



Estudio Normativa internacional hidrógeno renovable

Informe final
27 de agosto de 2024



Ministerio Federal
de Economía
y Energía



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:
Team Europe Desarrollo del Hidrógeno Renovable en Chile (RH2)

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

Responsable:
George Cristodorescu

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.energia.gob.cl

Registro de Propiedad Intelectual Inscripción: En trámite.
ISBN: 978-956-8066-77-2. Primera edición digital: octubre 2025

Fotografía de portada:
(c) 2017 FedotovAnatoly/Shutterstock.

Cita:

Título: Estudio normativa internacional hidrógeno renovable
Autor(es): GIZ, Clio Dinámica
Revisión y modificación: Clio Dinámica; GIZ
Edición: Patricio Bastías Ortiz
Santiago de Chile, 2024.
64 Páginas
Hidrógeno – Normativa – Seguridad - Blending



Aclaración:

Esta publicación ha sido preparada por encargo del Proyecto "Team Europe para el Desarrollo del Hidrógeno Renovable en Chile", el cual es cofinanciado por la Unión Europea y el Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima de Alemania (BMWK). La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH es una de las agencias implementadoras de la presente iniciativa y el Ministerio de Energía de Chile es la institución contraparte. Sin perjuicio de lo anterior, las conclusiones y opiniones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile, GIZ, la Unión Europea o el BMWK. Además, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar en ningún caso constituye una recomendación por parte del Gobierno de Chile, GIZ, la Unión Europea o el BMWK.
Santiago de Chile, 30 de octubre de 2025.

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | Presentación al documento | 5 |
| 2 | Abreviaciones..... | 6 |
| 3 | Cadena de valor: una mirada actualizada | 7 |
| 4 | Marco regulatorio en materia de seguridad en H2R..... | 13 |
| 4.1 | Marco jurídico en materia de seguridad en H2R en países de referencia | 13 |
| 4.1.1 | Unión Europea | 13 |
| 4.1.2 | Alemania | 14 |
| 4.1.3 | Estados Unidos..... | 15 |
| 4.2 | Marco jurídico en materia de seguridad en H2 y amoníaco en países de la Red de Aprendizaje de hidrógeno renovable en América Latina y el Caribe..... | 16 |
| 4.2.1 | Chile..... | 16 |
| 4.2.2 | Argentina | 20 |
| 4.2.3 | Colombia..... | 20 |
| 4.2.4 | México..... | 21 |
| 4.2.5 | Costa Rica | 21 |
| 4.2.6 | Uruguay | 22 |
| 4.2.7 | Conclusión del análisis regional | 23 |
| 4.3 | Matriz de permisos en Chile | 23 |
| 5 | Estándares de seguridad de H2R en particular | 25 |
| 5.1 | Transporte de carga y personas | 25 |
| 5.1.1 | Estatus de desarrollo de proyectos | 25 |
| 5.1.2 | Análisis normativas de seguridad..... | 34 |
| 5.1.3 | Análisis barreras normativas y casos internacionales..... | 41 |
| 5.1.4 | Principales hallazgos transporte de carga y personas | 41 |
| 5.2 | Cogeneración | 42 |
| 5.2.1 | Estatus desarrollo de proyectos | 43 |
| 5.2.2 | Análisis normativas de seguridad..... | 47 |
| 5.2.3 | Análisis barreras normativas y casos internacionales..... | 49 |
| 5.2.4 | Principales hallazgos cogeneración | 49 |
| 5.3 | Blending..... | 50 |
| 5.3.1 | Estatus desarrollo de proyectos | 51 |
| 5.3.2 | Análisis normativas de seguridad..... | 53 |
| 5.3.3 | Análisis barreras normativas y casos internacionales..... | 56 |
| 5.3.4 | Principales hallazgos blending | 57 |
| 6 | Conclusiones..... | 58 |
| 6.1 | Desafíos y oportunidades | 58 |
| 6.2 | Recomendaciones para Gobiernos | 58 |
| 7 | Bibliografía | 61 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 8 | Anexos | 62 |
| 8.1 | Matriz de permisos | 62 |
| | Tabla 1: Normas de aplicación general. Fuente: Elaboración propia. | 10 |
| | Tabla 2: Desarrollo de proyectos de transporte en países de referencia. Fuente: Elaboración propia. | 26 |
| | Tabla 3: Desarrollo de proyectos de transporte en países de la red. | 30 |
| | Tabla 4: Normas de aplicación transporte de carga y personas. Fuente: Elaboración propia. | 35 |
| | Tabla 5: Agrupación normas transporte carga y personas. | 41 |
| | Tabla 6: Desarrollo de proyectos de cogeneración en países de referencia. Fuente: Elaboración propia. | 44 |
| | Tabla 7: Desarrollo de proyectos de cogeneración en países de la red. Fuente: Elaboración propia. | 45 |
| | Tabla 8: Normas de aplicación cogeneración. | 48 |
| | Tabla 9: Agrupación normas cogeneración. Fuente: Elaboración propia. | 49 |
| | Tabla 10: Desarrollo de proyectos de blending en países de referencia. Fuente: Elaboración propia. | 51 |
| | Tabla 11: Desarrollo de proyectos de blending en países de la red. Fuente: Elaboración propia. | 52 |
| | Tabla 12: Normas de aplicación blending. Fuente: Elaboración propia. | 54 |
| | Tabla 13: Agrupación normas blending. Fuente: Elaboración propia. | 56 |
| | Tabla 14: Límites normativos internacionales de % de H2 en blending. | 56 |
| | Figura 1: cadena de valor actual hidrógeno renovable. Fuente: Elaboración propia en base a GIZ (2020) y GIZ (2023). | 7 |
| | Figura 2: Cadena de valor futura hidrógeno renovable. Fuente: Elaboración propia en base a GIZ (2020) y GIZ (2023). | 8 |
| | Figura 3: Actualización mapa normativo seguridad hidrógeno renovable. Fuente: Elaboración propia. | 8 |
| | Figura 4: Mapa normativo seguridad hidrógeno renovable transporte de carga y personas. | 34 |
| | Figura 5: Proceso de cogeneración. Fuente: Elaboración propia. | 42 |
| | Figura 6: Mapa normativo seguridad hidrógeno renovable cogeneración. Fuente: Elaboración propia. | 47 |
| | Figura 7: Cadena de valor de gas natural y blending con hidrógeno renovable. Fuente: Elaboración propia. | 50 |
| | Figura 8: Mapa normativo seguridad hidrógeno renovable blending. Fuente: Elaboración propia. | 53 |

1 Presentación al documento

Ante el desarrollo de nuevas formas de energía renovables que permiten reemplazar la utilización de combustibles fósiles en la matriz energética, el hidrógeno ha aparecido como una opción factible y conveniente en múltiples usos lo que ha impulsado el desarrollo de distintos proyectos en varios países y, por lo tanto, ha generado un desafío regulatorio para su utilización.

A ese respecto, uno de los aspectos relevantes a ser regulados, y que tiene influencia en toda la cadena de valor del hidrógeno —vale decir, la producción, acondicionamiento, almacenamiento, distribución y consumo— se refiere a la seguridad del hidrógeno. En ese contexto, el objeto del presente informe jurídico radica en el análisis del marco normativo aplicable al hidrógeno en tanto vector energético, y específicamente, en materia de seguridad en las distintas etapas de su cadena de valor, en los países que conforman la Red de aprendizaje de hidrógeno renovable en Latinoamérica (Red H2R): Argentina, Chile, Colombia, Costa Rica, México y Uruguay.

Como se verá, la regulación del hidrógeno como vector energético aún se encuentra en una etapa inicial, siendo la producción de hidrógeno mediante electrólisis la fase de la cadena de valor con mayor desarrollo normativo y, por el contrario, el uso doméstico del hidrógeno es aquel que resulta más incipiente desde el punto de vista regulatorio.

El presente estudio aborda la temática ya señalada, generando una actualización del estudio previo: “Hidrógeno – cadena de valor y legislación internacional”¹ de GIZ (2020), y poniendo énfasis en aplicaciones de hidrógeno renovable en transporte de carga y personas, cogeneración y blending. El análisis ha sido elaborado a través de la revisión y descripción de 64 normas, el levantamiento del desarrollo de proyectos a nivel internacional, junto con la participación de los y las integrantes de la Red H2R.

¹ Disponible en: <https://4echile.cl/wp-content/uploads/2022/01/Cadena-de-valor-H2-y-regulacion-internacional.pdf>

2 Abreviaciones

| | |
|----------------|---|
| ADR | Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road |
| ASME | American Society of Mechanical Engineers |
| ASTM | American Society for Testing and Materials |
| CE | Comisión Europea |
| CFR | Code of Federal Regulations |
| CGA | Compressed Gas Association |
| CHP | Cogeneración |
| CSA | Canadian Standards Association |
| EIGA | European Industrial Gases Association |
| EN | European Norm |
| H2R | Hidrógeno renovable |
| IEA | International Energy Agency |
| IEC | International Electrotechnical Commission |
| ISO | International Organization for Standardization |
| NCh | Normas chilenas |
| NFPA | National Fire Protection Association |
| OSHA | Occupational Safety and Health Administration of the U.S. Department of Labor |
| PtX | Power-to-X |
| Red H2R | Red de aprendizaje de hidrógeno renovable en Latinoamérica |
| SAE | Society of Automotive Engineers |
| UE | Unión Europea |

3 Cadena de valor: una mirada actualizada

La producción de hidrógeno renovable y sus diversas alternativas de consumo se sigue expandiendo año tras año, demostración de esto es que la demanda mundial de 94,3 millones de toneladas en 2021 alcanzaría la cifra de 179,9 millones de toneladas hacia 2030 (Statista Research Department, 2024).

Para comprender desde una mirada más amplia la industria del hidrógeno renovable, en esta sección se presenta la cadena de valor actual y futura, realizando una actualización a lo expuesto en el informe “Hidrógeno – cadena de valor y legislación internacional” de GIZ (2020). En particular, la cadena de valor futura es actualizada en base a los procesos de consumo producto del Power-to-X² (PtX).

Estas cadenas de valor se componen por 6 procesos principales: fuente energética, producción, acondicionamiento, almacenamiento, distribución y consumo.

A continuación, en la Figura 1, se presenta la cadena de valor actual del hidrógeno renovable.

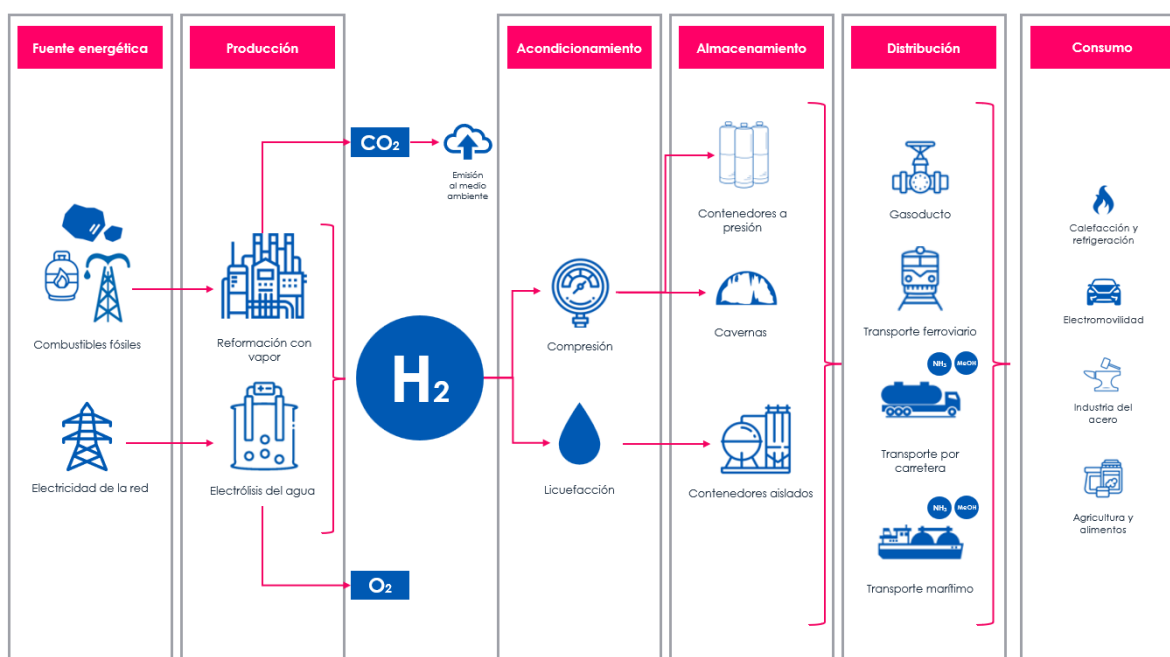


Figura 1: cadena de valor actual hidrógeno renovable. Fuente: Elaboración propia en base a GIZ (2020) y GIZ (2023).

Entre las opciones de consumo de este vector energético se destaca el transporte y los procesos de calor, aplicaciones que son profundizadas en el presente informe. Además de estas aplicaciones, se prevé que se amplíen las alternativas en los próximos años, redefiniendo la cadena de valor como se presenta a continuación:

² De acuerdo a GIZ (2023): “El Power-to-X o PtX es una tecnología innovadora que puede transformar electricidad renovable, procedente de centrales eólicas, solares, hidroeléctricas y geotérmicas, en una gran variedad de productos finales. La X en este concepto puede representar combustibles líquidos, gaseosos y otros productos químicos (Power-to-liquid, Power-to-gas y Power-to-chemicals)”.

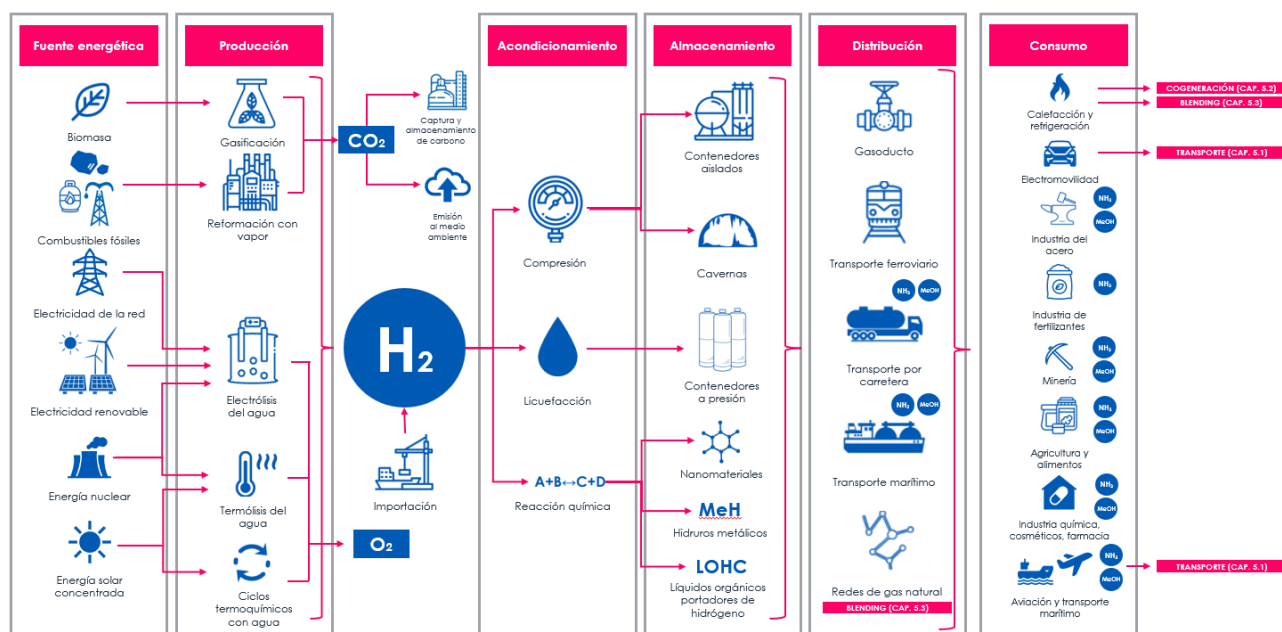


Figura 2: Cadena de valor futura hidrógeno renovable. Fuente: Elaboración propia en base a GIZ (2020) y GIZ (2023).

Además de presentar la cadena de valor futura, en la **Figura 2** se destacan aquellos procesos que son profundizados en el capítulo 5, es decir: transporte y procesos de calor.

Este estudio se centra en actualizar la normativa relativa a seguridad del hidrógeno renovable de acuerdo a la cadena de valor con foco en cuatro aplicaciones en particular: transporte de carga, transporte de personas, cogeneración y blending. La actualización toma como base el estudio de GIZ del 2020, además de las normas identificadas en “Estudio recopilatorio de seguridad operacional para la implementación de buses a hidrógeno en el sistema RED” (Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, 2024).

A continuación, se presentan las 65 normas analizadas en este estudio³, ubicadas en la cadena de valor y diferenciadas de acuerdo a su aplicación particular (a los tipos de proyectos anteriormente señalados).

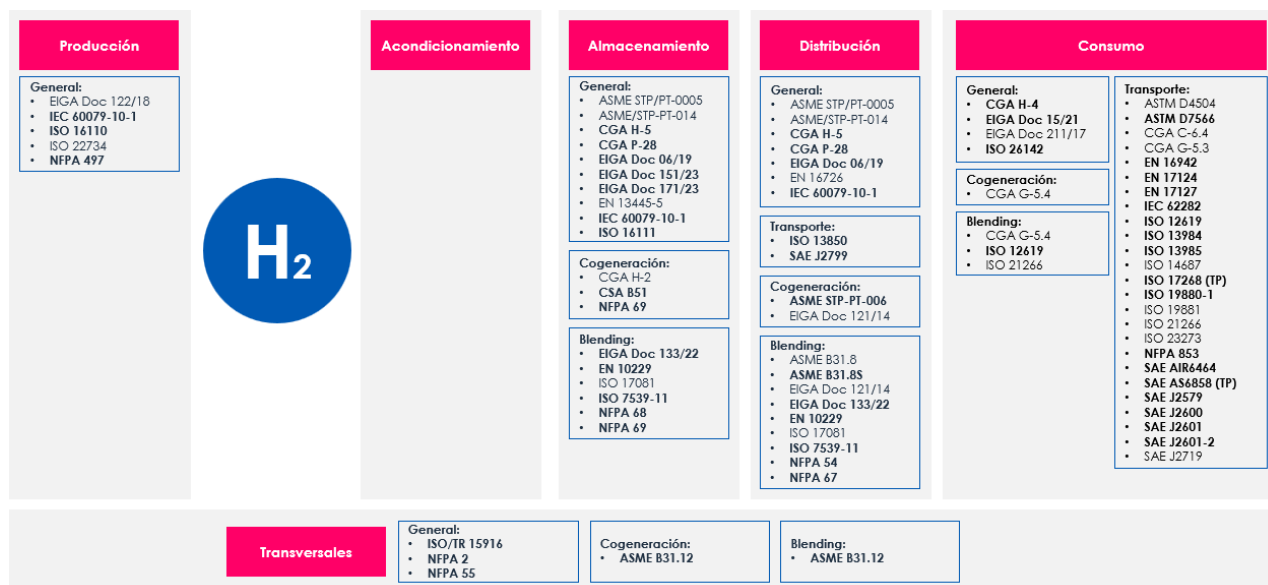


Figura 4: Actualización mapa normativo seguridad hidrógeno renovable. Fuente: Elaboración propia.

³ En el estudio sólo se han analizado normas publicadas y vigentes a la fechas. Es decir, se excluyen aquellas normas que actualmente se encuentran en etapa DIS (Draft International Standard).

El mapa elaborado muestra que existen normas transversales a la cadena de valor (ISO/TR 15916, NFPA 2, NFPA 55 y ASME B31.12), las cuales son abordadas con mayor profundidad en la siguiente sección. Además, se visualiza que una proporción relevante de las normas analizadas se encuentran en los procesos de consumo (especialmente en los casos de aplicaciones a transporte de carga y personas). Adicionalmente, se destaca que el 67,7% de las normas estudiadas (44) han sido publicadas, actualizadas o reafirmadas desde el año 2020, es decir, alrededor de dos tercios de las normas que son incluidas en este informe se encuentran actualizadas en el periodo de los últimos 4 años. Entre estas normas actualizadas, se destaca que 32 eran parte del estudio “Hidrógeno – cadena de valor y legislación internacional”.

A continuación, la **Tabla 1** sintetiza las normativas de aplicación general⁴ analizadas, las cuales constituyen de cierta forma una base para aquellas que son presentadas en el capítulo 5;**Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

⁴ Las normas de aplicación general son aquellas que son aplicables a todo tipo de proyecto de hidrógeno (considerando los proyectos a revisar en el capítulo 4, es decir, transporte y procesos de calor). Por otro lado, las normas que son destacadas como transversales son normas aplicables a todos los aspectos de la cadena de valor del hidrógeno, desde la producción hasta el consumo.

Tabla 1: Normas de aplicación general. Fuente: Elaboración propia.

| Norma | Nombre | Descripción | Última actualización | Enlace a la norma |
|------------------|--|---|----------------------|---|
| ASME STP/PT-0005 | Design Factor Guidelines for High-Pressure Composite Hydrogen Tanks | Proporciona recomendaciones al equipo de proyecto de hidrógeno de ASME para factores de diseño para tanques de hidrógeno compuesto. | 2008 | https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/stp-pt-0005-design-factor-guidelines-for-high-pressure-composite-hydrogen-tanks/2006/pdf |
| ASME/STP-PT-014 | Data Supporting Composite Tank Standards Development for Hydrogen Infrastructure Applications | Proporciona recomendaciones para pruebas de validación de materiales y recipientes a presión, con consideración para el análisis de modos de falla y efectos (FMEA) que involucra el uso en campo de los recipientes. | 2008 | https://www.asme.org/getmedia/c3091232-ea5b-4f1b-8111-3f638f97a0dc/20532.pdf |
| CGA H-4 | Terminology Associated with Hydrogen Fuel Technologies | Esta publicación proporciona una descripción de las tecnologías y la terminología tal como se aplican a la producción, almacenamiento, transporte y uso de combustible de hidrógeno. | 2020 | https://portal.cganet.com/publication/details?id=H-4 |
| CGA H-5 | Standard for Bulk Hydrogen Supply Systems | Proporciona requisitos mínimos para la ubicación/sitio, selección de equipos, instalación, puesta en marcha, mantenimiento y eliminación de sistemas de suministro de hidrógeno a granel. | 2020 | https://portal.cganet.com/publication/details?id=H-5 |
| CGA P-28 | OSHA Process Safety Management and EPA Risk Management Plan Guidance Document for Bulk Liquid Hydrogen Systems | Orientación para la gestión de seguridad de procesos OSHA y el plan de gestión de riesgos EPA para sistemas de suministro de hidrógeno líquido a granel. | 2022 | https://portal.cganet.com/publication/P-28/details |
| EIGA Doc 06/19 | Safety in storage, handling and distribution of liquid hydrogen | Proporciona directrices para la seguridad en el almacenamiento, manejo y distribución de hidrógeno líquido. | 2019 | https://www.eiga.eu/uploads/documents/DOC006.pdf |
| EIGA Doc 122/18 | Environmental impacts of hydrogen plants | Aborda los aspectos ambientales relacionados con las plantas de producción de hidrógeno. Se centra en los impactos ambientales y las consideraciones necesarias para garantizar prácticas seguras y sostenibles. | 2018 | https://www.eiga.eu/uploads/documents/DOC122.pdf |
| EIGA Doc 15/21 | Gaseous Hydrogen Stations | Proporciona orientación sobre las instalaciones de hidrógeno gaseoso, incluyendo aspectos como diseño, seguridad y mantenimiento. | 2021 | https://www.eiga.eu/uploads/documents/DOC015.pdf |
| EIGA Doc 151/23 | Prevention of Excessive Pressure during Filling of Cryogenic Vessels | Aborda las medidas para prevenir la presión excesiva durante el llenado de recipientes criogénicos. | 2023 | https://www.eiga.eu/uploads/documents/DOC151.pdf |
| EIGA Doc 171/23 | Storage of Hydrogen in Systems Located Underground | Seguridad específica relacionada con el almacenamiento subterráneo de hidrógeno. | 2023 | https://www.eiga.eu/uploads/documents/DOC171.pdf |

| Norma | Nombre | Descripción | Última actualización | Enlace a la norma |
|-----------------|---|--|----------------------|---|
| EIGA Doc 211/17 | Hydrogen Vent Systems for Customer Applications | Provee recomendaciones y una metodología para el diseño seguro de sistemas de ventilación para instalaciones de hidrógeno y equipamiento ubicados en ubicaciones de consumo. | 2017 | https://www.eiga.eu/ct_documents/doc211-pdf/ |
| EN 13445-5 | Unfired pressure vessels. Inspection and testing | Especifica los procedimientos de inspección y pruebas para recipientes a presión no sometidos a llama. | 2021 | https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0065779 |
| EN 16726 | Gas infrastructure - Quality of gas - Group H | Establece las características de calidad del gas para los gases clasificados como del grupo H. | 2019 | https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=norma-une-en-16726-2016-a1-2019-n0061668 |
| IEC 60079-10-1 | Classification of areas - Explosive gas atmospheres | Esta norma establece los criterios esenciales para la clasificación de áreas donde puede existir un riesgo de incendio o explosión debido a la posible presencia de gas inflamable o vapor. Además, proporciona orientación sobre factores y parámetros relevantes para tales evaluaciones. | 2020 | https://webstore.iec.ch/en/publication/63327 |
| ISO 16110 | Hydrogen generators using fuel processing technologies | Esta norma se aplica a sistemas de generación de hidrógeno autocontenidos o ensamblados en fábrica con una capacidad inferior a 400 m³/h a 0 °C y 101,325 kPa. Estos sistemas convierten un combustible de entrada en un flujo rico en hidrógeno adecuado para su uso en dispositivos como sistemas de celdas de combustible o sistemas de compresión, almacenamiento y distribución de hidrógeno. Se aplica a generadores de hidrógeno que utilizan diferentes tipos de combustibles de entrada, como gas natural, alcoholes, mezclas gaseosas y otros compuestos orgánicos ricos en hidrógeno. | 2021 | https://www.iso.org/standard/41045.html |
| ISO 16111 | Transportable gas storage devices — Hydrogen absorbed in reversible metal hydride | Esta norma define los requisitos aplicables al material, diseño, construcción y pruebas de sistemas de almacenamiento de gas de hidrógeno transportables, conocidos como “conjuntos de hidruros metálicos” (MH), que utilizan carcasas con un volumen interno que no excede los 150 litros y una presión máxima de desarrollo (MDP) que no supera los 25 MPa. Se aplica a conjuntos de almacenamiento MH recargables donde el hidrógeno es el único medio transferido. | 2024 | https://www.iso.org/standard/67952.html |
| ISO 22734 | Hydrogen generators using water electrolysis — Industrial, commercial, and residential applications | Esta norma define los requisitos de construcción, seguridad y desempeño de los generadores de hidrógeno que utilizan reacciones electroquímicas para electrolizar el agua y producir hidrógeno. Se aplica a generadores de hidrógeno para uso industrial, comercial y residencial en áreas protegidas, como garajes, cuartos de servicios públicos y áreas similares de una vivienda. No incluye generadores de hidrógeno que también generan electricidad (como celdas de | 2019 | https://www.iso.org/standard/69212.html |

| Norma | Nombre | Descripción | Última actualización | Enlace a la norma |
|--------------|---|--|----------------------|---|
| | | combustible reversibles) ni aquellos que suministran oxígeno como producto. | | |
| ISO 26142 | Hydrogen detection apparatus — Stationary applications | Define los requisitos de rendimiento y los métodos de prueba de los aparatos de detección de hidrógeno diseñados para medir y monitorear las concentraciones de hidrógeno en aplicaciones estacionarias. Esta norma se aplica a los aparatos de detección de hidrógeno utilizados para lograr operaciones de seguridad de uno y/o varios niveles, como la purga de nitrógeno o la ventilación y/o el cierre del sistema correspondiente a la concentración de hidrógeno. | 2021 | https://www.iso.org/standard/52319.html |
| ISO/TR 15916 | Basic considerations for the safety of hydrogen systems | La norma ISO 15916 proporciona pautas para el uso de hidrógeno en sus formas gaseosas y líquidas, así como su almacenamiento en cualquiera de estas u otras formas (hidruros). Identifica las preocupaciones básicas de seguridad, los peligros y los riesgos, y describe las propiedades del hidrógeno que son relevantes para la seguridad. | 2023 | https://www.iso.org/standard/56546.html |
| NFPA 2 | Hydrogen technologies Code | La norma NFPA 2 tiene el propósito de proporcionar salvaguardas fundamentales para la generación, instalación, almacenamiento, tuberías, uso y manipulación de hidrógeno en forma de gas comprimido (GH2) o líquido criogénico (LH2). | 2023 | https://www.nfpa.org/es/products/nfpa-2-code/p0002code |
| NFPA 497 | Recommended Practice for the Classification of Flammable Liquids, Gases, or Vapors and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas | Establece criterios para determinar los peligros de inflamabilidad en áreas de procesos químicos que utilizan líquidos, gases o vapores inflamables, con el fin de ayudar en la selección segura de sistemas y equipos eléctricos en ubicaciones peligrosas. | 2024 | https://www.nfpa.org/es/codes-and-standards/nfpa-497-standard-development/497 |
| NFPA 55 | Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code | Aplica a la instalación, almacenamiento, uso y manejo de gases comprimidos y fluidos criogénicos en cilindros portátiles y estacionarios, contenedores, equipos y tanques en todas las ocupaciones. | 2023 | https://www.nfpa.org/es/codes-and-standards/nfpa-55-standard-development/55 |

4 Marco regulatorio en materia de seguridad en H2R

En esta sección se realiza un análisis y actualización del marco regulatorio en materia de seguridad en H2R y sus derivados, tomando como línea de base el informe “Hidrógeno – cadena de valor y legislación internacional”, de GIZ (2020). Por dicha razón, en el caso de la Unión Europea los instrumentos y estándares internacionales que se revisarán abarcan el periodo 2020-2023.

4.1 Marco jurídico en materia de seguridad en H2R en países de referencia

4.1.1 Unión Europea

Se destaca el Reglamento (UE) 2022/869 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2022, relativo a las orientaciones sobre las infraestructuras energéticas transeuropeas y por el que se modifican los Reglamentos (CE) n°715/2009, (UE) 2019/942 y (UE) 2019/943 y las Directivas 2009/73/CE y (UE) 2019/944 y se deroga el Reglamento (UE) n°347/2013.

Como señala su artículo 1, este reglamento “establece orientaciones para el oportuno desarrollo e interoperabilidad de los corredores y áreas prioritarios de infraestructura energética transeuropea” (...) “que contribuyen a garantizar la mitigación del cambio climático, en particular, a alcanzar los objetivos en materia de energía y clima de la Unión para 2030 y su objetivo de neutralidad climática para 2050 a más tardar, así como a garantizar las interconexiones, la seguridad energética, la integración de los mercados y sistemas y una competencia que beneficie a todos los Estados miembros, así como unos precios asequibles de la energía”.

Por otra parte, en materia de energías renovables en general, se destaca la Directiva (UE) 2023/2413 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de octubre de 2023 por la que se modifican la Directiva (UE) 2018/2001, el Reglamento (UE) 2018/1999 y la Directiva 98/70/CE en lo que respecta a la promoción de la energía procedente de fuentes renovables y se deroga la Directiva (UE) 2015/652 del Consejo.

A propósito del hidrógeno, esta directiva reconoce que los “combustibles renovables de origen no biológico, incluido el hidrógeno renovable, pueden utilizarse como materia prima o fuente de energía en procesos industriales y químicos y en el transporte marítimo y aéreo, descarbonizando sectores en los que la electrificación directa no es posible técnicamente o no es competitiva. También pueden utilizarse para el almacenamiento de energía para equilibrar, cuando sea necesario, el sistema energético, desempeñando así un papel importante en la integración del sistema energético”⁵.

En ese contexto, se regulan ciertas exigencias a los operadores de las distintas etapas de la cadena de valor. Por ejemplo, se establece que “cuando se suministre gas a través de una red de hidrógeno o gas natural, incluidos combustibles renovables gaseosos de origen no biológico y biometano, se exigirá al suministrador que demuestre a los consumidores finales la cuota o la cantidad de energía procedente de fuentes renovables de su combinación energética”⁶, y que “los Estados miembros garantizarán que la contribución de los combustibles renovables de origen no biológico utilizados como energía final y para fines no energéticos represente al menos el 42 % del hidrógeno utilizado como energía final y para fines no energéticos en la industria a más tardar en 2030, y el 60 % a más tardar en 2035”⁷ entre otros aspectos.

También se destaca en esta materia la Directiva (UE) 2023/1791 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de septiembre de 2023, relativa a la eficiencia energética. Esta directiva “establece un marco común de medidas para el fomento de la eficiencia energética dentro de la Unión a fin de garantizar la consecución de los objetivos de la Unión en materia de eficiencia energética y crea un marco propicio para mejoras ulteriores de eficiencia energética”⁸.

Dentro de estas medidas, a propósito del hidrógeno, la directiva establece que la Comisión Europea evaluará cada cinco años si la Unión Europea ha logrado sus objetivos en materia de eficiencia energética, incluyendo en dicha evaluación “los efectos operados en los esfuerzos por electrificar la economía o la introducción del

⁵ Directiva (UE) 2023/2413 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de octubre de 2023, considerando 75.

⁶ Ibid., artículo 1, N°9 d).

⁷ Ibid., artículo 1 N°12.

⁸ Directiva (UE) 2023/1791 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de septiembre de 2023, artículo 1°.

hidrógeno, incluyendo si podría justificarse algún cambio en el tratamiento de las fuentes de energía renovables limpias y propondrá, si procede, soluciones para cualquier efecto adverso que pueda detectarse”⁹.

4.1.2 Alemania

La mayoría de la normativa aplicable al hidrógeno en Alemania se basa en la legislación europea (Directivas –que requieren transposición nacional– o Reglamentos –directamente aplicables–) o debe adaptarse a ella. Asimismo, la mayor parte de las normas utilizadas en la actualidad están armonizadas con normas internacionales o europeas¹⁰, y se refieren a sustancias peligrosas.

Dentro de la normativa internacional aplicable a Alemania se destacan las siguientes normas y comités técnicos¹¹:

- i. Directiva europea sobre infraestructuras de combustibles alternativos (AFID) (2014/94/EU).
- ii. Reglamento técnico global sobre vehículos impulsados por hidrógeno y celdas de combustible de la Unión Europea (GTR 13).
- iii. Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera (ADR).
- iv. ISO/TC 197. Tecnologías de hidrógeno.
- v. ISO/TC 158. Análisis de gases.
- vi. ISO/TC 58. Cilindros de gas.
- vii. ISO/TC 22. Vehículos de carretera.
- viii. IEC TC 105. Tecnologías de celdas de combustible.
- ix. IEC TC 31. Equipamiento para atmósferas explosivas.
- x. CEN TC 268. Recipientes criogénicos.
- xi. CEN-CELENEC/JTC 6. Hidrógeno en sistemas de energía¹².

A nivel nacional, se destaca también cierta normativa aplicable al hidrógeno, desde la regulación de las sustancias peligrosas:

- i. BetrSichV (Directiva Alemana de Seguridad en las Operaciones)
- ii. TRBS 3151 (Reglas Técnicas sobre Seguridad en las Operaciones).

Además de lo anterior, se destaca la siguiente normativa aplicable a combustibles, que también resulta aplicable al hidrógeno:

- i. Segunda Ordenanza por la que se modifica la Ordenanza sobre las características y el etiquetado de la calidad de los carburantes y combustibles para calefacción.
- ii. Décima Ordenanza sobre la aplicación de la Ley Federal de Control de Inmisiones (Ordenanza sobre las características y el etiquetado de la calidad de los combustibles y carburantes - 10^a BImSchV).

Por último, es relevante señalar la Estrategia Nacional del Hidrógeno (Nationale Wasserstoffstrategie, NWS), presentada en 2020 y actualizada en 2023. Esta estrategia se basa en 4 objetivos: (i) Garantizar una suficiente disponibilidad de hidrógeno; (ii) Desarrollar una infraestructura de hidrógeno; (iii) Implementación de las aplicaciones del hidrógeno; (iv) Crear un marco regulatorio adecuado. Es particularmente el cuarto objetivo el que se relaciona directamente con este estudio, apuntando a establecer estándares de sostenibilidad y certificaciones uniformes para el hidrógeno y sus derivados. Esta estrategia no sólo apunta a establecer normativa y estándares en Alemania, sino que el desarrollo a nivel Europeo e internacional de “procedimientos de aprobación, estandarización uniforme y sistemas de certificación”¹³.

Entre las medidas de la NWS establecidas para la creación de condiciones marco adecuadas de cara al periodo 2024-2025 se destacan las siguientes:

⁹ Ibid., artículo 35.

¹⁰ Wurster, Reinhold; Hof, Elena. The german hydrogen regulation, codes and standards roadmap. Int J Energy Res.2021. [traducción propia], p. 4.835.

¹¹ Los comités técnicos (technical committees) son conformados por un grupo de expertos que se reúne para desarrollar y mantener normas internacionales en un área específica. En el presente estudio son señalados con la sigla TC junto al organismo respectivo, por ejemplo “ISO/TC”.

¹² Esta norma se encuentra en elaboración.

¹³ Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Berlín.

- Evaluación y consideración de criterios de biodiversidad y gestión sostenible del agua y la tierra, incluyendo la protección de los derechos humanos. También en la fase de aceleración del mercado.
- El Gobierno Federal pretende construir relaciones de colaboración más sólidas y estrechas con los Estados miembros de la UE interesados para garantizar un impulso coordinado del mercado, establecer normas comunes ambiciosas, facilitar la coordinación y garantizar importaciones coordinadas.

Se establece como necesario seguir investigando en los aspectos de seguridad y riesgos medioambientales del transporte y almacenaje del hidrógeno y sus derivados, incluidos buques transportadores de hidrógeno, plantas de regasificación y craqueadores de amoníaco.

4.1.3 Estados Unidos

La regulación del hidrógeno en Estados Unidos se ha desarrollado tanto a nivel federal como de los estados en particular, con dispares avances entre ellos.

En lo que interesa para efectos de este estudio, en la cadena de valor de hidrógeno en Estados Unidos la mayoría de los requerimientos y exigencias de seguridad son regulados mediante estándares y normas internacionales, destacándose los estándares de OSHA¹⁴ y NFPA 2¹⁵. A este respecto, en materia de producción de hidrógeno se han regulado aspectos de seguridad y distancias de separación mediante el estándar CFR¹⁶ 1910.103.

Además, considerando que Estados Unidos cuenta con la red de tuberías más larga del mundo¹⁷, son aplicables al respecto las regulaciones técnicas referidas a gases inflamables, como el CFR 1910.101 sobre gases comprimidos. También son aplicables los estándares de tuberías y procesos de ASME¹⁸.

Por su parte, el Estado de California ha desarrollado ciertas reglas para las estaciones de recarga de hidrógeno mediante el California Fire Code, incluyendo requerimientos para los sistemas dispensadores y equipamiento aprobado (cilindros, tuberías, tanques, generadores de hidrógeno, equipos eléctricos, entre otros), además de hacer aplicable la NFPA 2¹⁹.

En particular respecto al California Fire Code destacan las reglas en materia de abastecimiento de combustible de hidrógeno para motores y generación de hidrógeno (sección 2309), depósitos superficiales de hidrógeno líquido (sección 5806.3), depósitos subterráneos de hidrógeno líquido (sección 5806.4), salas de hidrógeno gaseoso (sección 5808), y abastecimiento de combustible gaseoso móvil de vehículos de hidrógeno (sección 5809).

Así, en la sección 2309, se señala en términos generales que las instalaciones de suministro y generación de combustible de hidrógeno para motores deberán ajustarse a lo dispuesto en esta sección, en el capítulo 58 y en la norma NFPA 2; y que cuando una instalación de suministro de combustible incluya un taller de reparación, la operación de reparación deberá cumplir lo dispuesto en la sección 2311 (sobre talleres de reparación). Y continúa la sección indicando las secciones y reglas a las que deberán remitirse estas instalaciones en materia de seguridad, así como estableciendo también algunas reglas específicas aplicables a estas instalaciones²⁰.

¹⁴ Occupational Safety and Health Administration of the U.S. Department of Labor.

¹⁵ National Fire Protection Association.

¹⁶ Code of Federal Regulations.

¹⁷ OECD iLibrary. Risk-based Regulatory Design for the Safe Use of Hydrogen. The hydrogen regulatory landscape [en línea]. Disponible en: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/6130062f-en/index.html?itemId=/content/component/6130062f-en>. [última revisión: 12 de diciembre de 2023].

¹⁸ American Society of Mechanical Engineers.

¹⁹ OECD iLibrary. Risk-based Regulatory Design for the Safe Use of Hydrogen. The hydrogen regulatory landscape [en línea]. Disponible en: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/6130062f-en/index.html?itemId=/content/component/6130062f-en>. [última revisión: 12 de diciembre de 2023].

²⁰ Por ejemplo, y por mencionar solo algunas, indica que los sistemas surtidores estarán equipados con un dispositivo de protección contra la sobrepresión ajustado a un valor no superior al 140% de la presión de servicio de la boquilla de abastecimiento de combustible a la que abastece (sección 2309.4.1); que además de la válvula de cierre de emergencia manual exigida en la sección 2309.5.2, se instalará un control de cierre de emergencia manual a distancia, y que el control de parada de emergencia estará situado a menos de 22 860 mm (75 pies) de los surtidores y generadores de hidrógeno, pero a no menos de 7 620 mm (25 pies) de ellos (sección 2309.5.3); y que se mantendrá in situ un procedimiento documentado que explique la secuencia lógica de las operaciones de descarga de combustible o de descarga y que se

La sección 5806.3, por su parte, establece las reglas a las que se ajustarán los depósitos superficiales para el almacenamiento de hidrógeno líquido. Así, dispone que el recipiente interior de los depósitos de almacenamiento en servicio de hidrógeno líquido se diseñará y construirá de conformidad con la sección VIII, división 1, del Código ASME de calderas y recipientes a presión y se encamisará al vacío (sección 5806.3.1.); indicando además que para la construcción de la camisa de vacío utilizada como recipiente exterior de los depósitos de almacenamiento en servicio de hidrógeno líquido se empleará acero soldado y estará diseñada para soportar la presión máxima interna y externa a la que estará sometida en condiciones de funcionamiento que incluyan condiciones de descarga de presión de emergencia del espacio anular entre el recipiente interior y el exterior. La camisa debe estar diseñada para soportar un diferencial de presión de colapso mínimo de 30 psi (207 kPa) (sección 5806.3.2). Por último, indica que deberá preverse una conexión en el exterior de la camisa de vacío para permitir la medición de la presión dentro del espacio anular entre el recipiente interior y el exterior. La conexión estará provista de una válvula de fuelle o de válvula de diafragma equipada con un tubo del vacuómetro que esté blindado para protegerlo contra daños por impacto (sección 5806.3.2.1).

En materia de depósitos subterráneos para el almacenamiento de hidrógeno líquido, se indica que estos se diseñarán y construirán de conformidad con el Código ASME de calderas y recipientes a presión (sección VIII, división 1). Se establecen reglas en materia de ubicación (sección 5806.4.2), indicándose que los tanques de almacenamiento se ubicarán en el exterior de acuerdo con lo siguiente: (i) los tanques y el equipo asociado se ubicarán con respecto a los cimientos y soportes de otras estructuras de tal manera que las cargas soportadas por estas últimas no puedan transmitirse al tanque; (ii) la distancia entre cualquier parte del tanque y la pared más próxima de un sótano, foso, bodega o línea de parcela no será inferior a 3 pies (914 mm); y (iii) se mantendrá una distancia mínima de 305 mm (1 pie), de pared a pared, entre depósitos subterráneos. Luego, en materia de profundidad, cubierta y relleno (sección 5806.4.3), se indica que el depósito se enterrará de forma que la parte superior de la camisa de vacío quede cubierta con no menos de 305 mm (1 pie) de tierra y con hormigón de no menos de 102 mm (4 pulgadas) de espesor colocado sobre la cubierta de tierra. El hormigón se extenderá horizontalmente no menos de 1 pie (305 mm) más allá de la huella del tanque en todas las direcciones. Los tanques subterráneos se colocarán sobre cimientos firmes contruidos de acuerdo con el Código de Construcción de California y rodeados con no menos de 6 pulgadas (152 mm) de material inerte no corrosivo, como arena. Por último, se indican las secciones a las que tendrán que sujetarse otras instalaciones tales como tuberías de ventilación, tuberías subterráneas; entre otras reglas.

En materia de salas de hidrógeno gaseoso, se dispone que estas deberán diseñarse y construirse de acuerdo con el Código de Construcción de California (sección 5808.1) y las siguientes reglas: no deberán ubicarse por debajo del nivel del suelo (sección 5808.2); aquellas que no superen la cantidad máxima permitida por zona de control de la tabla 5003.1.1(1) deberán estar separadas de otras zonas del edificio de acuerdo con la Sección 509.1 del Código de Construcción de California (sección 5808.3); deberán disponer de un sistema de ventilación diseñado para mantener una presión negativa con respecto a las habitaciones y espacios circundantes (5808.3.1); deberán disponer de un sistema de detección de gases (sección 5808.5); entre otras reglas.

Por último, en materia de abastecimiento móvil de hidrógeno gaseoso en los depósitos de combustible de los vehículos impulsados por hidrógeno, se dispone que se queda prohibido el abastecimiento móvil de hidrógeno líquido (sección 5809.1); que dichas actividades no se llevarán a cabo sin haber obtenido previamente un permiso y la aprobación del funcionario del código de incendios (sección 5809.1.1.); se establecen las reglas que deberán cumplir los vehículos de servicio en carretera (sección 5809.2); la documentación requerida (sección 5809.3); entre otras reglas.

4.2 Marco jurídico en materia de seguridad en H2 y amoníaco en países de la Red de Aprendizaje de hidrógeno renovable en América Latina y el Caribe.

4.2.1 Chile

En la legislación respecto de hidrógeno en Chile, se debe destacar la Ley 21.305 sobre eficiencia energética (promulgada en febrero de 2021) que modifica el Decreto Ley N° 2.224, de 1978, del Ministerio de Energía, incluyendo al hidrógeno y combustibles a partir de hidrógeno dentro de las competencias en el sector energía de este Ministerio y otorgando su calificación como vector energético.

facilitará al responsable del código contra incendios cuando éste lo solicite; asimismo, el procedimiento incluirá las medidas que debe adoptar el operador en caso de que se produzca una fuga de hidrógeno a baja o alta presión durante la actividad de descarga (sección 2309.6.1); entre otras reglas en la materia.

Ahora bien, en materia de seguridad no existe normativa específica que regule la cadena de valor del hidrógeno como vector energético. A continuación, se expone la normativa o guías de apoyo que los órganos sectoriales con competencia en la materia han desarrollado, la que —como se verá— se remite en varios aspectos a estándares internacionales y normas técnicas.

a. Reglamento de seguridad de instalaciones de hidrógeno (D.S. 13, de 2022, tomado de razón en junio de 2024)

Este reglamento establece los requisitos mínimos de seguridad que deberán cumplir las instalaciones de hidrógeno en estado de ser utilizado como recurso energético, en las etapas de diseño, construcción, operación, mantenimiento, reparación, modificación, inspección y término definitivo de operaciones, y en las cuales se realizarán las actividades de producción, acondicionamiento, almacenamiento, transferencia y consumo de hidrógeno —sin perjuicio de otras medidas preventivas que puedan adoptarse como buenas prácticas—. Se establecen, además, las obligaciones y responsabilidades de las personas naturales y jurídicas que intervienen en dichas actividades, con el objetivo de desarrollarlas en forma segura y controlando el riesgo, de manera tal, que no constituyan peligro para las personas o las cosas.

Cabe señalar que el Reglamento resulta aplicable a todas las instalaciones salvo las instalaciones surtidoras de hidrógeno para vehículos terrestres, ferroviarios, aéreos o marítimos; las redes de transporte y distribución de hidrógeno que se utilizan para trasladar el hidrógeno fuera de la instalación de hidrógeno; los vehículos que operen con hidrógeno, sean terrestres, ferroviarios, aéreos o marítimos; y los vehículos, ferrocarriles, naves o aeronaves que transporten hidrógeno. Para las instalaciones que no son contempladas por el reglamento sigue vigente la "Guía de apoyo para solicitud de autorización de proyectos especiales de hidrógeno" (Guía SEC). Por lo tanto, para los distintos proyectos se debe considerar uno u el otro según corresponda y no ambos.

En materia de normas técnicas aplicables, el Reglamento precisa que se tratará de las siguientes:

- i. Norma Chilena Oficial NCh2369. Of 2003, Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales.
- ii. Norma Chilena Oficial NCh2745:2013, Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica.
- iii. Norma Chilena NCh1914/1. Of:1984, Prevención de incendios en edificios – Parte 1.
- iv. Norma Chilena NCh1914/2. Of:1985, Prevención de incendio en edificios – Parte 2.
- v. Norma Chilena NCh2190:2019, Transporte terrestre de mercancías peligrosas.
- vi. Norma Chilena NCh1411/4:2000, Prevención de riesgos - Parte 4: Señales de seguridad para la identificación de riesgos de materiales.
- vii. Norma Chilena NCh19.Of:1979, Prevención de riesgos - Identificación de sistemas de tuberías.
- viii. Norma Chilena Oficial NCh1377. Of.1990, Gases comprimidos - Cilindros de gas para uso industrial – Marcas para identificación del contenido y de los riesgos inherentes.
- ix. Norma Chilena Oficial NCh935/I. Of.1997, Prevención de incendio en edificios - Ensayo de resistencia al fuego - Parte 1: Elementos de construcción en general.
- x. Norma Chilena NCh-ISO IEC 17000:2020, "Evaluación de la conformidad - Vocabulario y principios generales.

En materia de normas técnicas internacionales aplicables, el Reglamento señala a las siguientes:

- i. NFPA 2.
- ii. UNE-EN ISO 1182, Reaction to fire tests for products. Non-combustibility test, edition 2020.
- iii. International Building Code, edition 2021.
- iv. OSHA 29 CFR 1910.165, Fire Protection- Occupational Safety and Health Standards- Employee alarm systems.
- v. ISO 834- 1, Fire-resistance tests - Elements of building construction.
- vi. IEC 62282-3-100:2019 Fuel cell technologies - Part 3 -100: Stationary fuel cell power systems – Safety.

Dentro de los principales contenidos del Reglamento, destaca que sólo se podrá encomendar el diseño de proyectos, la construcción, modificación y reparación de instalaciones de hidrógeno a instaladores de gas autorizados por la Superintendencia de acuerdo con lo dispuesto en el Decreto Supremo Nº191, de 1995, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, que aprueba reglamento de instaladores de gas, y sus modificaciones o disposición que la reemplace.

Asimismo, el Reglamento dispone que las instalaciones de hidrógeno deberán contar con un Sistema de Gestión de Seguridad y Riesgos, Manual de Seguridad y Plan de Emergencia y Accidentes, de acuerdo con las normas establecidas en el Reglamento.

El Reglamento contiene también la indicación de las normas técnicas o domésticas que resultarán aplicables en materia de requerimientos generales de diseño, construcción y operación de instalaciones de hidrógeno. Así, por mencionar solo un ejemplo, indica que para el diseño y construcción de instalaciones de hidrógeno se aplicarán también las especificaciones particulares contenidas en los Capítulos 4, 6 y 7 de la NFPA2.

En materia de sistemas de producción de hidrógeno, el Reglamento dispone que el diseño y construcción de estos deberán sujetarse además a las especificaciones contenidas en el Capítulo 13 de la NFPA2 –además de otras reglas que se pormenorizan–. Respecto a los sistemas de celdas de combustible para generación eléctrica, dispone que estos deberán, además, cumplir las especificaciones particulares contenidas en el Capítulo 12 de la NFPA2.

Por último, el Reglamento contiene una serie de normas respecto a la información a otorgar a la autoridad (Superintendencia), relativa a la notificación de inicio de obras, inscripción de la instalación de hidrógeno, informe de término definitivo de operaciones, comunicación de informes de accidentes e incidentes; entre otros.

b. Guía de implementación de pilotos y validación de tecnologías que utilizan hidrógeno como combustible en minería. Servicio Nacional de Geología y Minería, 2022 (“Guía de Sernageomin”).

El objetivo de la guía del Servicio Nacional de Geología y Minería (“Guía de Sernageomin”) consiste en “definir los requerimientos necesarios para la implementación de los proyectos pilotos en que se desarrollen pruebas, en donde se produzca, acondicione, transporte, distribuya, almacene y/o utilice Hidrógeno (H₂) como combustible, en las faenas y operaciones mineras y que buscan validar un proceso que posteriormente se realizará de manera permanente; y estandarizar dentro del SERNAGEOMIN, los criterios de evaluación, aplicables a todos los proyectos que reúnan las mismas características”²¹. La guía descrita a continuación busca reducir la probabilidad de incidentes y accidentes durante la prueba y cuidar la estabilidad fisicoquímica de las instalaciones.

En ese contexto, ante una propuesta de proyecto que involucre la utilización de hidrógeno como combustible en minería, la Guía de Sernageomin permite comunicar los estándares establecidos por dicho servicio para garantizar el cumplimiento de los requerimientos establecidos, entre otras disposiciones, en el artículo 31 del Decreto Supremo N°132 de 2002, del Ministerio de Minería, que “Aprueba Reglamento de Seguridad Minera”, y que exige a la empresa minera “adoptar las medidas necesarias para garantizar la vida e integridad de los trabajadores propios y de terceros, como asimismo de los equipos, maquinarias, e instalaciones, estén o no indicadas en este reglamento”.

Para estos efectos, dentro de la información que debe aportar el proponente, se encuentra el cumplimiento de estándares nacionales/internacionales, lo que implica que se debe “señalar las normativas técnicas y estándares de seguridad nacionales o internacionales que se utilizarán en el diseño, la aplicación, la operación y cierre del proyecto presentado”²². Con ese objetivo, el Sernageomin propone un listado de normativa técnica para las distintas etapas de la cadena de valor del hidrógeno, que pueden ser adoptadas por el proponente, distinguiendo entre aquella normativa (i) general a la cadena de valor; relativa a (ii) producción de H₂; (iii) acondicionamiento; (iv) almacenamiento; (v) transporte y distribución; (vi) calidad del H₂; (vii) estaciones de dispensado público de hidrógeno; (viii) consumo (vehículos y generación de calor); y (ix) otros estándares normativos²³.

²¹ Guía de Sernageomin, p. 7.

²² Guía de Sernageomin, p. 14.

²³ El listado pormenorizado de la normativa técnica se encuentra en la Guía de Sernageomin, p. 19 y ss.

c. Guía de apoyo para solicitud de autorización de proyectos especiales de hidrógeno. Superintendencia de Electricidad y Combustibles, 2021.

Esta guía (“Guía SEC”) tiene el propósito de “orientar a aquellas personas y empresas interesadas en implementar proyectos de hidrógeno cuando éstos consideren alguna instalación relacionada con producción, acondicionamiento, transporte, distribución, almacenamiento o consumo de hidrógeno como combustible”²⁴.

Como señala dicha guía, “en materia de instalaciones energéticas, la normativa nacional establece la obligación de un registro en el que los propietarios deberán inscribir las instalaciones que sirvan para producción, importación, exportación, refinación, transporte, distribución, almacenamiento, abastecimiento, regasificación o comercialicen combustibles derivados del petróleo, biocombustibles líquidos, hidrógeno y combustibles a partir de hidrógeno, gases licuados combustibles y todo fluido gaseoso combustible, como gas natural, gas de red y biogás”²⁵.

En materias de diseño, construcción, puesta en servicio, operación, mantenimiento, inspección y término definitivo de las instalaciones de hidrógeno, corresponde presentar ante la Superintendencia de Electricidad y Combustibles un proyecto especial con el fin que ésta autorice el uso de tecnologías, que aún no se encuentren específicamente reguladas a nivel nacional.

Respecto de los estándares y normativa de seguridad para obtener dicha autorización, la Guía SEC establece que “estas tecnologías deberán estar técnicamente respaldadas en normas, códigos o especificaciones nacionales o extranjeras, así como en prácticas recomendadas de ingeniería internacionalmente reconocidas”²⁶, por lo que exige que se especifiquen “las normas en las que se basa el diseño, construcción, operación, mantenimiento e inspección de las instalaciones, con el fin de garantizar la seguridad del proyecto”²⁷.

Al igual que en el caso de la Guía de Sernageomin, en la Guía SEC también se exponen las normas técnicas y estándares de países de referencia, distinguiendo entre las distintas etapas de la cadena de valor del hidrógeno. Para esos efectos, se distingue entre normativa:

- i. General a la cadena de valor.
- ii. Sobre producción de H₂.
- iii. Sobre acondicionamiento.
- iv. Sobre almacenamiento.
- v. Sobre transporte y distribución.
- vi. Sobre calidad del H₂.
- vii. Sobre celdas combustible.
- viii. Sobre estaciones de dispensado público de hidrógeno.
- ix. Sobre consumo.
- x. Otras normas técnicas informativas²⁸.

d. Proyecto de normas técnicas chilenas en consulta pública

El Instituto Nacional de Normalización de Chile (“INN”) se encuentra elaborando normas técnicas regulatorias del hidrógeno y su cadena de valor. Estas normas se encuentran actualmente en proceso de consulta pública, y se refieren a los siguientes temas:

- i. Recipientes compuestos para aplicaciones de infraestructura de hidrógeno.
- ii. Hidrógeno gaseoso – Estaciones de servicio: requisitos generales.
- iii. Hidrógeno gaseoso – Estaciones de servicio: control de calidad del combustible.

Además, el INN ha dictado algunas normas relativas al hidrógeno, que contienen requerimientos en materia de seguridad. Se destacan las siguientes:

²⁴ Guía SEC, p. 2.

²⁵ Ibid.

²⁶ Ibid.

²⁷ Ibid., p. 11.

²⁸ Guía SEC, p. 16.

- i. Dispositivos de conexión de reabastecimiento de vehículos terrestres de hidrógeno gaseoso (NCh3816:2023): Esta norma define las características de diseño, seguridad y operación de los conectores de reabastecimiento de hidrógeno gaseoso para vehículos terrestres.
- ii. Protección contra los peligros del hidrógeno para vehículos alimentados con hidrógeno comprimido (NCh3822:2023): Esta norma especifica los requisitos esenciales para los vehículos de celda de combustible (VPC) con respecto a la protección de las personas y el medio ambiente, dentro y fuera del vehículo, contra los peligros relacionados con el hidrógeno.
- iii. Sistemas de combustible de hidrógeno gaseoso comprimido (CGH2) y mezclas de hidrógeno y gas natural - Parte 1: Requisitos de seguridad (NCh3824/1:2023): Esta norma especifica los requisitos mínimos de seguridad aplicables a la funcionalidad de los sistemas de combustible a bordo de hidrógeno gaseoso comprimido (CGH2) y mezclas de hidrógeno/gas natural destinados a ser utilizados en los tipos de vehículos de motor definidos en ISO 3833. Es aplicable a vehículos que utilizan hidrógeno gaseoso comprimido (CGH2), de acuerdo con las normas ISO 14687-1 o ISO 14687-2, y mezclas de hidrógeno/gas natural utilizando gas natural, de acuerdo con ISO 15403-1 e ISO/TR 15403-2.
- iv. Generadores de hidrógeno que utilizan tecnologías de procesamiento de combustible – Parte 1: Seguridad (NCh3814/1:2023): Se aplica a los sistemas de generación de hidrógeno auto-contenidos, o ensamblados de fábrica con una capacidad de menos de 400 m³/h a 0 °C y 101,325 kPa, que convierten un combustible de entrada en un caudal rico en hidrógeno de composición y con condiciones adecuadas para el tipo de dispositivo que utiliza el hidrógeno (por ejemplo, un sistema de energía de celda de combustible o un sistema de compresión, almacenamiento y suministro de hidrógeno).

4.2.2 Argentina

La Ley N°26.123, de 2006, estableció el “régimen para el desarrollo de la tecnología, producción, uso y aplicaciones del hidrógeno como combustible y vector de energía” (“Ley 26.123”). Dicha ley declaró de interés nacional el desarrollo de la tecnología, la producción, el uso y aplicaciones del hidrógeno como combustible y vector de energía²⁹, buscando promover “la investigación, el desarrollo, la producción y el uso del hidrógeno como combustible y vector energético, generado mediante el uso de energía primaria y regula el aprovechamiento de su utilización en la matriz energética”³⁰.

En materia de seguridad, la Ley 26.123 estableció que a la autoridad de aplicación de las normas de la ley — la que sería determinada por el Poder Ejecutivo— le corresponde “autorizar toda actividad orientada al uso de hidrógeno como combustible o como portador de energía, estableciendo los parámetros de seguridad obligatorios para su habilitación”³¹. Sin embargo, a la fecha no se han dictado los reglamentos necesarios para su aplicación³², por lo que actualmente Argentina no cuenta con normativa específica en materia de seguridad de hidrógeno como energético.

En materia de normas técnicas internas, se destaca la norma IRAM-ISO/TR 15916, de 2004, sobre “consideraciones básicas para la seguridad en sistemas de hidrógeno”.

4.2.3 Colombia

A propósito de energías renovables, Colombia cuenta con un marco normativo basado en la Ley N°1.715 de 2014, por medio de la cual se reguló la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional, y que fue modificada mediante la Ley N°2.099 de 2021, que dictó disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país, entre otros aspectos, incorporando el hidrógeno verde como fuente no convencional de energía renovable.

Mediante decreto N°1476, de 2022, del Ministerio de Minas y Energía, se reglamentó la Ley N°1.099 en lo relativo a la promoción de la innovación, investigación, producción, almacenamiento, distribución y uso del hidrógeno. Para ello, se precisa que para efectos de la aplicación de las disposiciones de dicho decreto y en las demás normas que lleguen a reglamentar la materia, el hidrógeno será considerado un vector energético usado para almacenamiento energético, como combustible o insumo industrial.

²⁹ Artículo 1° de la Ley 26.123 de Argentina.

³⁰ Artículo 2° de la Ley 26.123 de Argentina.

³¹ Artículo 7 letra m) de la Ley 26.123 de Argentina.

³² GIZ; Centro de Energía UC. Proposición de estrategia regulatoria del hidrógeno para Chile”, de 27 de abril de 2022, p. 26.

El cuerpo normativo en comento dispone además que, en materia de armonización regulatoria, a la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) le corresponderá realizar los ajustes regulatorios necesarios para el uso del hidrógeno destinado a la prestación de los servicios públicos domiciliarios de energía y gas. Igualmente, indica que la CREG establecerá las condiciones para la inyección y transporte de hidrógeno en el Sistema Nacional de Transporte, en las redes de distribución de gas y en los sistemas de transporte por poliductos. Por último, el Ministerio de Transporte, en coordinación con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, regularán lo relativo al hidrógeno en el transporte; mientras que el Ministerio de Minas y Energía, lo relativo al uso vehicular del hidrógeno.

Sin perjuicio de lo anterior, aún no se ha dictado la normativa de seguridad para el uso del hidrógeno como vector energético, manteniéndose en todo caso en la actualidad la regulación del hidrógeno como una sustancia peligrosa³³.

Asimismo, cabe destacar también el decreto N°1732, de 2021, que, si bien no se refiere específicamente al hidrógeno, sí establece un mecanismo exploratorio de regulación (*sandbox*), que puede ser aprovechado por modelos de negocio innovadores en industrias reguladas. A través de este mecanismo, se busca que los ministerios y sectores administrativos puedan crear ambientes especiales de vigilancia y control, para evaluar el funcionamiento y efectos de nuevas tecnologías o innovaciones en la regulación actual, con el fin de determinar su viabilidad de implementación o necesidad de flexibilización o simplificación. Considerando que a través de este mecanismo los participantes deberán garantizar la seguridad e idoneidad de los productos que se ofrezcan, así como la calidad ofrecida, en los casos que corresponda; puede representar una ventana de oportunidad normativa para nuevos proyectos de hidrógeno en el país”.

4.2.4 México

El hidrógeno está regulado en el artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en el que se señala que corresponde a la Nación el dominio directo de todos los carburos de hidrógeno sólidos, líquidos y gaseosos.

En materia de energías renovables, el marco normativo de México se basa principalmente en la Ley de Transición Energética, de 24 de diciembre de 2015; la Ley de la Industria Eléctrica, de 11 de agosto de 2014; y la Ley General de Cambio Climático, de 6 de junio de 2012. Además, el hidrógeno se ha regulado a propósito de normativa sobre sustancias peligrosas³⁴. En particular la Ley de la Industria Eléctrica considera la energía generada por el aprovechamiento del hidrógeno una energía limpia siempre y cuando se cumpla con la eficiencia mínima que establezca la Comisión Reguladora de Energía.

Sin embargo, al ser el hidrógeno verde nuevo en México, no se cuenta con normativa técnica actualizada en materia de seguridad de hidrógeno verde como vector energético. Por esta razón, se han realizado recomendaciones para ajustar la normativa nacional para la inclusión del hidrógeno verde. En ese contexto, se ha recomendado “modificar los Reglamentos de las Leyes en los sectores económicos en los que participe el hidrógeno, o incluso proponer la creación de un Reglamento para la Producción, Manejo y Uso del Hidrógeno verde en México” y “crear regulación técnica que especifique las características necesarias de los sistemas y equipos involucrados en la producción, manejo y consumo de hidrógeno verde”³⁵.

4.2.5 Costa Rica

Sin perjuicio de la normativa general en materia de energías renovables, Costa Rica ha adoptado ciertos estándares internacionales en la regulación del hidrógeno, tales como el INTE/ISO 14687:2020 sobre “Calidad del hidrógeno para aplicaciones energéticas” y el INTE/ISO 22734:2020 sobre “Generadores de hidrógeno que utilizan electrólisis de agua. Aplicaciones industriales, comerciales y residenciales”. Actualmente, las normas adoptadas por Costa Rica se encuentran disponible para su consulta en el catálogo de normas de INTECO (Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica)³⁶.

³³ Ministerio de Minas y Energía de Colombia. Hoja de ruta para el hidrógeno en Colombia, p. 32.

³⁴ Norma Oficial Mexicana (“NOM”)-018-STPS-2015, Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo; NOM-017-CRE-2019, Métodos de medición de variables para el cálculo del porcentaje de energía libre de combustible y procedimiento para la evaluación de la conformidad; entre otros.

³⁵ GIZ. Hidrógeno verde en México: el potencial de la transformación. Tomo IV: Análisis de la cadena de valor local y del potencial de exportación de hidrógeno verde, p. 34.

³⁶ Disponible en: <https://inteco.org/catalogo-de-normas-de-inteco>

Asimismo, Costa Rica cuenta con una Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, de 2023, que entre otras cosas indica que se promoverá el avance de la regulación, taxonomía y normativa técnica referente al hidrógeno verde en toda su cadena de valor. Para ello, en el marco del Sistema Nacional para la Calidad, en el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) se crea un Comité Técnico Nacional que tendrá como objetivo desarrollar normativas técnicas referentes a aspectos de seguridad en la producción, transporte, distribución y uso final del hidrógeno para el contexto costarricense. Indicándose además que se debe brindar el apoyo requerido para que este proceso de creación de normativa técnica continúe avanzando, con el objetivo de facilitar el desarrollo de proyectos con una normativa técnica clara y vigente.

Del mismo modo, se indica que, dado que las normativas técnicas creadas en el marco de INTECO tienen carácter voluntario, se deberán elaborar reglamentos técnicos de hidrógeno, los cuales son los que hacen obligatorias las normas técnicas.

Respecto de las normas INTECO, destacan las siguientes:

- INTE/ISO 14687:2020, Calidad del hidrógeno para aplicaciones energéticas. Requisitos. Este documento especifica las características de calidad mínimas del hidrógeno y/o sus mezclas que se distribuye para su utilización en aplicaciones vehiculares y estacionarias. Contempla las aplicaciones de hidrógeno y/o sus mezclas.
- INTE/ISO 17268:2020. Dispositivos de conexión de reabastecimiento para vehículos terrestres a hidrógeno gaseoso. Este documento define las características de diseño, seguridad y operación de los conectores de reabastecimiento de vehículos terrestres a hidrógeno gaseoso. No es aplicable a los conectores de reabastecimiento que dispensan mezclas de hidrógeno con gas natural.
- INTE/ISO 22734:2020. Generadores de hidrógeno que utilizan electrólisis del agua. Aplicaciones industriales, comerciales y residenciales. Este documento define los requisitos de construcción, seguridad y desempeño de los equipos de generación de hidrógeno modulares o hidrógeno gaseoso contruidos de fábrica, que utilizan reacciones electroquímicas para electrolizar agua para producir hidrógeno. No es aplicable para los generadores de hidrógeno que también se pueden utilizar para generar electricidad, como las celdas de combustible reversibles, ni para los generadores residenciales de hidrógeno que además suministran oxígeno como producto.
- INTE/ISO 19880-8:2022. Hidrógeno gaseoso - Estaciones de abastecimiento - Parte 8: Control de calidad del hidrógeno. Este documento especifica el protocolo para garantizar la calidad del hidrógeno gaseoso en las instalaciones de distribución de hidrógeno y en las estaciones de abastecimiento de hidrógeno para las celdas de combustible de membrana de intercambio de protones de vehículos de carretera.

4.2.6 Uruguay

El hidrógeno se encuentra regulado como sustancia peligrosa en Uruguay³⁷. Asimismo, en materia de normativa técnica asociada a la cadena de valor del hidrógeno como vector energético, en la “Hoja de ruta del hidrógeno verde y derivados en Uruguay” se indica que “ya se ha comenzado a avanzar en la regulación de seguridad en lo que refiere a este vector energético y sus derivados”³⁸. Para ello, la ley N°19.996 otorgó a la Unidad Reguladora de Servicios de Energía y Agua (“URSEA”) competencias regulatorias en la materia.

Recientemente se adoptó el Reglamento de seguridad de proyectos de hidrogeno como fuente de energía secundaria³⁹, aplicable a los proyectos para el desarrollo de las actividades vinculadas al hidrógeno como vector energético para cualquiera de las etapas de producción, acondicionamiento, almacenamiento, distribución, consumo y comercialización.

Dispone el Reglamento que los titulares de los proyectos que se presenten, a efectos de acreditar las condiciones de seguridad, deberán respaldarse en normas técnicas internacionales de referencia en la materia. En su Anexo I contiene un listado de las normas internacionales que serán consideradas por URSEA como de referencia. Para esos efectos, se distingue entre normativa (i) general a la cadena de valor; (ii) sobre producción de H₂; (iii) sobre acondicionamiento; (iv) sobre almacenamiento; (v) sobre distribución y transporte; y (vi) sobre estaciones de dispensado de hidrógeno.

³⁷ Conforme al decreto N°158/985 que Aprueba el Reglamento de Operaciones y Transporte de Mercaderías Peligrosas.

³⁸ Ministerio de Industria, Energía y Minería de Uruguay. Hoja de ruta del hidrógeno verde y derivados en Uruguay (2023), p. 53.

³⁹ Resolución URSEA N° 349/024, de 14 de junio de 2024.

Por último, el Reglamento establece además obligaciones de registro ante la URSEA, tanto de proyectos como de profesionales idóneos.

4.2.7 Conclusión del análisis regional

De la revisión efectuada es posible constatar que los países revisados cuentan con incipientes marcos jurídicos que consideran normas legales o reglamentarias vigentes que regulan los aspectos de seguridad de las instalaciones de hidrógeno. Si bien, en general, la regulación en materia de hidrógeno es aún acotada en dichos países, lo que probablemente se debe al estado de transición regulatoria en que se encuentra el hidrógeno, desde una histórica consideración como una mera sustancia química, a una actual comprensión como un vector energético esencial para los procesos de transición energética de los distintos países; ya se han adoptado los primeros esfuerzos regulatorios en la materia.

El caso más avanzado entre los 6 países de la red es el chileno, que recientemente aprobó un reglamento general de seguridad de instalaciones de hidrógeno. Dicho reglamento se remite además a una serie de normas técnicas que regulan la seguridad de las instalaciones del hidrógeno a lo largo de su cadena de valor. Dicha técnica regulatoria presenta la ventaja de evitar la pormenorización de cuestiones altamente técnicas a nivel reglamentario, otorgando además la flexibilidad necesaria para el avance técnico –dado que las normas técnicas de referencia suelen contar con procesos definidos de revisión normativa–, al mismo tiempo que permite establecer estándares técnicos mínimos como de cumplimiento obligatorio, y no meramente voluntario.

Lo mismo cabe señalar respecto del caso uruguayo, que también recientemente adoptó un reglamento más acotado pero similar al del caso chileno; el cual emplea la misma técnica de remisión a normas técnicas internacionales.

De este modo, los casos de Chile y Uruguay se tratan de ejemplos normativos que pueden ser de utilidad para los países de la red.

4.3 Matriz de permisos en Chile

Parte de la revisión del marco jurídico en materia de seguridad en hidrógeno renovable considera la identificación de permisos ambientales, sectoriales y territoriales. Para esto, se ha elaborado una matriz de permisos⁴⁰ de hidrógeno renovable con foco en seguridad en las aplicaciones específicas de transporte de carga y personas, cogeneración y blending.

Se ha determinado analizar el caso de Chile, puesto que es el país de la red que más avances muestra en su regulación, como ha sido expuesto en el apartado anterior. Esta matriz de permisos considera el levantamiento que se realizó en el estudio “Identificación de aspectos ambientales, sectoriales y territoriales para el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde en toda su cadena de valor” de GIZ (2020).

La matriz se compone principalmente por permisos de los Ministerios de Medio Ambiente, Salud, Defensa, del Interior y Economía, agrupándose en las siguientes tipologías:

- Ambiental.
- Combustible.
- Gasoducto.
- Generación.
- Instalación eléctrica.
- Línea eléctrica.
- Sustancia controlada.
- Caldera.
- Industrial.
- Residuo peligroso.
- Sustancias peligrosas.
- Transporte.

⁴⁰ La matriz es presentada en el Anexo 1.

Por último, es relevante destacar que en enero de 2024 el Gobierno de Chile ingresó un proyecto de ley que establece una Ley Marco de Autorizaciones Sectoriales y modifica cuerpos legales⁴¹. Este proyecto se releva puesto que podría traer cambios a la permisología⁴² en Chile, y, por consiguiente, en los permisos (y tramitación de ellos) asociados al hidrógeno.

Este proyecto de ley persigue la reducción de tiempos de tramitación, a través de las siguientes medidas:

- i. La consagración de los principios de estandarización, facilitación, previsibilidad, proporcionalidad y simplificación administrativa para los procesos que se dicten conforme con el Proyecto;
- ii. la clasificación de las autorizaciones sectoriales según su objeto en una determinada tipología;
- iii. el reconocimiento de técnicas habilitantes alternativas a la autorización;
- iv. normas mínimas de tramitación para las autorizaciones sectoriales;
- v. un sistema de ventanilla única digital para la tramitación de todos los permisos llamado “Sistema de Información Unificado de Permisos” (“Sistema de Información”); y,
- vi. la creación de un órgano público, denominado Servicio para la Regulación y Evaluación Sectorial (“Servicio”).

⁴¹ Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, 2024. Boletín N° 16.566-03. Disponible en: https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmID=300693&prmTipo=DOCUMENTO_COMISION

⁴² Permisología se comprende como “conjunto de permisos que deben obtenerse para realizar un proyecto de inversión” (Biblioteca del Congreso Nacional, 2023).

5 Estándares de seguridad de H2R en particular

5.1 Transporte de carga y personas

El hidrógeno renovable (tanto gaseoso como líquido) aplicado al transporte tomará un papel clave en la transición energética que experimentará el mundo, considerando que a 2020 alrededor del 90% de la energía usada en el mundo en transporte provenía de derivados del petróleo (Internacional Energy Agency, 2020) y por la contribución del sector de transporte a la emisión de gases de efecto invernadero, la cual es “la principal fuente de emisiones de GEI en América Latina y el Caribe (ALC); representa casi el 39 % de las emisiones totales”⁴³.

Sin embargo, resulta alentador saber que en los últimos años la disponibilidad de camiones con celdas de combustible creció sobre un 60%, destacando China como el principal mercado donde actualmente se cuenta con sobre el 95% de los camiones con celdas de combustible en el mundo, respaldado principalmente por políticas favorables e infraestructuras de soporte (International Energy Agency, 2023).

Profundizando en las opciones de consumo de hidrógeno en transporte, se diferencia entre transporte de carga y de personas (ambos casos son abordados en el presente estudio). En el caso del transporte de carga, el consumo de hidrógeno renovable se ha focalizado a la fecha en embarcaciones, trenes, aviones y camiones (CAEX, por ejemplo). Por otra parte, el consumo en transporte de personas se da principalmente en buses (por medio de la utilización de celdas de combustible, como se aborda en la sección de estatus de desarrollo de proyectos).

El presente estudio aborda la normativa de seguridad aplicable al transporte de carga y personas que utiliza el hidrógeno renovable como combustible, en lo que respecta a los ítems destacados en la **Figura 2**.

5.1.1 Estatus de desarrollo de proyectos

En esta sección se presentan casos y proyectos internacionales de distribución y consumo de hidrógeno renovable aplicados a transporte de carga y personas. Los casos se han agrupado en dos categorías: proyectos países de referencia y proyectos países de la red. En el primer grupo se presentan casos de países modelo en hidrógeno renovable (Francia, Alemania, Suiza, Estados Unidos, Japón), identificando ejemplos de vanguardia. Posteriormente, se exhiben casos presentes en los países que componen la red H2R (Chile, Argentina, Colombia, Costa Rica, México y Uruguay) como un levantamiento del estado actual en la región.

⁴³ PNUD. Por qué el transporte de bajas emisiones es clave para América Latina y el Caribe (2023). Disponible en: <https://climatepromise.undp.org/es/news-and-stories/por-que-el-transporte-de-bajas-emisiones-es-clave-para-america-latina-y-el-caribe>

5.1.1.1 Proyectos países de referencia

Tabla 2: Desarrollo de proyectos de transporte en países de referencia. Fuente: Elaboración propia.

| Proyecto | País | Tipo de Transporte | Entidades relacionadas | Descripción |
|---|----------------|-------------------------------|---|---|
| Energy Observer ⁴⁴ - Fase de demostraciones | Francia | Transporte marítimo de carga | <ul style="list-style-type: none"> • Accor • Thélém Assurances • Air Liquide • Groupe BPCE | <ul style="list-style-type: none"> • Primera embarcación propulsada por hidrógeno y energías renovables del mundo. • En 2020 completó sin emisiones un viaje transatlántico alrededor del mundo de 9.000 kilómetros. • Cuenta con una plataforma de 202 m² cubierta de paneles solares. La electricidad que se genera es almacenada en una serie de baterías de iones de litio. • Por medio de electrólisis se emplea la energía acumulada en las baterías para separar el hidrógeno del oxígeno del agua de mar que la embarcación recoge y purifica. • El H2 es empleado en una celda de combustible desarrollada por Toyota. • En 2022, en la cumbre One Ocean se presentó el prototipo del Energy Observer 2, carguero multipropósito que ofrecerá una capacidad de transporte y autonomía más elevadas. |
| Mercedes-Benz GenH2 – Fase de demostraciones | Alemania | Transporte terrestre de carga | <ul style="list-style-type: none"> • Mercedes-Benz • Daimler Truck AG | <ul style="list-style-type: none"> • Camión impulsado por sistema de celda de combustible y equipado con sistema de tanque de hidrógeno líquido. • En diciembre de 2023 el camión completó un recorrido de 1.047 km desde Woerth am Rhein a Berlín con un peso de 40 toneladas sin emitir CO2. • El recorrido estableció el récord de conducción con depósito sellado y kilometraje controlado, siendo confirmado de forma independiente mediante un documento de inspección de TÜV Rheinland. |
| GenH2 – Mobile Liquid Hydrogen LS20 ⁴⁵ - En comercialización | Estados Unidos | Transporte terrestre de carga | <ul style="list-style-type: none"> • U.S. Department of Energy • NREL • University of Houston • H2 Scale • CB&I • Shell | <ul style="list-style-type: none"> • Camión que funciona como sistema a pequeña escala, permitiendo licuar, almacenar y transferir hidrógeno dentro de un remolque móvil para tener la flexibilidad de proporcionar hidrógeno donde sea necesario. |

⁴⁴ Sitio web oficial disponible en: <https://www.energy-observer.org/>

⁴⁵ Sitio web oficial disponible en: <https://genh2hydrogen.com/solutions/mobile-liquid-hydrogen/>

| Proyecto | País | Tipo de Transporte | Entidades relacionadas | Descripción |
|---|-----------|------------------------------|---|--|
| | | | <ul style="list-style-type: none"> NASA Kennedy Space Center ASTM International Pdc Machines Cryogenics TestLab KSC Advance Cooling Technologies Supernode | <ul style="list-style-type: none"> La propuesta de valor reside en la accesibilidad y flexibilidad única frente a los sistemas convencionales de transporte presentes en los mercados. GenH2 es especialista en hidrógeno líquido y cuenta con soluciones de licuefacción, almacenamiento controlado, distribución y sistemas integrados. |
| Suiso Frontier ⁴⁶ - Fase de demostraciones | Japón | Transporte marítimo de carga | <ul style="list-style-type: none"> Kawasaki Heavy Industries Shell Japan Limited Iwatani Corporation J-POWER Marubeni Corporation ENEOS Corporation "K" LINE | <ul style="list-style-type: none"> Primer buque de hidrógeno licuado del mundo. En 2020 se completó su construcción por parte de Kawasaki Heavy Industries. Fue diseñado y desarrollado para contar con un medio de transporte de hidrógeno licuado a 1/800 de su volumen original en estado gaseoso, enfriándolo a -253°C. Suiso Frontier permite este transporte de forma segura y en grandes cantidades a largas distancias por mar, logrando transportar alrededor de 75 toneladas de hidrógeno licuado en un viaje. En febrero de 2022 el buque completó el viaje de ida y vuelta entre Japón y Australia, superando los 9.000 km. El Director Ejecutivo de la compañía ha declarado que "ya está en marcha la siguiente fase del proyecto para construir un transportador de hidrógeno licuado a escala comercial para mediados de la década de 2020, con el objetivo de comercializarse a principios de la década de 2030". Se estima que tendrá una capacidad 128 veces mayor a Suiso Frontier. |
| Camión nuGEM Anglo American ⁴⁷ - Fase de demostraciones | Sudáfrica | Transporte de carga | <ul style="list-style-type: none"> Anglo American ENGIE First Mode Ballard NPOXX | <ul style="list-style-type: none"> Primer camión minero propulsado por hidrógeno renovable. En agosto de 2021 Anglo American generó la primera molécula de H2 Verde para vehículos cero carbono del país, la primera experiencia de la compañía con la llamada "energía del futuro". Parte de la iniciativa Zero Emission Haulage Solution (ZEHS), un sistema integrado de producción, transporte y combustible de hidrógeno verde que alimente las operaciones en el futuro y que permita la carbono neutralidad en sus operaciones a 2040. |

⁴⁶ Sitio web oficial disponible en: <https://www.hystra.or.jp/en/project/>

⁴⁷ Publicación en sitio web oficial: <https://chile.angloamerican.com/medios/press-releases/pr-2022/2022-05-06.aspx>

| Proyecto | País | Tipo de Transporte | Entidades relacionadas | Descripción |
|--|------------------------|------------------------|--|--|
| | | | | <ul style="list-style-type: none"> El presidente ejecutivo de la minera, Duncan Wanbald, ha declarado que esperan eliminar “hasta un 80% de las emisiones de diésel de nuestras minas a cielo abierto, una vez que se pueda extender esta tecnología a nuestras flotas en todo el mundo a partir de este piloto”. |
| XCIENT Fuel Cell de Hyundai ⁴⁸ - En comercialización | Suiza | Transporte de carga | <ul style="list-style-type: none"> Hyundai | <ul style="list-style-type: none"> Modelo de camiones de Hyundai de celda de combustible a hidrógeno fabricado en serie. Se ha implementado en Suiza, Alemania, Israel, Corea y Nueva Zelanda. Esta flota de camiones superó en once meses el millón de kilómetros por carretera, logrando una reducción de emisiones de CO2 en más de 631 toneladas. Puede recorrer hasta 400 km con una sola carga y alcanzar una velocidad máxima de 85 km/h. Dispone de un depósito con una capacidad de 31 kg de hidrógeno. Se rellena en un tiempo que oscila entre 8 y 20 minutos, dependiendo de la temperatura ambiente. En octubre de 2023 ganó el Green Award en la categoría Mobility en GreenTech Festival Connect Los Ángeles. |
| Grúas horquilla Walmart ⁴⁹ - En operación y expansión | Estados Unidos y Chile | Transporte de carga | <ul style="list-style-type: none"> Walmart Engie | <ul style="list-style-type: none"> Se inicia con flota de 50 montacargas en 2012 en Estados Unidos, la cual se ha aumentado hasta superar las 9.500 unidades. En 2023 se lanzó la iniciativa en la planta de Quilicura en Santiago de Chile. En su primera etapa, el proyecto supone reemplazar las baterías de plomo-ácido de 200 grúas horquillas por celdas de energía de hidrógeno, evitando generar 250 toneladas de desechos tóxicos al año. La inversión del proyecto en Chile alcanza los USD 15 millones. |
| Flota de taxis accesibles Hype ⁵⁰⁵¹ - En | Francia | Transporte de personas | <ul style="list-style-type: none"> Stellantis Hype | <ul style="list-style-type: none"> Flota inicial (2015) compuesta por 50 taxis de hidrógeno, accesibles para sillas de ruedas. Vehículos desplegados en París. |

⁴⁸ Sitio web oficial disponible en: <https://www.hyundai.com/es/es/zonaeco/eco-drive/tendencias/datos-camion-hidrogeno-hyundai-xcient-fuel-cell>

⁴⁹ Publicación en sitio web oficial: <https://www.walmartchile.cl/walmart-chile-inicia-plan-para-operar-el-100-de-su-red-logistica-de-hidrogeno-verde/>

⁵⁰ Sitio web oficial disponible en: <https://hype.taxi/en/about-us/>

⁵¹ Publicación en sitio web oficial: <https://www.media.stellantis.com/es-es/corporate-communications/press/stellantis-y-hype-despliegan-una-primera-flota-de-50-taxis-de-hidrogeno-accesibles-en-silla-de-ruedas-en-paris>

| Proyecto | País | Tipo de Transporte | Entidades relacionadas | Descripción |
|---|----------|------------------------------------|---|--|
| operación y expansión | | | | <ul style="list-style-type: none"> Taxis son Peugeot e-Expert Hydrogen y Citroën ë-Jumpy Hydrogen cero emisiones, destinados al transporte de Personas con Movilidad Reducida (PMR), estos vehículos pueden acomodar a 5 pasajeros, incluida una en silla de ruedas, o a 6 pasajeros sin silla de ruedas. Durante 2024 se proyecta el despliegue de 700 taxis en la región de Ile-de-France. Hacia fines de 2026 se proyecta contar con 26 estaciones accesibles al público suministrada con hidrógeno renovable local y con una capacidad de abastecer a más de 1000 taxis y otros usos en París e Ile-de-France. |
| Tren Coradia iLint ⁵² - En operación | Alemania | Transporte ferroviario de personas | <ul style="list-style-type: none"> Landesnahverkehrsgesellschaft Niedersachsen (LNVG) Alstom Elbe-Weser (evb) Linde | <ul style="list-style-type: none"> Primer tren a hidrógeno del mundo. Son 14 trenes, modelo Coradia iLint, producidos por Alstom. Se despliegan en el servicio entre Cuxhaven, Bremerhaven, Bremervörde y Buxtehude. La inclusión de estos trenes apunta a sustituir gradualmente a 15 trenes electro-diésel. Cuentan con una autonomía de 1.000 kilómetros, lo que permite su circulación durante todo el día con un solo depósito de hidrógeno. Los trenes pueden alcanzar los 140 kilómetros por hora como velocidad máxima. Coradia iLint ha sido galardonado con el premio alemán de diseño sostenible 2022. El proyecto está financiado por el Ministerio Federal de Asuntos Digitales y Transportes en el marco del Programa Nacional de Innovación en Tecnología de Pilas de Combustible e Hidrógeno. |
| Hydro Bingo – Fase de demostraciones | Japón | Transporte marítimo de personas | <ul style="list-style-type: none"> Tsuneishi Facilities & Craft CMB.TECH | <ul style="list-style-type: none"> Primer barco de pasajeros con motor dual de hidrógeno-diésel. Enmarcado en la estrategia nacional para la promoción del hidrógeno renovable. Tiene una capacidad para 80 pasajeros y opera a una velocidad de servicio de 23 nudos. |

⁵² Publicación en sitio web oficial: <https://www.alstom.com/press-releases-news/2022/8/world-premiere-14-coradia-ilint-start-passenger-service-first-100>

| Proyecto | País | Tipo de Transporte | Entidades relacionadas | Descripción |
|--|---------------------------------|----------------------------------|---|--|
| | | | | <ul style="list-style-type: none"> En octubre de 2022 fue probado con éxito en la bahía de Tokyo. |
| H2 Bus Europe ⁵³ - En operación y expansión | Dinamarca, Latvia y Reino Unido | Transporte terrestre de personas | <ul style="list-style-type: none"> Everfuel Wrightbus Ballard Power Systems Hexagon Composites Nel Hydrogen Ryse Hydrogen | <ul style="list-style-type: none"> Consortio formalizado en junio de 2019. Busca desplegar 1.000 autobuses eléctricos con celdas de combustible de hidrógeno, junto con infraestructura de apoyo en ciudades Europeas. La primera fase del proyecto, la cual consideró 600 buses, fue apoyada por el Mecanismo Conectar Europa (CEF) con 40 millones de euros. Esto permitirá el despliegue de buses en Dinamarca, Latvia y el Reino Unido. Este proyecto se complementa con otras iniciativas europeas a gran escala como JIVE, JIVE2 y HIGH V.LO-CITY. |

5.1.1.2 Proyectos países red H2R

Tabla 3: Desarrollo de proyectos de transporte en países de la red.

| Proyecto | País | Tipo de Transporte | Entidades relacionadas | Descripción |
|---|------------|---------------------|---|---|
| Camino a la Descarbonización: Impulsando la economía del Hidrógeno en Costa Rica – En operación y expansión | Costa Rica | Transporte de carga | <ul style="list-style-type: none"> Hidrógeno Verde S.A. Grupo Purdy Invermaster Ad Astra Rocket Company Costa Rica Fundación CRUSA | <ul style="list-style-type: none"> Adquisición de 10 camiones a hidrógeno verde en primera etapa (2023), se espera alcanzar la cifra de 30. Inversión de 25 millones de euros. Proyecto alineado con la Estrategia Nacional de Costa Rica para el hidrógeno verde que apunta a contar con entre 500 y 900 vehículos de carga pesada a celdas de combustible de cara al 2050. |
| Tren FCAB ^{54,55} - En desarrollo | Chile | Transporte de carga | <ul style="list-style-type: none"> Ferrocarril Antofagasta Bolivia (FCAB) Grupo Luksic | <ul style="list-style-type: none"> Primera locomotora a hidrógeno en el país. Fabricada en China por la empresa CRRC QISHUYAN. La locomotora fue comprada en 2022 y se proyecta que su operación comience en el segundo semestre del 2024. Será utilizado para maniobras internas de los patios ferroviarios de la compañía y para realizar traslados desde dichas instalaciones al Puerto de Antofagasta. |

⁵³ Sitio web oficial disponible en: <https://h2bus.eu/about>

⁵⁴ Publicación en sitio web oficial: <https://www.fcab.cl/2022/12/05/fcab-traera-a-chile-la-primera-locomotora-que-funcionara-con-hidrogeno-verde/>

⁵⁵ Presentación institucional: <https://4echile.cl/wp-content/uploads/2024/06/proyecto-H2v-GIZ.pdf>

| Proyecto | País | Tipo de Transporte | Entidades relacionadas | Descripción |
|---|----------|---------------------|--|---|
| CAEX Hydra ⁵⁶ - En desarrollo | Chile | Transporte de carga | <ul style="list-style-type: none"> • ENGIE • Mining3 • Antofagasta Minerals • Mitsui & Co. (USA) • Inc • Thiess • Ballard Power Systems • Hexagon Purus • Reborn Electric Motors • Liebherr Mining • CORFO • CSIRO Chile | <ul style="list-style-type: none"> • La compañía apunta a convertir el 100% de la filial ferroviaria al hidrógeno verde, dejando atrás el diésel para su funcionamiento. • Prototipo presentado en 2022 en Rancagua. • Entre agosto y diciembre de 2022 se realizaron pruebas a la batería powertrain, orientadas a probar su funcionalidad en altura y condiciones de alta presencia de polvo, en Minera Centinela de Antofagasta Minerals. • A 2024 se espera demostrar la factibilidad del camión minero a escala, cambiando el motor diésel de 2MW de un camión minero por una batería powertrain y celda de combustible de hidrógeno totalmente eléctrico. • El proyecto Hydra obtuvo el Reconocimiento de Innovación Ambiental que desde 2009 entrega la Cámara Chileno Británica de Comercio (BritCham) a las empresas que en el país realizan un aporte de valor a las comunidades en las que se desarrollan, y se suman al cuidado del planeta. En esta oportunidad, Antofagasta Minerals, la distinción fue en la categoría de Innovación en gestión energética. |
| Camión Grupo Familia ⁵⁷ - En operación | Colombia | Transporte de carga | <ul style="list-style-type: none"> • Grupo Familia • Opex • Solenium • Unergy | <ul style="list-style-type: none"> • Primer camión de carga pesada operando con hidrógeno (a través de mezcla con diésel) en Colombia. • El camión tiene instalado un sistema para la mezcla de hidrógeno y diésel buscando un funcionamiento más sostenible, logrando una reducción superior al 10% del consumo durante un recorrido de más de 150 kilómetros por carga. • Su uso permite ahorrar 400 galones de diesel al año y reduce las emisiones de CO2. |
| H24U ⁵⁸ - En desarrollo | Uruguay | Transporte de carga | <ul style="list-style-type: none"> • Saceem • CIR • Air Liquide • Ministerio de Energía y Minería • Laboratorio Tecnológico del Uruguay | <ul style="list-style-type: none"> • El proyecto se desarrollará en el departamento de Durazno y consta de 3 etapas: instalación de paneles solares fotovoltaicos, proceso de producción de H2 a través de electrólisis, suministro como combustible a camiones especializados en el transporte de carga forestal. • Se reconvertirán 17 camiones a hidrógeno verde hacia 2025. |

⁵⁶ Publicación en sitio web oficial: <https://intranet.aminerals.cl/Noticias/Detalle/1756>

⁵⁷ Publicación en sitio web oficial: <https://www.grupofamilia.com/noticias/tenemos-el-primer-camion-de-carga-pesada-operando-con-hidrogeno-en-colombia/>

⁵⁸ Publicación en sitio gubernamental: <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/comunicacion/noticias/uruguay-da-importante-paso-hacia-desarrollo-del-hidrogeno-verde-concrecion>

| Proyecto | País | Tipo de Transporte | Entidades relacionadas | Descripción |
|---|------------|------------------------|---|--|
| | | | <ul style="list-style-type: none"> Agencia Nacional de Investigación e Innovación | <ul style="list-style-type: none"> La iniciativa fue seleccionada entre 10 proyectos para la adjudicación de una inversión estatal de U\$10 millones no reembolsables por 10 años. La inversión total estimada para este proyecto asciende a US\$ 43,5 millones. Este monto incluye la instalación de una planta solar fotovoltaica, la adquisición de un electrolizador y otros componentes necesarios para la producción de hidrógeno, la construcción de una estación de suministro de hidrógeno y la compra y conversión de camiones a celdas de combustible. |
| Nyuti – En operación | Costa Rica | Transporte de personas | <ul style="list-style-type: none"> Ad Astra Rocket | <ul style="list-style-type: none"> Autobús operado en Guanacaste. Construido en Bélgica, cuenta con capacidad para 35 pasajeros sentados y aproximadamente 70 pasajeros de pie. Su alcance es de 338 kilómetros, a través de la utilización de 28 kilogramos de hidrógeno comprimido. Parte del ecosistema de transporte sostenible de Costa Rica. |
| Bus Foton (modelo BJ6126CEVUH) ⁵⁹ - Fase de demostraciones | Chile | Transporte de personas | <ul style="list-style-type: none"> Anglo American Andes Motor Buses Hualpén Copex Voltex Linde | <ul style="list-style-type: none"> Primer bus interurbano (coach) impulsado por celdas de combustible de hidrógeno en Chile. Capacidad para 50 pasajeros y autonomía máxima de 300 kilómetros Equipado con una celda de combustible que genera energía tanto para alimentar a un motor eléctrico y como también almacenarla en una batería. En cuanto a seguridad, el bus incorpora tecnología de última generación, como alerta de cambio de carril, frenado de emergencia avanzado, control de estabilidad y freno de estacionamiento eléctrico. |
| Bus H2 Chile ⁶⁰ - En desarrollo | Chile | Transporte de personas | <ul style="list-style-type: none"> Colbún Anglo American CORFO Reborn Electric Motors Centro Nacional de Pilotaje (CNP) Fundación Chile | <ul style="list-style-type: none"> Primer bus a hidrógeno construido de forma íntegra en Chile. La inversión asciende a 755 mil dólares. Contará con capacidad para 24 pasajeros y una autonomía de 450 kilómetros. La velocidad máxima del bus será de 90 kilómetros por hora. El proceso de desarrollo de ingeniería se extenderá hasta mayo de 2024, para posteriormente avanzar hacia las etapas de ensamblaje y de pruebas tecnológicas y técnicas. |

⁵⁹ Publicación en sitio web oficial: <https://chile.angloamerican.com/medios/press-releases/pr-2023/2023-10-11.aspx>

⁶⁰ Publicación en sitio web oficial: <https://www.colbun.cl/corporativo/sala-de-prensa/noticias-y-comunicados/detalle/2023/12/12/alianza-publico-privada-permitira-el-desarrollo-del-primer-bus-a-hidrogeno-hecho-en-chile>

| Proyecto | País | Tipo de Transporte | Entidades relacionadas | Descripción |
|---|----------|------------------------|--|---|
| | | | | <ul style="list-style-type: none"> Se estima que el bus esté operativo durante el primer semestre del 2025. Se establecerá un plan de trabajo que permita llevar el autobús a escuelas y universidades chilenas, para estudiar su implementación en el futuro, mediante la transferencia tecnológica. |
| Plan Aeropuerto Nuevo Pudahuel ⁶¹ - En desarrollo | Chile | Transporte de personas | <ul style="list-style-type: none"> Nuevo Pudahuel Air Liquide Colbún Copec | <ul style="list-style-type: none"> Busca convertirse en el primer aeropuerto en Latinoamérica en incorporar el uso de hidrógeno en sus operaciones. Air Liquide liderará el desarrollo del estudio, en estrecha coordinación con Nuevo Pudahuel. Además, construirá y operará un electrolizador para la producción de hidrógeno verde y la cadena de suministro de hidrógeno asociada. Colbún proporcionará la energía renovable al proyecto, a la vez que garantizará la eficiencia energética de la cadena de valor. Copec contribuirá con su experiencia en sistemas de almacenamiento y suministro de combustibles, además de la proyección para estimar la demanda de hidrógeno que tendrá esta iniciativa. Esta iniciativa contribuirá específicamente al objetivo del Aeropuerto Arturo Merino Benítez de Santiago de Chile de reducir en un 40 por ciento las emisiones de gases de efecto invernadero para 2030 y lograr la neutralidad de carbono para 2050. |
| Bus Transmilenio ⁶² - Fase de demostraciones | Colombia | Transporte de personas | <ul style="list-style-type: none"> Ecopetrol Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE) Grupo Fanalca Green Móvil Transmilenio Ministerio de Minas y Energía | <ul style="list-style-type: none"> Primer bus propulsado por hidrógeno verde en Colombia. Cuenta con capacidad para 50 pasajeros. Contempla todos los segmentos de la cadena de valor, desde la producción del vector energético con un electrolizador, pasando por almacenamiento y despacho, hasta el ensamblaje local del bus de transporte público para Bogotá por parte de Marcopolo Superpolo. La primera etapa del proyecto tiene una duración de 8 años, donde se integrará al sistema de transporte y se evaluará su funcionamiento. En el periodo de prueba, se estima que el bus podrá transportar 98.500 pasajeros al año y reducirá la emisión de 1.083 toneladas de CO2 en total. |

⁶¹ Publicación en sitio web oficial: <https://www.nuevopudahuel.cl/noticia/aeropuerto-santiago-hidrogeno-verde>

⁶² Publicación en sitio web oficial: <https://www.transmilenio.gov.co/publicaciones/153402/conoce-el-primer-bus-a-hidrogeno-verde-ensamblado-en-el-pais/>

5.1.2 Análisis normativas de seguridad

A partir de la actualización de la cadena de valor presentada en el capítulo 2, se han identificado aquellas normas que abarcan temáticas de seguridad en hidrógeno aplicadas en transporte de carga y personas. Estas normas específicas a aplicaciones de transporte son 27, las cuales se componen por normas de American Society for Testing and Materials (ASTM), Compressed Gas Association (CGA), Normas Europeas (EN), International Electrotechnical Commission (IEC), International Organization for Standardization (ISO), National Fire Protection Association (NFPA) y Society of Automotive Engineers (SAE). A continuación, se presentan las 27 normas analizadas (además de las normas de aplicación general) y su ubicación en la cadena de valor.

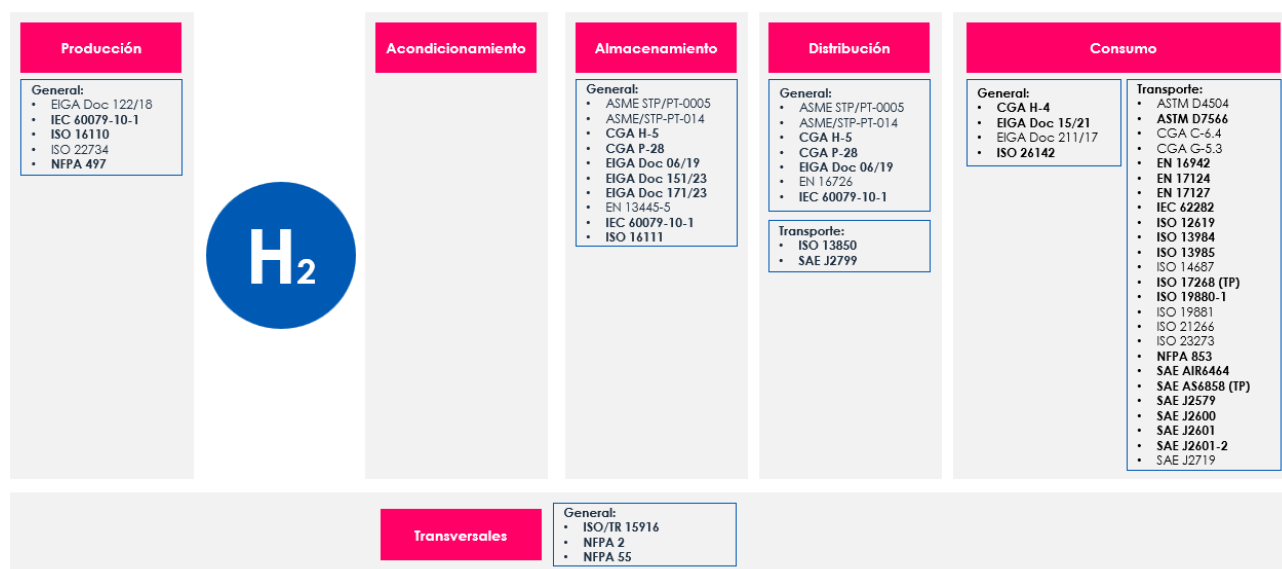


Figura 5: Mapa normativo seguridad hidrógeno renovable transporte de carga y personas.

La **Figura 5** muestra que, entre las 27 normas estudiadas para aplicaciones de transporte, sólo 2 son exclusivas al transporte de personas: ISO 17268 y SAE AS6858. También se visualiza que 25 de las 27 normas se relacionan con el consumo del hidrógeno renovable.

Posterior a la generación de este listado y su ubicación en la cadena de valor, se analizaron las normas identificando su nombre, descripción y última actualización. A continuación, se presentan las normas específicas a transporte de carga y personas que han sido objeto de estudio de la presente investigación.

Tabla 4: Normas de aplicación transporte de carga y personas. Fuente: Elaboración propia.

| Norma | Nombre | Aplicación | Descripción | Última actualización | Enlace a la norma |
|------------|--|--------------------------------|---|----------------------|---|
| ASTM D4504 | Standard Practice for Evaluation of New Aviation Turbine Fuels and Fuel Additives | Transporte de carga y personas | <p>Esta norma establece un procedimiento estándar para la evaluación de nuevos combustibles para turbinas de aviación y aditivos para combustibles. Su objetivo principal es guiar a los desarrolladores a través de un proceso de evaluación definido, que incluye pruebas necesarias y revisiones periódicas.</p> <p>Esta práctica proporciona una base para calcular el volumen de aditivo o combustible requerido para la evaluación, así como una visión de los costos asociados y un camino definido para introducir nuevas tecnologías en la aviación. Además, no constituye un proceso de aprobación, sino que describe los requisitos de prueba y análisis necesarios para generar datos que respalden la revisión o desarrollo de especificaciones.</p> | 2023 | https://www.astm.org/d4054-22.html |
| ASTM D7566 | Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons | Transporte de carga y personas | <p>Esta norma especifica los requisitos para la fabricación de combustible para turbinas de aviación que contiene hidrocarburos sintetizados. Esta norma cubre tanto los componentes de mezcla convencionales como los sintéticos.</p> <p>Una vez que el combustible se certifica y se libera según esta especificación, se considera que cumple con los requisitos de la especificación ASTM D1655. Esto significa que no es necesario realizar pruebas duplicadas, ya que los mismos datos pueden usarse para cumplir con ambas especificaciones.</p> | 2022 | https://www.astm.org/d7566-22.html |
| CGA C-6.4 | Methods for External Visual Inspection of Natural Gas Vehicle (NGV) and Hydrogen Gas Vehicle (HGV) Fuel Containers and Their Installations | Transporte de carga y personas | Proporciona información y procedimientos para el examen visual periódico e inspección de contenedores de combustible de gas natural y de hidrógeno. | 2018 | https://portal.cganet.com/publication/C-6.4/details |

| Norma | Nombre | Aplicación | Descripción | Última actualización | Enlace a la norma |
|-----------|---|--------------------------------|---|----------------------|---|
| CGA G-5.3 | Commodity Specification for Hydrogen | Transporte de carga y personas | Describe las directrices de especificación para el hidrógeno gaseoso y líquido (incluyendo hidrógeno para aplicaciones de celdas de combustible). | 2017 | https://portal.cganet.com/publication/G-5.3/details |
| EN 16942 | Fuels - Identification of vehicle compatibility – Graphical expression for consumer information | Transporte de carga y personas | Establece especificaciones armonizadas para los identificadores de los combustibles líquidos y gaseosos existentes en el mercado. | 2021 | https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0066049 |
| EN 17124 | Hydrogen fuel - Product specification and quality assurance - Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles | Transporte de carga y personas | Define las características de calidad del hidrógeno utilizado en celdas de combustible para vehículos. | 2022 | https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0069870 |
| EN 17127 | Outdoor hydrogen refuelling points dispensing gaseous hydrogen and incorporating filling protocols | Transporte de carga y personas | <p>Este documento define los requisitos mínimos para garantizar la interoperabilidad de los puntos de suministro de hidrógeno, incluyendo los protocolos de llenado que dispensan hidrógeno gaseoso a vehículos de carretera (por ejemplo, vehículos eléctricos de pila de combustible) que cumplen con la legislación aplicable a estos vehículos.</p> <p>No se incluyen en este documento los requisitos de seguridad y rendimiento para toda la estación de servicio de hidrógeno, abordados de acuerdo con la legislación europea y nacional.</p> | 2022 | https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=norma-une-en-17127-2022-n0069833 |
| IEC 62282 | Fuel cell technologies | Transporte de carga y personas | Aborda los requisitos relacionados con la construcción, operación en condiciones normales y anormales, y las pruebas de módulos de celdas de combustible. Se ocupa de las condiciones que pueden generar peligros para las personas y causar daños fuera de los módulos de celdas de combustible. No aborda la protección contra daños dentro de los módulos, siempre que no conduzca a peligros fuera del módulo. | 2020 | https://webstore.iec.ch/en/publication/59780 |
| ISO 12619 | Road vehicles — Compressed gaseous hydrogen (CGH2) and hydrogen/natural gas | Transporte de carga y personas | Especifica los requisitos generales y las definiciones de los componentes del sistema de combustible de hidrógeno comprimido gaseoso (CGH2) y las mezclas | 2024 | https://www.iso.org/standard/51569.html |

| Norma | Nombre | Aplicación | Descripción | Última actualización | Enlace a la norma |
|-----------|---|--------------------------------|---|----------------------|---|
| | blends fuel system components | | de hidrógeno/gas natural, destinados para su uso en los tipos de vehículos de motor definidos en ISO 3833. | | |
| ISO 13850 | Safety of machinery Emergency stop function Principles for design | Transporte de carga y personas | Esta norma especifica los requisitos funcionales y principios para el diseño de la función de parada de emergencia de las máquinas, independientemente del tipo de energía utilizada. Es aplicable a todas las máquinas, excepto las que son portátiles o de operación manual. | 2020 | https://www.iso.org/es/contents/data/standard/05/99/59970.html |
| ISO 13984 | Liquid hydrogen — Land vehicle fuelling system interface | Transporte de carga y personas | Esta norma especifica las características de los sistemas de repostaje y dispensación de hidrógeno líquido en vehículos terrestres de todo tipo. Su objetivo es reducir el riesgo de incendio y explosión durante el proceso de repostaje, proporcionando un nivel razonable de protección para la vida y la propiedad. Se aplica al diseño e instalación de sistemas de repostaje y dispensación de hidrógeno líquido (LH2), incluyendo la parte del sistema que maneja el hidrógeno gaseoso frío proveniente del tanque del vehículo. | 2021 | https://www.iso.org/standard/23570.html |
| ISO 13985 | Liquid hydrogen — Land vehicle fuel tanks | Transporte de carga y personas | Esta norma especifica los requisitos de construcción para tanques de combustible recargables de hidrógeno líquido utilizados en vehículos terrestres, así como los métodos de prueba necesarios para garantizar una protección razonable contra la pérdida de vidas y propiedades debido a incendios y explosiones. Se aplica a tanques de combustible destinados a estar permanentemente unidos a vehículos terrestres. | 2021 | https://www.iso.org/standard/39892.html |
| ISO 14687 | Hydrogen fuel quality — Product specification | Transporte de carga y personas | Esta norma incorpora en un documento tres normas precedentes: ISO 14687-1:1999, ISO 14687-2:2012 e ISO 14687-3:2014. Además de refundirlas, incluye su revisión, especialmente considerando el gran avance que ha tenido la tecnología PEM-FC en los últimos años. Especifica las características mínimas de calidad del hidrógeno como combustible, tanto para aplicaciones vehiculares como estacionarias. Asegura que el hidrógeno distribuido cumpla con los requisitos necesarios para su uso eficiente y seguro en celdas de | 2019 | https://www.iso.org/standard/69539.html |

| Norma | Nombre | Aplicación | Descripción | Última actualización | Enlace a la norma |
|-------------|---|--------------------------------|--|----------------------|---|
| | | | combustible de membrana de intercambio de protones (PEM) y otras aplicaciones. | | |
| ISO 17268 | Gaseous hydrogen land vehicle refuelling connection devices | Transporte de personas | <p>Esta norma define los requisitos de diseño, seguridad y características operativas de los conectores de reabastecimiento de hidrógeno gaseoso para vehículos terrestres (incluyendo receptáculo y tapa protectora (montados en el vehículo); tobera, y; equipo de comunicación).</p> <p>Cubre aspectos como la producción, compresión, almacenamiento y dispensación de hidrógeno. Se aplica a estaciones de servicio públicas y no públicas que suministran hidrógeno a vehículos ligeros (por ejemplo, vehículos eléctricos de celdas de combustible). No incluye la dispensación de hidrógeno criogénico ni aplicaciones de hidruros metálicos.</p> | 2020 | https://www.iso.org/standard/68442.html |
| ISO 19880-1 | Gaseous hydrogen — Fuelling stations General Requirements | Transporte de carga y personas | Define los requisitos mínimos de diseño, instalación, puesta en marcha, funcionamiento, inspección y mantenimiento para la seguridad de las estaciones de servicio que suministran hidrógeno gaseoso a vehículos de carretera ligeros (por ejemplo, vehículos eléctricos de celdas de combustible). Cubre elementos como la producción, compresión, almacenamiento y dispensación de hidrógeno. También proporciona orientación para estaciones de servicio que suministran hidrógeno a vehículos medianos y pesados (como autobuses y camiones). Excluye generadores de hidrógeno que también suministran oxígeno y estaciones de servicio de demostración no públicas. | 2020 | https://www.iso.org/standard/71940.html |
| ISO 19881 | Gaseous hydrogen — Land vehicle fuel containers | Transporte de carga y personas | Contiene requisitos para el material, diseño, fabricación, marcado y pruebas de contenedores rellenables producidos en serie, destinados únicamente para el almacenamiento de gas de hidrógeno comprimido para la operación de vehículos terrestres. | 2018 | https://www.iso.org/standard/65029.html |
| ISO 21266 | Road vehicles — Compressed gaseous hydrogen (CGH2) and | Transporte de carga y personas | La norma aborda los requisitos de seguridad para los sistemas de combustible de hidrógeno, además de | 2018 | https://www.iso.org/standard/70340.html |

| Norma | Nombre | Aplicación | Descripción | Última actualización | Enlace a la norma |
|-------------|---|--------------------------------|---|----------------------|---|
| | hydrogen/natural gas blends fuel systems | | especificar los métodos de prueba para verificar estos requisitos de seguridad. | | |
| ISO 23273 | Fuel cell road vehicles — Safety specifications — Protection against hydrogen hazards for vehicles fuelled with compressed hydrogen | Transporte de carga y personas | Especifica los requisitos esenciales para los vehículos de celdas de combustible (FCV) con respecto a la protección de las personas y el medio ambiente dentro y fuera del vehículo contra los peligros relacionados con el hidrógeno. | 2019 | https://www.iso.org/standard/64047.html |
| NFPA 853 | Standard for the Installation of Stationary Fuel Cell Power Systems | Transporte de carga y personas | Esta norma proporciona requisitos para el diseño, construcción e instalación de sistemas de energía de celdas de combustible estacionarias. Se aplica a sistemas de celdas de combustible que utilizan hidrógeno y no es aplicable a unidades portátiles de celdas de combustible. | 2020 | https://www.nfpa.org/es/codes-and-standards/nfpa-853-standard-development/853 |
| SAE AIR6464 | Hydrogen Fuel Cells Aircraft Fuel Cell Safety Guidelines | Transporte de carga y personas | Define las directrices técnicas para la integración segura de membrana de intercambio de protones (PEM) y sistemas de celdas de combustible (FCS), almacenamiento y distribución de combustible (considerado solo tipo de almacenamiento de hidrógeno líquido y comprimido) Y sistemas eléctricos apropiados en la aeronave. | 2020 | https://www.sae.org/standards/content/air6464/ |
| SAE AS6858 | Installation of Fuel Cell Systems in Large Civil Aircraft | Transporte de personas | Esta norma define los requisitos técnicos para la integración segura de sistemas de celdas de combustible de membrana de intercambio de protones (PEM) alimentados con hidrógeno gaseoso dentro de la aeronave. | 2023 | https://www.sae.org/standards/content/as6858/ |
| SAE J2579 | Standard for Fuel Systems in Fuel Cell and Other Hydrogen Vehicles | Transporte de carga y personas | Define los requisitos de diseño, construcción, operación y mantenimiento para sistemas de almacenamiento y manejo de hidrógeno en vehículos en carretera, como vehículos de celdas de combustible y otros vehículos de hidrógeno. También proporciona protocolos de prueba para verificar y calificar estos sistemas basados en el rendimiento. | 2023 | https://www.sae.org/standards/content/j2579_202301/ |
| SAE J2600 | Compressed Hydrogen Surface Vehicle Fueling Connection Devices | Transporte de carga y personas | Se aplica al diseño y las pruebas de los conectores de repostaje de vehículos de superficie de hidrógeno comprimido (CHSV), boquillas y receptáculos. | 2015 | https://www.sae.org/standards/content/j2600_201510/ |
| SAE J2601 | Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles | Transporte de carga y personas | La norma establece los protocolos y límites de proceso para el abastecimiento de hidrógeno en vehículos ligeros con capacidades de almacenamiento de | 2020 | https://www.sae.org/standards/content/j2601_202005/ |

| Norma | Nombre | Aplicación | Descripción | Última actualización | Enlace a la norma |
|-------------|--|--------------------------------|---|----------------------|---|
| | | | <p>hidrógeno comprimido mayores o iguales a 49.7 litros. Estos protocolos incluyen: temperatura de entrega del combustible; tasa máxima de flujo de combustible; tasa de aumento de presión; presión final.</p> <p>La norma utiliza dos enfoques: uno basado en tablas de consulta con una tasa de rampa de presión fija y otro basado en fórmulas con una tasa de rampa de presión dinámica. Además, contempla el abastecimiento con y sin comunicaciones, y clasifica las temperaturas de entrega del combustible.</p> | | |
| SAE J2601-2 | Fueling Protocol for Gaseous Hydrogen Powered Heavy Duty Vehicles | Transporte de carga y personas | <p>La norma establece los requisitos de rendimiento para los sistemas de dispensación de hidrógeno utilizados en el abastecimiento de vehículos pesados de hidrógeno a 35 MPa, como autobuses de tránsito. Esta norma define las condiciones límite para un abastecimiento seguro, incluyendo límites de seguridad y requisitos de rendimiento para los dispensadores de hidrógeno.</p> <p>Además, proporciona orientación a los fabricantes de sistemas de abastecimiento y a los operadores de flotas de vehículos pesados de hidrógeno. Es importante destacar que esta norma es independiente de la SAE J2601, que se utiliza para vehículos ligeros.</p> | 2023 | https://www.sae.org/standards/content/j2601/2_202307/ |
| SAE J2719 | Hydrogen Fuel Quality for Fuel Cell Vehicles | Transporte de carga y personas | Esta norma establece un estándar de calidad para el hidrógeno utilizado en vehículos comerciales con celdas de combustible de membrana de intercambio de protones (PEM). | 2020 | https://www.sae.org/standards/content/j2719_202003/ |
| SAE J2799 | Hydrogen Surface Vehicle to Station Communications Hardware and Software | Transporte de carga y personas | Esta norma especifica los requisitos de hardware y software de comunicación para el abastecimiento de vehículos de superficie de hidrógeno (HSV), como vehículos de celdas de combustible. | 2024 | https://www.sae.org/standards/content/j2799_202406/ |

En función de las normas presentadas, se pueden generar 5 grupos que sintetizan los focos de las normativas en transporte de carga y personas, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5: Agrupación normas transporte carga y personas.

| Categoría | Normas |
|---|---|
| Contenedores y celdas de combustible para vehículos terrestres | <ul style="list-style-type: none"> • CGA C-6.4 • CGA G-5.3 • IEC 62282 • ISO 13985 • ISO 19881 • NFPA 853 • SAE J2579 • SAE J2799 |
| Calidad y características del combustible de hidrógeno | <ul style="list-style-type: none"> • EN 16942 • ISO 14687 • SAE J2719 |
| Combustible y celdas de combustible en aeronaves | <ul style="list-style-type: none"> • ASTM D4504 • ASTM D7566 • EN 17124 • SAE AIR6464 • SAE AS6858 |
| Estaciones y conexiones de suministro de hidrógeno | <ul style="list-style-type: none"> • EN 17127 • ISO 13850 • ISO 13984 • ISO 17268 • ISO 19880-1 • SAE J2600 • SAE J2601 • SAE J2601-2 |
| Protección de personas y medio ambiente dentro y fuera del vehículo | <ul style="list-style-type: none"> • ISO 21266 • ISO 23273 |

5.1.3 Análisis barreras normativas y casos internacionales

Las principales barreras y desafíos identificados para el transporte de carga y personas se relacionan a aspectos como: emisiones, seguridad, dimensión/peso, dispensadores y almacenamiento.

Además, se visualiza como tema relevante la existencia de distintas normas internacionales para un mismo tema, diferenciándose en sus criterios propios que varían en el tiempo. Muestra de esto son las normas NFPA2 y EIGA Doc 15/21, las cuales abordan las estaciones de suministros. Sin embargo, al revisar el tema de distancias de seguridad mínimas entre estaciones de H₂ y otros elementos existen diferencias. Por ejemplo, a 2015, en cuanto a las distancias de las estaciones con “fuentes de ignición como llamas abiertas”, la NFPA2 establecía una distancia de 24 pies (7,32 metros)⁶³ y la EIGA Doc 15/21 establecía 5 metros⁶⁴. Esto ha variado en el tiempo, con las actualizaciones de cada norma, incluyendo criterios respectivos a la cantidad de H₂ almacenado y las propias condiciones de almacenamiento.

5.1.4 Principales hallazgos transporte de carga y personas

Hallazgos relacionados a estatus de desarrollo de proyectos:

- Los países de referencia muestran avances en proyectos variados en términos de consumo de hidrógeno en transporte de carga y personas, principalmente en camiones y embarcaciones. Sin embargo, aún estas iniciativas son ejemplos puntuales y no han logrado sobrepasar la barrera

⁶³ Groth et. al. 2015. Separation Distance Reduction Based on Risk-Informed Analysis. Disponible en: https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/15006_separation_distance_reduction.pdf?Status=Master

⁶⁴ European Industrial Gases Association, 2021. Gaseous hydrogen installations. Disponible en: <https://www.eiga.eu/uploads/documents/DOC015.pdf>

comercial, es decir, no se han posicionado en los mercados como alternativas al transporte de carga en base a combustibles derivados del petróleo.

- En los países de la Red los ejemplos son a escala de pilotos y están acotados a camiones y su uso en industrias relevantes para el país, como lo es minería en Chile y forestal para Uruguay. Además, se debe señalar que en 3 de los 6 países de la red no se visualizan casos de inclusión de transporte de personas.
- Se destacan buenas prácticas en términos de colaboraciones privadas como se aprecia en que la mayoría de proyectos cuentan con partners o consorcios amplios y heterogéneos. Además, se destaca el aporte estatal en iniciativas a través de fondos y conocimiento.

Hallazgos relacionados a análisis normativo:

- El transporte de H2 se encuentra pormenorizadamente regulado atendido su carácter peligroso y poniendo foco en la homologación de vehículos y la seguridad de las celdas de combustible y estanques de almacenamiento
- No se realizan diferencias relevantes entre el transporte de carga y de personas en cuanto a su regulación general. Es decir, lo que vienen a regular las normas técnicas de carácter general en esta materia, es el transporte de hidrógeno propiamente tal, en sus diferentes formas.
- Existe una amplia variedad de normas aplicables a la materia, por lo cual resulta clave diferenciar su ámbito de acción para aplicarlas en proyectos particulares al transporte de carga. En este sentido, se propone la agrupación en las siguientes clases definidas: “contenedores y celdas de combustible para vehículos terrestres”, “calidad y características del combustible de hidrógeno”, “combustible y celdas de combustible en aeronaves”, “estaciones y conexiones de suministro de hidrógeno”, “Protección de personas y medio ambiente dentro y fuera del vehículo”.

5.2 Cogeneración

La cogeneración (CHP, por sus siglas en inglés) es la “generación simultánea de energía eléctrica y térmica (calor útil), a partir de una sola unidad o equipo a partir de una sola fuente o proceso de consumo energético primario”⁶⁵. Al 2019, la cogeneración representaba el 12% de la producción de electricidad de Europa y el 14% de su calor. Se estima que al 2030 se llegaría a 20% de participación en la generación de electricidad y 25% de calor (Eurostat, 2019 y COGEN Europe, 2023).

La **Figura 6** ilustra el proceso de cogeneración y sus tecnologías más usadas.

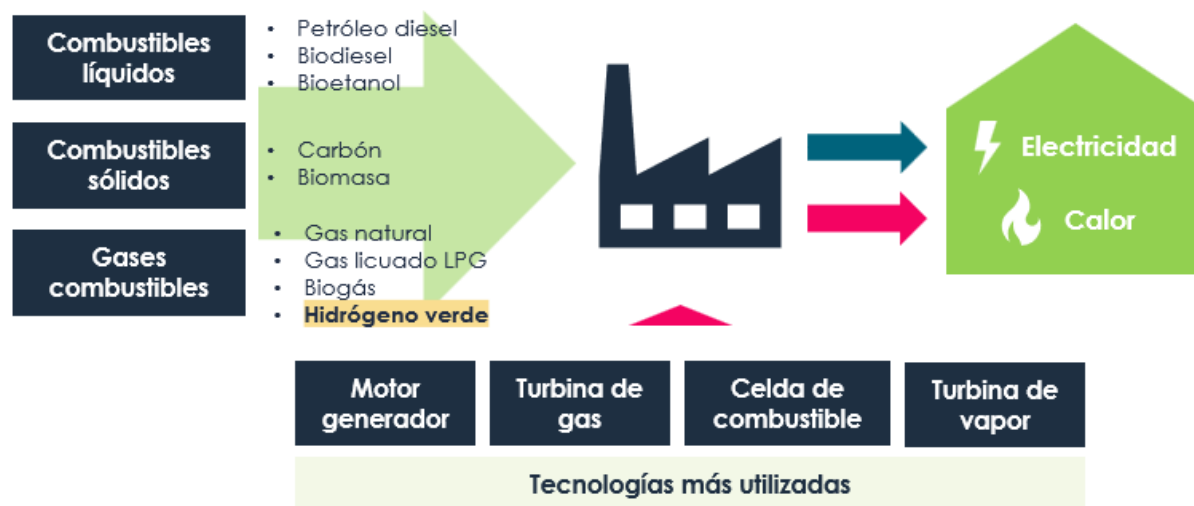


Figura 6: Proceso de cogeneración. Fuente: Elaboración propia.

Respecto de la cadena de valor del hidrógeno renovable, el vector energético es utilizado como combustible para la cogeneración, por lo cual, se inserta entre los procesos de consumo como ha sido presentado en la **Figura 2**.

⁶⁵ <https://4echile.cl/proyectos/cogeneracion/>

5.2.1 Estatus desarrollo de proyectos

En esta sección se presentan casos y proyectos de cogeneración con hidrógeno renovable. Los casos se han agrupado en dos categorías: proyectos países de referencia y proyectos países de la red. En el primer grupo se presentan casos de países modelo en hidrógeno renovable (Europa, Norteamérica y Asia), identificando ejemplos de vanguardia. Posteriormente, se exhiben casos presentes en los países que componen la red H2R (Chile, Argentina, Colombia, Costa Rica, México y Uruguay) como un levantamiento del estado actual en la región.

5.2.1.1 Proyectos países de referencia

Tabla 6: Desarrollo de proyectos de cogeneración en países de referencia. Fuente: Elaboración propia.

| Proyecto | País | Entidades relacionadas | Descripción |
|--|---|---|--|
| Hyflexpower ⁶⁶ - Fase de demostraciones | Francia, Alemania, Reino Unido, Grecia y Suecia | <ul style="list-style-type: none"> Engie Smurfit Kappa Siemens Energy Artic Centraz DLR Lund University University College London Institute for Combustion and Gas Dynamics National Technical University | <ul style="list-style-type: none"> Ubicado en planta de envases de papel de Smurfit Kappa en Saillat-sur-Vienne, Francia. Consortio conformado por Engie, Smurfit Kappa, Siemens Energy, Artic, Centraz, DLR y cuatro universidades. El presupuesto total del proyecto ronda los 15,2 MM de euros, de los cuales 10,5 millones fueron aportados por la Unión Europea en el marco del programa Horizonte 2020. El proyecto ha logrado probar con éxito una turbina de gas que puede funcionar con hidrógeno puro, gas natural o cualquier mezcla de ambos. |
| Hystra ⁶⁷ - Fase de demostraciones | Japón | <ul style="list-style-type: none"> Shell Japan Limited Iwatani Corporation Kawasaki Heavy Industries J-POWER Marubeni Corporation ENEOS Corporation "K" LINE | <ul style="list-style-type: none"> Situado en la isla portuaria de Kobe en la región de Kansai, Japón. Proyecto liderado por Obayashi Corporation, Kawasaki Heavy Industries y Organización para el Desarrollo de Nuevas Energías y Tecnología Industrial (NEDO). La planta opera desde diciembre de 2017. El objetivo es construir un nuevo sistema de suministro de energía que conduzca a un uso eficiente de la energía en las comunidades locales. Primera entrega en el mundo de energía y calor generado por una turbina de gas alimentada 100% por hidrógeno a instalaciones cercanas en un área urbana. Son 4 instalaciones suministradas que corresponden a un hospital, centro deportivo, salón de exposiciones y planta de tratamiento de agua. |
| Planta en Rostock-Laage – Fase de demostraciones | Alemania | <ul style="list-style-type: none"> 2G Apex | <ul style="list-style-type: none"> Se compone de una celda de combustible de 2 MW, un tanque de almacenamiento, una planta de producción combinada de calor y electricidad y una batería estabilizadora. Esta planta puede funcionar con H2 puro, sin necesidad de ningún combustible fósil, lo cual aumenta la flexibilidad operacional. |
| Planta en Bárboles-Sobradie – | España | <ul style="list-style-type: none"> Redexis gas Viessmann | <ul style="list-style-type: none"> Proyecto para la generación de electricidad y calor en una Estación de Regulación y Medida (ERM) de la red de gasoductos, en este caso en el gasoducto Bárboles-Sobradie (Zaragoza). |

⁶⁶ Sitio web oficial disponible en: <https://www.hyflexpower.eu/>

⁶⁷ Sitio web oficial disponible en: <https://www.hystra.or.jp/en/project/>

| Proyecto | País | Entidades relacionadas | Descripción |
|------------------------|------|------------------------|---|
| Fase de demostraciones | | | <ul style="list-style-type: none"> Su objetivo es analizar viabilidad de la cogeneración con hidrógeno como combustible, además de reducir el impacto ambiental de las actividades de la compañía. Se obtuvo financiamiento del Ministerio de Economía y Competitividad y del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial. |

5.2.1.2 Proyectos países red H2R

Los proyectos presentados a continuación desarrollan la técnica de cogeneración, sin embargo, no utilizan hidrógeno como combustible. Por lo tanto, se realiza el levantamiento a modo referencial (identificando la industria y el combustible utilizado), pero no contribuye a actualizar el estado de proyectos de cogeneración en hidrógeno renovable.

Tabla 7: Desarrollo de proyectos de cogeneración en países de la red. Fuente: Elaboración propia.

| Proyecto | País | Entidades relacionadas | Descripción |
|---|------------|---|---|
| PEMEX (2012) – En operación | México | <ul style="list-style-type: none"> Petróleos Mexicanos (PEMEX) | <ul style="list-style-type: none"> Industria: petróleo y gas. Combustible: gas natural. |
| CMPC (2016) – En operación | México | <ul style="list-style-type: none"> Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones (CMPC) | <ul style="list-style-type: none"> Industria: forestal y papelera. Combustible: gas natural. |
| Ticofrut (2015) – En operación | Costa Rica | <ul style="list-style-type: none"> Ticofrut | <ul style="list-style-type: none"> Industria: agrícola (naranja y piña). Combustible: biomasa. |
| Azucarera El Viejo (1991) – En operación | Costa Rica | <ul style="list-style-type: none"> Azucarera El Viejo | <ul style="list-style-type: none"> Industria: agrícola (azúcar). Combustible: biomasa (rezago de caña de azúcar). |
| Incauca (1997, nueva planta en 2023) – En operación | Colombia | <ul style="list-style-type: none"> Incauca | <ul style="list-style-type: none"> Industria: agrícola (azúcar). Combustible: biomasa (rezago de caña de azúcar). |
| Montes del Plata (2014) – En operación | Uruguay | <ul style="list-style-type: none"> Montes del Plata | <ul style="list-style-type: none"> Industria: forestal. Combustible: biomasa (residuos forestales). |
| Coopar y Galofer (2010) | Uruguay | <ul style="list-style-type: none"> Coopar Galofer | <ul style="list-style-type: none"> Industria: agrícola (arroz). Combustible: biomasa (cáscara de arroz). |

| Proyecto | País | Entidades relacionadas | Descripción |
|--|-----------|---|---|
| – En operación | | | |
| Helios Energía Limpia (2015) – En operación | Argentina | <ul style="list-style-type: none"> • Agrekko | <ul style="list-style-type: none"> • Industria: energía y climatización. • Combustible: biogás. |

5.2.2 Análisis normativas de seguridad

De igual forma a lo presentado en el capítulo de transporte de carga y personas, posterior al establecimiento de las normas de aplicación general, se han estudiado aquellas específicas a estos proyectos. En particular, se revisaron 7 normas aplicables a cogeneración que son presentadas y ubicadas en la cadena de valor.

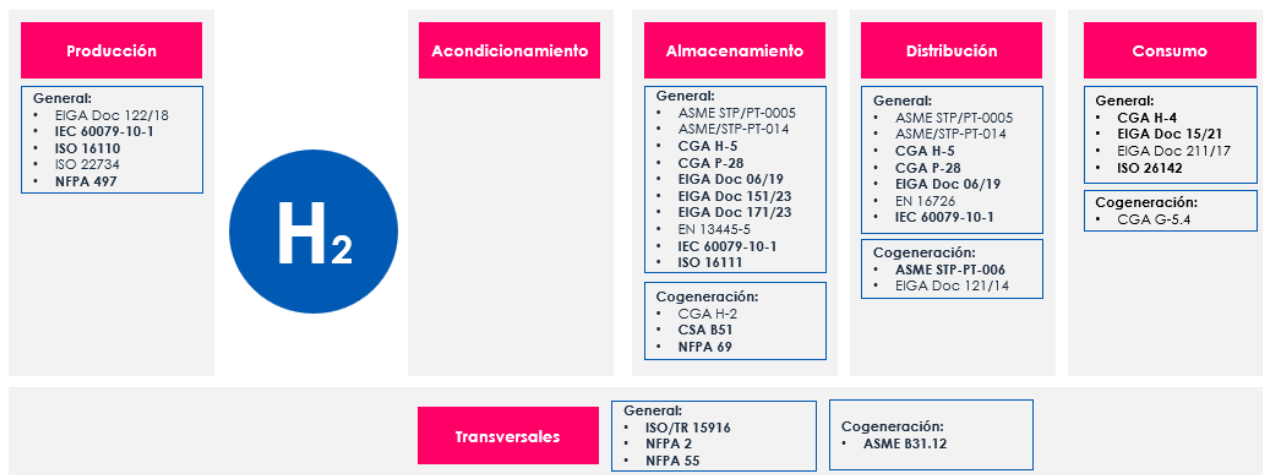


Figura 7: Mapa normativo seguridad hidrógeno renovable cogeneración. Fuente: Elaboración propia.

La figura anterior muestra que las normas aplicables a cogeneración se distribuyen en almacenamiento, distribución y consumo, además de contar con una norma transversal: ASME B31.12.

Posterior a la generación de este listado y su ubicación en la cadena de valor, se analizaron las normas identificando su nombre, descripción y última actualización. A continuación, se presentan las normas específicas a cogeneración que han sido objeto de estudio de la presente investigación.

Tabla 8: Normas de aplicación cogeneración.

| Norma | Nombre | Descripción | Última actualización | Enlace a la norma |
|-----------------------------|---|--|----------------------|---|
| ASME B31.12 | Hydrogen piping and pipelines | Esta norma es aplicable a tuberías y oleoductos que manejan hidrógeno gaseoso y mezclas de hidrógeno, así como a tuberías en servicio de hidrógeno líquido. Incluye requisitos para materiales, soldadura, tratamiento térmico, formación, pruebas, inspección, operación y mantenimiento. | 2023 | https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/b31-12-hydrogen-piping-pipelines |
| ASME STP-PT-006 | Design Guidelines for Hydrogen Piping and Pipelines | Proporciona orientación sobre factores de diseño en ambientes de hidrógeno seco, incluyendo consideraciones de vida útil del diseño y recomendaciones para exámenes no destructivos y gestión de la integridad en servicio. | 2022 | https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/stp-pt-006-design-guidelines-for-hydrogen-piping-and-pipelines/2007/pdf |
| CGA G-5.4 | Standard for Hydrogen Piping Systems at User Locations | Esta norma describe las especificaciones y principios generales recomendados para sistemas de tuberías de hidrógeno gaseoso (Tipo I) o líquido (Tipo II) en ubicaciones de usuario. | 2019 | https://portal.cganet.com/publication/G-5.4/details |
| CGA H-2 | Guideline for Classification and Labeling of Hydrogen Storage Systems with Hydrogen Absorbed in Reversible Metal Hydrides | Proporciona directrices para la clasificación y etiquetado de sistemas de almacenamiento de hidrógeno con hidrógeno absorbido en hidruros metálicos reversibles. | 2018 | https://portal.cganet.com/publication/details?id=H-2 |
| CSA B51 | Boiler, pressure vessel, and pressure piping code | Establece requisitos para el diseño seguro, construcción, instalación, operación, inspección, prueba y reparación de calderas, recipientes a presión y tuberías de presión. | 2024 | https://www.csagroup.org/store/product/CSA%20B51:19/ |
| EIGA Doc 121/14 (CGA G-5.6) | Hydrogen Pipeline Systems | Se describen términos clave, como tuberías de distribución, tuberías de planta y tuberías de transmisión. Además, se mencionan aleaciones de cobre, níquel, acero inoxidable, cobalto y otros materiales utilizados en estas tuberías. | 2014 | https://www.eiga.eu/uploads/documents/DOC121.pdf |
| NFPA 69 | Standard on Explosion Prevention Systems | Cubre los requisitos mínimos para instalar sistemas para la prevención de explosiones en recintos que contienen concentraciones inflamables de gases, vapores, nieblas, polvos o mezclas híbridas. | 2024 | https://www.nfpa.org/es/codes-and-standards/nfpa-69-standard-development/69 |

A partir de estas normas analizadas, se propone su agrupación en las siguientes 3 categorías.

Tabla 9: Agrupación normas cogeneración. Fuente: Elaboración propia.

| Categoría | Normas |
|---|--|
| Tuberías y oleoductos de hidrógeno | <ul style="list-style-type: none"> • ASME B31.12 • ASME STP-PT-006 • CGA G-5.4 • EIGA Doc 121/14 (CGA G-5.6) |
| Calderas, recipientes a presión y tuberías de presión | <ul style="list-style-type: none"> • CSA B51 • NFPA 69 |
| Sistemas de almacenamiento de hidrógeno | <ul style="list-style-type: none"> • CGA H-2 |

5.2.3 Análisis barreras normativas y casos internacionales

La principal barrera normativa en los países de la red se da por la no existencia de normativa referente a seguridad en cogeneración, lo cual genera que se implementen soluciones provisionales en cada país. Estas soluciones provisionales generan los siguientes problemas:

- Aumentan los tiempos de espera para la aprobación e implementación de proyectos.
- Alto requerimiento de profesionales especializados en normativas internacionales y cogeneración.
- Los proyectos se enfrentan a incertidumbre ante posibles modificaciones o mejoras.

Respecto de casos internacionales que reflejan la barrera presentada, se destaca Chile puesto que actualmente no existe un reglamento para las instalaciones de cogeneración. Provisoriamente, la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) tiene la potestad para recibir declaraciones de instalaciones de hidrógeno en base a normativas extranjeras.

Si bien aún no existe normativa en seguridad, sí se destaca la existencia de normas referentes a cogeneración eficiente, como los casos de Chile y México que se describen a continuación.

- **Decreto 6, de 2015, del Ministerio de Energía (Chile)**⁶⁸: Este decreto define los requisitos a cumplir en las instalaciones de cogeneración eficiente, estableciendo un límite de potencia correspondiente a 20.000 kW. Si bien no hace alusión al hidrógeno como combustible, sí define que la instalación, diseño, construcción, operación, mantenimiento, inspección, reparación y término de servicio de las instalaciones se someterán a la Ley General de Servicios Eléctricos, en la Ley de Servicios de Gas y en la demás normativa vigente. Además, señala que la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) tendrá la atribución de fiscalizar y sancionar estas instalaciones.
- **Resolución por la que la Comisión Reguladora de Energía expide la metodología para el cálculo de la eficiencia de los sistemas de cogeneración de energía eléctrica y los criterios para determinar la Cogeneración Eficiente (México)**⁶⁹: Establece criterios de eficiencia por medio del análisis de casos en Estados Unidos, Gran Bretaña, Brasil, España y Unión Europea, revisando sus metodologías valores de referencia. No hace alusión al hidrógeno como combustible, sin embargo, sí se refiere a la “adopción de tecnologías limpias para la generación de energía eléctrica”.

5.2.4 Principales hallazgos cogeneración

Hallazgos relacionados a estatus de desarrollo de proyectos:

- Si bien existen proyectos que reseñan en cogeneración con hidrógeno como combustible, estos aún se encuentran en fase de prueba y de demostrar el potencial de la técnica, y se concentran en Europa y Japón principalmente.
- En el caso de los países de la red, existen experiencias de cogeneración, sin embargo, estos proyectos utilizan combustibles distintos al hidrógeno, tales como la biomasa, biogás y gas natural.

⁶⁸ Disponible en: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1077841>

⁶⁹ Disponible en: <https://www.cre.gob.mx/documento/2299.pdf>

Hallazgos relacionados a análisis normativo:

- Se identifica como barrera normativa la falta de normativa referente a seguridad en cogeneración con hidrógeno, lo cual deriva en que cada país establezca soluciones provisionales, generando problemas en tiempos de tramitación e incertidumbre ante cambios o mejoras en los proyectos.
- La principal conclusión del ejercicio de agrupación es que las normas técnicas sobre hidrógeno se pueden agrupar eficazmente según su enfoque en diferentes aspectos de la cadena de valor del hidrógeno, desde la producción hasta el consumo. Dentro de cada grupo, las normas comparten similitudes en cuanto a su aplicación y propósito, pero también presentan diferencias significativas que reflejan su especialización y el contexto específico de su aplicación.

5.3 Blending

El blending es una técnica utilizada para la inyección o mezcla de hidrógeno gaseoso con gas natural en gasoductos, esta mezcla se puede dar en variadas proporciones de acuerdo con cada aplicación. Las ventajas del blending se generan por el uso de la infraestructura actual (red de gas natural) y la disminución de emisiones contaminantes. Las proyecciones señalan que, si se inyecta un 5% de hidrógeno en volumen en las redes de distribución, tomando el consumo del año 2019, el CO₂ evitado sería 132,91[kTon], lo cual equivale a las emisiones de más de 87.000 vehículos medianos (Misión Cavendish, 2021 y Statista Mobility Market Outlook, 2022).

La **Figura 8** ilustra la cadena de valor del gas natural y el proceso en el cual se inserta el blending con hidrógeno renovable.

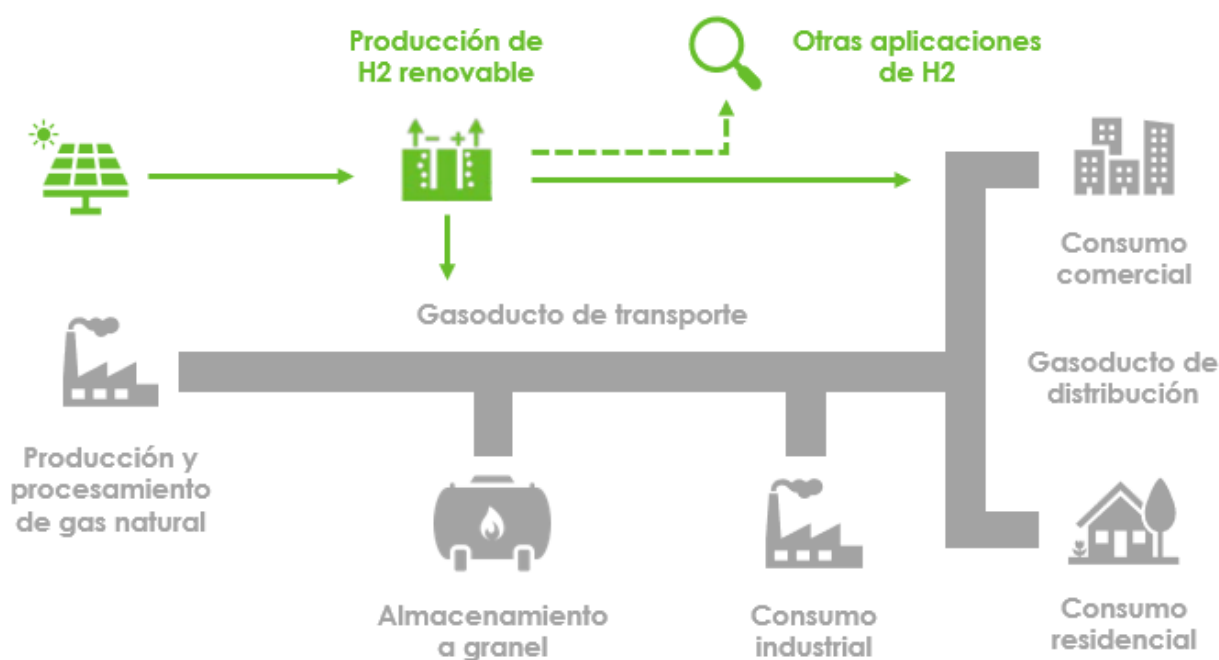


Figura 8: Cadena de valor de gas natural y blending con hidrógeno renovable. Fuente: Elaboración propia.

Símil a lo expuesto en el apartado de cogeneración, al momento de ubicar el blending en la cadena de valor del hidrógeno renovable, se encuentra en los procesos de consumo. Sin embargo, también se ubica en los procesos de distribución, en particular en la distribución a través de las redes de gas natural como se enfatiza en la **Figura 8**

5.3.1 Estatus desarrollo de proyectos

En esta sección se presentan casos y proyectos de blending de hidrógeno con gas natural. Los casos se han agrupado en dos categorías: proyectos países de referencia y proyectos países de la red. En el primer grupo se presentan casos de países modelo en hidrógeno renovable (Europa, Norteamérica y Asia), identificando ejemplos de vanguardia. Posteriormente, se exhiben casos presentes en los países que componen la red H2R (Chile, Argentina, Colombia, Costa Rica, México y Uruguay) como un levantamiento del estado actual en la región.

5.3.1.1 Proyectos países de referencia

Tabla 10: Desarrollo de proyectos de blending en países de referencia. Fuente: Elaboración propia.

| Proyecto | País | Entidades relacionadas | Descripción |
|---|-------------|---|--|
| H2Sarea – Fase de demostraciones | España | <ul style="list-style-type: none"> Nortegas | <ul style="list-style-type: none"> Proyecto lanzado en 2022 por Nortegas. La mezcla alcanzó un 20% de hidrógeno y logró comprobar a lo largo de sus 12.000 horas de funcionamiento que el hidrógeno no experimenta fugas ni afecta a la operación de la red. Los resultados muestran una importante reducción de emisiones, logrando reducciones del 54% en CO, 7% en CO2 y 53% en Nox en equipos domésticos. Nortegas asegura que con la inyección del 20% de hidrógeno verde se mantendrá el mismo nivel de seguridad de la red de gas natural actual. |
| Hydeploy ⁷⁰ - Fase de demostraciones | Reino Unido | <ul style="list-style-type: none"> Cadent Northern Gas Networks Health and Safety Executive (HSE) Keele University ITM Power plc | <ul style="list-style-type: none"> La primera fase comenzó en octubre de 2019, testeando una mezcla de 20% de H2 en la red de gas en la Universidad de Keele en Staffordshire. La fase 2 se implementó en Winlaton desde agosto de 2021. En este caso se suministró un blending de 20% en 668 hogares, una escuela, una iglesia y una cantidad considerable de pequeños negocios. El proyecto y su trabajo con la industria ha sido clave para completar la evidencia de seguridad necesaria que permita habilitar políticas gubernamentales. El proyecto ha demostrado éxito en entornos industriales en Pilkington Glass, Unilever y TRESemmé. |

⁷⁰ Sitio web oficial disponible en: <https://hydeploy.co.uk/>

5.3.1.2 Proyectos países de la red H2R

Tabla 11: Desarrollo de proyectos de blending en países de la red. Fuente: Elaboración propia.

| Proyecto | País | Entidades relacionadas | Descripción |
|---------------------------------------|----------|--|---|
| H2GN ⁷¹ - En operación | Chile | <ul style="list-style-type: none"> GasValpo Universidad de La Serena | <ul style="list-style-type: none"> Proyecto situado en Coquimbo y La Serena, el cual beneficia a más de 2.000 hogares. Se inició en 2022 con un 5% de hidrógeno en la mezcla, proporción que se duplicará hacia fines de 2024. En 2026 se apunta a alcanzar un 20% de hidrógeno en el blending. Este límite fue definido a raíz de pruebas llevadas a cabo en las instalaciones de la compañía con artefactos como cocinas, estufas y calefont, ya que hasta ese nivel no se observaron inconvenientes en su uso. El proyecto cuenta con la supervisión de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles y la participación de la Universidad de La Serena, quienes realizan acciones de monitoreo y certificación para asegurar que no existan inconvenientes |
| Promigas ⁷² - En operación | Colombia | <ul style="list-style-type: none"> Promigas | <ul style="list-style-type: none"> Proyecto piloto iniciado en marzo de 2022 en Cartagena. El actual porcentaje de H2 en la mezcla es 0,013%, el cual se proyecta triplicar durante 2024. El piloto evitará la emisión de 6 toneladas de CO2 anuales. |

⁷¹ Publicación en sitio web oficial: https://www.gasvalpo.cl/noticiavisor.aspx?4.Pionero_en_America_Latina:_ANUNCIAN_PRIMER_PROYECTO_DE_CHILE_QUE_INYECTAR%81_HIDR%93_GENO_VERDE_EN_REDES_DE_GAS

⁷² Publicación en sitio web oficial: <https://www.promigas.com/Paginas/noticiasesp/piloto-hidrogeno.aspx>

5.3.2 Análisis normativas de seguridad

El análisis normativo de a las aplicaciones de blending se compone por 15 normas específicas, además de las 22 de aplicación general. Estas 15 normas han sido elaboradas por variados organismos como la American Society of Mechanical Engineers (ASME), European Industrial Gases Association (EIGA), Normas Europeas (EN), International Electrotechnical Commission (IEC), International Organization for Standardization (ISO), National Fire Protection Association (NFPA) y Compressed Gas Association (CGA).

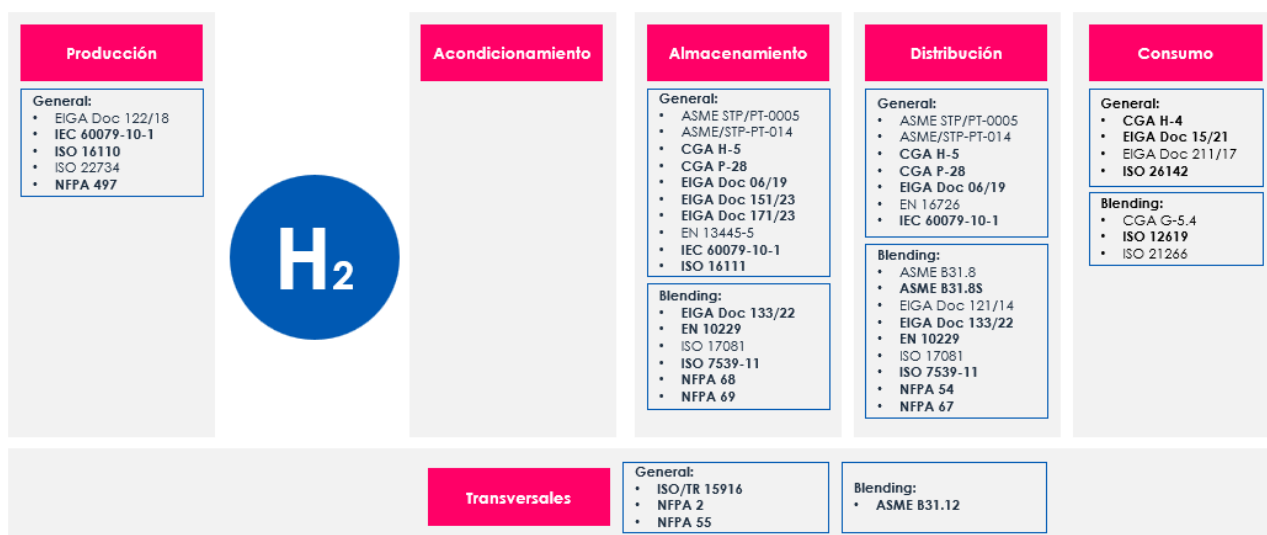


Figura 9: Mapa normativo seguridad hidrógeno renovable blending. Fuente: Elaboración propia.

Estas normas se concentran principalmente en los procesos de distribución de la cadena de valor, además de almacenamiento, consumo y una norma transversal a los procesos de la cadena: ASME B31.12 (ídem al caso de cogeneración).

La tabla a continuación, describe las normas aplicables a blending analizadas en este estudio.

Tabla 12: Normas de aplicación blending. Fuente: Elaboración propia.

| Norma | Nombre | Descripción | Última actualización | Enlace a la norma |
|-----------------------------|---|--|----------------------|---|
| ASME B31.12 | Hydrogen piping and pipelines | Esta norma es aplicable a tuberías y oleoductos que manejan hidrógeno gaseoso y mezclas de hidrógeno, así como a tuberías en servicio de hidrógeno líquido. Incluye requisitos para materiales, soldadura, tratamiento térmico, formación, pruebas, inspección, operación y mantenimiento. | 2023 | https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/b31-12-hydrogen-piping-pipelines |
| ASME B31.8 | Gas Transmission and Distribution Piping Systems | Cubre sistemas de transmisión y distribución de gas, incluyendo tuberías, estaciones de compresión y medición, y líneas de servicio hasta la salida del conjunto de medidores del cliente. | 2016 | https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/sistemas-de-tuberias-de-distribucion-y-transporte-de-gas-spanish-translation-of-asme-b31-8 |
| ASME B31.8S | Managing System Integrity of Gas Pipelines | Proporciona directrices para la gestión de la integridad de los sistemas de gasoductos construidos con materiales ferrosos. | 2022 | https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/b31-8s-managing-system-integrity-gas-pipelines/2022/pdf |
| CGA G-5.4 | Standard for Hydrogen Piping Systems at User Locations | Esta norma describe las especificaciones y principios generales recomendados para sistemas de tuberías de hidrógeno gaseoso (Tipo I) o líquido (Tipo II) en ubicaciones de usuario. | 2019 | https://portal.cganet.com/publication/G-5.4/details |
| EIGA Doc 121/14 (CGA G-5.6) | Hydrogen Pipeline Systems | Se describen términos clave, como tuberías de distribución, tuberías de planta y tuberías de transmisión. Además, se mencionan aleaciones de cobre, níquel, acero inoxidable, cobalto y otros materiales utilizados en estas tuberías. | 2014 | https://www.eiga.eu/uploads/documents/DOC121.pdf |
| EIGA Doc 133/22 | Cryogenic vaporisation systems – prevention of brittle fracture of equipment and piping | Este documento aborda la prevención de fracturas frágiles en equipos y tuberías utilizados en sistemas de vaporización criogénica. | 2022 | https://www.eiga.eu/ct_documents/doc133-pdf/ |
| EN 10229 | Evaluation of resistance of steel products to hydrogen induced cracking (HIC) | Esta norma aborda la resistencia de los productos de acero a la fisuración causada por el hidrógeno. | 2014 | https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0010646 |
| ISO 12619 | Road vehicles — Compressed gaseous hydrogen (CGH2) and hydrogen/natural gas blends fuel system components | Especifica los requisitos generales y las definiciones de los componentes del sistema de combustible de hidrógeno comprimido gaseoso (CGH2) y las mezclas de hidrógeno/gas natural, destinados para su uso en los tipos de vehículos de motor definidos en ISO 3833. | 2024 | https://www.iso.org/standard/51569.html |
| ISO 17081 | Method of measurement of hydrogen permeation and | Esta norma especifica un método de laboratorio para medir la permeación del hidrógeno y determinar la absorción y el | 2019 | https://www.iso.org/standard/64514.html |

| Norma | Nombre | Descripción | Última actualización | Enlace a la norma |
|-------------|--|--|----------------------|---|
| | determination of hydrogen uptake and transport in metals by an electrochemical technique | transporte de átomos de hidrógeno en metales utilizando una técnica electroquímica. Se aplica a metales y aleaciones, y permite evaluar la absorción de hidrógeno en función del flujo de hidrógeno en estado estacionario. También describe cómo determinar la difusividad efectiva de los átomos de hidrógeno en un metal y distinguir entre atrapamiento reversible e irreversible. La norma establece requisitos para la preparación de muestras, control y monitoreo de variables ambientales, procedimientos de prueba y análisis de resultados. | | |
| ISO 21266 | Road vehicles — Compressed gaseous hydrogen (CGH2) and hydrogen/natural gas blends fuel systems | La norma aborda los requisitos de seguridad para los sistemas de combustible de hidrógeno, además de especificar los métodos de prueba para verificar estos requisitos de seguridad. | 2018 | https://www.iso.org/standard/70340.html |
| ISO 7539-11 | Corrosion of metals and alloys — Stress corrosion testing — Part 11: Guidelines for testing the resistance of metals and alloys to hydrogen embrittlement and hydrogen-assisted cracking | Esta norma proporciona orientación sobre las características clave que deben considerarse al diseñar y llevar a cabo pruebas para evaluar la resistencia de un metal o su aleación a la fragilización por hidrógeno y a la fisuración asistida por hidrógeno. | 2023 | https://www.iso.org/standard/43440.html |
| NFPA 54 | National Fuel Gas Code | También conocida como el Código Nacional del Gas Combustible, esta norma establece los requisitos mínimos de seguridad para la instalación y seguro de sistemas de gas combustible. | 2024 | https://www.nfpa.org/es/codes-and-standards/nfpa-54-standard-development/54 |
| NFPA 67 | Recommended Practice on Explosion Protection for Gaseous Mixtures in Pipe Systems | Guía para el diseño, instalación y operación de sistemas de tuberías que contienen gases inflamables donde existe potencial de ignición. | 2024 | https://www.nfpa.org/es/codes-and-standards/nfpa-67-standard-development/67 |
| NFPA 68 | Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting | Aplica al diseño, ubicación, instalación, mantenimiento y uso de dispositivos y sistemas que ventilen los gases de combustión y presiones resultantes de una deflagración dentro de un recinto. | 2023 | https://www.nfpa.org/es/codes-and-standards/nfpa-68-standard-development/68 |
| NFPA 69 | Standard on Explosion Prevention Systems | Cubre los requisitos mínimos para instalar sistemas para la prevención de explosiones en recintos que contienen concentraciones inflamables de gases, vapores, nieblas, polvos o mezclas híbridas. | 2024 | https://www.nfpa.org/es/codes-and-standards/nfpa-69-standard-development/69 |

A partir de las normas analizadas, se sugiere la siguiente agrupación

Tabla 13: Agrupación normas blending. Fuente: Elaboración propia.

| Categoría | Normas |
|--|--|
| Tuberías y oleoductos de hidrógeno | <ul style="list-style-type: none"> • ASME B31.12 • ASME B31.8 • ASME B31.8S • CGA G-5.4 • EIGA Doc 121/14 (CGA G-5.6) • EIGA Doc 133/22 • EN 10229 • ISO 7539-11 |
| Componentes del sistema de combustible de hidrógeno y mezclas de hidrógeno/gas natural | <ul style="list-style-type: none"> • ISO 12619 • ISO 17081 |
| Sistemas de prevención y control de explosiones | <ul style="list-style-type: none"> • ISO 21266 • NFPA 54 • NFPA 67 • NFPA 68 • NFPA 69 |

5.3.3 Análisis barreras normativas y casos internacionales

Ante la no existencia de normativa específica respecto del blending de hidrógeno con gas natural para ser inyectado en una red de distribución, investigadores proponen regular “al menos en cuanto a los materiales de la red y la fracción máxima de hidrógeno permitida para no afectar la operación de los artefactos conectados a la red”⁷³.

Particularmente, respecto de las proporciones máximas de hidrógeno en la mezcla, diversos países en Europa, Norteamérica y Asia han establecido límites, como lo muestra la siguiente tabla.

Tabla 14: Límites normativos internacionales de % de H2 en blending.

| País | Límite | Detalles |
|---------------|--------|--|
| Alemania | 10% | Redes con estaciones de servicio de gas natural comprimido u otros clientes “sensibles” están limitados a < 2% |
| Francia | 6% | Francia está actualizando actualmente su marco regulatorio para Blending |
| España | 5% | Se permite el 5% para gases no convencionales |
| Austria | 4% | - |
| Bélgica | 2% | No hay límite oficial, pero el 2% es tratado como un límite práctico por operadores |
| Suiza | 2% | - |
| Canadá | 2% | Límite de facto por encima del cual podrían imponerse restricciones adicionales |
| Nueva Zelanda | 0,1% | - |
| Japón | 0,1% | - |

⁷³ GIZ, 2020. Proposición de Estrategia Regulatoria del Hidrógeno para Chile.

Además de los límites presentados en la tabla anterior, se destacan los siguientes casos internacionales:

- Europa: Los límites de blending están determinados a nivel de Estado miembro. Sin embargo, la Comisión Europea propone establecer un límite máximo de 5% a nivel fronterizo.
- Gran Bretaña: En 2023, el Gobierno tomó la decisión como política estratégica de apoyar el blending con un porcentaje de H₂ de hasta 20% en las redes de distribución de gas. Esta decisión impulsó la realización de una consulta sobre la temática, la cual fue respondida por 129 stakeholders.
- Colombia: Se encuentra en tramitación el proyecto de ley N°275, el cual busca establecer una cuota mínima de 2% como blending obligatorio en la red de gas natural a 2030 para las ciudades que cuenten con más de 500.000 habitantes.

5.3.4 Principales hallazgos blending

Hallazgos relacionados a estatus de desarrollo de proyectos:

- Si bien los proyectos de blending en países de la red son escasos, se destacan dos casos que forman parte de la red de aprendizaje (Promigas y GasValpo), puesto que son proyectos que están inyectando hidrógeno renovable en redes de gas natural para una cantidad considerable de hogares (159.000 y 2.000, respectivamente).

Hallazgos relacionados a análisis normativo:

- La principal conclusión del ejercicio de agrupación de las normas técnicas de hidrógeno y gases es que, aunque cada norma tiene un enfoque y aplicación específicos, todas comparten el objetivo común de garantizar la seguridad y eficiencia en el manejo del hidrógeno y otros gases.
- Es importante mencionar que cada norma está diseñada para abordar aspectos específicos de la cadena de valor del hidrógeno y los sistemas de gas, desde el diseño y construcción de tuberías hasta la prevención de explosiones y la clasificación de áreas peligrosas. Las normas funcionan de manera complementaria para proporcionar un marco integral de seguridad. Por ejemplo, mientras algunas normas se centran en el diseño y la integridad estructural de las tuberías, otras se enfocan en la operación segura y la prevención de incidentes. Además, la combinación de estas normas ofrece una cobertura integral de seguridad para todas las etapas de la cadena de valor del hidrógeno, asegurando que los riesgos sean gestionados de manera efectiva en cada punto.
- Europa, Norteamérica y Asia han avanzado en el establecimiento de límites del porcentaje de hidrógeno en las mezclas, definiendo límites que alcanzan el 10%. Además, la Comisión Europea ha propuesto la definición de límites fronterizos.

6 Conclusiones

El presente informe constituye una actualización de la normativa respectiva a seguridad en hidrógeno, poniendo foco en los seis países que componen la Red H2R: Argentina, Chile, Colombia, Costa Rica, México y Uruguay. A lo largo del documento se presentan hallazgos provenientes de la propia actualización normativa, del marco actual de los países, del estatus de desarrollo de los proyectos y la normativa específica a transporte y procesos de calor.

En este capítulo final se presentan los principales desafíos identificados, junto con las recomendaciones co-elaboradas con los y las participantes de la Red.

6.1 Desafíos y oportunidades

Los principales desafíos identificados son los siguientes:

- Los países de la Red se encuentran cuentan con incipientes marcos jurídicos que consideran normas legales o reglamentarias vigentes que regulen los aspectos de seguridad de las instalaciones de hidrógeno, lo cual se deba probablemente al estado de transición regulatoria en el contexto de la transición energética.
- Chile y Uruguay cuentan con reglamentos de seguridad de instalaciones recientemente aprobados (junio de 2024), lo cual los posiciona como los casos más avanzados en la temática entre los 6 países. Al ser casos más avanzados, permite utilizarlos como ejemplos para los demás países y propicia la colaboración entre Estados.
- Resulta clave analizar las normas respecto de su complejidad y velocidad de implementación en cada Estado. Esto en línea con el reporte especial de la Corte Europea de Auditores de julio de 2024⁷⁴, el cual critica que las medidas acompañantes del marco legal para la protección del clima, en particular el acto delegado para la definición de hidrógeno renovable, han tardado demasiado en concretarse y resultan excesivamente complejas, retrasando inversiones cruciales en el sector.
- No se realizan diferencias relevantes entre el transporte de carga y de personas en cuanto a su regulación general. Es decir, lo que vienen a regular las normas técnicas de carácter general en esta materia, es el transporte de hidrógeno propiamente tal, en sus diferentes formas.
- Procesos como la cogeneración aún se encuentran en fases piloto, sin alcanzar un nivel comercial en términos de economías de escala, por lo que su masificación y regulación puede encontrarse más alejada que otras aplicaciones.
- El desarrollo de la industria del hidrógeno ha avanzado en esta década, explorando las diversas aplicaciones como lo es el blending con gas natural, como una alternativa transitoria hacia soluciones de 100% hidrógeno. Estas alternativas constatan la necesidad del establecimiento de normas en los países de la Red para avanzar en estándares claros que reduzcan la incertidumbre en nuevos proyectos.

6.2 Recomendaciones para Gobiernos

Las siguientes recomendaciones se han colaborado con la participación de los y las integrantes de la Red H2R durante el desarrollo de la sesión N°5, estableciendo sugerencias y políticas a desarrollar para el fomento de la industria del hidrógeno y el establecimiento de normativa de seguridad, poniéndolos en dos casos de destinatarios: países con alto nivel de desarrollo e incipiente desarrollo en hidrógeno.

A. Recomendaciones para el fomento de la industria del hidrógeno renovable.

- Generar colaboración entre países con mayor y menor desarrollo, compartiendo buenas prácticas y estatus de proyectos para generar nuevas tecnologías. Se destacan casos de colaboración entre privados y público-privado como las firmas de memorandos de entendimiento (MoU) para la construcción de planta de e-fuels en Paysandú entre ANCAP y HIF⁷⁵, además del memorando

⁷⁴ European Court of Auditors, 2024. The EU's industrial policy on renewable hydrogen. Legal framework has been mostly adopted – time for a reality check. Disponible en: https://h2news.cl/wp-content/uploads/2024/07/Special-Report-The-EU%C2%B4s-Industrial-Policy-on-Renewable-Hydrogen-2024-11_EN.pdf

⁷⁵ Publicación en sitio web oficial: <https://es.hifglobal.com/docs/default-source/documentos-noticias/chile/2023-06-hif-global-aterrija-en-uruguay-con-proyecto-de-e-combustibles.pdf>

de entendimiento entre Uruguay y Francia para estudiar la viabilidad de implementación de un tren de pasajeros a H₂⁷⁶.

- Establecer leyes en materia económica que generen estímulos para agregar demanda, considerando que las barreras económicas representan problemáticas relevantes para el desarrollo de proyectos. Resulta importante considerar que el fomento a la industria no debe ir en detrimento de la seguridad con el fin de acelerar el mercado.
- Fomentar innovación y participación en el sector, por medio de incentivos y la colaboración entre academia, industria, Gobierno y regulador. Casos como el del Bus H₂ Chile (Colbún, Anglo American, CORFO, Reborn Electric Motors, Centro Nacional de Pilotaje y Fundación Chile) y H₂U Uruguay son ejemplo de lo positivo de este trabajo.
- Disponer de fondos y concursos para el desarrollo de soluciones alineadas con la transformación productiva ante el cambio climático. Ejemplos de estos fondos son la iniciativa H₂4U⁷⁷ en Uruguay y el programa tecnológico de transformación productiva ante el cambio climático⁷⁸ de CORFO en Chile.
- Promover soluciones asequibles para la industria, considerando el contexto regional. En esta línea, se puede avanzar en un mayor incentivo al desarrollo de soluciones intermedia y al foco en aplicaciones como cogeneración y blending.
- Promover una disminución de tiempos de tramitación de permisos sectoriales, acercando los tiempos efectivos a los plazos establecidos (donde en Chile por ejemplo, la ruta crítica de tramitación completa de un proyecto podría tomar 2,7 años de acuerdo a los plazos oficiales, sin embargo, puede llegar a tomar más de 10 años considerando los tiempos efectivos⁷⁹). Para este fin, se pueden implementar recomendaciones tales como las elaboradas por la Comisión Nacional de Evaluación y Productividad (2023)⁸⁰ de Chile: establecer una institucionalidad basada en un modelo de gobernanza habilitante; optimización y simplificación de esquemas aprobatorios; digitalización fullweb de trámites; entre otras.

B. Recomendaciones para el establecimiento de normativa asociada a seguridad en hidrógeno.

- Establecer hoja de ruta normativa a nivel Latinoamericano, considerando experiencias en países de referencia (Europa y Asia) y el contexto regional. Dados los avances en países como Francia y Alemania, resulta importante estudiar las discusiones actuales que permitan prever desafíos globales y para la región, como lo puede ser el despliegue de trenes a hidrógeno que es respaldado por organizaciones como la Sociedad Nacional de los Ferrocarriles Franceses (SCNF)⁸¹.
- Generar red de colaboración normativa entre los países con foco en compartir experiencias, recursos y
- buenas prácticas. Esta recomendación puede ser potenciada a través del desarrollo de plataforma que presente avances normativos en países de Latinoamérica y casos de referencia (similar a HyLaw⁸²).
- Enfatizar en normativas respectivas a seguridad, monitoreo y prevención de accidentes, considerando ejemplos de Chile y Uruguay, además de basarse en normativas internacionales para generar sus normativas base e implementar consultas en industrias para su aplicación.
- Elaboración y desarrollo de programas de capacitación y educación para reguladores y profesionales del sector respecto de normativas internacionales de seguridad y su implementación.
- Finalmente, dado que la normativa en seguridad en hidrógeno renovable se encuentra en un estado de desarrollo en la región, resulta clave su seguimiento y actualización continua, considerando los programas y decisiones que tome cada Estado. Para esto, es relevante que las instituciones abran canales que permitan actualizar sus conocimientos y aprendizajes respecto

⁷⁶ Publicación en sitio web oficial: <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/comunicacion/noticias/miemp-top-firmaron-acuerdo-consorcio-frances-para-estudiar-viabilidad>

⁷⁷ Publicación en sitio web oficial: <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/comunicacion/noticias/uruguay-da-importante-paso-hacia-desarrollo-del-hidrogeno-verde-concrecion>

⁷⁸ Sitio web oficial: https://www.corfo.cl/sites/cpp/convocatorias/ptec_transformacion_productiva_cambio_climatico

⁷⁹ Biblioteca del Congreso Nacional, 2023. "Permisología" asociada a los proyectos de inversión. Disponible en: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/35549/1/Informe_BCN_aspectos_regulatorios_para_la_inversio_n_FINAL.pdf

⁸⁰ Disponible en: <https://cnepe.cl/wp-content/uploads/2023/11/AnalisisPermisosSectorialesV9.pdf>

⁸¹ Disponible en: <https://hydrogentoday.info/en/hydrogen-trains/>

⁸² Plataforma disponible en: <https://www.hylaw.eu/about-us/>

de la temática. En particular, este estudio presenta el estado actual de la normativa en los países de la Red H2R a modo de fotografía, la cual deberá ser actualizada y nutrida constantemente a futuro, dotándose de vanguardia y colaboración con el horizonte de plasmar información para una mejor toma de decisiones en el establecimiento de normativa de seguridad en hidrógeno renovable.

7 Bibliografía

1. GIZ, 2020. Hidrógeno - cadenas de valor y legislación internacional. Disponible en: <https://4echile.cl/wp-content/uploads/2022/01/Cadena-de-valor-H2-y-regulacion-internacional.pdf>
2. GIZ, 2023. Infografía Cadena de valor del PtX. Disponible en: https://h2lac.org/wp-content/uploads/2023/04/20230412_GIZ_cadena_valor-1.pdf
3. Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, 2024. Estudio recopilatorio de seguridad operacional para la implementación de buses a hidrógeno en el sistema RED.
4. GIZ, 2020. Identificación de aspectos ambientales, sectoriales y territoriales para el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde en toda su cadena de valor. Disponible en: https://energia.gob.cl/sites/default/files/identificacion_de_aspectos_ambientales_sectoriales_y_territoriales_para_el_desarrollo_de_proyectos_de_hidrogeno_verde_en_toda_su_cadena_d.pdf
5. GIZ, 2020. Proposición de Estrategia Regulatoria del Hidrógeno para Chile. Disponible en: https://energia.gob.cl/sites/default/files/proposicion_de_estrategia_regulatoria_del_hidrogeno_para_chile.pdf
6. GIZ, 2022. Especificaciones de calidad del hidrógeno como combustible y estado del sistema de certificación de productos de gas natural. Disponible en: https://4echile.cl/wp-content/uploads/2022/01/Calidad-H2-y-sistema-certificacion-productos-GN_publico.pdf
7. Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Berlín, 2023. Estrategia Nacional del Hidrógeno en Alemania. Disponible en: https://www.icex.es/content/dam/es/icex/oficinas/017/documentos/2023/11/otros-documentos/OD_Estrategia%20Nacional%20del%20Hidr%C3%B3geno%20en%20Alemania%2023_REV.pdf
8. Servicio Nacional de Geología y Minería, 2022. Guía de implementación de pilotos y validación de tecnologías que utilizan hidrógeno como combustible en minería. Disponible en: https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2022/05/Gui%CC%81a-Hidro%CC%81geno-marzo-2022-Final_web.pdf
9. Biblioteca del Congreso Nacional, 2023. "Permisología" asociada a los proyectos de inversión, Informes de la Comisión Nacional de Evaluación y Productividad de 2019 y 2023. Disponible en: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/35549/1/Informe_BCN_aspectos_regulatorios_para_la_inversio__n_FINAL.pdf
10. Report Linker, 2024. Global Hydrogen Market Overview.
11. Statista Research Department, 2024. Global hydrogen demand 2019-2030. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/1121206/global-hydrogen-demand/>
12. PNUD, 2023. Por qué el transporte de bajas emisiones es clave para América Latina y el Caribe. Disponible en: <https://climatepromise.undp.org/es/news-and-stories/por-que-el-transporte-de-bajas-emisiones-es-clave-para-america-latina-y-el-caribe>
13. Groth, San Marchi, James y Kiuru, 2015. Separation Distance Reduction Based on Risk-Informed Analysis. Disponible en: https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/15006_separation_distance_reduction.pdf?Status=Master
14. Erdener, Burcin Cakir, et al., 2023. A review of technical and regulatory limits for hydrogen blending in natural gas pipelines. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319922050923>
15. Misión Cavendish, 2021. Infografías Blending. Disponible en: <https://misioncavendish.com/hidrogeno-verde/wp-content/uploads/2021/11/infografias-Blending-4.pdf>
16. GIZ, 2023. Estudio de prefactibilidad de cogeneración con hidrógeno y recuperación de calor en Minera Valle Central. Disponible en: <https://4echile.cl/wp-content/uploads/2023/09/Estudio-Cogeneracion-H2-GIZ-MVC-Publico.pdf>
17. Glover, A., Mohr, J. T., & Baird, A. 2021. Codes and Standards Assessment for Hydrogen Blends into the Natural Gas Infrastructure (No. SAND2021-12478). Sandia National Lab.(SNL-NM), Albuquerque, NM (United States).
18. Biblioteca del Congreso Nacional, 2023. "Permisología" asociada a los proyectos de inversión. Disponible en: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/35549/1/Informe_BCN_aspectos_regulatorios_para_la_inversio__n_FINAL.pdf
19. Comisión Nacional de Evaluación y Productividad, 2023. Análisis de los permisos sectoriales prioritarios para la inversión en Chile. Disponible en: <https://cnep.cl/wp-content/uploads/2023/11/AnalisisPermisosSectorialesV9.pdf>

8 Anexos

8.1 Matriz de permisos

| Autoridad | Tipo de permiso | Documento | Artículo | Descripción | Transporte de carga y personas | Cogeneración | Blending |
|---------------------------|-----------------------|-------------|----------|---|--------------------------------|--------------|----------|
| Ministerio Medio Ambiente | Ambiental | DS 40 | 134 | 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 | | X | X |
| Ministerio Medio Ambiente | Ambiental | DS 40 | 139 | Permiso para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier obra pública o particular destinada a la evacuación, tratamiento o disposición final de residuos industriales o minero | | X | X |
| Ministerio Medio Ambiente | Ambiental | DS 40 | | Permiso para todo sitio destinado al almacenamiento de residuos peligrosos | X | X | X |
| Ministerio de Defensa | Combustible | DS 400 | | Control de sustancias químicas | X | X | X |
| Ministerio de Economía | Combustible | Comparativo | | Inscripción como producción, importación, transporte, almacenamiento, distribución, mezcla y comercialización de nuevo combustible | X | X | X |
| Ministerio de Economía | Combustible | Comparativo | | Declaración puesta en servicio de estación surtidora | X | | |
| Ministerio de Economía | Gasoducto | Comparativo | | Solicitud de concesión | | | X |
| Ministerio de Economía | Generación | Comparativo | | Solicitud de determinación de un proyecto como otro medio de generación renovable no convencional | | X | |
| Ministerio de Economía | Instalación eléctrica | DFL-4 | | Solicitud de declaración de proyecto en construcción | | X | |
| Ministerio de Economía | Línea eléctrica | DFL-4 | | Solicitud de concesión | | X | |
| Ministerio de Economía | Línea eléctrica | DFL-4 | | Permiso de cruzar calles, otras líneas eléctricas u otros bienes nacionales de uso público | | X | X |

| Autoridad | Tipo de permiso | Documento | Artículo | Descripción | Transporte de carga y personas | Cogeneración | Blending |
|---|-----------------------|-------------|----------|---|--------------------------------|--------------|----------|
| Ministerio de Energía | Combustible | Comparativo | | Certificado de conformidad de tercera parte | | X | X |
| Ministerio de Energía | Combustible | Comparativo | | Comunicación previo inicio de construcción | | X | X |
| Ministerio de Energía | Combustible | Comparativo | | Declaración previa puesta en servicio | | X | X |
| Ministerio de Energía | Combustible | Comparativo | | Comunicación de cambio de operador | | X | X |
| Ministerio de Energía | Combustible | Comparativo | | Informe termino de operación | | X | X |
| Ministerio de Energía | Combustible | Comparativo | | Inscripción unidades de transporte | X | | |
| Ministerio de Energía | Combustible | Comparativo | | Declaración de instalación de gas | | X | X |
| Ministerio del Interior | Sustancia controlada | Interior | | Inscripción de Sustancia Controlada | X | X | X |
| Ministerio de Salud | Caldera | DS-10 | | Registro de calderas y autoclaves | | X | |
| Ministerio de Salud | Caldera | DS-10 | | Certificado de competencia de operadores de calderas y autoclaves | | X | |
| Ministerio de Salud | Industrial | DFL-275 | | Informe sanitario para la instalación, ampliación o traslado de industrias y talleres | | X | X |
| Ministerio de Salud | Residuo peligroso | DS-148 | | Aprobación de plan de manejo de residuos peligrosos | | X | X |
| Ministerio de Salud | Residuo peligroso | DS-148 | | Autorización sanitaria de sitios de almacenamiento de residuos peligroso | | X | X |
| Ministerio de Salud | Sustancias peligrosas | DFL-275 | | Autorización sanitaria para la fabricación de sustancias peligrosa | | X | |
| Ministerio de Salud | Sustancias peligrosas | DFL-275 | | Autorización sanitaria para almacenamiento de sustancias peligrosas | | X | |
| Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones | Transporte | DS-167 | | Permiso de circulación vehículos pesados | X | | |
| Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones | Transporte | DS-167 | | Permiso de circulación buses locomoción colectiva | X | | |



Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Registered offices
Bonn and Eschborn, Germany

Friedrich-Ebert-Allee 32 + 36
53113 Bonn, Deutschland
T +49 228 44 60-0
F +49 228 44 60-17 66

E info@giz.de
I www.giz.de

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn, Deutschland
T +49 61 96 79-0
F +49 61 96 79-11 15

El proyecto Desarrollo del Hidrógeno Renovable en Chile (RH2), es cofinanciado por la Unión Europea y el Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima de Alemania (BMWK), siendo implementado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH y la Agencia Española de Cooperación Internacional al Desarrollo (AECID).