.1 Aspectos asociados a la localización del proyecto

Todas las obras deben ajustarse a las normas técnicas, a la ordenanza general y al Plan Regulador Comunal que corresponda (Ley 458 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, que aprueba la ley general de urbanismo y construcciones, Artículo 116⁹). En caso de requerirse una concesión marítima, se debe tener en consideración la Planificación y Desarrollo del Borde Costero.

Los establecimientos industriales o de bodegaje deben cumplir con todas las disposiciones que le sean aplicables establecidas en la ordenanza general de la ley general de urbanismo y construcciones (DS 47) y sólo podrán establecerse en los emplazamientos que determine el instrumento de planificación territorial correspondiente, o a falta de éste, en los lugares que determine la autoridad municipal.

⁶⁹ La hoja de datos EPA para el oxígeno (Cameo Chemicals, Chemical Datasheet) especifica Peligros para la Salud inhalación 100% de oxígeno.



De acuerdo con el DS 47, Artículo 4.14.2, los establecimientos industriales o de bodegaje se deben clasificar caso a caso por la Secretaría Regional Ministerial de Salud en inofensivos, molestos, peligrosos o contaminantes.

La Circular B32 (de abril de 2020) de la Subsecretaría de Salud instruye a las Seremi de Salud criterios técnicos para la calificación de actividades productivas e infraestructura. Para las sustancias reguladas por el DS43/2015 del Ministerio de Salud, la Circular B32 establece requerimientos según volumen almacenado y tipo de sistema de almacenamiento (estanques superficiales o estanques enterrados):

- El establecimiento se clasifica como inofensivo si se almacena un máximo de 30 m³ en estanques superficiales y un máximo de 60 m³ en estanques enterrados.
- El establecimiento se clasifica como molesto si se almacena entre 30 y 40.000 m³ en estanques superficiales y entre 60 y 60.000 m³ en estanques enterrados.
- El establecimiento se clasifica como peligroso si se almacena más de 40.000 m³ en estanques superficiales y más de 60.000 m³ en estanques enterrados.

Previo a la publicación de la Circular B32, se contaba con una pauta de referencia calificación de actividades productivas y de servicio de carácter industrial (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1998), donde se definían los siguientes requerimientos.

- Para almacenamiento menor a 60 toneladas no se requiere declaración ni estudio de riesgos, estas actividades son clasificadas de acuerdo con las molestias que generen⁷⁰.
- Para almacenamiento entre 60 y 600 toneladas se requiere declaración de riesgos, estas actividades se clasifican como molestas.
- Para almacenamiento mayor a 600 toneladas se requiere estudio de riesgos. En base a los resultados del estudio de riesgo, la autoridad de salud clasifica la actividad industrial como inofensiva (si corresponde a actividad inofensiva y presenta riesgo de categoría 1), molesta (si la actividad no es inofensiva y presenta riesgo de categoría 1, o presenta riesgo de categoría 2), o peligrosa (si presenta riesgo de categoría 3).

⁷⁰ En el caso de Directive 2012/18/EU, Anexo 1, Parte 2, no se definen obligaciones para cantidades inferiores a 50 ton.

- Categoría 1 corresponde a aquellos accidentes en los que se prevea que no producen daños a la comunidad, personas o el entorno, controlando y neutralizando sus efectos dentro del propio predio e instalaciones.
- Categoría 2 corresponde a aquellos accidentes en los que se prevea que pueden ocasionalmente causar daños a la salud o a la propiedad, y que normalmente quedan circunscritos al predio de la propia instalación.
- Categoría 3 corresponde a aquellos accidentes en los que se prevea que pueden llegar a causar daños de carácter catastrófico para la salud o la propiedad, en un radio que excede los límites del propio predio.

Los umbrales mencionados anteriormente (en toneladas) son levemente distintos a los definidos en la Directive 2012/18/EU, Anexo 1, Parte 2, para el amoníaco anhidro, donde se define como umbral inferior 50 toneladas y umbral superior 200 toneladas.

Adicionalmente, teniendo en consideración lo analizado en la pertinencia ambiental, específicamente en lo que se refiere al venteo del oxígeno, se debe cumplir con el DS 148 artículo 48, que se refiere al emplazamiento de una instalación de eliminación de residuos peligrosos.

En cuanto a la alternativa de almacenamiento de residuos para los residuos reactivos (artículo 16) o inflamables (artículo 15), el DS 148 artículo 35, indica que debe estar al menos a 15 metros de los deslindes de la propiedad.

3.8.2 Pertinencia ambiental

La intención de esta sección es evaluar la pertinencia de un proyecto genérico que cumple la función de producción de amoníaco verde. Si bien los aspectos específicos de una evaluación se deben definir caso a caso, a continuación, se presenta un listado de consideraciones de la legislación ambiental aplicable que podrían derivar en que un proyecto con la funcionalidad descrita deba ingresar al SEIA.

- Si el proyecto considera la producción, disposición o reutilización de sustancias corrosivas (amoníaco, clase 8 NCh382) o reactivas (oxígeno, clase 5 NCh382, en caso de que el oxígeno sea un producto reutilizado) en una cantidad igual o superior a 120.000 kg/día, durante un semestre o más, es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra ñ.4).
- Si el proyecto considera una capacidad de almacenamiento de sustancias corrosivas o reactivas en una cantidad igual o superior a 120.000 kg, es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra ñ.4).



- Si el proyecto considera la disposición o reutilización residuos⁷¹ clasificados como corrosivos o reactivos (oxígeno, clase 5 NCh382, en caso de que el oxígeno producido sea venteado a la atmósfera como una forma de eliminación) debido a que se encuentran en alguna de las hipótesis de los artículos 16 o 17 del DS 148, de 2003, del Ministerio de Salud, o aquel que lo reemplace, entonces es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra o.9)⁷². Se establece un límite de 1000 kg/día.
- Si el proyecto considera la producción, disposición o reutilización de sustancias inflamables (hidrógeno, clase 2 división 2.1 NCh382) en una cantidad de al menos 80.000 kg/día, durante un semestre o más y con una periodicidad mensual o mayor, es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra ñ.3).
- Si el proyecto considera una capacidad de almacenamiento de sustancias inflamables de al menos 80.000 kg, es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra ñ.3).
- Si la instalación fabril tiene una potencia instalada igual o superior a 2.000 kVA, es susceptible de causar impacto ambiental. Instalaciones emplazadas en loteos o uso de suelo industrial, definido mediante el instrumento de planificación territorial aprobado ambientalmente conforme

⁷¹ El Artículo 3 del DS 148 define como residuo o desecho a una sustancia, elemento u objeto que el generador elimina, se propone eliminar o está obligado a eliminar.

⁷² El oxígeno puede explotar si es calentado (H280), por lo que se considera dentro de lo establecido en el artículo 16, letra f) del DS 148, que indica: cuando es capaz de detonar o explosionar por la acción de una fuente de energía de activación o cuando es calentado en forma confinada.

Las mezclas potencialmente explosivas de agentes oxidantes y agentes reductores pueden persistir sin cambios durante largos períodos si se evitan las perturbaciones (calor, chispas, catalizador, choque mecánico). La EPA incluye como ejemplo específico al oxígeno.

El Artículo 10 del DS 148 indica que un residuo o una mezcla de residuos es peligrosa si presenta riesgo para la salud pública y/o efectos adversos al medio ambiente ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto, como consecuencia de presentar diversas características, entre las cuales se encuentra la inflamabilidad. Al mismo tiempo, indica que bastará la presencia de una de estas características en un residuo para que sea calificado como residuo peligroso. Las características de inflamabilidad son definidas en Artículo 15 entre las cuales incluye en el punto d) a sustancia oxidante tal como los cloratos, permanganatos, peróxidos inorgánicos o nitratos, que genera oxígeno lo suficientemente rápido como para estimular la combustión de materia orgánica. El oxígeno puede causar o intensificar fuego; oxidante (H270).

Teniendo en consideración lo analizado, el venteo del oxígeno debe cumplir con el DS 148 con lo indicado en los artículos 15 (inflamabilidad) y artículo 16 (reactividad).

a la Ley, deben ingresar al SEIA si tienen una superficie igual o mayor a 20 hectáreas (DS 40, Artículo 3, letra k.1)⁷³.

- Si el proyecto considera sistema de generación, línea de conexión y subestaciones eléctricas, estas deben ser evaluadas como tipologías secundarias.

El amoniaco es señalado por la GHS como muy tóxico para la vida acuática (H400) y está categorizado en la NCh382 en la clase 2, división 2.3: gases tóxicos. No obstante, el DS 40, Artículo 3, letra ñ.1) define las sustancias tóxicas como aquellas pertenecientes a la clase 6 de la NCh382. Por lo tanto, el amoniaco quedaría fuera del alcance del literal ñ.1).

Como un subproceso interno para la producción de amoniaco se produce nitrógeno (gas); el nitrógeno es clasificado como gas no inflamable, no tóxico (clase 2, división 2.2) y no representa un factor que pueda causar impacto ambiental de acuerdo con las tipologías definidas en el DS 40.

En caso de tener la intención de modificar un proceso existente para la producción de amoniaco verde, se debe considerar lo establecido en el Artículo 11 ter de la Ley 19.300, es decir, la calificación ambiental deberá recaer sobre la modificación y no sobre el proyecto o actividad existente, aunque la evaluación de impacto ambiental considerará la suma de los impactos provocados por la modificación y el proyecto o actividad existente para todos los fines legales pertinentes.

Se debe utilizar las normas de referencia indicadas en el Artículo 11 del DS 40 para evaluar si el proyecto genera o presenta el riesgo indicado en la letra a) y los efectos adversos señalados en la letra b) del artículo 11 de la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente (Ley 19.300).

3.8.3 Listado Permisos ambientales y sectoriales pertinentes

En cuanto a los plazos de gestión para la aprobación de la RCA, dependiendo de la complejidad del proyecto y las correcciones que sean necesarias, se puede tener entre 1 a 3 años.

El listado de permisos ambientales, ambientales mixtos y sectoriales se detalla en el Anexo 6.3, incluyendo el servicio responsable de otorgar el permiso y el plazo estimado para su gestión, en aquellos casos en que dicho plazo esté definido. Para esta tipología de proyecto aplican 11 permisos ambientales mixtos y 28 permisos sectoriales; no aplican permisos ambientales (Tabla 11).

Tabla 11: Listado de permisos pertinentes a la generación de amoniaco verde. Fuente: elaboración propia.

⁷³ Instalaciones que generen una emisión diaria esperada de algún contaminante causante de saturación o latencia de la zona igual o superior al 5% de la emisión diaria estimada de ese contaminante en la zona declarada latente o saturada para ese tipo de fuente, también deben ingresar al SEIA.

Autoridad	Tipo de permiso	Documento	Descripción del Permiso
Ministerio de Medio Ambiente	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 132	Permiso para hacer excavaciones de tipo arqueológico, antropológico y paleontológico.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 138	Permiso para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier obra pública o particular destinada a la evacuación, tratamiento o disposición final de desagües, aguas servidas de cualquier naturaleza.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 140	Permiso para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier planta de tratamiento de basuras y desperdicios de cualquier clase o para la instalación de todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cualquier clase.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 142	Permiso para todo sitio destinado al almacenamiento de residuos peligrosos.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 144	Permiso para instalaciones de eliminación de residuos peligrosos.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 146	Permiso para la caza o captura de ejemplares de animales de especies protegidas para fines de investigación, para el establecimiento de centros de reproducción o criaderos y para la utilización sustentable del recurso.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 148	Permiso para corta de bosque nativo.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 149	Permiso para la corta de plantaciones en terrenos de aptitud preferentemente forestal.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 151	Permiso para la corta, destrucción o descepado de formaciones xerofíticas.
Ministerio Agricultura	Construcción	DS-458	Certificado de uso de suelo.
	Instalación Eléctrica	DFL-4	Declaración de instalación eléctrica.
Ministerio de Interior	Sustancia Controlada	Interior	Inscripción de sustancia controlada.
	Industrial	DS-2385	Patentes comerciales e industriales.
Ministerio de Obras Públicas	Caminos	DFL-850	Autorización de acceso a un camino público y/o concesionado.
	Agua y Residuo Líquido	DS-735	Aprobación de proyectos de agua potable o aguas servidas domésticas particular.
Ministerio de Salud	Agua y Residuo Líquido	DS-735	Autorización de obras de agua potable o aguas servidas domésticas particular.
	Industrial	DFL-725	Informe sanitario para la instalación, ampliación o traslado de industrias y talleres.
	Nuclear	DS-133	Licencia de operación para instalaciones nucleares especiales (instrumentos con fuente sellada).
	Nuclear	DS-133	Autorización sanitaria para personas que se desempeñan en instalaciones radiactivas (instrumentos con fuentes selladas).
	Nuclear	DFL-725	Autorización sanitaria para importar sustancias radiactivas y/o equipos con fuentes radiactivas (instrumentos con fuentes selladas).
	Nuclear	DFL-725	Certificado de Destinación Aduanera (CDA) para sustancias radiactivas y equipos con fuentes radiactivas selladas.
	Nuclear	DFL-725	Autorización de uso para sustancias radiactivas y equipos (instrumentos con fuentes selladas).
	Nuclear	DFL-725	Autorización de disposición para sustancias radiactivas y equipos (instrumentos con fuentes selladas).
	Residuo Peligroso	DS-148	Aprobación de plan de manejo de residuos peligrosos.
	Residuo Peligroso	DS-148	Autorización sanitaria de sitios de almacenamiento de residuos peligrosos.
	Residuo Peligroso	DS-148	Aprobación de proyecto de instalación de eliminación de residuos peligroso.
	Residuo Peligroso	DS-148	Autorización de plan de cierre de instalación de eliminación de residuos peligrosos.
	Sustancias Peligrosas	DFL-725	Autorización sanitaria para la fabricación de sustancias peligrosas.
	Sustancias Peligrosas	DS-43	Autorización sanitaria para almacenamiento de sustancias peligrosas.
Sustancias Peligrosas	DFL-725	Autorización de uso y disposición para sustancias químicas peligrosas importadas.	
Ministerio de Vivienda y Urbanismo	Construcción	DS-47	Certificado de informaciones previas.
	Construcción	DS-47	Autorización de cambio de destino.
	Construcción	DS-47	Aprobación de anteproyecto.
	Construcción	DS-47	Permiso obras preliminares (instalación de faenas).
	Construcción	DS-47	Permiso de edificación.
	Construcción	DS-47	Modificación de proyecto.
	Construcción	DS-47	Recepción definitiva de obras.

Se puede inferir que los permisos sectoriales a asociados a la producción de amoniaco verde están definidos; es posible su asociación a una planta de producción química peligrosa.

3.8.4 Experiencia y Legislación Internacional

El proyecto de amoniaco verde de la empresa Yara Pilbara (YPF)⁷⁴ se ubica en la zona industrial de Burrup, en Australia occidental y espera entrar en funcionamiento en el año 2023. Su alcance comprende la construcción y el funcionamiento de una planta de generación de hidrógeno verde (incluida la instalación de una planta solar fotovoltaica), el cual se utilizará en la planta adyacente de fabricación de fertilizantes de Yara Pilbara (ver Figura 28) para producir amoniaco. La central

⁷⁴ Yara es una de las principales empresas de fertilizantes del mundo con operaciones en más de 60 países. La actual planta de YPF es una de las mayores instalaciones de producción de amoniaco del mundo, con una producción de 850.000 toneladas anuales y un suministro de aproximadamente el 5% del amoniaco comercializado en el mercado mundial (Yara Pilbara Fertilisers Pty Ltd, 2020).



fotovoltaica tendrá una capacidad de producción de aproximadamente 18 MW para alimentar una unidad de electrólisis de 10 MW que se espera que produzca unas 640 toneladas de hidrógeno renovable al año (aproximadamente el 0,4% del consumo de hidrógeno de la planta de fertilizantes). La unidad de electrólisis se alimentará con agua desalinizada de la planta desalinizadora cercana que suministra agua a la planta de fertilizantes y venteará a la atmósfera un estimado de 14,4 ton de oxígeno al día como residuo (Yara Pilbara Fertilisers Pty Ltd, 2020).

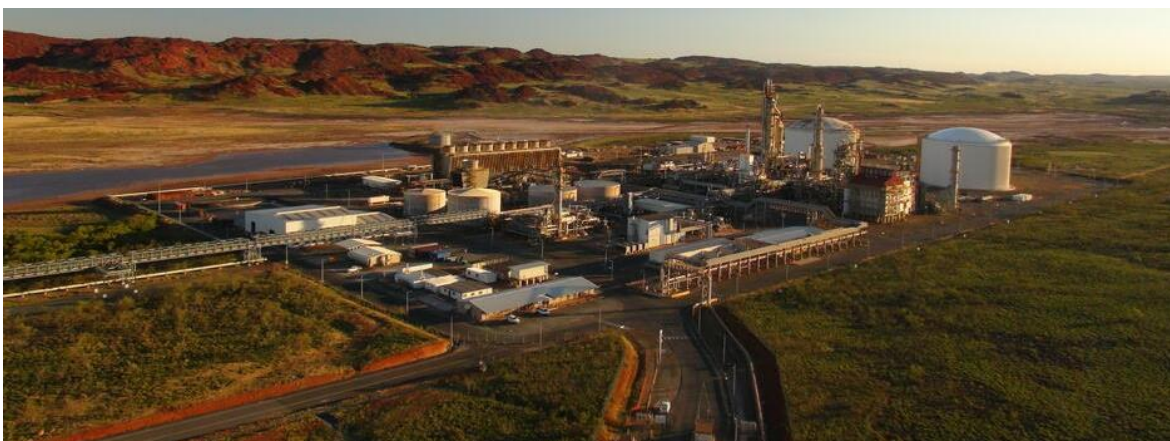


Figura 28: Planta de generación de fertilizantes de Yara Pilbara. Fuente: (Yara, 2020).

Para llevar a cabo la construcción de la planta, la empresa preparó un reporte a la Autoridad de Protección Ambiental reguladora en Australia (EPA, por sus siglas en inglés), proporcionando información sobre las características y actividades de la propuesta, los principales interesados, los posibles impactos ambientales y las medidas de mitigación propuestas relacionadas con la construcción y el funcionamiento de la central: parque fotovoltaico, electrolizador, balance de planta e infraestructura de apoyo (Yara Pilbara Fertilisers Pty Ltd, 2020). Los principales temas de interés abordados en el estudio fueron los siguientes:

- Tratamiento de agua. El agua desalada para el electrolizador de hidrógeno se obtiene de una planta desalinizadora existente de la planta química de Yara Pilbara, la cual toma el agua del puerto de Mermaid y proporciona agua desalinizada para fines de refrigeración y lucha contra incendios a la planta de fertilizantes. La salmuera producida y las aguas residuales tratadas de la planta de fertilizantes se descargan a través de una tubería de 4 km y un emisario de 1,4 km en el océano Índico en el estrecho de Mermaid, King Bay. La descarga de agua adicional asociada a planta de hidrógeno estará dentro de los valores aprobados para la planta de desalinización existente. Por consiguiente, no se considera que el proyecto tenga un impacto significativo en la calidad del agua marina.
- Construcción y operación de la planta de electrólisis. Se requerirá una actualización de la licencia de emplazamiento de sustancias peligrosas existente y de la aprobación para el funcionamiento

de una instalación de riesgos mayores (asociada a la planta de fertilizantes), de conformidad con la Ley de Seguridad de Mercancías Peligrosas de 2004. Las actualizaciones se referirán a la manipulación y eliminación seguras de las sustancias peligrosas utilizadas durante la construcción de la planta y a cualquier peligro asociado con el funcionamiento de la planta de hidrógeno.

- Aspectos asociados a la localización. Aunque este proyecto está ubicado en una instalación existente, se exigió un estudio de impacto sobre el uso de la tierra, la flora, la fauna y los sitios patrimoniales. No se identificaron factores únicos para este proyecto.

De esta forma, el proyecto buscará apoyar la descarbonización en la región de Pilbara e impulsar el desarrollo del mercado del hidrógeno verde, manteniendo al mismo tiempo la producción de amoníaco en la planta de YPF.

3.9 Generación eléctrica con motores o turbinas

El hidrógeno (clasificado como número UN 1049, NCh382, clase 2.1) representa una alternativa de combustible bajo en emisiones para la generación de energía eléctrica en un contexto futuro de una matriz altamente renovable con exigencias de generación flexible⁷⁵. La Figura 29 ilustra un diagrama de la aplicación de uso de hidrógeno en motores o turbinas para generación de energía eléctrica.

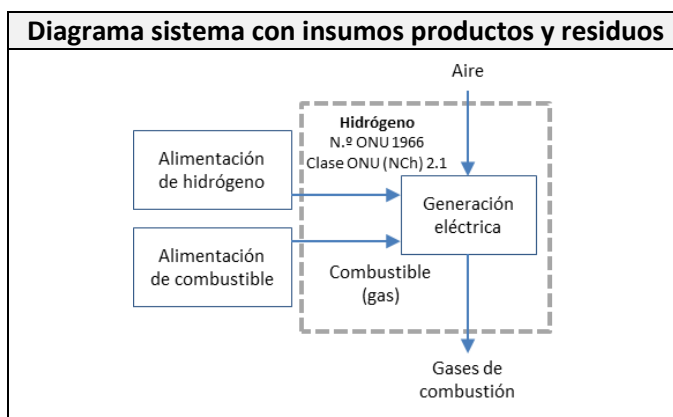


Figura 29: Aplicación – Generación eléctrica con motores o turbinas. Fuente: elaboración propia.

Los motores a gas y turbinas pueden adaptarse para operar con hidrógeno o mezclas de gas e hidrógeno. Sin embargo, existen diferencias entre el gas natural y el hidrógeno que deben

⁷⁵ Wärtsilä declara como parte de su estrategia futura la inserción de plantas de energía flexibles y de arranque rápido a partir de combustibles producidos localmente con energía eólica y solar, usando agua y aire como materias primas (Wärtsilä, 2020). Siemens fabrica turbinas duales que son capaces de quemar tanto gas natural como hidrógeno (hasta un 100%) (Leipziger Stadtwerke, 2020).

considerarse para utilizar el hidrógeno de manera adecuada y segura en turbinas y motores. Las consideraciones tienen relación principalmente a emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx). Las modificaciones necesarias en un motor o una turbina a gas para que pueda operar con hidrógeno dependen del diseño del equipo y de la concentración de hidrógeno en el combustible (European Turbine Network, 2020) (Masakazu, Araki, Tanimura, Kawakami, & Noriaki, 2018) (2G Energy AG, 2020)⁷⁶.

La inclusión de hidrógeno como combustible disminuye las emisiones de dióxido de carbono, alcanzando una combustión libre en emisiones de CO₂, CO y material particulado en instalaciones que funcionen en un 100% con hidrógeno. Los niveles de emisiones estarán dados por el aporte de calor relativo a cada componente de la mezcla, no así por el volumen que dicho componente represente en el combustible. Así, la adición de porcentajes bajos de hidrógeno al combustible tendrá un impacto menor en la reducción de las emisiones de dióxido de carbono⁷⁷ (Goldmeer, 2019).

Los valores límites para las emisiones en turbinas a gas de una potencia térmica mayor o igual a 50 MW se definen en el DS 13 (detalles en el Anexo 6.1.1); para el NOx el límite establecido es de 50 mg/Nm³ para combustibles gaseosos.

De forma complementaria se encuentra el anteproyecto de la norma de emisión Re Ex. 1671 para grupos electrógenos. Este anteproyecto involucra grupos electrógenos accionados con motores de combustión interna con encendido por compresión de potencia máxima de motor mayor o igual a 19 kW. El detalle de los límites de emisión según las características del sistema se presenta en el Anexo 6.1.3. No se ha definido una norma de emisión que afecte la operación de motores a gas con encendido por chispa.

Riesgos

A continuación, se indican los riesgos y precauciones identificados para esta tipología teniendo en consideración las indicaciones del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos.

Riesgos y precauciones	
Tipo	Hidrógeno gaseoso
Riesgos físicos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gas extremadamente inflamable (H220). ▪ Contiene gas bajo presión; puede explotar si es calentado (H280).

⁷⁶ La conversión de una infraestructura existente tiene la ventaja de que los costos son significativamente más bajos y el tiempo de entrega es mínimo en comparación con un sitio nuevo (European Turbine Network, 2020).

⁷⁷ De acuerdo al estudio de (Goldmeer, 2019), un 50% de mezcla en volumen de H₂ y metano puede causar una reducción cercana al 20% de las emisiones de CO₂. Para alcanzar una reducción del 50%, el porcentaje de mezcla debe ser definido en base al contenido calorífico de los gases.



Riesgos a la salud	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos a la salud (H3xx).
Riesgos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos ambientales (H4xx).
Precaución almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> Use y almacene al aire libre o en un lugar seco y bien ventilado (P271 - P403).

3.9.1 Aspectos asociados a la localización del proyecto

Todas las obras deben ajustarse a las normas técnicas, a la ordenanza general y al Plan Regulador Comunal que corresponda (Ley 458 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, que aprueba la ley general de urbanismo y construcciones, Artículo 116º).

Los establecimientos industriales o de bodegaje deben cumplir con todas las disposiciones que le sean aplicables establecidas en la ordenanza general de la ley general de urbanismo y construcciones (DS 47) y sólo podrán establecerse en los emplazamientos que determine el instrumento de planificación territorial correspondiente, o a falta de éste, en los lugares que determine la autoridad municipal.

De acuerdo con el DS 47, Artículo 4.14.2, los establecimientos industriales o de bodegaje se deben clasificar caso a caso por la Secretaría Regional Ministerial de Salud en inofensivas, molestas, peligrosas o contaminantes.

La Circular B32 (de abril de 2020) de la Subsecretaría de Salud instruye a las Seremi de Salud criterios técnicos para la calificación de actividades productivas e infraestructura. Para las sustancias reguladas por el DS43/2015 del Ministerio de Salud, la Circular B32 establece requerimientos según volumen almacenado y tipo de sistema de almacenamiento (estanques superficiales o estanques enterrados):

- El establecimiento se clasifica como inofensivo si se almacena un máximo de 30 m³ en estanques superficiales y un máximo de 60 m³ en estanques enterrados.
- El establecimiento se clasifica como molesto si se almacena entre 30 y 40000 m³ en estanques superficiales y entre 60 y 60000 m³ en estanques enterrados.
- El establecimiento se clasifica como peligroso si se almacena más de 40000 m³ en estanques superficiales y más de 60.000 m³ en estanques enterrados.

La masa de hidrógeno (toneladas) contenida en un volumen dado (metros cúbicos) dependerá de las condiciones específicas de presión y temperatura de almacenamiento. Por ende, se debe realizar un análisis caso a caso para definir los umbrales específicos a considerar para cada proyecto⁷⁸.

Previo a la publicación de la Circular B32, se contaba con una pauta de referencia calificación de actividades productivas y de servicio de carácter industrial (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1998), donde se definían los siguientes requerimientos.

- Para almacenamiento menor a 5 toneladas no se requiere declaración ni estudio de riesgos, estas actividades son clasificadas de acuerdo con las molestias que generen⁷⁹.
- Para almacenamiento entre 5 y 50 toneladas se requiere declaración de riesgos, estas actividades se clasifican como molestas.
- Para almacenamiento mayor a 50 toneladas se requiere estudio de riesgos. En base a los resultados del estudio de riesgo, la autoridad de salud clasifica la actividad industrial como inofensiva (si corresponde a actividad inofensiva y presenta riesgo de categoría 1), molesta (si la actividad no es inofensiva y presenta riesgo de categoría 1, o presenta riesgo de categoría 2), o peligrosa (si presenta riesgo de categoría 3).
 - Categoría 1 corresponde a aquellos accidentes en los que se prevea que no producen daños a la comunidad, personas o el entorno, controlando y neutralizando sus efectos dentro del propio predio e instalaciones.
 - Categoría 2 corresponde a aquellos accidentes en los que se prevea que pueden ocasionalmente causar daños a la salud o a la propiedad, y que normalmente quedan circunscritos al predio de la propia instalación.
 - Categoría 3 corresponde a aquellos accidentes en los que se prevea que pueden llegar a causar daños de carácter catastrófico para la salud o la propiedad, en un radio que excede los límites del propio predio.

Los umbrales mencionados anteriormente (en toneladas) están alineados con los definidos en la Directive 2012/18/EU, Anexo 1, Parte 2, legislación vigente en la Unión Europea.

⁷⁸ En el Anexo 6.2 se adjunta curva de transformación a partir de las densidades del hidrógeno bajo diferentes combinaciones de presión y temperatura.

⁷⁹ En el caso de Directive 2012/18/EU, Anexo 1, Parte 2, no se definen obligaciones para cantidades inferiores a 5 ton.

3.9.2 Pertinencia ambiental

La intención de esta sección es evaluar la pertinencia de un proyecto genérico que cumple la función de generación de energía eléctrica con motores o turbinas utilizando hidrógeno. Si bien los aspectos específicos de una evaluación se deben definir caso a caso, a continuación, se presenta un listado de consideraciones de la legislación ambiental aplicable que podrían derivar en que un proyecto con la funcionalidad descrita deba ingresar al SEIA.

- Si el proyecto considera una central generadora de energía eléctrica mayor a 3 MW, es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra c).
- Si el proyecto considera una capacidad de almacenamiento de sustancias inflamables (hidrógeno, clase 2 división 2.1 NCh382) de al menos 80.000 kg, es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra ñ.3).
- Si el proyecto considera línea de conexión y subestaciones eléctricas, estas deben ser evaluadas como tipologías secundarias.

En caso de tener la intención de modificar un central existente para el uso de hidrógeno, se debe considerar lo establecido en el Artículo 11 ter de la Ley 19.300, es decir, la calificación ambiental deberá recaer sobre la modificación y no sobre el proyecto o actividad existente, aunque la evaluación de impacto ambiental considerará la suma de los impactos provocados por la modificación y el proyecto o actividad existente para todos los fines legales pertinentes.

Se debe utilizar las normas de referencia indicadas en el Artículo 11 del DS 40 para evaluar si el proyecto genera o presenta el riesgo indicado en la letra a) y los efectos adversos señalados en la letra b) del artículo 11 de la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente (Ley 19.300).

3.9.3 Listado Permisos ambientales y sectoriales pertinentes

En cuanto a los plazos de gestión para la aprobación de la RCA, dependiendo de la complejidad del proyecto y las correcciones que sean necesarias, se puede tener entre 1 a 3 años.

El listado de permisos ambientales, ambientales mixtos y sectoriales se detalla en el Anexo 6.3 incluyendo el servicio responsable de otorgar el permiso y el plazo estimado para su gestión, en aquellos casos en que dicho plazo esté definido. Para esta tipología de proyecto aplican 10 permisos ambientales mixtos y 29 permisos sectoriales; no aplican permisos ambientales (Tabla 12).

Tabla 12: Listado de permisos pertinentes a la generación eléctrica con H₂ en motores/turbinas. Fuente: elaboración propia.

Autoridad	Tipo de permiso	Documento	Descripción del Permiso
Ministerio de Medio Ambiente	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 132	Permisos para hacer excavaciones de tipo arqueológico, antropológico y paleontológico.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 138	Permisos para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier obra pública o particular destinada a la evacuación, tratamiento o disposición final de desagües, aguas servidas de cualquier naturaleza.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 140	Permisos para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier planta de tratamiento de basuras y desperdicios de cualquier clase o para la instalación de todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cualquier clase.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 142	Permisos para todo sitio destinado al almacenamiento de residuos peligrosos.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 146	Permisos para la caza o captura de ejemplares de animales de especies protegidas para fines de investigación, para el establecimiento de centros de reproducción o criaderos y para la utilización sustentable del recurso.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 148	Permisos para corta de bosque nativo.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 149	Permisos para la corta de plantaciones en terrenos de aptitud preferentemente forestal.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 151	Permisos para la corta, destrucción o descepa de formaciones xerofíticas.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 160	Permisos para subdividir y urbanizar terrenos rurales o para construcciones fuera de los límites urbanos.
	Ambiental Pronunciamiento	DS 40, Art. 161	Calificación de instalaciones industriales y de bodegaje.
Ministerio Agricultura	Construcción	DS-458	Certificado de uso de suelo.
Ministerio de Economía	Combustible	Comparativo(*)	Inscripción como producción, importación, transporte, almacenamiento, distribución, mezcla y comercialización de nuevo combustible.
	Generación	Comparativo	Solicitud de determinación de un proyecto como otro medio de generación renovable no convencional.
	Instalación Eléctrica	DFL-4	Solicitud de proyecto en construcción.
	Instalación Eléctrica	DFL-4	Declaración de proyectos en puesta en servicio.
	Instalación Eléctrica	DFL-4	Solicitud de declaración de proyectos en operación.
	Instalación Eléctrica	DFL-4	Comunicación de retiro, modificación y desconexión.
Ministerio de Energía	Instalación Eléctrica	DFL-4	Declaración de instalación eléctrica.
	Combustible	Comparativo	Certificado de conformidad de tercera parte.
	Combustible	Comparativo	Comunicación previo inicio de construcción.
	Combustible	Comparativo	Declaración previa puesta en servicio.
	Combustible	Comparativo	Comunicación de cambio de operador.
	Combustible	Comparativo	Informe término de operación.
Ministerio de Interior	Industrial	DS-2385	Patentes comerciales e industriales.
	Caminos	DFL-850	Autorización de acceso a un camino público y/o concesionado.
Ministerio de Obras Públicas	Agua y Residuo Líquido	DS-735	Aprobación de proyectos de agua potable o aguas servidas domésticas particular.
	Agua y Residuo Líquido	DS-735	Autorización de obras de agua potable o aguas servidas domésticas particular.
	Industrial	DFL-725	Informe sanitario para la instalación, ampliación o traslado de industrias y talleres.
	Residuo Peligroso	DS-148	Aprobación de plan de manejo de residuos peligrosos.
	Residuo Peligroso	DS-148	Autorización sanitaria de sitios de almacenamiento de residuos peligrosos.
	Sustancias Peligrosas	DS-43	Autorización sanitaria para almacenamiento de sustancias peligrosas.
Ministerio de Vivienda y Urbanismo	Construcción	DS-47	Certificado de informaciones previas.
	Construcción	DS-47	Autorización de cambio de destino.
	Construcción	DS-47	Aprobación de anteproyecto.
	Construcción	DS-47	Permiso obras preliminares (instalación de faenas).
	Construcción	DS-47	Permiso de edificación.
	Construcción	DS-47	Modificación de proyecto.
	Construcción	DS-47	Recepción definitiva de obras.

(*) Comparativo hace referencia a permisos asociados a gases definidos como combustibles de acuerdo a la legislación nacional.

Se infiere que los permisos sectoriales asociados al consumo del hidrógeno como combustible para la generación eléctrica con motores o turbinas no se encuentran definidos. Si se plantea como posible aplicación la mezcla de gas de red (GNL o GLP) con hidrógeno como combustible para la generación en motores o turbinas, esta no sería factible considerando al hidrógeno como producto químico.

Si se considera el hidrógeno como combustible, es necesaria su inscripción en el registro que se estable en el Artículo segundo del decreto con fuerza de ley N° 1, de 1979, del Ministerio de Minería según se indica en la ley N° 20339, de 2009, del Ministerio de Hacienda. Adicionalmente, se debe definir si el hidrógeno será considerado dentro de los permisos sectoriales como un producto químico o como un gas combustible.



3.9.4 Experiencia y Legislación Internacional

Uno de los primeros proyectos en llevar a cabo un proceso de aprobación de sistemas de turbinas con hidrógeno es la empresa de servicios públicos de Leipzig, cuya alianza con Siemens involucra el suministro de dos turbinas de gas SGT800 de 62 MW de capacidad.

Estas turbinas se utilizarán en la nueva central de cogeneración de Leipzig Sur⁸⁰ y se espera que suministren a la ciudad electricidad y calor a partir de finales de 2022 (Leipziger Stadtwerke, 2020). Inicialmente, la planta funcionará con gas natural; no obstante, las turbinas están diseñadas para admitir un 100 % de hidrógeno verde (Julke, 2020). De esta forma, el proyecto busca tener la flexibilidad de poder alimentar sus turbinas de gas con cantidades cada vez mayores de hidrógeno.

En el marco del procedimiento de aprobación parcial según el artículo 4⁸¹ de la Ley Federal de Control de Emisiones de Alemania, la Dirección Regional de Estado de Sajonia, examinó posibles efectos nocivos, molestias u otros peligros para el medio ambiente y la vecindad de la central eléctrica. El resultado del examen demostró que no cabe esperar efectos adversos para el medio ambiente. Para el proceso se consideró como base la combustión del gas natural, por lo que la autoridad de aprobación señala claramente que el permiso que se conceda no se extenderá al uso del hidrógeno como combustible, debiendo ser examinado en un procedimiento de modificación en una fecha posterior en el caso de utilizar hidrógeno como combustible para la central térmica de Leipzig Sur (Leipziger Stadtwerke, 2020).

A nivel de motores a hidrógeno, la experiencia internacional actual da cuenta de pequeñas instalaciones, principalmente con finalidades de investigación o en etapas tempranas de desarrollo. A modo de ejemplo, la empresa alemana 2G Energy AG opera motores 100% a hidrógeno como un combustible limpio para sus sistemas de generación eléctrica y térmica, ya sea a partir de instalaciones nuevas (Aeropuerto de Berlín, Alemania) o bien a partir del reacondicionamiento de equipos previamente diseñados para operar con combustibles convencionales (Haßfurt, Alemania).

Este último proyecto obtiene el hidrógeno de una planta de energía Power-to-Gas en Haßfurt, que utiliza el excedente de electricidad de un parque eólico cercano conectado a un electrolizador PEM

⁸⁰ La central se construirá en el lugar de una planta eléctrica de carbón en funcionamiento hasta 1996 (Julke, 2020).

⁸¹ Instalaciones para la producción de electricidad, vapor, agua caliente, calor de proceso o gases de escape calentados mediante el uso de combustibles a través de un proceso de combustión (como una central eléctrica, una central de cogeneración, una central de calefacción, una instalación de turbinas de gas, una instalación de motores de combustión interna, otra instalación de combustión), con una potencia térmica nominal de 50 MW o más.

modelo Siemens Sylizer 200 con una potencia máxima de 1,25 MW⁸², cuya proceso de aprobación se llevó a cabo de forma independiente de acuerdo a los criterios expuestos en la Sección 3.1.4. En la planta de generación de energía, el hidrógeno se convierte de nuevo en electricidad o calor según sea necesario con una eficiencia del sistema de más del 85% mediante una unidad de cogeneración Agenitor 406⁸³ de 140 kW de potencia eléctrica y 160 kW de potencia térmica. La electricidad de la planta es alimentada posteriormente a la red eléctrica de la ciudad, mientras que el calor es utilizado por distintas instalaciones en las vecindades de la central (Energie DE, 2019).

Para minimizar la producción de óxidos de nitrógeno, principal contaminante relacionado a los procesos de combustión de hidrógeno, se aumenta la relación aire-combustible del proceso, alcanzando valores de emisiones comparables e incluso inferiores a los obtenidos en sistemas convencionales (2G Energy AG, 2019). De forma complementaria, el sistema tiene una segunda conexión de gas para cambiar al funcionamiento con gas natural, para el cual la potencia eléctrica nominal aumenta a los 200 kW.

En el caso de Alemania, el proceso de aprobación de una instalación de generación de electricidad dependerá del operador de la planta de generación del hidrógeno verde. Si existe una conexión espacial y operativa entre la planta, el generador de electricidad y posiblemente otros componentes (almacenamiento de gas, gaseoducto) a través de un único operador, entonces se combinará un solo procedimiento para toda la planta, siendo determinado por aquella instalación que posea mayores restricciones (DVGW, 2020).

3.10 Uso industrial - caldera

El hidrógeno (clasificado como número UN 1049, NCh382, clase 2.1) representa un combustible alternativo para los sistemas de calderas en un contexto futuro de descarbonización de procesos en la industria. La Figura 30 ilustra un diagrama de la aplicación de uso de hidrógeno en calderas.

⁸² El sistema forma parte de la alternativa de gas renovable que ofrece la empresa de gas Greenpeace Energy AG, para el cual sus clientes están dispuestos a pagar un costo superior a la norma.

⁸³ La empresa 2G Energy AG detalla una eficiencia eléctrica de un 39% y térmica de un 41.9% para su modelo Agenitor 406 operando con hidrógeno.

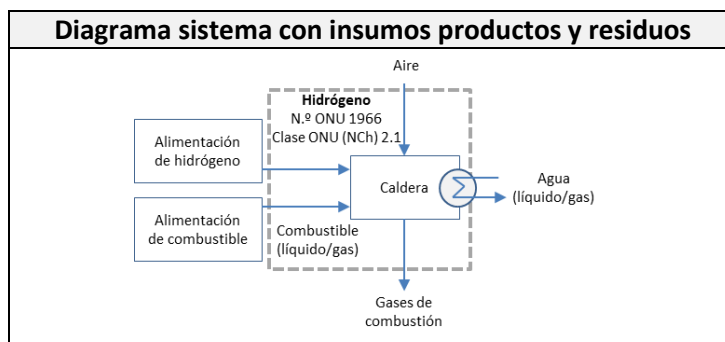


Figura 30: Aplicación – Caldera. Fuente: elaboración propia.

Las calderas industriales de tubos de agua suelen estar equipadas con quemadores duales de combustible, generalmente gas natural y petróleo. Estos sistemas se pueden diseñar para utilizar hidrógeno en rangos entre 10% y 15% de volumen sin grandes modificaciones (Progressive Energy Ltd, 2017).

Los gases de combustión de la caldera dependerán de la mezcla de combustible utilizada, destacando la ausencia de monóxido y dióxido de carbono en el caso de que la combustión del gas natural sea reemplazada en un 100% por hidrógeno. No obstante, debido al aumento de la temperatura del proceso, las emisiones de óxidos de nitrógeno pueden aumentar hasta un 80% en una combustión de hidrógeno puro sin ninguna medida de mitigación (Hy4Heat, 2019).

Los valores límites para las emisiones en calderas de una potencia térmica mayor o igual a 50 MW se definen en el DS 13 (detalles en el Anexo 6.1.1); para el NOx el límite establecido es de 50 mg/Nm³ para combustibles gaseosos.

De forma complementaria se encuentra el anteproyecto de la norma de emisión Re. Ex. 459 para potencias térmicas entre 0,075 y 20 MW, cuyo detalle se encuentra en el Anexo 6.1.2. Para el óxido de nitrógeno, el límite establecido es de 100 mg/Nm³ para combustibles gaseosos.

Riesgos

A continuación, se indican los riesgos y precauciones identificados para esta tipología según las indicaciones del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos.

Riesgos y precauciones	
Tipo	Hidrógeno gaseoso
Riesgos físicos	<ul style="list-style-type: none"> Gas extremadamente inflamable (H220). Contiene gas bajo presión; puede explotar si es calentado (H280).
Riesgos a la salud	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos a la salud (H3xx).



Riesgos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> No se especifican riesgos ambientales (H4xx).
Precaución almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> Use y almacene al aire libre o en un lugar seco y bien ventilado (P271 - P403).

3.10.1 Aspectos asociados a la localización del proyecto

Todas las obras deben ajustarse a las normas técnicas, a la ordenanza general y al Plan Regulador Comunal que corresponda (Ley 458 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, que aprueba la ley general de urbanismo y construcciones, Artículo 116^o).

Los establecimientos industriales o de bodegaje deben cumplir con todas las disposiciones que le sean aplicables establecidas en la ordenanza general de la ley general de urbanismo y construcciones (DS 47) y sólo podrán establecerse en los emplazamientos que determine el instrumento de planificación territorial correspondiente o a falta de éste, en los lugares que determine la autoridad municipal. De acuerdo con el DS 47, Artículo 4.14.2, los establecimientos industriales o de bodegaje se deben clasificar caso a caso por la Secretaría Regional Ministerial de Salud en inofensivas, molestas, peligrosas o contaminantes.

La Circular B32 (de abril de 2020) de la Subsecretaría de Salud instruye a las Seremi de Salud criterios técnicos para la calificación de actividades productivas e infraestructura. Para las sustancias reguladas por el DS43/2015 del Ministerio de Salud, la Circular B32 establece requerimientos según volumen almacenado y tipo de sistema de almacenamiento (estanques superficiales o estanques enterrados):

- El establecimiento se clasifica como inofensivo si se almacena un máximo de 30 m³ en estanques superficiales y un máximo de 60 m³ en estanques enterrados.
- El establecimiento se clasifica como molesto si se almacena entre 30 y 40.000 m³ en estanques superficiales y entre 60 y 60.000 m³ en estanques enterrados.
- El establecimiento se clasifica como peligroso si se almacena más de 40.000 m³ en estanques superficiales y más de 60.000 m³ en estanques enterrados.

La masa de hidrógeno (toneladas) contenida en un volumen dado (metros cúbicos) depende de las condiciones específicas de presión y temperatura de almacenamiento. Por ende, se debe realizar un análisis caso a caso para definir los umbrales específicos a considerar para cada proyecto⁸⁴.

⁸⁴ En el Anexo 6.2 se adjunta curva de transformación a partir de las densidades del hidrógeno bajo diferentes combinaciones de presión y temperatura.

Previo a la publicación de la Circular B32, se contaba con una pauta de referencia calificación de actividades productivas y de servicio de carácter industrial (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1998), donde se definían los siguientes requerimientos.

- Para almacenamiento menor a 5 toneladas no se requiere declaración ni estudio de riesgos, estas actividades son clasificadas de acuerdo con las molestias que generen⁸⁵.
- Para almacenamiento entre 5 y 50 toneladas se requiere declaración de riesgos, estas actividades se clasifican como molestas.
- Para almacenamiento mayor a 50 toneladas se requiere estudio de riesgos. En base a los resultados del estudio de riesgo, la autoridad de salud clasifica la actividad industrial como inofensiva (si corresponde a actividad inofensiva y presenta riesgo de categoría 1), molesta (si la actividad no es inofensiva y presenta riesgo de categoría 1, o presenta riesgo de categoría 2), o peligrosa (si presenta riesgo de categoría 3).
 - Categoría 1 corresponde a aquellos accidentes en los que se prevea que no producen daños a la comunidad, personas o el entorno, controlando y neutralizando sus efectos dentro del propio predio e instalaciones.
 - Categoría 2 corresponde a aquellos accidentes en los que se prevea que pueden ocasionalmente causar daños a la salud o a la propiedad, y que normalmente quedan circunscritos al predio de la propia instalación.
 - Categoría 3 corresponde a aquellos accidentes en los que se prevea que pueden llegar a causar daños de carácter catastrófico para la salud o la propiedad, en un radio que excede los límites del propio predio.

Los umbrales mencionados anteriormente (en toneladas) están alineados con los definidos en la Directive 2012/18/EU, Anexo 1, Parte 2, legislación vigente en la Unión Europea.

3.10.2 Pertinencia ambiental

La intención de esta sección es evaluar la pertinencia de un proyecto genérico que cumple la función de uso industrial de hidrógeno en una caldera. En general, las calderas no están especificadas en el listado de tipos de proyectos o actividades listados en el Artículo 3 del DS 40, sino que forman parte

⁸⁵ En el caso de Directive 2012/18/EU, Anexo 1, Parte 2, no se definen obligaciones para cantidades inferiores a 5 ton.



de un subproceso de un proyecto mayor de una instalación fabril o una central de generación de energía.

Si bien los aspectos específicos de una evaluación se deben definir caso a caso, a continuación, se presenta un listado de consideraciones de la legislación ambiental aplicable que podrían derivar en que un proyecto con la funcionalidad descrita deba ingresar al SEIA.

- Si la instalación fabril tiene una potencia instalada igual o superior a 2.000 kVA, es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra k.1). Instalaciones emplazadas en loteos o uso de suelo industrial, definido mediante el instrumento de planificación territorial aprobado ambientalmente conforme a la Ley, deben ingresar al SEIA si tienen una superficie igual o mayor a 20 hectáreas (DS 40, Artículo 3, letra k.1)⁸⁶.
- Si el proyecto considera una capacidad de almacenamiento de sustancias inflamables (hidrógeno, clase 2 división 2.1 NCh382) de al menos 80.000 kg, es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra ñ.3).
- Si el proyecto considera sistema de generación, línea de conexión y subestaciones eléctricas, estas deben ser evaluadas como tipologías secundarias.

En caso de tener la intención de modificar una caldera existente para el uso de hidrógeno, se debe considerar lo establecido en el Artículo 11 ter de la Ley 19.300, es decir, la calificación ambiental deberá recaer sobre la modificación y no sobre el proyecto o actividad existente, aunque la evaluación de impacto ambiental considerará la suma de los impactos provocados por la modificación y el proyecto o actividad existente para todos los fines legales pertinentes.

Se debe utilizar las normas de referencia indicadas en el Artículo 11 del DS 40 para evaluar si el proyecto genera o presenta el riesgo indicado en la letra a) y los efectos adversos señalados en la letra b) del artículo 11 de la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente (Ley 19.300).

3.10.3 Listado Permisos ambientales y sectoriales pertinentes

En cuanto a los plazos de gestión para la aprobación de la RCA, dependiendo de la complejidad del proyecto y las correcciones que sean necesarias, se puede tener entre 1 a 3 años.

El listado de permisos ambientales, ambientales mixtos y sectoriales se detalla en el Anexo 6.3, incluyendo el servicio responsable de otorgar el permiso y el plazo estimado para su gestión, en

⁸⁶ Instalaciones que generen una emisión diaria esperada de algún contaminante causante de saturación o latencia de la zona igual o superior al 5% de la emisión diaria estimada de ese contaminante en la zona declarada latente o saturada para ese tipo de fuente, también deben ingresar al SEIA.



aquellos casos en que dicho plazo esté definido. Para esta tipología de proyecto aplican 10 permisos sectoriales; no aplican permisos ambientales ni permisos ambientales mixtos (Tabla 13).

Tabla 13: Listado de permisos pertinentes al uso de hidrógeno en calderas. Fuente: elaboración propia.

Autoridad	Tipo de permiso	Documento	Descripción del Permiso
Ministerio de Economía	Combustible	Comparativo (*)	Inscripción como producción, importación, transporte, almacenamiento, distribución, mezcla y comercialización de nuevo combustible.
	Combustible	Comparativo	Certificado de conformidad de tercera parte.
Ministerio de Energía	Combustible	Comparativo	Comunicación previo inicio de construcción.
	Combustible	Comparativo	Declaración previa puesta en servicio.
	Combustible	Comparativo	Comunicación de cambio de operador.
	Combustible	Comparativo	Informe término de operación.
	Combustible	Comparativo	Declaración de instalación de gas.
	Combustible	Comparativo	Registro de calderas y autoclaves.
Ministerio de Salud	Caldera	DS-10	Registro de calderas y autoclaves.
	Caldera	DS-10	Certificado de competencia de operadores de calderas y autoclaves.
	Sustancias Peligrosas	DS-43	Autorización sanitaria para almacenamiento de sustancias peligrosas.

(*) Comparativo hace referencia a permisos asociados a gases definidos como combustibles de acuerdo a la legislación nacional.

Se infiere que los permisos sectoriales asociados al consumo del hidrógeno como combustible en calderas no se encuentran definidos. Si se plantea como posible aplicación la mezcla de gas con hidrogeno como combustible en calderas, esta no sería factible considerando el hidrógeno como producto químico.

Si se considera el hidrógeno como combustible, es necesaria su inscripción en el registro que se estable en el Artículo segundo del decreto con fuerza de ley N° 1, de 1979, del Ministerio de Minería según se indica en la ley N° 20339, de 2009, del Ministerio de Hacienda. Adicionalmente, se debe definir si el hidrógeno será considerado dentro de los permisos sectoriales como un producto químico o como un gas combustible.

3.10.4 Experiencia y Legislación Internacional

La empresa Inovyn posee una central en Runcorn, Cheshire (Reino Unido), cuyo propósito principal es fabricar productos químicos a base de cloro utilizando la sal como materia prima básica. La sal se descompone electrolíticamente para formar cloro e hidróxido de sodio (sosa cáustica), produciendo hidrógeno como parte del proceso. Este se vende o se utiliza en la caldera de la central, gracias a un tratamiento que elimina el mercurio e hidróxido de sodio de la corriente de hidrógeno y la envía al sistema de calderas para su uso como combustible y para su compresión antes de su venta fuera de la instalación (Environment Agency, 2016).

El sistema de calderas consta de tres equipos con quemadores de gas natural modificados para quemar hasta el 100% de hidrógeno (con sistema de control de emisiones de óxidos de nitrógeno) y una producción de vapor de alta presión que se utiliza directamente en la planta. El sistema posee una capacidad total de entrada térmica de diseño de aproximadamente 285 MW (Environment Agency, 2016)

La Directiva sobre Emisiones Industriales y la Directiva sobre Plantas de Combustión Media establecen límites de emisión obligatorios para los contaminantes procedentes de los equipos de los emplazamientos industriales en el Reino Unido. De esta forma, los permisos de emisiones ambientales pertinentes requieren una revisión y renovación cuando el equipo y los sitios se convierten de gas

natural a hidrógeno. La empresa Inovyn llevó a cabo el año 2016 un permiso consolidado en virtud del Reglamento sobre Permisos Ambientales (Inglaterra y Gales) de 2010, el cual refleja una serie de variaciones incluidas en la central, incluyendo la modernización de las condiciones de los servicios de energía para reflejar las condiciones contenidas en el actual modelo genérico de permiso de combustión (Environment Agency, 2016).

3.11 Pertinencia Ambiental de Instalaciones Secundarias

En esta sección se revisa brevemente la pertinencia ambiental de instalaciones secundarias. Las instalaciones secundarias corresponden a instalaciones anexas a la cadena de valor del hidrógeno verde que pueden estar asociadas a más de una alternativa. Dependiendo de la política de desarrollo del proyecto específico, podrían ser incluidas en dicho proyecto o ser subcontratadas a terceros.

3.11.1 Generación eléctrica

Para la evaluación de esta tipología, se supone que el sistema de generación asociado a la planta de producción de hidrógeno es una central fotovoltaica. Si el proyecto considera una central generadora de energía eléctrica mayor a 3 MW, es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra c).

Se debe utilizar las normas de referencia indicadas en el Artículo 11 del DS 40 para evaluar si el proyecto genera o presenta el riesgo indicado en la letra a) y los efectos adversos señalados en la letra b) del artículo 11 de la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente (Ley 19.300).

El listado de permisos ambientales, ambientales mixtos y sectoriales se detalla en el Anexo 6.3, incluyendo el servicio responsable de otorgar el permiso y el plazo estimado para su gestión, en aquellos casos en que dicho plazo esté definido. Para esta instalación secundaria aplican 7 permisos sectoriales; no aplican permisos ambientales ni ambientales mixtos (Tabla 14).

Tabla 14: Listado de permisos aplicables a una central de generación fotovoltaica. Fuente: elaboración propia.

Autoridad	Tipo de permiso	Documento	Descripción del Permiso
Ministerio de Economía	Combustible	Comparativo(*)	Inscripción como producción, importación, transporte, almacenamiento, distribución, mezcla y comercialización de nuevo combustible.
	Generación	Comparativo	Solicitud de determinación de un proyecto como otro medio de generación renovable no convencional.
	Instalación Eléctrica	DFL-4	Solicitud de proyecto en construcción.
	Instalación Eléctrica	DFL-4	Declaración de proyectos en puesta en servicio.
	Instalación Eléctrica	DFL-4	Solicitud de declaración de proyectos en operación.
	Instalación Eléctrica	DFL-4	Comunicación de retiro, modificación y desconexión.
	Instalación Eléctrica	DFL-4	Declaración de instalación eléctrica.

(*) Comparativo hace referencia a permisos asociados a gases definidos como combustibles de acuerdo a la legislación nacional.

3.11.2 Línea de conexión

Si el proyecto considera una línea de transmisión eléctrica de alta tensión, particularmente mayor a 23 kV, entonces es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra b1).

Se debe utilizar las normas de referencia indicadas en el Artículo 11 del DS 40 para evaluar si el proyecto genera o presenta el riesgo indicado en la letra a) y los efectos adversos señalados en la letra b) del artículo 11 de la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente (Ley 19.300).

Para esta instalación secundaria aplica 1 permiso ambiental mixto y 7 permisos sectoriales; no aplican permisos ambientales (Tabla 15).

Tabla 15: Listado de permisos línea de conexión. Fuente: elaboración propia.

Autoridad	Tipo de permiso	Documento	Descripción del Permiso	<small>depende de la ubicación</small>
Ministerio de Medio Ambiente	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 156	Permiso para efectuar modificaciones de cauce.	
Ministerio de Defensa	Generación	DGAC	Certificado de instalación de tendidos eléctricos.	
Ministerio de Economía	Instalación Eléctrica	DFL-4	Solicitud de declaración de Proyecto en Construcción.	
	Instalación Eléctrica	DFL-4	Declaración de proyectos en Puesta en Servicio.	
	Instalación Eléctrica	DFL-4	Solicitud de declaración de proyectos en Operación.	
	Instalación Eléctrica	DFL-4	Comunicación de retiro, modificación y desconexión.	
	Instalación Eléctrica	DFL-4	Declaración de instalación eléctrica.	
	Línea eléctrica	DFL-4	Solicitud de concesión provisoria.	

3.11.3 Subestación eléctrica

Si el proyecto considera una subestación de líneas de transmisión eléctrica, es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra b2).

Se debe utilizar las normas de referencia indicadas en el Artículo 11 del DS 40 para evaluar si el proyecto genera o presenta el riesgo indicado en la letra a) y los efectos adversos señalados en la letra b) del artículo 11 de la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente (Ley 19.300).

Para esta instalación secundaria aplica 1 permiso sectorial (ver Tabla 16).

Tabla 16: Listado de permisos pertinentes a la subestación eléctrica. Fuente: elaboración propia.

Autoridad	Tipo de permiso	Documento	Descripción del Permiso
Ministerio de Economía	Instalación eléctrica	DFL-4	Declaración de instalación eléctrica.

3.11.4 Planta de Pretratamiento de Agua (Alimentación de Agua)

Para la evaluación de esta tipología, se supone que la alternativa de evaluación es una planta de tratamiento del Osmosis Inversa para desalar agua de mar que incluye las obras de captación, ducto de impulsión, ducto de descarga y emisario.

- Si el proyecto considera un emisario submarino, es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra o.6).
- Si el proyecto considera un acueducto, es susceptible de causar impacto ambiental (DS 40, Artículo 3, letra a).

Se debe utilizar las normas de referencia indicadas en el Artículo 11 del DS 40 para evaluar si el proyecto genera o presenta el riesgo indicado en la letra a) y los efectos adversos señalados en la letra b) del artículo 11 de la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente (Ley 19.300).

Para esta instalación secundaria aplican 2 permisos ambientales, 4 permisos ambientales mixtos y 2 permisos sectoriales (ver Tabla 17).

Tabla 17: Listado de permisos pertinentes a la planta de pretratamiento de agua. Fuente: elaboración propia.

Autoridad	Tipo de permiso	Documento	Descripción del Permiso <small>☺ : depende de la ubicación. ☞ : salmuera al mar por emisario.</small>
Ministerio de Medio Ambiente	Ambiental	DS 40, Art. 115	☞ Permiso para introducir o descargar materias, energía o sustancias de cualquier especie a las aguas sometidas a la jurisdicción nacional.
	Ambiental	DS 40, Art. 119	☞ Permiso para realizar pesca de investigación.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 139	☞ Permiso para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier obra pública particular destinada a la evacuación, tratamiento o disposición final de residuos industriales o mineros.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 155	☺ Permiso para la construcción de ciertas obras hidráulicas.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 156	☺ Permiso para efectuar modificaciones de cauce.
	Ambiental Mixto	DS 40, Art. 157	☺ Permiso para efectuar obras de regularización o defensa de cauces naturales.
Ministerio de Defensa	Residuo líquido	DS-9	☞ Concesión marítima.
Ministerio de Salud	Sustancias Peligrosas	DFL-725	Autorización de sistemas de tratamiento de residuos industriales líquidos (riles).

4 CONCLUSIONES

Mediante el desarrollo de este estudio se han identificado posibles impactos de carácter ambiental para el normal desarrollo e implementación de proyectos futuros de hidrógeno verde en Chile. Se evaluó la pertinencia de proyectos genéricos definidos en conjunto con la contraparte técnica del estudio. Si bien los aspectos específicos de una evaluación se deben definir caso a caso, se presentó un listado de consideraciones de la legislación ambiental aplicable que podrían derivar en que un proyecto de una tipología determinada deba ingresar al SEIA. Las tipologías evaluadas se presentan en la Figura 31.

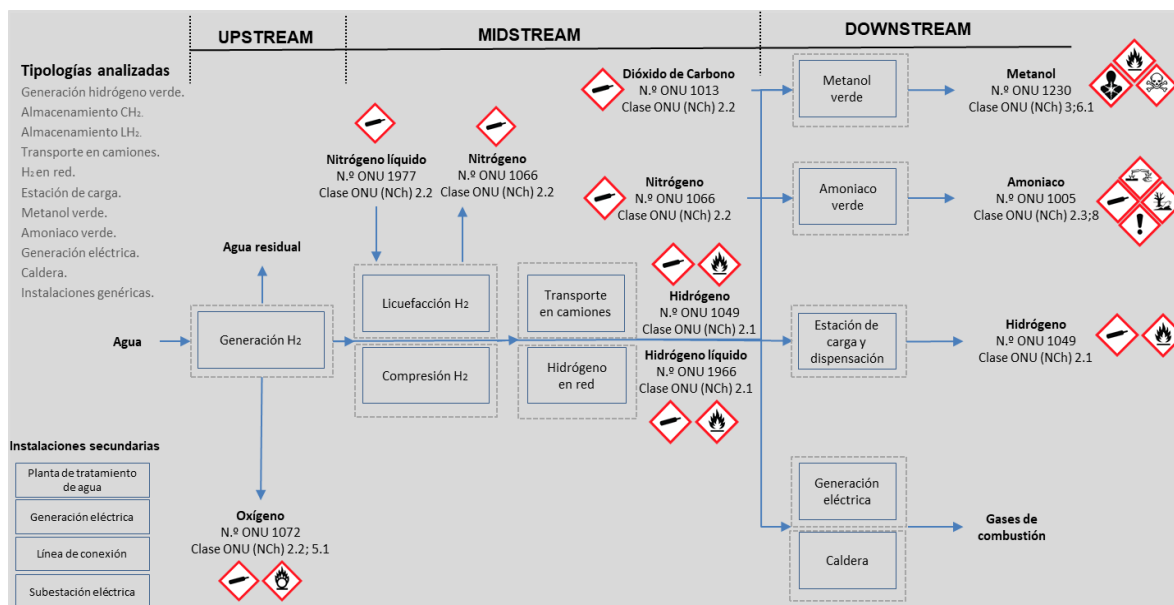


Figura 31: Principales insumos, productos y residuos de las tipologías en estudio. Fuente: elaboración propia.

El hidrógeno (clasificado como número UN 1049, NCh382, clase 2.1), a diferencia de las sustancias peligrosas para la salud, tiene un potencial de peligro debido únicamente a su inflamabilidad. En este contexto, el riesgo no está determinado por la capacidad de producción, sino por la cantidad que se tenga almacenada.

A futuro se espera que aumente el interés por el uso de hidrógeno en nuevas aplicaciones tanto estacionarias como asociadas a movilidad sostenible. La aparición y masificación de nuevas aplicaciones requerirá la operación de sistemas de carga de hidrógeno por personas de distinto nivel de calificación. La exposición al público general a instalaciones de hidrógeno en zonas urbanas representa un desafío significativo en término de riesgos potenciales que anteriormente eran gestionados por trabajadores especializados en ambientes industriales controlados. Estos desafíos están produciendo la creación y modificación de estándares de seguridad que serán aplicados a distintos contextos.



Si se considera el hidrógeno como combustible, es necesaria su inscripción en el registro que se estable en el Artículo segundo del decreto con fuerza de ley N° 1, de 1979, del Ministerio de Minería según se indica en la ley N° 20339, de 2009, del Ministerio de Hacienda.

Los principales aspectos que distinguen a un proyecto asociado a la producción, almacenamiento, transporte o uso de hidrógeno verde, respecto de una instalación industrial genérica, tienen relación a los riesgos físicos que se producen debido a que el hidrógeno extremadamente inflamable. En este contexto, la ordenanza general de la ley general de urbanismo y construcciones (DS 47), Artículo 4.14.2, establece que los establecimientos industriales o de bodegaje se deben clasificar caso a caso por la Secretaría Regional Ministerial de Salud en inofensivas, molestas, peligrosas o contaminantes.

La Circular B32 (de abril de 2020) de la Subsecretaría de Salud instruye a las Seremi de Salud criterios técnicos para la calificación de actividades productivas e infraestructura. Para las sustancias reguladas por el DS 43/2015 del Ministerio de Salud, la Circular B32 establece requerimientos según el volumen de gas almacenado y tipo de sistema de almacenamiento. Teniendo en consideración las características del hidrógeno, se sugiere considerar criterios basados en masa de hidrógeno (toneladas), ya que la masa contenida en un volumen dado depende de las condiciones específicas de presión y temperatura a las cuales se desee almacenar esta sustancia. La pauta de referencia calificación de actividades productivas y de servicio de carácter industrial, desarrollada previamente por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (1998) contaba con un criterio en esta línea, que estaba alineado con criterios utilizados internacionalmente, por ejemplo, en la Directive 2012/18/EU, Anexo 1, Parte 2, normativa vigente en la Unión Europea.

Respecto a la producción de hidrógeno verde, se sugiere tener en consideración que por cada tonelada de hidrógeno se producen 8 toneladas de oxígeno. El oxígeno se puede reutilizar o se puede considerar como residuo, en cuyo caso es venteadado a la atmósfera. En caso de ser venteadado a la atmósfera, se sugiere considerar que las mezclas potencialmente explosivas de agentes oxidantes y agentes reductores pueden persistir sin cambios durante largos períodos si se evitan las perturbaciones (calor, chispas, catalizador, choque mecánico). Se debe tener en consideración las exigencias establecidos en el DS 40, Artículo 3, letra ñ.4 si el oxígeno es reutilizado o en la letra o,9 del mismo artículo si el oxígeno es tratado como residuo y venteadado a la atmósfera.

Si la generación de hidrógeno verde se instala en un sector urbano, las aguas residuales de la etapa de acondicionamiento de agua pueden ser descargadas directamente al sistema de alcantarillado cumpliendo los requerimientos establecidos en el DS 609 que regula los contaminantes asociados de las descargas de residuos industriales líquidos. El volumen máximo de aguas residuales de descarga es definido en el certificado de factibilidad de conexión otorgado por prestador del servicio sanitario. Existe la alternativa que el prestador del servicio sanitario y el operador del proyecto industrial acuerden mayores concentraciones de sólidos suspendidos totales en la descarga.



El metanol es un producto químico peligroso con propiedades tóxicas, inflamables y reactivas que pueden causar efectos perjudiciales para la salud y el medio ambiente cuando no se manipula adecuadamente (Methanol Institute, 2008), lo que revierte un desafío desde el punto de vista de la seguridad.

El impacto ambiental de la generación de metanol depende de la composición del gas de síntesis y su origen: el reemplazo del gas natural de origen fósil conlleva una reducción de las emisiones de dióxido de carbono de hasta un 95%, de óxido de nitrógeno de hasta un 80%, y la eliminación de las emisiones de óxido de azufre y material particulado (ATA Markets Intelligence S.L., 2018).

La viabilidad de la producción de amoníaco a través del proceso Haber-Bosch, a su vez, depende básicamente de los métodos utilizados para producir nitrógeno e hidrógeno (Dincer & Bicer, 2018), siendo este último responsable de la mayor parte del consumo de energía (8 MWh por tonelada de producto) y alrededor del 90% de las emisiones de carbono de todo el proceso (Royal Society, 2020).

Los gases de salida de los procesos que involucren combustión con hidrógeno dependerán de la mezcla de combustible utilizada, destacando la ausencia de monóxido y dióxido de carbono en el caso de que se use un 100% de hidrógeno. Los niveles de emisiones estarán dados por el aporte de calor relativo a cada componente de la mezcla, no así por el volumen que dicho componente represente en el combustible. Así, la adición de porcentajes bajos de hidrógeno al combustible tendrá un impacto menor en la reducción de las emisiones de dióxido de carbono (Goldmeer, 2019).

Debido al aumento de la temperatura alcanzada en los procesos de combustión, las emisiones de óxidos de nitrógeno pueden aumentar hasta un 80% en una combustión de hidrógeno puro sin ninguna medida de mitigación (Hy4Heat, 2019).

Los valores límites para las emisiones en turbinas a gas de una potencia térmica mayor o igual a 50 MW se definen en el DS 13; para el NOx el límite establecido es de 50 mg/Nm³ para combustibles gaseosos. De forma complementaria se encuentra el anteproyecto de la norma de emisión Re Ex. 1671 para grupos electrógenos. Este anteproyecto involucra grupos electrógenos accionados con motores de combustión interna con encendido por compresión de potencia máxima de motor mayor o igual a 19 kW.

Los valores límites para las emisiones en calderas de una potencia térmica mayor o igual a 50 MW se definen en el DS 13; para el NOx el límite establecido es de 50 mg/Nm³ para combustibles gaseosos. De forma complementaria se encuentra el anteproyecto de la norma de emisión Re. Ex. 459 para potencias térmicas entre 0,075 y 20 MW, cuyo detalle se encuentra en el anexo 6.1.2. Para el óxido de nitrógeno, el límite establecido es de 100 mg/Nm³ para combustibles gaseosos.

El listado de permisos ambientales, ambientales mixtos y sectoriales aplicables a cada tipología evaluada se detalla en el Anexo 6.3. En general se tiene que para cada tipología aplican un número importante de permisos:



Tabla 18: Número de permisos identificados aplicable a cada tipología. Fuente: elaboración propia.

	Número de permisos		
	Ambientales	Ambientales mixtos	Sectoriales
Producción de hidrógeno verde	0	11	34
Almacenamiento de hidrógeno (gas comprimido)	0	10	23
Almacenamiento de hidrógeno (licuefacción)	0	10	32
Transporte de hidrógeno en camiones	0	1	9
Transporte de hidrógeno en red	0	9	12
Estación de carga y dispensación	0	10	28
Producción de metanol verde	0	10	25
Producción de amoníaco verde	0	11	28
Generación con motores o turbinas	0	10	29
Uso industrial en caldera	0	0	10

5 REFERENCIAS

- 2G Energy AG. (5 de 3 de 2019). *CHP-Technology for Green Hydrogen*. Obtenido de German-Energy-Solutions: https://www.german-energy-solutions.de/GES/Redaktion/EN/Publications/Presentations/20190311-ir-australien-pres2.pdf?__blob=publicationFile&v=5
- 2G Energy AG. (7 de 2020). *Wasserstoff-BHKW: Die Zukunft hat begonnen*. Alemania: KWK Journal.
- 8 de octubre: *Día del hidrógeno*. (08 de 10 de 2019). Recuperado el 30 de 12 de 2019, de ANCAP: <https://www.ancap.com.uy/innovaportal/v/8391/1/innova.front/8-de-octubre:-dia-del-hidrogeno.html>
- ACHS. (2014). *Fugas y Derrames. Evacuación*. Obtenido de Asociación Chilena de Seguridad: <https://www.achs.cl/portal/Empresas/fichas/Documents/emergencia-evacuacion-en-caso-de-fuga-o-derrame.pdf>
- América del Sur*. (s.f.). Recuperado el 29 de 12 de 2019, de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Am%C3%A9rica_del_Sur
- ANSI 1. (11 de marzo de 2019). Obtenido de About ANSI: https://www.ansi.org/about_ansi/introduction/introduction?menuid=1
- Aprueban la primera planta de peróxido de Chile en Coronel por \$17 mil millones*. (09 de 05 de 2019). Recuperado el 01 de 01 de 2020, de Diario Concepción: <https://www.diarioconcepcion.cl/economia-y-negocios/2019/05/09/aprueban-la-primera-planta-de-peroxido-de-chile-en-coronel-por-17-mil-millones.html>
- Argentina ante el desafío del hidrógeno*. (06 de 08 de 2019). Recuperado el 02 de 01 de 2020, de Parabrisas: <https://parabrisas.perfil.com/noticias/novedades/argentina-ante-el-desafio-del-hidrogeno-pila-de-combustible-takeshi-uchiyamada-mauricio-macri-toyota.phtml>
- Argentina y Japón trabajarán juntos en el desarrollo del hidrógeno como combustible limpio*. (03 de 10 de 2019). Recuperado el 02 de 01 de 2020, de Proyecto Patagonia: <https://www.argentina.gob.ar/noticias/argentina-y-japon-trabajaran-juntos-en-el-desarrollo-del-hidrogeno-como-combustible-limpio>
- Asociación Chilena de Hidrógeno. (28 de Abril de 2020). *Misión Cavendish*. *Misión Cavendish*. Santiago, Santiago, Chile: Misión Cavendish.
- ATA Markets Intelligence S.L. (2018). *Renewable Methanol Report*. Methanol Institute.
- Ballard and HDF Energy sign agreement*. (29 de 12 de 2019). Obtenido de H2 View: <https://www.h2-view.com/story/ballard-and-hdf-energy-sign-agreement/>
- Bezirkregierung Düsseldorf. (2020). *Öffentliche Bekanntmachung eines Genehmigungsbescheides für eine Anlage entsprechend der Industrieemissionsrichtlinie*. Düsseldorf.

- BMW. (2016). Wasserstoff Infrastruktur für die Schiene. Alemania: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Obtenido de https://www.now-gmbh.de/content/1-aktuelles/1-presse/20160701-bmvi-studie-untersucht-wirtschaftliche-rechtliche-und-technische-voraussetzungen-fuer-den-einsatz-von-brennstoffzellentriebwagen-im-zugverkehr/h2-schiene_ergebnisbericht_online.pdf
- Bolcich, J. (2018). Hidrógeno y energías renovables: antecedentes y perspectivas en Argentina. *Ciencia e Investigación*, 68(2). Obtenido de <http://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2018/05/4-Bolcich-cei68-2-5.pdf>
- Bonafin, J., Pietra, C., Bonzanini, A., & Bombarda, P. (11 de 6 de 2019). CO2 emissions from geothermal power plants: evaluation of technical solutions for CO2 reinjection. Milan, Italia: European Geothermal Congress 2019. Obtenido de <http://europeangeothermalcongress.eu/wp-content/uploads/2019/07/291.pdf>
- Carbon Recycling International. (2020). *George Olah Renewable Methanol Plant; First Production of Fuel From CO2 at Industrial Scale*. Obtenido de Carbon Recycling International: <https://www.carbonrecycling.is/projects>
- Cardella, U. (27 de 9 de 2019). Large-scale Liquid Hydrogen Production and Supply. Advancing H Mobility and Clean Energy. Perth, Australia: Linde Kryotechnik AG. Obtenido de <https://lngfutures.edu.au/wp-content/uploads/2019/10/Cardella-U.-Large-Scale-Liquid-H2-Production-and-Supply.pdf>
- CEN 1. (mayo de 2019). *Who we are*. Obtenido de European Committee for Standardization: <https://www.cen.eu/about/Pages/default.aspx>
- Centro de Energía UC. (2020). *Proposición de Estrategia Regulatoria del Hidrógeno para Chile*. Santiago: GIZ.
- COAG Energy Council. (2019). *Australia's National Hydrogen Strategy*. Obtenido de Australian Government. Department of Industry, Science, Energy and Resources: <https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2019-11/australias-national-hydrogen-strategy.pdf>
- CSIRO, KMPG. (2019). *Hydrogen Communities: Assesment for suitability of communities for conversion to hydrogen*. Australia: CSIRO, KMPG.
- Derwent, R. G. (2018). *Hydrogen for Heating: Atmospheric Impacts*. Department for Business, Energy and Industrial Strategy, HM Government, UK.
- Dincer, I., & Bicer, Y. (2018). *Ammonia Production*. Oshawa, Canada: University of Ontario Institute of Technology.
- DLR, Fraunhofer ISE, LBST. (5 de 2 de 2015). *Studie über die Planung einre Demonstrationsanlage zur Wasserstoff-Kraftstoffgewinnung durch Elektrolyse mit Zwischenspeicherung in*

Salzkavernen unter Druck. Stuttgart, Alemania: Ministerio de Economía y Energía de Alemania (Ministerium für Wirtschaft und Energie).

DOE. (2019). *Current Status of Hydrogen Liquefaction Costs*. Estados Unidos: DOE Hydrogen and Fuel Cells Program Record.

DVGW. (5 de 2020). Genehmigungsrechtlicher Leitfaden für Power-to-Gas-Anlagen -Errichtung und Betrieb-. *Power-to-Gas-Leitfaden zur Integration Erneuerbarer Energien*. Germany: <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/forschung/berichte/g201735-portalgreen-vorlaufuefiger-genehmigungsleitfaden.pdf>.

Eckroll, J. (2017). *Concepts for Large Scale Hydrogen Liquefaction Plants*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.

El proyecto de hidrógeno argentino que hace escuela en el mundo. (22 de 05 de 2019). Recuperado el 02 de 01 de 2020, de Econo Journal: <https://econojournal.com.ar/2019/05/el-proyecto-de-hidrogeno-argentino-que-hace-escuela-en-el-mundo/>

Energie DE. (10 de 10 de 2019). *Wasserstoff-BHKW vervollständigt Speicherkette*. Obtenido de Energie DE: <https://www.energie.de/euroheatpower/news-detailansicht/nsctrl/detail/News/wasserstoff-bhkw-vervollstaendigt-speicherkette-2019661/np/3/>

Entrevista Telenoche. (03 de 09 de 2019). Recuperado el 30 de 12 de 2019, de Canal 4: <https://www.telenoche.com.uy/nacionales/marta-jara-presento-un-prototipo-de-vehiculo-impulsado-por-hidrogeno-verde>

Environment Agency. (2016). *Notice of variation and consolidation with introductory note. The Environmental Permitting (England & Wales) Regulations 2010. INOVYN ChlorVinyls Limited*.

Environment Agency. (2016). *Review of an Environmental Permit under the Environmental Permitting (England & Wales) Regulations 2010 (as amended)*. Runcorn.

European Hydrogen Safety Panel. (2019). *Safety Planning for hydrogen and fuel cell projects*. Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking.

European Turbine Network. (1 de 2020). The path towards a zero-carbon gas turbine. *Hydrogen Gas Turbines*. Bruselas, Bélgica: ETN Global.

Fichtner . (2020). *Descarbonización del sector energético chileno. Hidrógeno - cadenas de valor y legislación internacional*. GIZ .

Fichtner. (2020). *Descarbonización del sector energético chileno Hidrógeno - cadenas de valor y legislación internacional*. Santiago: GIZ.

Firma brasileña invertirá USD 800 millones en fábrica de diésel verde. (04 de 09 de 2019). Recuperado el 30 de 12 de 2019, de Ultima Hora: <https://www.ultimahora.com/firma-brasilena-invertira-usd-800-millones-fabrica-diesel-verde-n2841826.html>

- Floristean, A., & Brahy, N. (2019). *EU regulations and directives which impact the deployment of FCH technologies*. HyLaw. Obtenido de <https://www.hylaw.eu/info-centre>
- Fraunhofer ICE. (2013). *Wasserstoff-Infrastruktur für eine Nachhaltige Mobilität*. Alemania: e-mobil BW GmbH – Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie. Obtenido de https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Wasserstoff-Infrastruktur_fuer_eine_nachhaltige_Mobilitaet_-_final_WEB.pdf
- French Guiana plans 140 MWh renewable energy storage system. (2018). *Fuel Cells Bulletin*, 2018(6), 3-4. doi:[https://doi.org/10.1016/S1464-2859\(18\)30192-5](https://doi.org/10.1016/S1464-2859(18)30192-5)
- GEOG Project*. (s.f.). Recuperado el 29 de 12 de 2019, de HDF Energy: <https://www.ceog.fr/home>
- Gobierno analiza uso de vehículos eléctricos a hidrógeno para transporte de carga y pasajeros*. (19 de 09 de 2019). Recuperado el 30 de 12 de 2019, de Presidencia, República Oriental del Uruguay: <https://www.presidencia.gub.uy/comunicacion/comunicacionnoticias/eficiencia-energetica>
- Gobierno Federal de Alemania. (Junio de 2020). *The National Hydrogen Strategy*. Obtenido de Bundesministerium für Bildung und Forschung: <https://www.bmbf.de/de/nationale-wasserstoffstrategie-9916.html>
- Goldmeer, J. (2019). *Power to Gas: Hydrogen for power generation*. Obtenido de https://www.ge.com/content/dam/gepower/global/en_US/documents/fuel-flexibility/GEA33861%20Power%20to%20Gas%20-%20Hydrogen%20for%20Power%20Generation.pdf
- Grün-und Umweltamt Mainz. (2019). *Energiepark Mainz zur elektrolytischen Erzeugung und zur Lagerung von Wasserstoff*. Mainz.
- H2 Live. (Junio de 2020). *Latest updates of Germany*. Obtenido de H2 Live: <https://h2.live/en>
- H2 Mobility. (2010). *70 MPa Hydrogen Refuelling Station Standardization*.
- HDF Energy Touts Big Promises for Its Hydrogen Project in French Guiana*. (08 de 06 de 2018). Recuperado el 29 de 12 de 2019, de GTM: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/hdf-energy-unveils-ambitious-hydrogen-project>
- (2010). *Hidrogênio energético no Brasil. Subsídios para políticas de competitividade: 2010-2025*. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, CGEE.
- Hidrógeno 101 en el contexto latinoamericano*. (27 de 03 de 2013). Recuperado el 31 de 12 de 2019, de Latinoamérica Renovable: <http://latinoamericarenovable.com/2013/03/27/hidrogeno-101-en-el-contexto-latinoamericano/>

- Hidrógeno verde.* (s.f.). Recuperado el 30 de 12 de 2019, de ANCAP:
<https://www.ancap.com.uy/innovaportal/v/8384/1/innova.front/hidrogeno-verde.html>
- Hy4Heat. (2019). *Conversion of Industrial Heating Equipment to Hydrogen*. Department for Business, Energy & Industrial Strategy.
- HyApproval WP2. (4 de 6 de 2008). Handbook for Hydrogen Refuelling Station Approval. HyApproval.
- HyDeploy. (2020). *HyDeploy at Keele*. Obtenido de HyDeploy: <https://hydeploy.co.uk/hydrogen/>
- Hydrogen Council. (2020). *Path to hydrogen competitiveness. A cost perspective*. Hydrogen Council.
- Hydrogen Europe. (2017). *Hydrogen Storage*. Obtenido de Hydrogen Europe: <https://hydrogeneurope.eu/hydrogen-storage>
- Hydrogen Europe. (2017). *Hydrogen Transport & Distribution*. Obtenido de Hydrogen Europe: <https://hydrogeneurope.eu/hydrogen-transport-distribution>
- Hydrogen Europe. (2017). *Refueling stations*. Obtenido de Hydrogen Europe: <https://hydrogeneurope.eu/refueling-stations>
- Hydrogen Tools. (2020). *Hydrogen Density at different temperatures and pressures*. Obtenido de Hydrogen Tools: <https://h2tools.org/hyarc/hydrogen-data/hydrogen-density-different-temperatures-and-pressures>
- Hylaw. (2018). *Quantity and Pressure limitation*. Obtenido de Hylaw Online Database: <https://www.hylaw.eu/database/united-kingdom/transport-and-distribution-of-hydrogen/road-transport-in-cylinders-and-tube-trailers-bulk-gas-metal-hydride-bulk-liquid/quantity-and-pressure-limitation>
- Hylaw. (2019). *Deliverable 4.5 EU policy Paper*. Obtenido de Hylaw Online Database: <https://www.hylaw.eu/info-centre>
- IDEALHY. (2012). *Liquid Hydrogen Outline. Why liquefy hydrogen? Why IDEALHY?* Obtenido de IDEALHY. Integrated Design for Efficient Advanced Liquefaction of Hydrogen.: https://www.idealhy.eu/index.php?page=lh2_outline
- IEA. (2019). *The Future of Hydrogen. Seizing today's opportunities*. International Energy Agency.
- IEA. (6 de 2020). *Hydrogen Projects Database*. Obtenido de IEA: <https://www.iea.org/reports/hydrogen-projects-database>
- ILPI. (16 de 8 de 2016). *UN and NA numbers*. Obtenido de ILPI: <http://www.ilpi.com/msds/ref/unna.html>
- ImplementaSur. (2020). Estudio para definir esquemas de financiamiento para acelerar la adopción tecnológica e implementación de proyectos de generación, almacenamiento, transporte,

consumo y exportación de Hidrógeno Verde en Chile. Santiago, Chile: GIZ, Ministerio de Energía.

Índice de Países. (s.f.). Recuperado el 29 de 12 de 2019, de Latin American Network Information Center: <http://lanic.utexas.edu/subject/countries/indexesp.html>

Isaac, T. (2019). HyDeploy: The UK's First Hydrogen Blending Deployment Project. *Clean Energy*, 114-125.

JEC. (2014). Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context. Tank-to-Wheels-Report Version 4. Luxemburgo: Joint Research Center of the European Commission, Eucar and Concawe (JEC).

Jensterle, M., Narita, J., Piria, R., Samadi, S., Pratner, M., Crone, K., . . . Thesen, J. (2019). The role of clean hydrogen in the future energy systems of Japan and Germany. Berlin.

Julke, R. (8 de 4 de 2020). *Stadtwerke Leipzig dürfen ihr modernes Gasturbinenheizkraftwerk an der Bornaischen Straße bauen.* Obtenido de Leipziger Internet Zeitung: <https://www.liz.de/wirtschaft/wirtschaft-leipzig/2020/08/Stadtwerke-Leipzig-duerfen-ihr-modernes-Gasturbinenheizkraftwerk-an-der-Bornaischen-Strasse-bauen-342334>

Klell, M., & Eichseder, H. (2018). *Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik. Erzeugung, Speicherung, Anwendung.* Springer.

Kuhn, M. (9 de 7 de 2015). *Hydrogen and methane testing field at the ILK.* Obtenido de Institut für Luft-und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH: <https://www.ilkdresden.de/en/service/research-and-development/project/hydrogen-test-area-at-ilk-dresden/>

Laborde, M. A., Lombardo, E. A., Noronha, F. B., Boaventura, J. S., Fierro, J. G., & Mar, M. G. (2010). *Potencialidades del hidrógeno como vector de energía en Iberoamérica.* CYTED.

LaChance, J. L., Middleton, B., & Groth, K. M. (2012). Comparison of NFPA and ISO approaches for evaluating separation distances. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37, 17488, 17496. doi:10.1016/j.ijhydene.2012.05.144

Leipziger Stadtwerke. (5 de Mayo de 2020). *Leipziger Stadtwerke erwerben modernste Technik von Siemens - Vergabe Gasturbinen für HKW Leipzig Süd.* Obtenido de Leipziger Stadtwerke: https://www.l.de/stadtwerke/kundenservice/tipps/nachrichten/detailansicht/leipziger-stadtwerke-erwerben-modernste-technik-von-siemens-vergabe-gasturbinen-f%25C3%2583%25C2%25BCr-hkw-leipzig-s%25C3%2583%25C2%25BCd_1753

Linde. (2019). *Die treibende Kraft. Mit Linder Wasserstoffprojekte realisieren.* Obtenido de Linde: https://www.linde-gas.de/de/images/00299_LG_Wasserstoff_Broschuere_218x305_DE_72_2MB_tcm565-233488.pdf

- Linde. (2019). *Hydrogen fuelling stations with cryo pump technology. Efficiency at its best*. Obtenido de https://www.linde-engineering.com/de/images/DS_Cryo%20Pump_tcm20-523716.pdf
- Linde. (2019). *Wasserstoff Heute und Morgen*. Obtenido de Linde: http://www.bba-bw.de/files/h2_heute_und_morgen_dieterle.pdf_1.pdf
- Linde AG, Mainzer Stadtwerke. (2016). *Energiepark Mainz*. Obtenido de Technical Data: <https://www.energiepark-mainz.de/en/technology/technical-data/>
- Linde AG, Siemens AG. (2016). *Erfahrungen beim Genehmigungsverfahren der Power-to-Gas Anlage „Energiepark Mainz“*. Stadtwerke Mainz AG.
- Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, Fraunhofer IOSB-AST. (6 de 2019). *Infrastrukturbedarf E-Mobilität: Analyse eines koordinierten Infrastrukturaufbaus Versorgung von Batterien und Brennstoffzellen in Deutschland*. Alemania: ADAC Stiftung.
- Marlin, D. S., Sarron, E., & Sigurbjörnsson, Ó. (2018). *Process Advantages of Direct CO2 to Methanol Synthesis*. *Frontiers in Chemistry*.
- Masakazu, N., Araki, H., Tanimura, S., Kawakami, T., & Noriaki, S. (12 de 2018). *Hydrogen-fired Gas Turbine Targeting Realization of CO2-free Society*. Japón: Mitsubishi Heavy Industries Technical Review.
- Mega proyecto de tren de cercanías de Lima – Ica y de transporte por tren con hidrógeno*. (24 de 03 de 2019). Recuperado el 30 de 12 de 2019, de Colegio de Ingenieros del Perú: <http://www.cip.org.pe/events/mega-proyecto-ferroviario-de-tren-de-cercanias-de-lima-ica/>
- Methanex. (2019). *Investor Relations. Annual Reports*. Obtenido de Methanex: the power of agility: <https://www.methanex.com/financial-reports/annual-reports>
- Methanol Institute. (10 de 2008). *Methanol Safe Handling Manual*. Arlington, Virginia, Estados Unidos.
- Ministerio de Energía. (23 de Junio de 2020). *Estrategia Nacional de Hidrógeno*. Obtenido de Ministerio de Energía: https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/mini-sitio/estrategia-nacional_hidrogeno-verde_vdef.pdf
- Ministerio de Energía. (28 de Abril de 2020). *Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde. Avances y siguientes pasos*. *Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde. Avances y siguientes pasos*. Santiago, Santiago, Chile: Ministerio de Energía.
- Ministerio de Salud. (2000). *Aprueba Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias Y Ambientales Basicas En Los Lugares De Trabajo*. Chile.
- Ministerio de Salud. (2004). *Decreto 148 - Aprueba Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos*. Chile.

- Ministerio de Salud. (2016). *El Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos*. Obtenido de Ministerio de Salud: <http://www.ghs-chile.cl/>
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (1998). *Pauta de referencia calificación de actividades productivas y de servicio de carácter industrial*. Santiago.
- Ministerio del Medio Ambiente. (28 de 10 de 2018). *Consejo de Ministros aprueba reglamento para etiquetado de productos químicos peligrosos*. Obtenido de Ministerio del Medio Ambiente: <https://mma.gob.cl/consejo-de-ministros-aprueba-reglamento-para-etiquetado-de-productos-quimicos-peligrosos/>
- National Research Council and National Academy of Engineering. (2004). *The Hydrogen Economy: Opportunities, Costs, Barriers, and R&D Needs*. Washington, DC: The National Academies Press. doi:10.17226/10922
- Ohi, J. M. (2009). Chapter 14. Hydrogen Codes and Standards. En R. B. Gupta (Ed.), *Hydrogen Fuel: Production, Transport and Storage*. CRC Press.
- ONU. (2011). *Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals*. Organización de Naciones Unidas.
- Organización de Naciones Unidas. (2016). *European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road*. Economic Commission for Europe Inland Transport Committee.
- Parlamento de Alemania. (2019). *Grenzwerte für Wasserstoff (H₂) in der Erdgasinfrastruktur*. Obtenido de Deutscher Bundestag: <https://www.bundestag.de/resource/blob/646488/a89bbd41acf3b90f8a5fbfbc8616df4/WD-8-066-19-pdf-data.pdf>
- Parlamento Europeo. (2020). *Directiva 2014/94/UE relativa a la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos*.
- Peralta, E. (2019). *Marco regulatorio chileno del hidrógeno*. Consorcio Corfo 18-PTEC-89484 Alset - PUC. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Progressive Energy Ltd. (2017). *The Liverpool-Manchester Hydrogen Cluster: A Low Cost, Deliverable Project*.
- Promoción del hidrógeno*. (24 de 08 de 2006). Recuperado el 02 de 01 de 2020, de InfoLEG: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/115000-119999/119162/norma.htm>
- Regierungspräsidium Freiburg. (2018). *Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) Power-to-Gas-Anlage in Grenzach-Wyhlen*. Freiburg.
- Rivera, J. (2019). *Marco regulatorio internacional del hidrógeno*. Consorcio Corfo 18-PTEC-89484 Alset - PUC . Pontificia Universidad Católica de Chile.

- Rivkin, C., Burgess, R., & Buttner, W. (2015). *Hydrogen Technologies Safety Guide*. Technical Report, NREL. Obtenido de <https://www.nrel.gov/docs/fy15osti/60948.pdf>
- Rivkin, C., Burgess, R., & Buttner, W. (2015). *Hydrogen Technologies Safety Guide*. Golden: National Renewable Energy Laboratory.
- Royal Society. (2 de 2020). Ammonia: zero-carbon fertiliser, fuel and energy store. Londres, Reino Unido: <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/green-ammonia/green-ammonia-policy-briefing.pdf>.
- Shell. (2017). *Energy of the future? Sustainable Mobility through Fuel Cells and H2*. Hamburg: Shell Deutschland Oil GmbH.
- Siemens. (2020). 'Green' ammonia is the key to meeting the twin challenges of the 21st century. Obtenido de Siemens: Ingeniuty for life: <https://new.siemens.com/uk/en/company/topic-areas/sustainable-energy/green-ammonia.html>
- Siemens. (2020). *SGT-800 industrial gas turbine*. Obtenido de Siemens Energy: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/power-generation/gas-turbines/sgt-800.html>
- Smolinka, T. (5 de 11 de 2019). WASSERSTOFFBEREITSTELLUNG MITTELS WASSER-ELEKTROLYSE: STAND DER TECHNIK UND PERSPEKTIVEN. *Impulsvortrag zum Thema „Wasserstoff – Schwergewicht für die Energiewende!“*. Hannover, Alemania: Fraunhofer ISE.
- Superintendencia de Medio Ambiente. (2019). *Informe de fiscalización ambiental. Inspección ambiental. ENAEX Mejillones*. Superintendencia de Medio Ambiente.
- Tchouvelev, A. V., de Oliveira, S. P., & Neves Jr., N. P. (2019). Chapter 6 Regulatory Framework, Safety Aspects, and Social Acceptance of Hydrogen Energy Technologies. En P. E. de Miranda (Ed.), *Science and Engineering of Hydrogen-Based Energy Technologies*. Academic Press, Elsevier.
- TÜV SÜD. (1 de 2020). TÜV SÜD Standard CMS 70. Alemania. Obtenido de <https://www.tuvsud.com/de-de/-/media/de/industry-service/pdf/broschueren-und-flyer/is/energie/standard-cms-70-greenhydrogen-ts-is-ut.pdf?la=de-de&hash=73E98931F8657D0313E27ED725C6B45D>
- U.S. Department of Transportation. (2020). *Guía de Respuesta en Caso de Emergencia*. Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration.
- Vásquez, R., & Salinas, F. (2018). *Tecnologías del hidrógeno y perspectivas para Chile*. Santiago, Chile: GIZ GmbH.
- Walnum, H., Berstad, D., Drescher, M., Nekså, P., Quack, H., Haberstroh, C., & Essler, J. (2012). *Principles for the liquefaction of hydrogen with emphasis on precooling processes*. Dresden: Cryogenics 2012 - IIR Conference.

Wärtsilä. (5 de Mayo de 2020). *Wärtsilä gas engines to burn 100% hydrogen*. Obtenido de Wärtsilä: <https://www.wartsila.com/media/news/05-05-2020-wartsila-gas-engines-to-burn-100-hydrogen-2700995>

Wurster, R. (2016). Hydrogen safety: An overview. En M. Ball,, A. Basile, & N. T. Veziroğlu (Edits.), *Compendium of Hydrogen Energy, Volume 4 Hydrogen Use, Safety and the Hydrogen Economy*. Elsevier, Woodhead Publishing Series in Energy: Number 86.

Yara. (21 de 2 de 2020). *ARENA announces funding for Yara Pilbara and Engie's feasibility study on a renewable hydrogen to ammonia solution in fertiliser production*. Obtenido de <https://www.yara.com/news-and-media/news/archive/2020/arena-announces-funding-for-yara-pilbara-and-engies-feasibility-study-on-a-renewable-hydrogen-to-ammonia-solution-in-fertiliser-production/>

Yara Pilbara Fertilisers Pty Ltd. (2020). *Ammonia Plant, Murujuga (burrup Peninsula), Renewable Hydrogen Project Section 38 Referral Supporting Report*. Australia.

6 ANEXOS

6.1 Emisiones

6.1.1 Termoeléctricas (DS 13)

La tabla adjunta se muestra a modo de referencia. Para el detalle de los contaminantes y condiciones de medición, referirse al DS indicado.

Tabla 19: emisiones para termoeléctricas según el combustible utilizado.

Termoeléctricas							
contaminante	unidad	existente ≥ 50 MWt			nueva ≥ 50 MWt		
		solido	liquido	gas	solido	liquido	gas
MP	mg/Nm ³	50	30	NA	30	30	NA
SO₂	mg/Nm ³	400	30	NA	200	10	NA
NO_x	mg/Nm ³	500	200	50	200	120	50
Hg	mg/Nm ³	0,1 ⁸⁷			0,1 ⁸⁸		

⁸⁷ Carbón y/o petcoke

⁸⁸ Carbón y/o petcoke

6.1.2 Emisiones de calderas en proceso de aprobación (anteproyecto res ex 459)

La tabla adjunta se muestra a modo de referencia. Para el detalle de los contaminantes y condiciones de medición, referirse al documento indicado.

Tabla 20: emisiones de calderas en proceso de aprobación (anteproyecto res ex 459). Fuente: elaboración propia.

Emisiones Caldera en proceso de aprobación								
contaminante	unidad	rango	nueva			existente		
			solido	liquido	gas	solido	liquido	gas
		MWt						
MP	mg/Nm ³	0,075 ≥ y < 0,3	50					
MP	mg/Nm ³	0,3 > y < 1,0	50	50	NA			
CO	mg/Nm ³	0,3 > y < 1,0	125	80	80			
MP	mg/Nm ³	1,0 ≥ y < 3,0	50	30	NA	75	50	NA
CO	mg/Nm ³	1,0 ≥ y < 3,0						
SO ₂	mg/Nm ³	1,0 ≥ y < 3,0	400	400	100			
NO _x	mg/Nm ³	1,0 ≥ y < 3,0	300	200	100			
MP	mg/Nm ³	3,0 ≥ y < 20,0	50	30	NA	50	50	NA
CO	mg/Nm ³	3,0 ≥ y < 20,0						
SO ₂	mg/Nm ³	3,0 ≥ y < 20,0	400	400	100			
NO _x	mg/Nm ³	3,0 ≥ y < 20,0	300	200	30			
MP	mg/Nm ³	20,0 ≥	30	20	NA	50	30	NA
CO	mg/Nm ³	20,0 ≥						
SO ₂	mg/Nm ³	20,0 ≥	400	400	50			
SO ₂	mg/Nm ³	20,0 >				400		
NO _x	mg/Nm ³	20,0 ≥	300	200	30			
Hg ⁸⁹	mg/Nm ³	20,0 ≥	0,1			0,1		

⁸⁹ carbón y/o petcoke o una mezcla de carbones con diferentes calidades.

6.1.3 Emisiones de grupos electrógenos en proceso de aprobación (res ex -1671)

La tabla adjunta se muestra a modo de referencia. Para el detalle de los contaminantes y condiciones de medición, referirse al documento indicado.

Tabla 21: emisiones de grupos electrógenos en proceso de aprobación (res ex -1671). Fuente: elaboración propia.

Emisión grupos electrógenos en proceso de aprobación (Medio Ambiente res ex - 1671)							
Desplazamiento (d)	Potencia (P)	Velocidad del motor (n)	CO	HCNM ⁹⁰	HCNM+NO _x	MP	NO _x
Litro	kW	rpm	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh
Móviles nuevos							
	19≤P<37		5,5		7,5	0,6	
	37≤P<75		5,0		4,7	0,4	
	75≤P<130		5,0		4,0	0,3	
	130≤P<560		3,5		4,0	0,2	
Móviles y estacionarios nuevos							
d<10	P≥560		3,5		6,4	0,2	
10≤d<15	P≥560		5,0		7,8	0,27	
15≤d<20	560≤P<3000		5,0		8,7	0,5	
15≤d<20	P>3000		5,0		9,8	0,5	
20≤d<25	P≥560		5,0		9,8	0,5	
25≤d<30	P≥560		5,0		11,0	0,5	
d≥30	P≥560	n<130				0,15 ⁹¹	14,4
d≥30	P≥560	130≤n<2000				0,15 ⁹¹	44*n ^{0,23} ₉₂

⁹⁰ Hidrocarburos no metánicos.

⁹¹ Se permite hasta un máximo de 0,4 [g/kWh] cuando esté justificado por consideraciones específicas del proyecto (por ejemplo, viabilidad económica del empleo de combustibles con bajo contenido de azufre, o adición de tratamientos secundarios para cumplir con el límite de 0,15 [g/kWh], y capacidad medioambiental de la ubicación).

⁹² Redondear límite máximo de emisión a un decimal.

d≥30	P≥560	2000≤n				0,15 ⁹³	7,7
Móviles cuya importación para uso propio o primera comercialización se realiza a contar de 72 meses desde la entrada en vigencia del DTO.							
	19≤P<37		5,5	NA	4,7	0,03	NA
	37≤P<56		5,0	NA	4,7	0,03	NA
	56≤P<130		5,0	0,19	NA	0,02	0,4
	130≤P<560		3,5	0,19	NA	0,02	0,4
Móviles y estacionarios cuya importación para uso propio o primera comercialización se realiza a contar de 72 meses desde la entrada en vigencia del DTO.							
d<10	P≥560		3,5	0,19	NA	0,03	0,67
10≤d<30	560≤P≤3700		5,0	NA	1,8	0,04	NA
10≤d<30	3700<P		5,0	NA	1,8	0,06	NA
d≥30	P≥560	n<130				0,15 ⁹³	3,4
d≥30	P≥560	130≤n<2000				0,15 ⁹³	9,0*n ^{-0,20} ₉₄
d≥30	P≥560	2000≤n				0,15 ⁹³	2,0

⁹³ Se permite hasta un máximo de 0,4 [g/kWh] cuando esté justificado por consideraciones específicas del proyecto (por ejemplo, viabilidad económica del empleo de combustibles con bajo contenido de azufre, o adición de tratamientos secundarios para cumplir con el límite de 0,15 [g/kWh], y capacidad medioambiental de la ubicación).

⁹⁴ Redondear límite máximo de emisión a un decimal.

6.2 Densidades de almacenamiento de hidrógeno según presión y temperatura

El portal Hydrogen Tools, patrocinado por el Gobierno de los Estados Unidos, reúne y mejora la utilidad de una variedad de herramientas y contenido web sobre los aspectos de seguridad de las tecnologías del hidrógeno y las celdas de combustible para ayudar a informar a las personas encargadas de diseñar, aprobar o utilizar sistemas e instalaciones, así como a las que responden a incidentes (Hydrogen Tools, 2020). Dentro de estas herramientas se encuentra el detalle de las densidades del hidrógeno al ser almacenado en diferentes valores de presión y temperatura, lo cual permite homologar restricciones que se encuentren expresadas en función de su volumen almacenado (metros cúbicos) o la masa contenida en dicho volumen (toneladas).

A continuación, se presenta la tabla de densidades del hidrógeno comprimido a distintos valores de temperatura (grados Celsius) y presión (MPa).

Tabla 22: densidad (kg/m³) del hidrógeno gaseoso a diferentes niveles de presión (MPa) y temperatura (°C). Fuente: (Hydrogen Tools, 2020).

Temperatura (°C)	Presión (MPa)						
	0.1	1	5	10	30	50	100
-255	73,284	74,252					
-250	1,1212	68,747	73,672				
-225	0,5081	5,5430	36,621	54,812	75,287		
-200	0,3321	3,3817	17,662	33,380	62,118	74,261	
-175	0,2471	2,4760	12,298	23,483	51,204	65,036	
-150	0,1968	1,9617	9,5952	18,355	43,079	57,343	
-125	0,1636	1,6271	7,9181	15,179	37,109	51,090	71,606
-100	0,1399	1,3911	6,7608	12,992	32,614	46,013	66,660
-75	0,1223	1,2154	5,9085	11,382	29,124	41,848	62,322
-50	0,1086	1,0793	5,2521	10,141	26,336	38,384	58,503
-25	0,0976	0,9708	4,7297	9,1526	24,055	35,464	55,123
0	0,0887	0,8822	4,3036	8,3447	22,151	32,968	52,115
25	0,0813	0,8085	3,9490	7,6711	20,537	30,811	49,424
50	0,0750	0,7461	3,6490	7,1003	19,149	28,928	47,001
75	0,0696	0,6928	3,3918	6,6100	17,943	27,268	44,810
100	0,0649	0,6465	3,1688	6,1840	16,883	25,793	42,819
125	0,0609	0,6061	2,9736	5,8104	15,944	24,474	41,001

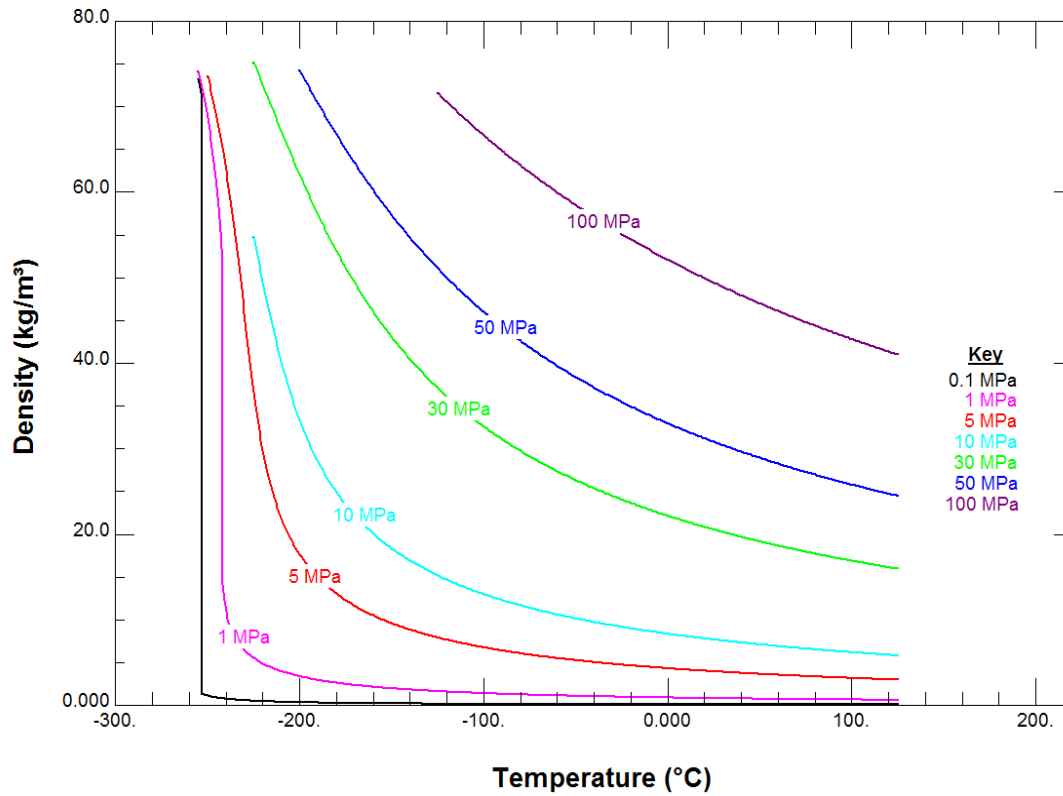


Figura 32: densidad (kg/m³) del hidrógeno gaseoso a diferentes niveles de presión (MPa) y temperatura (°C). Fuente: (Hydrogen Tools, 2020).



6.3 Permisos ambientales y sectoriales

Se adjunta como parte del informe un archivo Excel independiente.

Se incluyen comentarios en el campo de notas de celdas.

6.4 Memo Energy Power Research Institute (EPRI)

El documento se adjunta al reporte.

[Página en blanco intencionalmente]

