Proposición de estrategia regulatoria del hidrógeno para Chile.

27 de abril de 2020

Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética en Chile

giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Por encargo de:
Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear
de la República Federal de Alemania

Ministerio de Energía
Gobierno de Chile

Edición:
Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 40
53113 Bonn • Alemania

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

Nombre del proyecto:
Descarbonización del Sector Energía en Chile

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

Responsable:
Rainer Schröer

En coordinación:
Ministerio de Energía de Chile
Alameda 1449, Pisos 13 y 14, Edificio Santiago Downtown II
Santiago de Chile
T +56 22 367 3000
I www.energia.gob.cl

Registro de Propiedad Intelectual Inscripción, ISBN: 978-956-8066-21-5. Primera edición digital: abril 2020

Cita:

Título: Proposición de estrategia regulatoria del hidrógeno para Chile
Autor(es): GIZ, Centro de Energía UC
Revisión, modificación y edición: Rodrigo Vásquez Torres,
Santiago de Chile, 2020.
199 páginas
Energía - Hidrógeno verde – Regulación hidrógeno – Normativa hidrógeno

Centro UC
Energía

Aclaración:
Esta publicación ha sido preparada por encargo del proyecto "Descarbonización del Sector Energía en Chile" implementado por el Ministerio de Energía y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en el marco de la cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania. El proyecto se financia a través de la Iniciativa internacional sobre el clima (IKI) del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania - BMU. Sin perjuicio de ello, las conclusiones y opiniones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile o de GIZ. Además, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar en ningún caso constituye una recomendación por parte del Gobierno de Chile o de GIZ.
Santiago de Chile, 27 de abril de 2020

Resumen Ejecutivo

El presente estudio fue gestionado y financiado por GIZ para el Ministerio de Energía de Chile y fue desarrollado por el Centro de Energía de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Su objetivo es levantar una línea base regulatoria y proponer un plan de acción nacional para desarrollar un marco regulatorio de seguridad del hidrógeno como energético.

El problema

Diversos estudios de GIZ[1], IRENA[2], IEA[3] y otros, han identificado el potencial del hidrógeno verde para permitir la descarbonización total y costo-efectiva de la matriz energética, como complemento de otras soluciones. Ante esto, el Ministerio de Energía (MEN) se ha propuesto facilitar el desarrollo del mercado energético del hidrógeno verde como parte de su plan de descarbonización de la matriz energética. Un problema que dificulta ese desarrollo es la falta de regulación de seguridad en todas las etapas de su cadena de valor, adecuada a los nuevos usos del hidrógeno energético.

Los nuevos proyectos de hidrógeno necesitan una regulación clara y moderna que garantice la seguridad de las personas y las cosas. Sin esta regulación, se presenta el riesgo de que estas no tengan una protección adecuada contra los peligros potenciales del hidrógeno, al que la mayoría de las personas no está acostumbrada. Adicionalmente, los nuevos proyectos tendrán dificultades y demoras para obtener los permisos necesarios.

La regulación nacional incluye al hidrógeno en forma genérica, siendo regulado por los reglamentos de sustancias peligrosas (gases inflamables), que aplican al transporte por vías públicas, a su almacenamiento y a los lugares de trabajo. El Ministerio de Salud reglamenta el almacenamiento de sustancias peligrosas y las condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo. Por otro lado, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones reglamenta el transporte por carretera de sustancias peligrosas y la manipulación de ellas en recintos portuarios; el transporte marítimo está regulado por el Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (CMIMP). El Ministerio del Trabajo y Previsión Social también tiene un reglamento sobre prevención de riesgos profesionales, que toca tangencialmente al hidrógeno en cuanto obliga al empleador a tener un reglamento interno de seguridad e higiene en el lugar de trabajo, además de informar a los trabajadores sobre los riesgos que corren y a capacitarlos para enfrentarlos adecuadamente. Finalmente, el SERNAGEOMIN del Ministerio de Minería tiene un reglamento de seguridad minera que podría afectar al hidrógeno en forma indirecta.

A pesar de lo anterior, la regulación nacional es insuficiente para aplicaciones energéticas ya que la eventual masificación del uso del hidrógeno necesita reglamentos específicos y detallados, que cubran situaciones no tratadas por los de sustancias peligrosas. En efecto, faltan disposiciones respecto a recipientes de alta presión, fluidos criogénicos (hidrógeno líquido), atmósferas inflamables, mitigación de explosiones, necesidades de ventilación, manipulación y transferencia de hidrógeno, y variados usos previsibles. La nueva regulación deberá considerar, además, la incorporación de nuevas tecnologías y la mayor exposición de la población a los riesgos del hidrógeno en las variadas aplicaciones futuras. Con una regulación adecuada, los riesgos del hidrógeno son iguales o menores que los de combustibles convencionales; el riesgo depende más de la tecnología empleada que del combustible.

[1] (Vásquez & Salinas, 2018)

[2] https://www.irena.org/newsroom/articles/2020/Jan/Green-hydrogen-the-potential-energy-transition-gamechanger

[3] https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen

Solución recomendada

Para resolver la falta de regulación de seguridad adecuada ante el incremento de uso del hidrógeno, se recomienda el plan regulatorio mostrado en la tabla siguiente.

Plan regulatorio

Nº	Nombre	Horizonte de Tiempo	Órgano Competente
1	Reglamento general de instalaciones de hidrógeno combustible	Corto plazo,2020 a 2024	MEN
2	Reglamento de transporte de hidrógeno combustible por vía pública		MEN
3	Reglamento de sistema de hidrógeno combustible en maquinaria y vehículos industriales		MEN
4	Reglamento de almacenamiento de sustancias peligrosas (DTO 43, actualización)	Mediano plazo, 2025 a 2028	MINSAL
5	Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales en los lugares de trabajo (DTO 594, actualización)		MINSAL
6	Reglamento de transporte de cargas peligrosas por calles y caminos (DTO 298, actualización)		MTT
7	Reglamento de transporte y distribución de hidrógeno por cañerías		MEN
8	Reglamento de artefactos domésticos a combustión de hidrógeno		MEN
9	Reglamento de generadores eléctricos a hidrógeno y duales		MEN
10	Reglamento para las estaciones de dispensado público de hidrógeno		MEN
11	Reglamento de requisitos técnicos, constructivos y de seguridad para los vehículos a hidrógeno gaseoso		MTT
12	Manual de revisión técnica de vehículos a hidrógeno gaseoso		MTT
13	Reglamento de sistemas de hidrógeno para minería subterránea.		MEN
14	Reglamento de seguridad para tanques y contenedores para hidrógeno combustible	Largo plazo, 2029 y siguientes	MEN
15	Recomendaciones de seguridad para las emergencias de vehículos a hidrógeno		MIN
16	Reglamento de seguridad para talleres de reparación y mantención de vehículos a hidrógeno		MTT
17	Recomendaciones de seguridad para garajes de estacionamiento de vehículos a hidrógeno		Municipios
18	Reglamento de manipulación y almacenamiento de cargas peligrosas en recintos portuarios (Res. 96, 1997, actualización)		MTT
19	Reglamento de requisitos técnicos, constructivos y de seguridad para los vehículos a hidrógeno líquido		MTT
20	Manual de revisión técnica de vehículos a hidrógeno líquido		MTT

Este plan considera que una buena reglamentación debe facilitar tanto el trabajo del regulador como el del fiscalizador y su aplicación por los regulados, y considera las competencias de los órganos reguladores y el tiempo requerido para promulgar un reglamento. Consecuentemente, se recomienda la creación de un reglamento general y varios específicos. El primero aplica a la mayoría de los casos, y los otros aplican a los casos específicos que pueden existir. La mayoría de los instrumentos regulatorios recomendados son nuevos, pero hay algunos que requieren sólo la actualización de reglamentos existentes. El orden de los instrumentos se estableció de acuerdo a los doce proyectos concretos que hoy se conocen, pero deberá adaptarse a la evolución de ellos y otros que surgirán en el futuro.

Un problema adicional que presenta la elaboración de estos reglamentos es que la competencia del MEN se limita al hidrógeno energético, y otros usos son regulados como sustancia peligrosa. El inconveniente es que operaciones comunes a ambos usos, como generación, transporte y almacenamiento, tendrían regulaciones diferentes, aunque se trate de la misma sustancia y el mismo proceso. Al respecto se recomienda al MEN coordinarse interministerialmente con los órganos que regulan las sustancias peligrosas para lograr una reglamentación coherente para todos los usos.

La mayoría de los instrumentos regulatorios propuestos se apoyan en normas técnicas internacionales, y reglamentos de la UE, de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) y del gobierno federal de EE. UU. En algunos casos no se encontraron normas aplicables, como ser para uso del hidrógeno en minería subterránea.

Se propone adoptar las normas recomendadas en este informe en lugar de desarrollar normas chilenas (NCh), ya que no existe la capacidad técnica ni experiencia local para ello. La única excepción es el uso del hidrógeno en minería subterránea, área en la cual no hay normas internacionales. Para lo último, se propone que el Estado apoye la participación de profesionales chilenos en el comité ISO/TC 197, a través del INN, para promover y trabajar en la elaboración de normas para el uso de hidrógeno en minería subterránea.

Otros antecedentes

En Sudamérica hay al menos cuatro países con interés en el hidrógeno verde y cooperación internacional en esta materia: Argentina, Brasil, Perú y Uruguay. Brasil, Argentina y Uruguay están a la cabeza, pero ninguno tiene regulación para el hidrógeno energético; Argentina tiene una ley de hidrógeno, pero es inaplicable por falta de reglamentos. Con estos países se podría establecer alianzas en la formación de capital humano técnico y científico, cooperación para la regulación armonizada del hidrógeno, intercambio comercial de equipos, productos y servicios, exportación de hidrógeno a otros continentes, intercambio de experiencia en transporte público sin huella de carbono, adquisición de equipos, participación en el comité normativo ISO/TC 197, financiamiento conjunto de la traducción de normas internacionales, e intercambio de experiencia en políticas de incentivos.

Desde 2015 la GIZ, junto con el Comité Solar de CORFO, ha impulsado el desarrollo del hidrógeno verde en Chile, aprovechando el gran potencial de energías renovables con que cuenta el país. Se ha venido sensibilizando al sector público y privado, ya sea mediante publicaciones y la organización en conjunto, además, con el Ministerio de Energía, de dos conferencias internacionales, lo cual ha despertado el interés en distintas empresas nacionales e internacionales.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO **3**

TABLA DE CONTENIDO **6**

LISTADO DE TABLAS **10**

LISTADO DE FIGURAS **11**

1 ANTECEDENTES **13**

2 INTRODUCCIÓN **13**

3 OBJETIVOS **14**

4 PROYECTOS DE H_2, REGULACIÓN NACIONAL PERTINENTE Y BRECHAS **14**

4.1 El hidrógeno en Chile 14

4.1.1 Síntesis de principales proyectos nacionales de hidrógeno *14*

4.1.2 Otros Grupos de interés relacionados al hidrógeno en Chile *21*

4.1.3 Planes relacionados con el hidrógeno y sus derivados *24*

4.2 El hidrógeno en Sudamérica 25

4.2.1 Identificación del interés de países seleccionados *26*

4.2.2 Levantamiento de planes y proyectos *29*

4.2.3 Identificación de posibles alianzas *31*

4.3 Regulación nacional pertinente y brechas 33

4.3.1 Revisión y síntesis de regulación nacional relacionada al hidrógeno *33*

4.3.2 Identificación de las brechas regulatorias *36*

4.3.3 Recomendación de modificaciones a la regulación actual *39*

5 NORMATIVA INTERNACIONAL Y NORMAS APLICABLES A CHILE **43**

5.1 Normativa internacional 43

5.1.1 Recomendación de normativa internacional *44*

5.1.2 Elaboración de un mapa regulatorio nacional *48*

5.2 Normativa técnica que debiese desarrollarse e implementarse en Chile 52

6 ANÁLISIS DE LA REGULACIÓN NACIONAL DE OTROS COMBUSTIBLES QUE DEBERÍA INCLUIR AL HIDRÓGENO **53**

6.1 Regulación nacional existente que se debería revisar 53

6.2 Actualización y aplicación al hidrógeno de la regulación de otros combustibles 55

7 PROPOSICIÓN DE PLAN DE ACCIÓN REGULATORIO **58**

7.1 Priorización de proyectos nacionales 58

7.2 Priorización de los requerimientos regulatorios 59

7.3 Otras consideraciones 61

7.3.1 El hidrógeno como sustancia peligrosa y como combustible 61
7.3.2 Competencia del Ministerio de Energía 62
7.3.3 Organización de la reglamentación 63
7.4 PROPOSICIÓN DE UN PLAN DE ACCIÓN REGULATORIO 65
7.4.1 Reglamentos por horizonte de regulación 65
7.4.2 Normas internacionales recomendadas para cada documento regulatorio 71
7.4.3 Mapa regulatorio de reglamentos 74
7.5 PROCESO DE DESARROLLO DE DOCUMENTOS REGULATORIOS E IDENTIFICACIÓN DE PARTICIPANTES 77
7.6 CAPACITACIÓN 79
8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 80
8.1 CONCLUSIONES 80
8.2 RECOMENDACIONES 83
9 REFERENCIAS 85
10 APÉNDICES 88
10.1 DEFINICIONES Y ABREVIACIONES 88
10.1.1 Definiciones 88
10.1.2 Abreviaciones 89
10.2 ESTRUCTURA DEL MARCO REGULATORIO 90
10.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO 91
10.3.1 Objetivo general 91
10.3.2 Objetivos específicos 91
10.4 METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL INFORME 92
10.5 ENTREVISTAS NACIONALES 93
10.5.1 Empresa: Melón 93
10.5.2 Empresa: Engie 93
10.5.3 Organización: H_2 Chile 96
10.5.4 Organización: Colegio de Ingenieros de Chile A.G., Comisión de Energía 97
10.5.5 Organización: Club de la Innovación 98
10.5.6 Organización: Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) 99
10.5.7 Organización: Ministerio del Medioambiente (MMA), Subsecretaria del Medio Ambiente, División de Calidad de Aire Climático 100
10.5.8 Organización: Ministerio del Medioambiente (MMA), Subsecretaria del Medio Ambiente, División de Calidad de Aire Climático 101
10.5.9 Organización: Robert Bosch S.A. 102
10.5.10 Organización: Ministerio de Minería – División de Desarrollo Sostenible 103
10.5.11 Organización: Comité Solar e Innovación Energética 104

10.5.12 Organización: Antofagasta Minerals SA 105

10.5.13 Organización: CODELCO 106

10.5.14 Organización: Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (Minciencia) 108

10.5.15 Organización: Ministerio de Relaciones Exteriores, Dirección de Energía, Ciencia y Tecnología e Innovación (DECYTI) 108

10.5.16 Organización: SUBREI, División de Comercio y Desarrollo Sustentable 109

10.5.17 Organización: Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Departamento Marítimo, Fluvial y Lacustre 111

10.5.18 Organización: Siemens 112

10.5.19 Organización: Consultora Independiente en Temas de Hidrógeno 113

10.5.20 Organización: Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Subsecretaría de Transporte, División de Normas y Operaciones 114

10.6 EMPRESAS Y PROYECTOS DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO EN CHILE 115

10.6.1 Linde Gas Chile S.A 115

10.6.2 Refinería Bio Bio 116

10.6.3 INDURA SA 116

10.6.4 Empresas Melón 116

10.6.5 Empresa Engie y Empresa Logística 116

10.6.6 AquaChile – BHP Chile 117

10.6.7 ENEL/EPS 117

10.6.8 Nestlé 117

10.6.9 ENAP: 117

10.7 PROYECTOS Y OPERACIONES DE USOS DEL HIDRÓGENO EN CHILE 118

10.7.1 Empresa ALSET 118

10.7.2 Universidad Técnica Federico Santa María 118

10.7.3 Empresas Green Technology Ltda. – AquaFire 118

10.7.4 Empresa INDURA y NOKIA 118

10.8 GRUPOS DE INTERÉS EN CHILE 119

10.8.1 Asociación Chilena del Hidrógeno 119

10.8.2 Colegio de Ingenieros, Comisión de Energía 119

10.8.3 Club de la Innovación 119

10.8.4 Universidades y Centros de Investigación 119

10.9 SELECCIÓN DE PAÍSES SUDAMERICANOS 120

10.10 EL HIDRÓGENO EN SUDAMÉRICA 121

10.10.1 Argentina 121

10.10.2 Bolivia 123

10.10.3 Brasil *123*
10.10.4 Colombia *124*
10.10.5 Ecuador *125*
10.10.6 Guyana *125*
10.10.7 Guayana Francesa *125*
10.10.8 Paraguay *126*
10.10.9 Perú *126*
10.10.10 Surinam *126*
10.10.11 Uruguay *126*
10.10.12 Venezuela *127*
10.11 ENTREVISTAS INTERNACIONALES 127
10.11.1 Argentina *127*
10.11.2 Brasil *129*
10.11.3 Perú *131*
10.11.4 Uruguay *131*
10.12 CADENA DE VALOR DEL HIDRÓGENO 134
10.12.1 Primer borrador *134*
10.12.2 Definición de las etapas de la cadena de valor final *136*
10.13 PROYECTOS DE H2 QUE DESARROLLAN LAS UNIVERSIDADES EN CHILE 140
10.14 DOCUMENTOS REGULATORIOS CHILENOS 141
10.14.1 Regulación nacional que aplica al hidrógeno *142*
10.14.2 Listado de regulaciones sobre combustibles gaseosos que no aplican directamente al uso del hidrógeno pero que se deberían considerar *153*
10.15 REGULACIONES TÉCNICAS INTERNACIONALES 159
10.15.1 Organizaciones que Generan Normas *160*
10.15.2 Selección de Normas *161*
10.15.3 Normas Propuestas para la Cadena de Valor *166*
10.15.4 Desglose de las Normas Propuestas Según las Partes de la Cadena de Valor *173*
10.16 REGULACIONES AFECTADAS POR LA INTRODUCCIÓN DEL H_2 COMO COMBUSTIBLE 184
10.17 PRIORIZACIÓN DE PROYECTOS 186
10.18 DOCUMENTOS ANEXOS AL INFORME 189
10.19 MINUTA DE VERGARA Y CÍA 189

Listado de Tablas

TABLA 1 PRINCIPALES PROYECTOS DE HIDRÓGENO EN OPERACIÓN Y DESARROLLO 16
TABLA 2 PROYECTOS DE HIDRÓGENO EN OPERACIÓN Y DESARROLLO SEGÚN CADENA DE VALOR 17
TABLA 3 PROYECTOS DE HIDRÓGENO EN ETAPAS PRELIMINARES 19
TABLA 4 PROYECTOS DE HIDRÓGENO EN ETAPAS PRELIMINARES SEGÚN CADENA DE VALOR 20
TABLA 5 ASOCIACIONES QUE HAN EJECUTADO ACTIVIDADES RELACIONADAS AL HIDRÓGENO 21
TABLA 6 UNIVERSIDADES QUE TRABAJAN EN TECNOLOGÍAS DEL HIDRÓGENO (VÁSQUEZ & SALINAS, 2018) 23
TABLA 7 PLANES RELACIONADOS AL HIDRÓGENO Y SUS DERIVADOS EN CHILE 25
TABLA 8 PROYECTOS DE HIDRÓGENO EN SUDAMÉRICA 29
TABLA 9 LISTADO DE REGLAMENTOS Y NORMAS QUE APLICAN AL HIDRÓGENO COMO SUSTANCIA PELIGROSA 33
TABLA 10 RECOMENDACIÓN DE MODIFICACIONES A REGULACIÓN ACTUAL 41
TABLA 11 PROPOSICIÓN DE REGULACIÓN INTERNACIONAL PARA CERRAR LAS BRECHAS DETECTADAS EN LA REGULACIÓN NACIONAL, APLICABLES A LAS PRIMERAS CUATRO ETAPAS DE LA CADENA DE VALOR 45
TABLA 12 PROPOSICIÓN DE REGULACIÓN INTERNACIONAL PARA CERRAR LAS BRECHAS DETECTADAS EN LA REGULACIÓN NACIONAL, APLICABLES A LA ÚLTIMA ETAPA DE LA CADENA DE VALOR – CONSUMO 45
TABLA 13 PROPOSICIÓN DE REGULACIÓN INTERNACIONAL PARA CERRAR LAS BRECHAS DETECTADAS EN LA REGULACIÓN NACIONAL, APLICABLES A TODAS LAS ETAPAS DE LA CADENA DE VALOR 46
TABLA 14 REGULACIÓN NACIONAL PARA REVISIÓN 53
TABLA 15 RESUMEN DE LOS INSTRUMENTOS SEÑALADOS EN LA TABLA 14 55
TABLA 16 RESUMEN DE LAS ACTUALIZACIONES A LOS DECRETOS SEÑALADOS EN LA TABLA 14 56
TABLA 17 PRIORIZACIÓN DE PROYECTOS NACIONALES 58
TABLA 18 PRIORIZACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS REGULATORIOS 61
TABLA 19 INSTRUMENTOS REGULATORIOS A DICTAR O ACTUALIZAR EN EL CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO 66
TABLA 20 REGLAMENTOS A DICTAR EN EL CORTO PLAZO: 2020 A 2024 66
TABLA 21 REGLAMENTOS Y MANUALES A DICTAR O ACTUALIZAR EN EL MEDIANO PLAZO: 2025 A 2028 67
TABLA 22 DOCUMENTOS REGULATORIOS A DICTAR O ACTUALIZAR EN EL LARGO PLAZO: A PARTIR DE 2029 70
TABLA 23 NORMAS INTERNACIONALES PARA CADA DOCUMENTO REGULATORIO 73
TABLA 24 PARTICIPANTES PARA ELABORACIÓN DE REGLAMENTACIÓN 79
TABLA 25 DOCUMENTOS REGULATORIOS PRIORIZADOS Y ORGANISMOS RESPONSABLES 82
TABLA *26* DEFINICIONES DE CONCEPTOS RELEVANTES EXTRAÍDAS DE LA BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL 88
TABLA 27 MATRIZ DE SELECCIÓN DE LOS DOS PAÍSES SUDAMERICANOS ADICIONALES 120
TABLA 28 LISTADO DE NORMAS Y REGLAMENTOS SOBRE SEGURIDAD DE COMBUSTIBLES GASEOSOS 153
TABLA 29 ORGANIZACIONES QUE GENERAN NORMAS RELEVANTES PARA EL HIDRÓGENO (RIVERA, 2019) 160
TABLA 30 NORMAS SELECCIONADAS APLICABLES A PRODUCCIÓN 162

TABLA 31 NORMAS SELECCIONADAS APLICABLES A ACONDICIONAMIENTO 162
TABLA 32 NORMAS SELECCIONADAS APLICABLES A ALMACENAMIENTO 163
TABLA 33 NORMAS SELECCIONADAS APLICABLES A TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN 163
TABLA 34 NORMAS SELECCIONADAS APLICABLES A CONSUMO 164
TABLA 35 NORMAS GENERALES 165
TABLA 36 DOCUMENTOS INFORMATIVOS 166
TABLA 37 COMPARACIÓN DE NORMAS SIMILARES APLICABLES A PRODUCCIÓN 166
TABLA 38 COMPARACIÓN DE NORMAS SIMILARES APLICABLES A ALMACENAMIENTO 167
TABLA 39 COMPARACIÓN DE NORMAS SIMILARES APLICABLES A TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN 167
TABLA 40 COMPARACIÓN DE NORMAS SIMILARES APLICABLES A CONSUMO – CELDAS DE COMBUSTIBLE (CC) 167
TABLA 41 COMPARACIÓN DE NORMAS SIMILARES APLICABLES A CONSUMO – HIDROGENERAS 168
TABLA 42 COMPARACIÓN DE NORMAS SIMILARES APLICABLES A CONSUMO – INTERFACE HIDROGENERA-VEHÍCULO 168
TABLA 43 COMPARACIÓN DE NORMAS SIMILARES APLICABLES A CONSUMO – PROTOCOLOS DE DISPENSADO 169
TABLA 44 COMPARACIÓN DE NORMAS SIMILARES APLICABLES A CONSUMO – SISTEMAS DE CAÑERÍAS 169
TABLA 45 COMPARACIÓN DE NORMAS SIMILARES APLICABLES A CONSUMO – VEHÍCULOS 169
TABLA 46 COMPARACIÓN DE NORMAS SIMILARES APLICABLES A TODAS LAS ETAPAS DE LA CADENA DE VALOR 170
TABLA 47 NORMAS PROPUESTAS APLICABLES A LA ETAPA PRODUCCIÓN 170
TABLA 48 NORMAS PROPUESTAS APLICABLES A LA ETAPA ACONDICIONAMIENTO 171
TABLA 49 NORMAS PROPUESTAS APLICABLES A LA ETAPA ALMACENAMIENTO 171
TABLA 50 NORMAS PROPUESTAS APLICABLES A LA ETAPA TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN 171
TABLA 51 NORMAS PROPUESTAS APLICABLES A LA ETAPA CONSUMO 171
TABLA 52 NORMAS PROPUESTAS APLICABLES A TODAS LAS ETAPAS DE LA CADENA DE VALOR 172
TABLA 53 NORMAS PROPUESTAS DE CARÁCTER INFORMATIVO PARA TODA LA CADENA DE VALOR 172
TABLA 54 MATRIZ DE PRIORIZACIÓN DE PROYECTOS 189
TABLA 55 MATRIZ DE PUNTAJES POR CRITERIOS 189

Listado de Figuras

FIGURA 1 DOS FORMAS DE MOSTRAR LAS RELACIONES ENTRE LAS ETAPAS DE LA CADENA DE VALOR; LA DE LA DERECHA ES SIMILAR AL ESQUEMA CLÁSICO DEL MODELO DE CADENA DE VALOR DE PORTER. 48
FIGURA 2 MAPA REGULATORIO NACIONAL DEL H_2 50
FIGURA 3 MAPA REGULATORIO NACIONAL DE REGLAMENTOS DEL H_2 76
FIGURA 4 RESUMEN DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE REGLAMENTOS DEL MEN 77
FIGURA 5 ESTRUCTURA DEL MARCO REGULATORIO 90

FIGURA 6 PLAN ACCIÓN ENGIE PARA SEC (FUENTE: KOEN LANGIE)..... 94
FIGURA 7 CADENA DE VALOR DEL H_2 (FUENTE: EMPRESA FICHTNER)..... 134
FIGURA 8 RELACIONES ENTRE LAS ETAPAS DE LA CADENA DE VALOR..... 137
FIGURA 9 DIAGRAMA DE FLUJOS DE LA CADENA DE VALOR PROPUESTA..... 139
FIGURA 10 REQUISITOS DE LAS MANTENCIONES..... 146
FIGURA 11 DISTANCIAS DE SEGURIDAD SEGÚN CAPACIDAD DEL TANQUE..... 147
FIGURA 12 DISTANCIA DE SEGURIDAD ESPECÍFICA PARA EL HIDRÓGENO..... 148
FIGURA 13 REQUISITOS PARA EXTINTORES DE INCENDIO MANUALES..... 149
FIGURA 14 CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE FUEGO SEGÚN EL DECRETO 594..... 150
FIGURA 15 MATRIZ DE INCOMPATIBILIDAD DE SPS SEGÚN CLASE DEFINIDA EN NCH 382:2013..... 159

1 Antecedentes

Los antecedentes relacionados al presente informe se indican a continuación:

1. GIZ, Términos de Referencia Proyecto Descarbonización del sector energía en Chile, PN 69.3020.0-001.00, Nº 83339485, 18 de octubre de 2019.
2. Estudio de empresa Fichtner "Descarbonización del sector energético chileno Hidrógeno - cadenas de valor y legislación internacional" de fecha Abril 2020.
3. Comité Solar e Innovación Energética, Propuesta de estrategia para el Desarrollo del Mercado de Hidrógeno Verde en Chile, agosto de 2019, versión 1.0.
4. Comité Solar e Innovación Energética, Implementa Sur "Estudio para definir esquemas de financiamiento para acelerar la adopción tecnológica e implementación de proyectos de generación, almacenamiento, transporte, consumo y exportación de Hidrógeno Verde para Chile, de fecha 20 de diciembre de 2019.
5. ENAP, términos de referencia "Estudio de prefactibilidad para un proyecto demostrativo a escala industrial de un sistema de generación de hidrógeno a partir del vertimiento del parque eólico vientos patagónicos", enero de 2020.

2 Introducción

Entre las medidas de descarbonización del sector energía en Chile, el Ministerio de Energía contempla eliminar barreras para el desarrollo del mercado de las tecnologías de hidrógeno verde, entendiendo como tal al hidrógeno que es producido a partir de fuentes renovables, tales como el agua, la energía solar o la eólica, donde se producen emisiones de gases de efecto invernadero nulas o muy bajas[4]. Esto incluye el establecer tempranamente un marco regulatorio apropiado para resguardar la seguridad de las personas y las cosas, permitir una sana competencia entre los actores involucrados, y facilitar la materialización de proyectos. Consecuentemente, GIZ licitó el presente estudio denominado "Propuesta de estrategia regulatoria del hidrógeno para Chile", que le servirá al Estado en general, y al Ministerio de Energía en particular, para elaborar una regulación moderna, flexible y adecuada, y armonizada con regulaciones internacionales relevantes para Chile, que garantice la seguridad del hidrógeno en toda su cadena de valor.

El lenguaje habitual usado en Chile para referirse a aspectos regulatorios y normativos contiene términos como reglamentos, normas, estándares, códigos y otros, con significados ligeramente distintos, dependiendo del contexto y de la fuente de la que se haya traducido, cuando se trata de una traducción. Con el objeto de evitar ambigüedades en este documento, manteniendo un texto conciso y fácil de leer, se usarán las definiciones presentadas en el Apéndice 10.1. En síntesis, se llamará *reglamento* a una norma general, obligatoria y abstracta emitidas por una autoridad del Estado distinta al poder legislativo y que es de aplicación obligatoria; y se entenderá por *norma* a aquellas emitidas por organismos especializados para desarrollarlas. Las normas no son obligatorias, pero pasan a serlo, en parte o totalmente, si son citadas por un reglamento.

El marco regulatorio tiene reglamentos que citan normas primarias, las que por esto se hacen también obligatorias. Continuando esta cadena, las normas primarias, que son relativamente generales, citan otras normas con detalles complementarios que, por lo tanto, también se hacen

[4] Fichtner, Antecedentes 2

obligatorias (ver Apéndice 10.2); esta etapa puede continuar en varios niveles más. El alcance de este informe se limitó a los reglamentos y las normas primarias de seguridad, específicas para el hidrógeno, que citarán los reglamentos.

3 Objetivos

El objetivo general de este estudio es levantar una línea base regulatoria y proponer un plan de acción nacional para desarrollar un marco regulatorio para la seguridad del hidrógeno.

De este objetivo general se desprenden siete objetivos específicos: 1) Identificación de proyectos en Chile, 2) Identificación de proyectos en Sudamérica, 3) levantamiento de regulación nacional e identificación de brechas, 4) análisis de regulaciones internacionales, 5) proposición de regulación técnica específica, 6) proposición de plan de acción regulatorio, y 7) comparación de regulación nacional de otros combustibles similares. Mayor elaboración de estos objetivos se encuentra en el Apéndice 10.3.

4 Proyectos de H_2, Regulación Nacional Pertinente y Brechas

Utilizando la metodología descrita en Apéndice 10.4, se hizo un levantamiento de proyectos de H_2 en Chile y Sudamérica, se analizó la regulación nacional actual aplicada al hidrógeno y se identificó las brechas. Las actividades están asociadas correlativamente a cada uno de los tres primeros objetivos específicos descritos en el Capítulo 2 del documento Antecedentes Nº 2.

4.1 El hidrógeno en Chile

Usando la información disponible al inicio del trabajo, se hizo un listado de los principales proyectos de hidrógeno a nivel nacional, tomando como punto de partida de esta línea base el Capítulo 6 de la publicación Tecnologías del Hidrógeno y Perspectivas para Chile (Vásquez & Salinas, 2018), y la información de Antecedentes 3 y 4. Este listado se actualizó y complementó mediante entrevistas a 19 organizaciones industriales, de gobierno, públicas y privadas (ver Apéndice 10.5). A continuación, se entrega detalles del listado, luego se caracterizan los grupos de interés, para finalizar con los planes que existen a la fecha en instituciones de gobierno para desarrollar nuevos proyectos de hidrógeno.

4.1.1 Síntesis de principales proyectos nacionales de hidrógeno

Se buscaron proyectos asociados a la producción, almacenamiento, transporte, distribución y usos de hidrógeno, mediante entrevistas a personas de instituciones del Estado y privadas. En el Apéndice 10.5 se encuentran los detalles de las entrevistas. La información se presenta separada en proyectos que actualmente se encuentran operando o en desarrollo, es decir produciendo y usando hidrógeno industrialmente, o implementándose, y aquellos que están en sus etapas preliminares de idea o estudio. En ambos casos la información se resume en una matriz que permite identificar la etapa de la cadena de valor a la que están relacionados. También se buscaron proyectos en publicaciones en Internet y otros medios. Adicionalmente, se estudió la Propuesta de Estrategia para el Desarrollo del Mercado de Hidrógeno Verde en Chile realizada por el Comité Solar e Innovación Energética, los proyectos especiales presentados ante la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) y otros documentos similares.

Principales proyectos de H_2 en operación y desarrollo

En Chile, la producción de H_2 es realizada mayoritariamente por empresas de producción y venta de gases industriales, para ser utilizado principalmente en la industria de la refinación de combustibles (para el hidrotratamiento, hidrocraking y desulfuración), en la industria de los alimentos (en la fabricación de aceites y margarinas), en la industria del vidrio (en la protección del baño de estaño fundido del proceso de vidrio flotado, el pulido superficial y el requemado de bordes en artículos de vidrio), en la industria de generación de energía (refrigerante de generadores), y en tratamientos térmicos y termoquímicos (Vásquez & Salinas, 2018). La Tabla 1 presenta las principales empresas que producen H_2 en Chile y los proyectos que están en desarrollo. El Apéndice 10.6 presenta más información de los proyectos y empresas.

Tabla 1 Principales Proyectos de Hidrógeno en Operación y Desarrollo

Empresa/Institución	Objetivo	Capacidad	Tipo de proceso producción H_2	Etapa de desarrollo	Información general
Linde Gas Chile S.A.-Refinería Aconcagua	Producción H_2 para abastecimiento de ENAP y de clientes externos	46.719 Nm^3/h de H_2 ENAP y 56.562 Nm^3/mes clientes externos	Reformado de Metano con Vapor (SMR)	En operación.	Uso principal en desulfurización de productos limpios, hidrotratamiento e hidrocraqueo de cadenas de hidrocarburos para refinación. Una fracción menor se vende a clientes de Linde.
Refinería Bío Bío	Producción H_2 para abastecimiento de ENAP y de clientes externos	31.000 Nm^3/h con dos plantas	Reformado de metano con vapor	En operación.	Uso en desulfurización de productos limpios, hidrotratamiento e hidrocraqueo de cadenas de hidrocarburos para refinación.
Indura SA-Vidrios Lirquén	Producción de H_2	200 Nm^3/h	Electrólisis	En operación.	Uso protección baño de estaño en planta de vidrio flotado, Vidrios Lirquén. Parte de su producción se vende en cilindros.
Indura, planta Graneros	Producción de H_2	ND	Electrólisis	En operación.	Para producción de H_2 como gas industrial y venta en cilindros.
ENEL/EPS[5]	Producción H_2 como sistemas almacenamiento energía,	ND	Electrólisis	En operación.	Planta ubicada en la localidad de Cerro Pabellón
ALSET	Combustión dual H_2/diésel para camiones mineros	ND	ND	Proyecto Corfo en desarrollo	Desarrollar y generar un piloto de camión minero CAEX que funcione con combustión dual Diésel-Hidrógeno. Monto del proyecto: $ 3.500.000.000.
USM	Uso celdas combustibles en vehículos mineros	ND	ND	Proyecto Corfo en desarrollo	Generar un prototipo de vehículo de aplicación para minería subterránea que funcione con energía eléctrica proveniente de celdas combustibles a hidrógeno. Monto del proyecto: $ 650.000.000.

ND: Información no disponible

La Tabla 2 muestra los mismos proyectos de la Tabla 1 indicando los eslabones de la cadena de valor que incluyen. Se aprecia que dos de los cinco proyectos que ya están en operación son integrados, abarcando la cadena de valor completa, dos solo consideran producción, almacenamiento y consumo de hidrógeno y no tienen transporte ni distribución porque el lugar de uso es contiguo a la producción. La planta de Indura en Graneros destina la producción a la venta de hidrógeno en cilindros a varios clientes y, por lo tanto, no tiene consumo.

[5] Antecedentes 1

Los proyectos en desarrollo, en cambio, consideran sólo el almacenamiento y uso del hidrógeno, al menos por el momento. Es decir, otros deberán producirlo y eventualmente, transportarlo.

Tabla 2 Proyectos de Hidrógeno en Operación y Desarrollo según Cadena de Valor

Empresa	Producción	Almacenamiento	Transporte/ Distribución	Consumo
Linde Gas Chile S.A.-Refinería Aconcagua-ENAP				
Refinería Bío Bío - ENAP				
Indura SA- Vidrios Lirquén				
Indura-Graneros				
ENEL/EPS				
ALSET				
USM				

Nota: las celdas sombreadas verde indican que el proyecto incluye ese componente de la cadena de valor. La celda amarilla indica que no hay información respecto del almacenamiento pero que se estima que deberán tenerlo para abastecer a los vehículos durante las pruebas.

Proyectos de H_2 en etapas preliminares

A continuación, se presentan los proyectos en etapas preliminares que se identificaron. La mayoría de estos proyectos se encuentran en las etapas iniciales de su ciclo de vida, como son las etapas de ideas y conceptualización (se entiende por conceptualización aquella etapa de mayor profundidad en los estudios que la etapa de idea, y que considera el desarrollo de algún tipo de ingeniería conceptual). Se encontraron 15 proyectos de hidrógeno en etapas preliminares; no todos ellos son para uso energético, algunos son financiados parcialmente por el Estado a través de Corfo y otros están en etapa de idea. Entre ellos destacan los que se presentan en la

Tabla 3 y se describen a continuación. El Apéndice 10.5 presenta más información de las entrevistas realizadas, y el Apéndice 10.6 más información respecto de los proyectos y las empresas que los promueven.

Tabla 3 Proyectos de Hidrógeno en Etapas Preliminares

Empresa	Objetivo	Etapa de desarrollo	Fines energéticos	Normas consideradas
ENAP[6]	Producción de H_2 verde para uso en síntesis de Metano Se pretende usar capacidad disponible de 3 MW para generación de H_2. Si este proyecto se materializa, el que se describe abajo se descarta.	Idea	No	ND
ENAP[2]	Producción de H_2 verde para inyección a matriz de gas. Busca analizar distintas opciones de inyección de hidrógeno en el sistema de gasoductos de Punta Arenas, para determinar el máximo porcentaje de hidrógeno admisible en mezclas con gas natural, en cumplimiento a todas las Normas de Gestión Técnica del Sistema Gasista. Si este proyecto se materializa, el señalado arriba no se realizará.	Idea	Si	Se menciona el cumplimiento del PD-01-NGTS[7] y la NCh2264:2014[8]
Empresas Melón	Generación de hidrógeno; inicialmente con energía de la red, para uso en horno cementero. Producción de hidrógeno mediante electrólisis para suministrar a quemadores en un horno destinado a la producción de cemento.	Idea conversada con la SEC y no presentada formalmente.	Si	ND
ENAEX-ENGIE[9]	Producción de H_2 verde para síntesis de amoniaco.	Prefactibilidad	No	ND
Engie y empresa logística	Producción, almacenamiento, distribución y uso de hidrógeno; inicialmente producido con energía eléctrica de la red, usado como combustible para grúas montacargas consistente en: electrolizador, dos estaciones de compresión de H2, un punto de almacenamiento y carga de los montacargas, y cambio de baterías por celdas de combustible.	Ingeniería básica Presentado a SEC	Si	Engie propuso a SEC una serie de normas las que se listan en entrevista de Apéndice 10.5
AquaChile –BHP Chile	Producción de hidrógeno mediante electrólisis con energía de la red y uso en combustión para generación de vapor	Conceptual. Presentado a SEC.	Si	ND
Methanex[10]	Producción de H_2 verde para uso en síntesis de Metanol en Magallanes, planta Cabo Negro	Idea	No	ND
AES Gener	Producción, almacenamiento y transporte de H_2 verde para síntesis de amoniaco. Generar H_2 en la localidad de Calama y transportarlo hasta Mejillones para usar el H_2 en la síntesis	Idea	No	ND

[6] Antecedentes 5

[7] Protocolo de detalle PD-01 "Medición, Calidad y Odorización de Gas" de las Normas de Gestión Técnica del Sistema Gasista, Gobierno de España (http://laadministracionaldia.inap.es/noticia.asp?id=1108319).

[8] NCh2264:2014 Gas natural – Especificaciones (https://ecommerce.inn.cl/nch2264201445938)

[9] Antecedentes 4

[10] Antecedentes 4

	de amoniaco verde que es usado en el proceso de abatimiento de NOx en la central termoeléctrica de Mejillones.			
Solvay Peróxidos de Los Andes Industrial y Comercial Ltda.	Producción de H_2 mediante proceso SMR, almacenamiento y uso de H_2 para proceso industrial de síntesis de Peróxido de Hidrógeno	Solicitud aprobada por el SEA[11].	No	ND
EKA[12]	Producción de hidrógeno verde generado como subproducto en la planta elaboradora de clorato de sodio para ser usado en proceso de producción de peróxido de hidrógeno en planta en la localidad de Talcahuano.	Solicitud aprobada por el SEA	No	ND
Green Technology Ltda. Y AquaFire	Uso en sistema de calefacción en base a hidrógeno. La empresa comercializará artefactos destinados a calefacción por combustión de una mezcla gaseosa de Hidrógeno con Oxígeno.	Idea. Presentado a SEC.	Si	ND
INDURANOKIA	Almacenamiento de energía en base a H_2 para celdas combustibles y alimentación eléctrica en comunicaciones de celulares en repetidoras	Idea. Presentado a SEC y no implementada	Si	ND
BLUECOME (Antecedentes 4)	Uso en Combustión dual en generadores eléctricos reemplazando parcial o totalmente el combustible Diésel.	Pruebas de la tecnología	Si	ND
Robert Bosch	Combustión de H_2 en Calderas de combustión dual o 100% H_2. Venta de Calderas para generación de vapor. No considera almacenamiento ni venta de elementos para ello. Se consideran capacidades de generación de vapor desde 175 k/h hasta 75 ton/h.	Prospección del mercado nacional	Si	ND
Cummins	Uso H_2 en celdas combustible para reemplazo de generadores de respaldo a combustión interna por celdas de combustible a hidrógeno.	Idea	Si	ND

ND: Información no disponible

La Tabla 4 presenta los mismos proyectos de la Tabla 3, pero indicando los componentes de la cadena de valor que incluyen. Esta muestra que la mayoría de los proyectos integran la producción con el uso del hidrógeno. También se ve que varios no consideran transporte, ya que el lugar de uso es contiguo a la producción.

Tabla 4 Proyectos de Hidrógeno en Etapas Preliminares según Cadena de Valor

Nº	Empresa	Producción	Almacenamiento	Transporte/ Distribución	Consumo

[11] buscarProyectoAction.php

[12] https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=2143406182

1	ENAP				
2	ENAP				
3	Empresas Melón				
4	ENAEX-ENGIE				
5	Engie-empresa logística				
6	AquaChile –BHP Chile				
7	Methanex (Antecedentes 4)				
8	AES Gener				
9	Solvay Peróxidos de Los Andes Industrial y Comercial Ltda.				
10	EKA				
11	Green Technology Ltda. y AquaFire				
12	INDURA-NOKIA				
13	BLUECOME				
14	Robert Bosch				
15	Cummins				

Nota: las celdas sombreadas verde indican que el proyecto incluye ese componente de la cadena de valor.

4.1.2 Otros Grupos de interés relacionados al hidrógeno en Chile

Se identificaron y caracterizaron otros grupos de interés sin fines de lucro. Se buscó conocer su motivación, objetivos, organización, integrantes, tecnología que promueven o desarrollan y la etapa de desarrollo. Fueron agrupados en asociaciones sin fines de lucro y universidades. A continuación, se resume en dos tablas la información recolectada: (más detalles se encuentran en el Apéndice 10.8). La Tabla 5 presenta un resumen de las asociaciones formadas para promover el uso del hidrógeno, ninguna de ellas favorece alguna tecnología en particular. La Tabla 6 resume las universidades y centros de investigación que están trabajando en hidrógeno, cuyo detalle se encuentra en el Apéndice 10.8.

Tabla 5 Asociaciones que han ejecutado actividades relacionadas al hidrógeno

Nombre	Objetivos	Representante
Asociación Chilena del Hidrógeno, H_2 Chile.	Fomentar el desarrollo del Hidrógeno como vector energético. Promover su investigación, desarrollo y utilización en aplicaciones industriales, comerciales, residenciales y de movilidad	Hans Kulenkampff, Presidente
Colegio de Ingenieros de Chile, Comisión de Energía	Entre otros objetivos, se busca promover las energías limpias través del hidrógeno, generando instancias abiertas de discusión. Potenciar la economía del H_2. Impulsar que el Estado genere instancias de colaboración para facilitar la elaboración de legislación, reglamentación y estándares técnicos en temas asociados al hidrógeno para impulsar la materialización de proyectos.	Erwin Plett, Presidente Comisión de Energía del Colegio de Ingenieros
Club de la Innovación	Generar sinergias entre otros grupos de interés y entre los miembros del club de la innovación para el levantamiento de proyectos de H_2	Sebastián Pilasi, Gerente General

	verde, apoyando la generación de una estrategia del hidrógeno para Chile y la definición de una regulación que lo permita	

Tabla 6 Universidades que trabajan en tecnologías del hidrógeno (Vásquez & Salinas, 2018)

Nombre	Cadena de Valor	Línea de investigación	Responsable
Universidad Santa María	Producción	Producción de H_2 con materias primas	Departamento de Ingeniería Mecánica
	Consumo	Aplicación de H_2 en Motor de combustión Diésel	
Universidad de Chile	Producción	Celdas SOE, celdas biológicas y foto electroquímicas.	Departamento de Ingeniería Química y Biotecnología.
	Producción	Producción de H_2 a partir de reformado de gases o gasificación	
	Consumo	Materiales para electrolitos y electrodos de celdas de combustible SOE de temperatura intermedia	Departamento de Ingeniería Mecánica
	Consumo	Desarrollo de materiales para electrolito y electrodos de celdas SOE	
Pontificia Universidad Católica de Chile[13]	Almacenamiento	"Materiales en base a aerogeles de grafeno dopados con nanopartículas metálicas: Fecha inicio: enero 2019. Fecha término: diciembre 2020	Facultad de Química
	Normativo	"Seguridad y normas para uso de hidrógeno en minería". Fecha inicio: septiembre 2018. Fecha término: septiembre 2020.	Departamento de Ingeniería en minas
	Almacenamiento	"Almacenamiento de hidrógeno en medios microporosos". Fecha inicio: diciembre 2018. Fecha término: junio 2020.	Departamento de Ingeniería Química
Universidad Católica de Valparaíso	Producción	Producción de bio hidrógeno como fuente de energía renovable	Departamento de Química
	Producción	Producción de H_2 a través de proceso anaeróbico	
Universidad de Santiago de Chile	Almacenamiento	Materiales para almacenamiento de H_2	Departamento de Física y Departamento de Ingeniería Metalúrgica.
	Producción	Producción de H_2 con energía eléctrica renovable (paneles solares y turbinas eólicas)	
Universidad Andrés Bello	Almacenamiento	Almacenamiento de H_2 por adsorción en materiales nanoestructurados	Departamento de Ciencias Físicas
	Consumo	Materiales catalizadores para celdas combustible de H_2	
Universidad de la Frontera	Producción, Almacenamiento	Generación y almacenamiento de H_2 generado a partir de turbinas eólicas y paneles solares	Vicerrectoría de Investigación y Postgrado
Universidad de Concepción	Producción	Estudio de materiales para aceleración de reacción catalítica de la conversión en metano del gas de síntesis de biomasa	Departamento de Ingeniería Química

[13] Patricio Lillo, Pontificia Universidad Católica de Chile

	Consumo	Diseño de aleaciones metálicas y materiales nanoparticulados para diseño de catalizadores que transforman el CO_2 en metanol utilizando H_2 verde	
Universidad: de Atacama[14], Santa María y Pontificia Universidad Católica de Valparaíso	Producción	Proyecto FIC 40013425 "Producción de Hidrógeno utilizando Energía Solar Fotovoltaica" por un monto de $150.000.000 Fecha inicio: 19-04-2019, Fecha Término: 19-12-2020	Departamento de Química y Biología

4.1.3 Planes relacionados con el hidrógeno y sus derivados

Mediante entrevistas se buscaron planes de trabajo de organismos públicos nacionales respecto de regulaciones o estudios que afecten al hidrógeno y sus derivados, los que se resumen en la Tabla 7.

De las entrevistas realizadas a los ministerios de Salud, Transporte y Telecomunicaciones, Medio Ambiente, Relaciones Exteriores y Minería, no se detectó que estén desarrollando o considerando generar algún tipo de regulación o planes relacionados al hidrógeno en cualquiera de las etapas de la cadena de valor. Sin embargo, el ministerio de Salud tiene actualmente decretos que regulan el hidrógeno como sustancia peligrosa en el almacenamiento y en los lugares de trabajo. También el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones tiene regulaciones de transporte de mercancías peligrosas que afectan al hidrógeno y, por otro lado, sin mencionarlo directamente, el decreto 145/2018 define los vehículos eléctricos con celdas de combustible. Por otro lado, todos los ministerios entrevistados (Apéndice 10.5) están atentos al desarrollo que se está generando entorno al hidrógeno y a las iniciativas que está llevando el Ministerio de Energía, por lo que se sugiere coordinarse con ellos más adelante en el desarrollo de este servicio.

[14] https://www.researchgate.net/project/Proyecto-Fic-40013425-Produccion-de-Hidrogeno-utilizando-Energia-Solar-Fotovoltaica

Tabla 7 Planes relacionados al Hidrógeno y sus derivados en Chile

Regulación/normativa o planes en estudio	Organismo/s	Tema	Objetivo
Proyecto de Ley sobre eficiencia energética.	Ministerio de Energía	Modificación del DFL Nº 1 de 1979 y de la Ley 2.224 de 1978 por medio del Proyecto de ley sobre eficiencia energética	Incorporar al hidrógeno dentro de las competencias del Ministerio de Energía modificando el Decreto ley 2.224 de 1978 e incluyéndolo al listado de combustibles del DFL Nº 1 de 1979
Estudio	Comité Solar e Innovación Energética	Financiamiento para proyectos de hidrógeno	Definir esquemas de financiamiento para acelerar la adopción tecnológica e implementación de proyectos de generación, almacenamiento, transporte, consumo y exportación de Hidrógeno Verde.
Plan	Ministerio de Energía, CORFO, Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación	Estrategia Nacional del hidrógeno	Generar una estrategia para el desarrollo del mercado de hidrógeno Verde en Chile.
Plan	GIZ - Ministerio de Energía	Propuesta de estrategia regulatoria para el H_2 para Chile.	Levantar una línea base regulatoria y proponer un plan de acción nacional para desarrollar un marco regulatorio del hidrógeno.
Estudio	Ministerio de Energía	Solicitud de cooperación técnica al Banco Interamericano de Desarrollo (BID)	Realizar un estudio de factibilidad técnica entre el 2020 al 2022 de una planta de licuefacción de hidrógeno en Chile
Estudio	Ministerio de Relaciones Exteriores y Ministerio de Energía	Diplomacia del Hidrógeno de Chile	Definir una política de estado para la diplomacia del hidrógeno de Chile en materia de relaciones exteriores. Además, busca promocionar el desarrollo de un mercado internacional del H_2, posicionando a Chile como futuro exportador

4.2 El hidrógeno en Sudamérica

Interesa estudiar el desarrollo del hidrógeno en países de Sudamérica para vislumbrar posibilidades de cooperación científica, técnica y comercial entre ellos y Chile. Para mayor efectividad de la cooperación, es conveniente que exista una regulación armonizada entre los países, por lo que es importante coordinar su desarrollo en cada uno. Sin embargo, como el número de países es grande, se seleccionaron Argentina, Brasil, Perú y Uruguay, de acuerdo a seis criterios definidos en esta Consultoría y usando el método jerárquico analítico; tanto los criterios como sus ponderadores fueron acordados con la Contraparte Técnica. El Apéndice 10.9 muestra más detalles de la selección, y los cálculos se hacen en la planilla Excel "Matriz Evaluación Países Ver 3.xlsx" que complementa este informe.

Las tres secciones siguientes presentan el interés de los cuatro países seleccionados, los planes y proyectos que tienen, y las posibles alianzas con Chile. El Apéndice 10.10 presenta más información sobre el desarrollo del hidrógeno en los países sudamericanos en general, y el Apéndice 10.11 resume las entrevistas internacionales realizadas.

4.2.1 Identificación del interés de países seleccionados

Se analizaron los esfuerzos que están desarrollando los cuatro países seleccionados en torno al hidrógeno, se identificaron los principales proyectos, se desarrollaron entrevistas a grupos de interés y se realizó una breve prospección del marco regulatorio aplicable al hidrógeno.

Argentina

Argentina es un país destacado en Sudamérica en el desarrollo del hidrógeno como combustible. En el ámbito legislativo, en agosto de 2006 el Congreso de la Nación Argentina aprobó la ley 26.123[15] sobre "Régimen para el desarrollo de la tecnología, producción, uso y aplicaciones del hidrógeno como combustible y vector de energía" (Ver 10.10.1), con el propósito de promover la investigación, el desarrollo, la producción y la utilización del H_2 como combustible, y estimular el desarrollo de una industria del hidrógeno (Promoción del hidrógeno, 2006). Sin embargo, nunca se dictaron los reglamentos para su aplicación, pero ahora hay intenciones de actualizarla o dictar una nueva que la reemplace (ver entrevista en Apéndice 10.11). A la fecha no se tiene conocimiento de otra regulación específica para el hidrógeno.

En términos de acuerdos internacionales, a fines de 2019, Argentina y Japón suscribieron un Memorándum de Cooperación en materia de hidrógeno, para impulsar su desarrollo como fuente de energía no contaminante.

Los primeros estudios sobre el H_2 como vector energético se iniciaron en la década de 1980. En 2005 se creó un programa oficial para el financiamiento de proyectos de investigación en la producción, purificación y aplicaciones del H_2 como combustible. Varias universidades y centros de investigación realizan actualmente una amplia variedad de investigaciones básicas y aplicadas, con énfasis en la producción y usos finales del hidrógeno. En paralelo, empresas privadas y estatales se encuentran desarrollando proyectos asociados a las distintas etapas de la cadena de valor, como muestra la Tabla 8. Como se aprecia, actualmente está en ejecución un proyecto de generación, almacenamiento, distribución y uso del H_2 en el que participa la empresa HYCHICO. Hay cuatro proyectos relacionados a investigación y desarrollo y a formación de capital humano en los cuales participan indistintamente el Estado Argentino, la Comisión de Energía Atómica, la Universidad Tecnológica Nacional y el Instituto Tecnológico Buenos Aires, ITA. Además, existe una asociación gremial denominada "Asociación Argentina del Hidrógeno, AAH" que participa en los comités técnicos de los estándares ISO, en particular en el comité ISO/TC 197 "*Hydrogen Technologies*". Fuera del proyecto de HYCHICO, no hay otro proyecto privado de hidrógeno como energético verde en construcción u operación.

Brasil

En Sudamérica, Brasil lidera el desarrollo del hidrógeno en las diferentes fases de la cadena de valor. En el ámbito de las políticas públicas cuenta con un Programa de I&D sobre uso energético del H_2, con el Programa de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Economía

[15] http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/115000-119999/119162/norma.htm

del Hidrógeno del Ministerio de Ciencia y Tecnología, que abarca todas las fases de los sistemas eléctricos solares con almacenamiento de energía en forma de hidrógeno: producción, almacenamiento, transporte y consumos finales, y que adicionalmente incorporó la "Guía para una infraestructura de la economía del hidrógeno en Brasil" que había sido elaborada por el Ministerio de Minas y Energía el año 2010 .

Por otro lado, Brasil tiene políticas de incentivo[16] del mercado para desarrollar una industria brasileña de tecnologías del hidrógeno, en la que considera subsidios y el fomento de la elaboración de normas para la certificación de productos y servicios relacionados con las tecnologías de hidrógeno y celdas de combustibles. De acuerdo a la entrevista realizada al Dr. Ennio Peres de la Universidad de Campinas (ver entrevista en Apéndice 10.11.2), el año 2005 se trabajó en la elaboración de un *Roadmap,* pero no se avanzó en ello aunque aún se encuentran realizando esfuerzos para que se materialice, de acuerdo a lo señalado por el presidente de la asociación Brasilera del hidrógeno Dr Paulo (ver entrevista en Apéndice 10.11.2). Por otro lado, se intentó avanzar en una red de hidrógeno, esfuerzos que tampoco progresaron. Lo anterior evidencia que no existen leyes ni regulaciones normativas respecto del hidrógeno como energético. También es conveniente señalar que recientemente se creó la Asociación Brasilera del Hidrógeno (ABH2), que es una organización sin fines de lucro dedicada a promover la investigación científica y el desarrollo tecnológico del H_2 en Brasil, lo que muestra que están tratando de avanzar en estos temas.

Se desconoce si Brasil cuenta con acuerdos internacionales en el ámbito del hidrógeno como en el caso de Argentina.

Del análisis de la información que se presenta en el Apéndice Nº 10.10.3 y en la Tabla 8 se desprende que existe en Brasil la capacidad de producción de hidrógeno no solo desde electrolizadores sino que también a partir de etanol verde. Por otro lado, la industria privada ha desarrollado la capacidad para fabricar y ensamblar algunos equipos como electrolizadores, celdas de combustibles y vehículos eléctricos, en las que resaltan las empresas Hytron, Electrocells, Transporte Público de Sao Paulo y Marcopolo. También se ha desarrollado tecnología y nuevos procesos para la fabricación de peróxido de hidrógeno a partir de hidrógeno por la empresa Peróxidos do Brasil, empresa que está exportando su tecnología a Chile a través de la empresa Solvay[17] Peróxidos de Los Andes Industrial y Comercial Ltda. (Aprueban la primera planta de peróxido de Chile en Coronel por $17 mil millones, 2019). Adicionalmente, la empresa Solvay, matriz de Solvay Peróxidos de Los Andes, desarrolló un proceso para producir diésel y kerosene de aviación a partir de aceites vegetales e hidrógeno verde, sin huella de carbono (Firma brasileña invertirá USD 800 millones en fábrica de diésel verde, 2019).

Perú

La información presentada en el Apéndice Nº 10.10.9 y en la Tabla 8, muestra que Perú no cuenta con una legislación que respalde o promueva el desarrollo del hidrógeno como es el

[16] https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Hidrogenio_energetico_completo_22102010_9561.pdf/367532ec-43ca-4b4f-8162-acf8e5ad25dc?version=1.5

[17] https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=2132604353

caso de Argentina. En efecto, de acuerdo con lo señalado por Jaime Reategui[18] (ver entrevista en Apéndice 10.11.3), no existe legislación para el hidrógeno como combustible, y los proyectos desarrollados en este tema han seguido la reglamentación del gas natural. Lo anterior se aplicó en dos electrolizadores de la empresa Energynvest que están operando en las ciudades de Tacna y Huacho para su empleo como combustible en quemadores. Sin embargo, algunos grupos en Perú quieren avanzar el tema legislativo y, además, les interesa conocer lo que ocurre en Chile, dado los intereses comerciales de la empresa Energynvest.

Por otro lado, la empresa de explosivos "Industrial Cachimayo[19]", ubicada en el Distrito de Cachimayo a 14 km del Cuzco, produce amoniaco a partir de hidrógeno generado por medio de electrolizadores. El amoniaco es posteriormente utilizado para la síntesis de nitrato de amonio. En mayo del 2018 ENAEX compró el 70% de la empresa Cachimayo[20].

Sin perjuicio de lo anterior, el interés por el hidrógeno también ha comenzado a surgir en asociaciones gremiales y privados. En efecto, el Colegio de Ingenieros del Perú presentó en abril de 2019 una conferencia donde se propone un proyecto para unir las ciudades de Lima e Ica, distantes 324 km, mediante un ferrocarril propulsado por hidrógeno.

Uruguay

Del análisis de la información que presenta el Apéndice Nº 10.10.11 y la Tabla 8, se desprende que Uruguay tiene la particularidad de que su Política Energética logró, en pocos años, que casi el 100% de la energía eléctrica sea de fuentes renovables. Lo anterior potenció que el gobierno, a través del MIEM[21], sus empresas públicas energéticas ANCAP[22] y UTE[23], esté enfocado en la descarbonización del transporte mediante el uso de buses eléctricos con baterías y celdas de combustibles.

A la fecha se desconoce si Uruguay cuenta con acuerdos internacionales en el ámbito del hidrógeno como en el caso de Argentina.

En Uruguay se está desarrollando un macroproyecto de transporte con hidrógeno, denominado Verne, liderado por el MIEM, la empresa ANCAP y la empresa UTE (Hidrógeno verde, s.f.), cuyos principales objetivos son:

1) Desarrollar un ecosistema inicial de producción y uso de hidrógeno verde en ómnibuses interurbanos de pasajeros y camiones de transporte carretero de carga. El proyecto considera financiamiento del BID para la adquisición de 10 vehículos, tanto buses como transporte de carga.

---

[18] Ingeniero de proyectos de la empresa Brein, que pertenece al grupo BRECA de Perú, grupo que también es dueño de las empresas Melón de Chile.

[19] https://www.studocu.com/es/document/universidad-nacional-de-san-antonio-abad-del-cusco/fisico-quimica/informe/informe-visita-a-cachimayo/4874458/view

[20] https://gestion.pe/economia/empresas/industrias-cachimayo-grupo-gloria-vende-70-acciones-chilena-enaex-233718-noticia/

[21] Ministerio de Industrias, Energía y Minería de Uruguay

[22] https://www.ancap.com.uy/, Administración Nacional de Combustibles Alcohol y Pórtland

[23] https://portal.ute.com.uy/institucional/ute/quienes-somos, Usinas y Transmisiones Eléctricas

2) Identificar barreras y lagunas en todas las dimensiones (técnicas, normativas, regulatorias, comerciales, capital humano, concienciación pública, etc.).
3) Contribuir a desarrollar una hoja de ruta nacional del hidrógeno para alcanzar un mercado potencial de 3.600 autobuses interurbanos y 20.000 camiones de transporte carretero.
4) Promover otras aplicaciones, como la producción de metanol, la inyección de hidrógeno a la red de gas directamente o mediante metano sintético e, incluso, la exportación de hidrógeno verde.

De acuerdo a lo señalado por Marta Jara, presidente de la Empresa Uruguaya ANCAP que lidera el proyecto Verne, y Jorge Ferreiro, Gerente de Operaciones de ANCAP, Uruguay no cuenta actualmente con normativa oficial relacionada al hidrógeno (entrevistas en Apéndice 10.11.4). Debido a eso crearon un comité técnico que, en un plazo de cinco años del inicio del proyecto Verne, debería generar la normativa para Uruguay. Por otro lado, Marta Jara señala la conveniencia de buscar alianzas estratégicas con Chile dado que ambos países se encuentran en un proceso incipiente de desarrollo del hidrógeno.

4.2.2 Levantamiento de planes y proyectos

Se buscaron y estudiaron los planes y proyectos de hidrógeno en Sudamérica, para conocer la etapa de desarrollo en que se encuentran y la normativa internacional sobre hidrógeno que utilizarían. El Apéndice 10.10 presenta más información del desarrollo del hidrógeno en los países sudamericanos, y la Tabla 8 resume los proyectos en los cuatro países seleccionados.

Tabla 8 Proyectos de Hidrógeno en Sudamérica

País	Organización/ Empresa	Nombre Proyecto/Objetivo	Capacidad/ Costo	Tipo de proceso/ estado	Normas
Argentina	HYCHICO	Generación, almacenamiento y transporte de hidrógeno verde para ser mezclado con gas natural y alimentar un motor generador de 1,4 MW. En operación.	120 Nm^3/h de hidrógeno y 60 Nm^3/h de oxígeno	Electrólisis, transporte en tuberías de 2,3 km y almacenamiento en cavernas.	Ley argentina 26.123
	Estado Argentino	Crear escuela y experiencia de fabricación de H2 mediante la Planta Experimental de Hidrógeno de Pico Truncado.	ND	Capacitación teórico-práctica, y otro destinado a la producción, almacenamiento, laboratorio, taller y ensayos de prototipos.	Ley argentina 26.123
	Comisión de Energía Atómica	Investigar en: Almacenamiento de hidrógeno en forma de hidruros, materiales para pilas de combustible de alta temperatura, óxidos sólidos, fragilización por hidrógeno en metales.	NA	Investigación y desarrollo (I+D).	ND
	Universidad Tecnológica Nacional	Evaluar en banco de ensayo motores que funcionan con H2 en mezclas combustibles.	NA	Investigación y desarrollo.	ND

	Instituto Tecnológico Buenos Aires, ITA	Desarrollar electrolizadores. Investigar en Almacenamiento de hidrógeno en tubos, tipo bobinas, de bajo diámetro. Desarrollar motores de combustión a hidrógeno	NA	Investigación y desarrollo.	ND
	Asociación Argentina del Hidrógeno ,AAH	Participar en el comité técnico ISO/TC 197.	NA	Contribución al desarrollo de normas para el estándar ISO	ISO
Brasil	Ministerio de Ciencia y Tecnología	Desarrollar el Programa de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Economía del Hidrógeno (2010)	NA	I+D en: 1)producción y almacenamiento de hidrógeno, 2)celdas combustibles tipo PEM, 3) celdas combustible tipo SOFC, 4) sistemas, integración y aplicación 5) red de utilización	ND
	Estado	Desarrollar políticas de incentivos (2010)	NA	Fomentar el desarrollo de normas y estándares. Promover la educación y capacitación en normas, códigos y estándares, y seguridad. Proteger a la industria brasileña.	ND
	Ministerio de Ciencia y Tecnología	Generar hidrógeno a partir de Etanol.	NA	I+D	ND
	Ministerio de Minas y Energía (MME)	Aplicar sistemas de celdas de combustible para generación de energía eléctrica distribuida en sistemas aislados y en vehículos para transporte.	NA	I+D	ND
	Empresa de transporte Sao Paulo	Desarrollo bus a hidrógeno mediante celdas combustibles. En desarrollo.	NA	Desarrollo bus transporte pasajeros con capacidad para 90 personas y 300 km de autonomía.	ND
	HYTRON	Fabricar celdas combustibles y electrolizadores. En desarrollo.	NA	Desarrollo de celdas combustibles y electrolizadores.	ND
	Peróxidos do Brasil	Fabricar peróxido de hidrógeno a partir de un nuevo proceso. En desarrollo.	NA	Uso de hidrógeno para fabricación de peróxido de hidrógeno	ND

Perú	Energynvest	Uso de electrolizadores para generación de hidrógeno y su combustión en calderas. En operación	200.000 Nm^3/mes	Instalado en planta empresa Redondo y otras.	ND
	Cachimayo	Generación de hidrógeno mediante procesos de electrólisis alcalina. En operación.	ND	Generación de hidrógeno para proceso fabricación de amoniaco	ND
Uruguay	MIEM y empresas ANCAP y UTE	Proyecto Verne (2019-2029). Descarbonizar el transporte. Proyecto piloto de producción de hidrógeno verde y uso en 10 buses y camiones interurbanos; uso potencial en 3.600 ómnibus interurbanos y 20.000 camiones. En desarrollo.	US$ 10 millones costo del piloto.	1) Desarrollar un ecosistema de producción y uso de hidrógeno verde 2) identificar barreras y lagunas en todas las dimensiones 3) contribuir a desarrollar una hoja de ruta nacional del hidrógeno.	ND

NA: No aplica

ND: Información no disponible

4.2.3 Identificación de posibles alianzas

Se analizaron las posibilidades de establecer alianzas de Chile con los países seleccionados, para la elaboración de marcos regulatorios armonizados, cooperación científica y tecnológica, desarrollo conjunto de tecnologías del hidrógeno, y desarrollo de capital humano. Estas alianzas se complementarían con intercambio comercial de servicios, equipos y materiales relacionados con tecnologías del hidrógeno. Se identificaron nueve áreas que podrían ser de interés mutuo, las que se describen a continuación.

Cooperación para la formación de capital humano técnico y científico

Se podrían implementar programas de intercambio académico entre institutos de formación técnica y universidades de los países interesados. Este intercambio se aplica a profesores, investigadores y alumnos, permitiendo la transferencia de conocimientos y experiencia entre las instituciones participantes.

También se podrían implementar programas de pasantías de profesionales y personal técnico de montaje, reparación y mantención de sistemas de hidrógeno. Para el diseño, montaje y servicio de sistemas de hidrógeno se necesita personal experimentado; sin embargo, es difícil conseguir localmente personal con experiencia debido a la falta de instalaciones de hidrógeno. Por lo tanto, tiene sentido que cuando haya un proyecto grande, se aproveche de hacer participar mucho personal en calidad de aprendiz.

En esta área son de particular interés Argentina y Brasil.

Cooperación para la regulación del hidrógeno

Se podrían coordinar los esfuerzos regulatorios de los cinco países, de modo que la regulación de todos ellos esté armonizada. Chile podría llevar el liderazgo, ya que ninguno de los otros países trabaja en un plan regulatorio. Al menos los entrevistados de Argentina y Uruguay mostraron interés en este aspecto.

Intercambio comercial

Se podrían firmar acuerdos que faciliten y promuevan el intercambio comercial de equipos, productos, servicios y tecnologías del hidrógeno. Si bien Chile no parece tener una base industrial que facilite el desarrollo de la fabricación de equipos y componentes para sistemas de hidrógeno, se estima factible la formación de capital humano que permita exportar servicios especializados en condiciones competitivas con otros países.

Brasil puede aportar equipos y tecnologías del hidrógeno. En efecto, Brasil es un productor importante de camiones, buses y autos, y ya está desarrollando buses a hidrógeno. También fabrica celdas de combustible y electrolizadores. Por otro lado, ha desarrollado dos tecnologías de interés. Una es la fabricación de peróxido de hidrógeno con un proceso patentado que usa hidrógeno como insumo, y ya están instalando una planta en Coronel. Otra es la producción de diésel y kerosene sin huella de carbono, a partir de aceite vegetal e hidrógeno verde.

Exportación de hidrógeno a Japón

Existe una interesante posibilidad de exportar hidrógeno verde desde puertos chilenos a Japón. Este podría ser producido en Chile, Argentina, Uruguay o Brasil. Los entrevistados de Argentina sugirieron la posibilidad de transportar, por camión o ducto, hidrógeno desde el sur de Argentina hasta puertos chilenos, para ser embarcado a Japón. Del mismo modo se podría transportar hidrógeno producido en Uruguay o Brasil, aunque este último parece menos factible. Además de la conveniencia de usar puertos en el Pacífico, podría haber una ventaja comercial al presentar una mayor oferta y, eventualmente, una venta en bloque. Esta mayor oferta podría incluir hidrógeno producido en Perú.

Experiencia en transporte público sin huella de carbono

Con Uruguay se podría compartir experiencias en la planificación, diseño e implementación de sistemas de transporte limpios. Chile puede aportar la experiencia de la incorporación de buses eléctricos al sistema público de transporte y Uruguay, en particular el Ministerio de Industrias, Energía y Minería y las empresas del estado ANCAP y UTE, la experiencia que haya adquirido en la evaluación, planificación e implementación del proyecto Verne, y el impacto del modelo elegido para la introducción de la tecnología, generación de regulaciones y motivación de los mercados.

Adquisición de equipos

Se podría analizar y lograr convenios comerciales en torno a buses y equipamiento de transporte público de manera de generar una masa crítica de mercado que sea atractiva para oferentes y mandantes, de manera de disminuir los costos iniciales de adopción de la tecnología. Esto fue sugerido por los entrevistados de Uruguay.

Participación en ISO/TC 197

Los entrevistados de Argentina sugirieron que representantes de Chile podrían participar en el Comité ISO/TC 197, encargado de preparar las normas ISO sobre hidrógeno. Argentina es

un miembro participante (*participating member*) y Brasil es miembro observante (*observing member*)[24].

Traducción de normas

Parece muy factible el poder coordinarse con otros países de habla hispana para, en conjunto, solventar la traducción de normas internacionales al castellano.

Experiencia en políticas de incentivo

Podría ser de interés intercambiar experiencias en políticas que incentiven el desarrollo del mercado del hidrógeno. Argentina y Brasil son los países que podrían contribuir más en este aspecto.

4.3 Regulación nacional pertinente y brechas

Se estudió la regulación nacional que aplica al hidrógeno, especialmente sobre aspectos de seguridad, identificando las partes de su cadena de valor que no están reglamentadas y que constituyen las brechas que hay que cubrir.

4.3.1 Revisión y síntesis de regulación nacional relacionada al hidrógeno

Se sintetizó la regulación que afecta al hidrógeno en todas sus aplicaciones y partes de la cadena de valor. Esto incluye la regulación de sustancias peligrosas de los ministerios de Salud, de Transportes y Telecomunicaciones, y del Trabajo y Previsión Social, además de las normas aplicables del INN. Adicionalmente, se revisó el Reglamento de Seguridad Minera del Ministerio de Minería. También se revisó la regulación de todos los servicios públicos para determinar si hay otros reglamentos que puedan afectar al hidrógeno.

El hidrógeno en Chile es clasificado como una sustancia peligrosa y, según la NCh382.Of98:2003, pertenece a la Clase 2.1, gases inflamables. Por lo tanto, la reglamentación que regula su uso es aquella que trata el almacenamiento y transporte de sustancias peligrosas, y las que rigen la higiene y seguridad en los lugares de trabajo. La Tabla 9 presenta las regulaciones que afectan directamente al hidrógeno, las que se comentan en los párrafos siguientes.

Tabla 9 Listado de reglamentos y normas que aplican al hidrógeno como sustancia peligrosa

Organismo	Título	Tipo y número del documento	Fecha de publicación
Ministerio de Salud	Aprueba el reglamento de almacenamiento de sustancias peligrosas	DTO-43	25-09-2016
	Aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo	DTO-594	14-02-2018
	Aprueba listado de sustancias peligrosas para la salud	RES 408 EXENTA	10-06-2016

[24] https://www.iso.org/committee/54560.html?view=participation. https://www.iso.org/who-develops-standards.html: Observing members can observe the standards that are being developed, offering comments and advice. While participating members actively participate by voting on the standard at various stages of its development.

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones	Reglamenta transporte de cargas peligrosas por calles y caminos	DTO-298	02-02-2002
	Actualiza y modifica reglamento de manipulación y almacenamiento de cargas peligrosas en recintos portuarios	Resolución 96	20-01-1997
Ministerio del Trabajo y Previsión Social	Aprueba reglamento sobre prevención de riesgos profesionales	DTO-40	16-09-1995
Ministerio de Minería	Aprueba reglamento de seguridad minera	DTO-132	07-02-2004
INN	Mercancías peligrosas- Clasificación	NCh382.Of98	2017
	Transporte de sustancias peligrosas- Distintivos para identificación de riesgos	NCh2190.Of2003	2003
	Prevención de riesgos - Parte 4: Señales de seguridad para la identificación de riesgos de materiales	NCh1411/4.Of78	2000
	Hoja de datos de seguridad para productos químicos	NCh2245.Of2015	2015

El **Decreto 43/2016 Reglamento de almacenamiento de sustancias peligrosas** se refiere explícitamente al almacenamiento de hidrógeno y es el más completo en cuanto a medidas concretas como distancias de seguridad, capacidades máximas de almacenamiento, entre otras. Sin embargo, este decreto indica explícitamente que no se aplica a "los combustibles líquidos y gaseosos, utilizados como recursos energéticos", que "deben ser regulados por el Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción". Esto obliga a considerar la generación de dichas regulaciones para el hidrógeno usado con fines energéticos.

El Decreto **594/2018 Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo** incluye al hidrógeno implícitamente al dictar disposiciones para sustancias inflamables y sobre medidas de seguridad contra incendios. Sin embargo, no considera medidas para controlar eventuales explosiones.

El hidrógeno aparece listado en la **Resolución 408 Exenta**, MINSAL/2016, como sustancia peligrosa tanto en forma comprimida como líquida. Ante esto, parece prioritario que el MEN concluya el proceso que clasificará al hidrógeno como combustible para las aplicaciones que lo usen como tal.

El Decreto **298/2002 Reglamento transporte de cargas peligrosas por calles y caminos** da disposiciones administrativas y generales para el transporte de sustancias peligrosas por carreteras y calles públicas. No da detalles ni requerimientos específicos al hidrógeno ni a gases inflamables transportados a granel. Tampoco contiene disposiciones para la trasferencia a granel (carga y descarga) de gases inflamables, faltando requerimientos tan fundamentales como conectar a tierra todos los equipos involucrados antes de hacer la transferencia.

La **Resolución 96/1997 Reglamento de manipulación y almacenamiento de cargas peligrosas en recintos portuarios** tiene disposiciones principalmente administrativas, de clasificación de productos e indicaciones de cuáles pueden ser depositadas en el recinto portuario. No se refiere en absoluto a la trasferencia de gases inflamables a granel. Entre los "Vistos",

esta resolución menciona que el transporte marítimo de mercancías peligrosas está regulado por el Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas, (CMIMP, CIMDG en inglés), de la Organización Internacional Marítima, (OIM, IMO en inglés), que fue aprobado como Reglamento de la República por el D.S. 777 de 1978.

El **Decreto 40/95 Reglamento sobre prevención de riesgos profesionales,** del Ministerio del Trabajo y Previsión Social, obliga a los empleadores a preparar y mantener actualizado un reglamento de seguridad e higiene, además de informar a los trabajadores sobre los riesgos que corren y capacitarlos para enfrentarlos adecuadamente. Estas disposiciones obligan a actualizar dicho reglamento de seguridad e higiene para incluir al hidrógeno, cuando este se incorpora en alguna faena, además de informar y capacitar a los trabajadores. Fuera de esto, no hay otras disposiciones relativas a gases inflamables ni al hidrógeno.

El **Decreto 132/2004 Reglamento de Seguridad Minera** no se refiere al hidrógeno, tanto directa como indirectamente, pero regula las condiciones de seguridad en las minas. Es interesante mencionar que este reglamento permite el uso de Gas Licuado de Petróleo (GLP) y Gas Natural Comprimido (GNC) como combustible de maquinaria en minas subterránea (Artículo 129), lo que hace pensar que podrían aceptar también el uso de hidrógeno como combustible.

Se estima prudente revisar estos reglamentos, en comparación con la regulación internacional, para considerar su actualización. En efecto, la mayoría son muy poco detallados y no consideran aspectos específicos para el hidrógeno, como son las necesidades de ventilación, medidas contra explosiones, equipos de alta presión, equipos criogénicos y disposiciones para la manipulación y transferencia. Por otro lado, si bien es cierto que los dos reglamentos del Ministerio de Salud están relativamente actualizados, fueron publicados en 2016 y 2018, los otros datan de 2004 (seguridad minera), 2002 (transporte de cargas peligrosas), 1997 (manipulación y almacenamiento de cargas peligrosas en puertos) y 1995 (prevención de riesgos profesionales). Algunos de los factores a considerar en la revisión son las distancias de seguridad, la clasificación del almacenamiento según las cantidades máximas contenidas, además de aquellos específicos para el hidrógeno no incluidos actualmente y mencionados al principio de este párrafo.

Según esto, la reglamentación actual sólo cubre levemente el almacenamiento del hidrógeno, y aspectos como la distribución, manejo y consumo quedan aún menos regulados. Los decretos de carácter general analizados (Seguridad Minera, Prevención de Riesgos Profesionales y Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo) prácticamente no se refieren a temas de seguridad en el manejo de sustancias peligrosas y más bien regulan situaciones estándar, como incendios, o especifican obligaciones para las empresas, como cierta periodicidad en las mantenciones, señaléticas adecuadas, planes de emergencia y otros similares. El Apéndice 10.14 presenta una descripción más detallada del contenido de esta información.

Por otro lado, desde la perspectiva medioambiental, se estima que la actual regulación; establecida en el DTO 40 del MMA de fecha 12 de agosto de 2013, permite abordar los proyectos relacionados a la cadena de valor del hidrógeno y orientar el proceder frente a declaraciones de impacto ambiental. Sin perjuicio de lo anterior, el MEM en conjunto con el MMA están analizando en mayor detalle la actual normativa en relación al hidrógeno.

4.3.2 Identificación de las brechas regulatorias

En Chile se ha usado el hidrógeno en varias industrias y laboratorios por décadas, aparentemente con un alto estándar de seguridad[25]. Probablemente esto ha sido posible gracias a la regulación existente de sustancias peligrosas en general, además de las buenas prácticas de seguridad utilizadas por las empresas que lo emplean. Sin embargo, hay que tener presente que el uso de sustancias peligrosas ha estado limitado a aplicaciones industriales muy tecnológicas y de laboratorios, con restricciones al acceso de personas, las que están adecuadamente capacitadas, y permitido sólo en zonas industriales.

Por otro lado, el uso masivo de hidrógeno para aplicaciones energéticas expondrá al público a nuevos peligros con los cuales no está familiarizado (National Research Council and National Academy of Engineering, 2004, pág. 108). Esto hace necesaria la creación de regulación especial para estos nuevos usos. Adicionalmente, el hidrógeno tiene características particulares, como por ejemplo el efecto perjudicial sobre algunos materiales, amplios límites de inflamabilidad (4% a 75% en volumen en aire), llama prácticamente invisible de día, sin olor, y en general falta de experiencia en usuarios y equipos de emergencia (bomberos), lo que aconsejan un tratamiento especial en las regulaciones al masificarse su uso. Más aún, el uso masivo de hidrógeno aumenta los riesgos de accidente. Por lo tanto, es aconsejable revisar la reglamentación chilena existente para verificar que esté actualizada.

De acuerdo a la propuesta técnica, las brechas regulatorias se identificaron comparando las regulaciones analizadas en 4.3.1 con las contenidas en el informe preparado por Fichtner (Fichtner , 2020). Se usó la cadena de valor acordada con el equipo de trabajo del MEN, basada en la propuesta por Fichtner, que contempla las siguientes etapas:

1. **Producción.**
    a. Reformado
    b. Gasificación fermentación
    c. Electrólisis
    d. Termólisis
    e. Ciclos termoquímicos
2. **Acondicionamiento**
    a. Licuefacción
    b. Compresión
    c. Sin Procesamiento
3. **Almacenamiento.**
    a. Contenedores térmicamente aislados
    b. Cavernas
    c. Contenedores a presión

[25] No se dispone de antecedentes o estadísticas de accidentes importantes relacionados a hidrógeno en el país.

i. Cilindros
ii. Isotubos

4. **Transporte y distribución.**
   a. LH_2 en Camión tanque e infraestructura de transferencia
   b. LH_2 en Tren tanque e infraestructura de transferencia
   c. LH_2 en Barco tanque e infraestructura de transferencia
   d. GH_2 comprimido en Camión tanque e infraestructura de transferencia
   e. GH_2 comprimido en Tren tanque e infraestructura de transferencia
   f. GH_2 comprimido en Barco tanque e infraestructura de transferencia
   g. LH2 y GH2 en contenedores, no a granel, transportado por tierra o mar
   h. GH_2 en gasoductos
   i. GH_2 con gas natural
5. **Consumo.**
   a. Procesos Industriales
      i. Compuestos sintéticos verdes (Metano, Amoniaco, otros)
      ii. Procesamiento de metales
      iii. Refinería de petróleo
   b. Celdas combustibles
      i. Generación eléctrica
      ii. Vehículos de carretera y todo terreno
      iii. Barcos
      iv. Aviones
      v. Trenes
      vi. Cogeneración (electricidad y calor conjuntamente)
   c. Combustión
      i. Generación de calor
      ii. Generación eléctrica
      iii. Vehículos de carretera y todo terreno
      iv. Barcos
      v. Aviones
      vi. Trenes
   d. Carga de vehículos
      i. Hidrogeneras con CH2 y LH2

ii. Dispensado industrial, marítimo y aéreo

En las siguientes secciones se analizan las brechas regulatorias en cada una de las cinco etapas de la cadena de valor.

Producción

No hay regulación chilena que aplique específicamente a la producción de hidrógeno. En términos generales, aplican los reglamentos de seguridad en lugares de trabajo (decretos 594/2018 y 40/95), que son apropiados para ambientes industriales, con acceso restringido, planes de emergencia, personal capacitado y otras medidas de seguridad corrientes en la industria.

Sin embargo, los requerimientos de seguridad de la producción de hidrógeno son distintos de los de otros gases inflamables, por lo que necesitan atención especial. Más aún, la reglamentación chilena es poco detallada y conviene revisarla para detectar necesidades de actualización y para incluir disposiciones especiales para el hidrógeno. En efecto, si se compara con la reglamentación federal de EE.UU., se ve que esta tiene disposiciones detalladas para gases comprimidos[26], hidrógeno[27] y gases inflamables[28]. Lo mismo ocurre con las regulaciones de la UE, que tiene directivas específicas para lugares de trabajo con atmósferas explosivas[29] y para equipos a presión[30] (Rivera, 2019).

La producción de hidrógeno in situ, a escala pequeña y mediana, como las que se visualizan a futuro en residencias, comercio e hidrogeneras, no está contemplada en la regulación actual.

Acondicionamiento

En esta etapa aplica lo dicho para la producción. Es decir, a escala industrial la regulación actual parece suficiente, pero conviene estudiar su actualización y complementación para incluir disposiciones especiales para el hidrógeno. Lo mismo ocurre con el procesamiento en escalas pequeñas y medianas, que no está contemplado en la regulación actual y, por lo tanto, necesita nueva regulación.

Almacenamiento

Ninguna reglamentación chilena aplica al almacenamiento de hidrógeno. En efecto, sólo el Decreto 43/2016 cubre el almacenamiento de sustancias peligrosas, pero en el Artículo 3

[26] CFR 1910.101 Compressed gases.

[27] CFR 1910.103 Hydrogen.

[28] CFR 1910.119 Process safety management of highly hazardous chemicals.

[29] Directiva 2012/18/UE, relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas (directiva SEVESO); Directiva 2014/34/UE, sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas (directiva ATEX); Directiva 1999/92/CE, relativa a las disposiciones mínimas para la mejora de la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos deriva-dos de atmósferas explosivas.

[30] Directiva 2014/68/UE, relativa a la armonización de las legislaciones de los Estados miembros sobre la comercialización de equipos a presión (directiva PED).

excluye explícitamente a "los combustibles líquidos y gaseosos utilizados como recursos energéticos". En resumen, hoy no hay regulación chilena para el almacenamiento de hidrógeno para uso energético.

Transporte y distribución

El transporte terrestre de hidrógeno está regulado por el Decreto 298/2002 aplicable a sustancias peligrosas. Lo mismo ocurre con el transporte marítimo, regulado por la Resolución 96/97, en cuanto al movimiento en puertos, y por el Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (CMIMP) de la Organización Marítima Internacional (OMI) (ver Apéndice 10.14). Sin embargo, esta regulación parece insuficiente para un incremento sustancial del volumen de hidrógeno que se transportaría. Esto se hace más patente si se compara la extensión del D. 298/2002 (8 páginas) con la de la regulación federal de EE.UU. (sólo el 49 CFR 177[31] tiene 37 páginas).

Consumo

Para el consumo en plantas industriales, ya sea en procesos, celdas de combustible o combustión, aplica lo mismo dicho para producción y procesamiento. Es decir, no hay regulación chilena que aplique específicamente al hidrógeno. Aquí también aplican los reglamentos de seguridad en lugares de trabajo (decretos 594/2018 y 40/95).

Los futuros usos del hidrógeno requieren más atención, ya que sus requisitos de seguridad son distintos a los de otros gases inflamables. Adicionalmente, un uso masivo aumenta los riesgos de accidente (National Research Council and National Academy of Engineering, 2004, pág. 109) y, además, hay que dar confianza al público (Ohi, 2009, pág. 477). Por otro lado, de la sección 4.3.1 se desprende que la reglamentación chilena es poco detallada y no considera suficientemente al hidrógeno. Por lo tanto, conviene revisarla para detectar necesidades de actualización y para incluir disposiciones especiales para el hidrógeno. Más aún, la instalación, operación y mantención de celdas de combustible, por sus particularidades, amerita una consideración especial en las regulaciones. También conviene estudiar la necesidad de regular su uso en procesos de combustión.

El consumo de hidrógeno en los sectores residencial, comercial y transporte no está cubierto por la reglamentación chilena. No hay regulación chilena aplicable al dispensado de hidrógeno tanto al público como en industrias, a maquinaria pesada, a barcos y aviones.

4.3.3 Recomendación de modificaciones a la regulación actual

Basado en la regulación nacional resumida en 4.3.1, y las brechas regulatorias identificadas en 4.3.2, el Consultor hace las recomendaciones resumidas en la Tabla 10. En síntesis, las recomendaciones son de revisión y eventual actualización de reglamentos vigentes, y generación de nuevos reglamentos. En los párrafos que siguen se elaboran brevemente estas recomendaciones. Más detalles se desarrollan en el Capítulo 7 "Proposición de plan de acción regulatorio", una vez analizada la información sobre normas y regulaciones internacionales.

Producción

[31] Hazardous Materials Regulations – Carriage by Public Highway

Se recomienda la revisión y actualización de la regulación existente, y la generación de nuevos reglamentos, los que deberán estudiarse comparándolos con la regulación internacional. De acuerdo con los antecedentes del Consultor, cuando se produce hidrógeno en forma industrial internacionalmente no se distingue el uso final del hidrógeno y es regulado como sustancia peligrosa. Hay que poner especial atención a la regulación de atmósferas explosiva, equipos a presión, fluidos criogénicos e hidrógeno.

Adicionalmente, se recomienda estudiar la regulación de la producción in situ a pequeña y mediana escala, en hidrogeneras y residencias, que parece no estar regulado internacionalmente, a pesar de existir normas técnicas que podrían aplicarse.

Acondicionamiento

Para esta etapa se recomienda lo mismo dicho para la producción. No tiene sentido separar la regulación del acondicionamiento a nivel industrial según el uso final del hidrógeno, pero sí cuando ocurre en la generación in situ a pequeña y mediana escala, como ser en hidrogeneras y residencias.

Tabla 10 Recomendación de Modificaciones a Regulación Actual

Cadena de Valor	Modificaciones o Proposiciones
Producción	– Estudiar y, eventualmente, actualizar la regulación chilena de ambientes de trabajo con atmósfera explosiva, equipos a presión, fluidos criogénicos e hidrógeno. – Estudiar futura regulación sobre producción de hidrógeno in situ a escala pequeña y mediana en los sectores residencial, comercial y transporte.
Acondicionamiento	– Estudiar y, eventualmente, actualizar la regulación chilena de ambientes de trabajo con atmósfera explosiva, equipos a presión e hidrógeno. – Estudiar futura regulación sobre procesamiento de hidrógeno a escala pequeña y mediana en los sectores residencial, comercial y transporte.
Almacenamiento	– Estudiar y, eventualmente, actualizar la regulación chilena de almacenamiento de sustancias peligrosas. – Estudiar nueva regulación, si se estima necesario. – Contemplar la posibilidad de un solo reglamento para todos los tanques – Dejar para más adelante el estudio de regulación del almacenamiento en sitios geológicos.
Transporte y distribución	– Estudiar la conveniencia de separar el transporte de la distribución – Estudiar nueva regulación para el transporte terrestre a granel, por gasoductos y por redes de distribución. – No considerar por el momento el transporte aéreo.
Consumo	– Estudiar y acordar la competencia de los distintos ministerios – Estudiar futura regulación sobre dispensado de hidrógeno en todas sus formas y todas las aplicaciones. – Estudiar y, eventualmente, actualizar la regulación chilena de ambientes de trabajo con atmósfera explosiva, equipos a presión, fluidos criogénicos e hidrógeno. – Regular los vehículos a hidrógeno. – Regular los talleres de mantención y reparación de vehículos a hidrógeno, los estacionamientos y su tránsito por túneles. – Regular la homologación de vehículos a hidrógeno, estableciendo los ensayos a realizar en Chile. – Estudiar la regulación del uso de hidrógeno en celdas de combustible, procesos de combustión y otros procesos en los sectores industrial, comercial e institucional. – Estudiar y actualizar los reglamentos actuales de redes de distribución de gas e instalaciones interiores

Almacenamiento

Se recomienda comparar el reglamento chileno de almacenamiento de sustancias peligrosas con los reglamentos y normas internacionales equivalentes, y de aquellas específicas para el hidrógeno comprimido y licuado. El almacenamiento en cilindros de GH2 y tanques portátiles de LH2 está bien regulado internacionalmente, sin distinguir si su uso es energético o no. Hay que tener presente que el almacenamiento es un sistema, cuyo componente

principal es el contenedor; el reglamento regula el sistema completo y su operación. Se recomienda, además, contemplar la posibilidad de que la regulación chilena aplique a todo tipo de uso. Este estudio y comparación indicará las necesidades de actualización y generación de nuevos reglamentos.

Se recomienda considerar inicialmente un reglamento para todos los tanques, ya sean para el transporte y distribución a granel, tanques estacionarios y tanques para vehículos a hidrógeno, tanto para GH2 como para LH2. Entre los tanques para GH2 hay que contemplar los cuatro tipos que distinguen las normas internacionales: I) tanques metálicos, II) tanques metálicos con refuerzo radial con materiales compuestos, III) tanques metálicos con refuerzo completo con materiales compuestos, y IV) tanques de polímeros con refuerzo completo con materiales compuestos. Los tanques con materiales compuestos, o compositas, son particularmente importantes dado la alta presión aceptada internacionalmente, que hoy alcanza los 700 bar.

Se recomienda dejar para más adelante la regulación del almacenamiento de muy grandes cantidades de hidrógeno en sitios geológicos, como cavernas, u otros medios, ya que no parece ser factible todavía. En efecto, la tecnología no está bien desarrollada y su aplicación en Chile tampoco es clara en el mediano plazo.

Transporte y distribución

Se recomienda estudiar la regulación necesaria para el transporte terrestre a granel, y luego la regulación del transporte por gasoductos y distribución por redes de cañerías en ciudades. En el primer caso, habrá que considerar la alternativa de modificar el reglamento de transporte de sustancias peligrosas (gases inflamables) o generar una reglamentación especial para el hidrógeno. En el segundo caso se recomienda estudiar los reglamentos actuales de redes de distribución de gas combustible y de instalaciones interiores de todos los sectores (industrial, comercial, institucional y residencial), para ver la necesidad de actualización para incluir mezclas de hidrógeno y otros gases combustibles. Es necesario destacar que el gas de ciudad, que se usó hasta ser sustituido por gas natural a partir de 1997 en Santiago, Valparaíso y Concepción, contenía del orden de 40% de hidrógeno[32].

Se recomienda estudiar, y eventualmente actualizar, la reglamentación del movimiento de hidrógeno en puertos, contenida implícitamente en la Resolución 96/97. Por otro lado, el transporte marítimo es regulado por el CMIMP, lo que está fuera del ámbito regulatorio chileno. Sin embargo, el Gobierno de Chile podría estudiar la conveniencia de actualizar este código y, si lo estima conveniente, hacer las recomendaciones pertinentes a la OMI.

Se recomienda no considerar por el momento el transporte aéreo, ya que no se vislumbra importante para el hidrógeno en el mediano plazo, salvo posiblemente en contenedores muy pequeños. El Consultor estima que los reglamentos internacionales de transporte aéreo de sustancias inflamables probablemente cubren bien el transporte aéreo de pequeños contenedores de hidrógeno. Sin embargo, en algún momento podría ser conveniente estudiar este aspecto.

Consumo

[32] http://www.metrogas.cl/userfiles/file/folleto_metrogas_gas_ciudad.pdf

Se recomienda en esta etapa de la cadena de valor estudiar en profundidad la competencia de los distintos ministerios. Esto depende del tipo de uso, como combustible o como insumo industrial, y del sector de la economía (industrial, minero, comercial, institucional, transporte, residencial). Con esto aclarado, se recomienda estudiar la conveniencia de actualizar la regulación vigente sobre ambientes de trabajo y la creación de nuevas regulaciones.

Se recomienda priorizar la regulación de los vehículos que usan hidrógeno. Aquí hay dos aspectos relevantes, uno es la regulación del sistema de combustible, que es igual tanto para los con motor de combustión interna como para los con celdas de combustible, y la regulación del sistema eléctrico de alto voltaje de los vehículos con celdas de combustible; las normas de seguridad de estos últimos son las mismas que las de los vehículos eléctricos con batería. Adicionalmente, para los vehículos se recomienda regular los talleres de mantención y reparación, los estacionamientos, y su tránsito por túneles. Este último aspecto no parece estar resuelto aun internacionalmente. Finalmente, se recomienda reglamentar la homologación de los vehículos, donde hay que estudiar qué ensayos se harán en Chile, en el laboratorio 3CV del Ministerio de Transporte, y qué certificaciones del lugar de origen del vehículo se aceptan.

Se recomienda estudiar la regulación del dispensado de hidrógeno en hidrogeneras públicas y en recintos privados, como empresas y particulares. En efecto, los decretos 594/2018 y 40/95 no consideran las complejidades de ellas ni su ubicación ni exposición al público, y no son aplicables a las instalaciones de particulares. Por otro lado, ya hay suficientes normas técnicas internacionales aplicables que se pueden citar. Esta regulación deberá considerar aspectos de seguridad, de compatibilidad de los dispensadores y vehículos, y de precisión e incertidumbre en las cantidades dispensadas.

Se recomienda regular las celdas de combustible y los procesos de combustión en el sector industrial, comercial e institucional, y residencial. En el sector industrial se puede exigir mayor nivel de especialización del personal que opere estos sistemas, pero en el comercial e institucional y en el residencial no, por lo que habrá que estudiar si conviene hacer un reglamento que considere ambos casos o dos reglamentos distintos.

El consumo de hidrógeno en trenes, barcos y aviones parece muy lejano todavía como para considerarlo en la regulación de corto plazo.

5 Normativa Internacional y Normas Aplicables a Chile

Utilizando la metodología descrita en el Apéndice 10.4, se realizó un análisis de las normas internacionales sobre la seguridad del hidrógeno y de aquellas que podrían ser aplicadas en el país. En las siguientes secciones se analiza la normativa internacional seleccionada por el Consultor Internacional y se recomiendan las más apropiadas para aplicar en la regulación nacional.

5.1 Normativa internacional

En esta sección se presenta la normativa internacional sobre seguridad del hidrógeno y un mapa regulatorio internacional del hidrógeno que muestra las normas que se aplican a cada etapa de la cadena de valor. Esto se realizó durante la participación como contraparte técnica, junto con el MEN, del estudio del levantamiento de la regulación internacional confeccionado por el Consultor Internacional Fichtner. Las actividades específicas que se realizaron se detallan en las dos secciones siguientes.

5.1.1 Recomendación de normativa internacional

Las normas internacionales que se recomienda aplicar en Chile en cada etapa de la cadena de valor para cubrir las brechas identificadas en 4.3.2 se seleccionaron de la lista de normas internacionales relevantes preparada por el consultor Fichtner (Fichtner , 2020). A esas normas técnicas se agregó algunos reglamentos de la UE y de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) aportados por Fichtner, además de los reglamentos federales de EE. UU. citados en el informe del Consorcio Corfo liderado por Alset (Rivera, 2019); estos reglamentos fueron escogidos por su complementariedad con las normas seleccionadas. Los reglamentos normalmente no son citados por otros reglamentos, pero pueden servir de modelo para los reglamentos nacionales. Sin embargo, hay que destacar que algunos reglamentos chilenos citan reglamentos federales de EE.UU., como algunos del DOT[33].

El criterio de selección se basa en que hay normas primarias, que son citadas por los reglamentos y que, a su vez, citan normas secundarias. Las normas primarias normalmente se aplican a sistemas completos, mientras que las secundarias se aplican a componentes y materiales. Esto se explica con detalle en el Apéndice 10.2 (Figura 5), donde se analiza la estructura típica de un marco regulatorio. A este criterio se agregó la condición de que sean normas sobre seguridad del hidrógeno o sus mezclas, descartándose normas para el GN, sobre asuntos ambientales, sobre aspectos comerciales y de incentivo al uso de hidrógeno. En síntesis, la selección se hizo, primero, eliminando las normas secundarias y las que no corresponden a seguridad del hidrógeno. Luego, se comparó normas sobre aspectos similares, eliminando aquellas que, estando contenidas en otras, se estimaron menos relevantes por su menor amplitud, nivel de detalles y aceptación internacional; respecto a lo último, se estimó que las normas ISO y las IEC son las de mayor aceptación internacional. Hay que recordar que el estudio detallado de las normas no está contemplado en los alcances de este trabajo, por lo que la apreciación de cada norma se hizo basado en el contenido de los informes de Fichtner y del Consorcio Corfo.

Las normas recomendadas para realizar las modificaciones propuestas en 4.3.3, con el fin de cerrar las brechas detectadas en 4.3.2, aplicables a las cuatro primeras etapas de la cadena de valor se resumen en la Tabla 11. La Tabla 12 hace lo mismo para la última etapa, Consumo, y la Tabla 13 presenta las normas y reglamentos generales, que se aplican a todas las etapas de la cadena de valor. Esta información se puso en tres tablas distintas para facilitar su lectura. La columna “Modificaciones o Proposiciones” de cada tabla contiene la misma información que se presentó en la Tabla 10. La lista total de normas recomendadas por etapa de la cadena de valor se encuentra en las tablas 35 a 41 de la sección 10.15.3 del Apéndice 10.15. La selección de normas y generación de todas estas tablas se hizo en la planilla Excel “Base de Datos Normas de Hidrógeno xlsx” (Ver Apéndice 10.18). Cada modificación o proposición tiene, en general, más de una norma recomendada porque ellas se complementan.

[33] Department of Transportation. El DS 160 sobre combustibles líquidos cita tres partes del Title 49 C.F.R. (Code of Federal Regulations).

Tabla 11 Proposición de regulación internacional para cerrar las brechas detectadas en la regulación nacional, aplicables a las primeras cuatro etapas de la cadena de valor

Cadena de Valor	Modificaciones o Proposiciones	Regulación internacional	
Producción	Estudiar futura regulación sobre producción de hidrógeno en cualquier escala, incluyendo producción in situ a escala mediana y pequeña en los sectores transporte, comercial y residencial.	NFPA 2 cap. 13	Hydrogen Generation Systems
		ISO 16110	Hydrogen generators using fuel processing technologies
		ISO 22734	Hydrogen generators using water electrolysis — Industrial, commercial, and residential applications.
Acondicionamiento	Estudiar futura regulación sobre procesamiento de hidrógeno a escala pequeña y mediana en los sectores residencial, comercial y transporte.	ANSI/CSA HGV 4.8	Hydrogen gas vehicle fueling station compressor guidelines
Almacenamiento	Estudiar y, eventualmente, actualizar la regulación chilena de almacenamiento de sustancias peligrosas.	NFPA 2 cap. 7	Gaseous Hydrogen
		NFPA 2 cap. 8	Liquefied Hydrogen
	Contemplar la posibilidad de un solo reglamento para todos los tanques.	ASME (BPVC)	Boiler and Pressure Vessel Code
		CGA H-2	Guideline for Classification and Labeling of Hydrogen Storage Systems with Hydrogen Absorbed in Reversible Metal Hydrides
		EIGA 100/11	Hydrogen Cylinders and Transport Vessels
		ISO 16111	Transportable gas storage devices — Hydrogen absorbed in reversible metal hydride
		Directiva 2010/35/UE	Equipos a presión transportables
Transporte	Estudiar nueva regulación para el transporte terrestre a granel, por gasoductos y por redes de distribución.	ASME B31.12	Hydrogen piping and pipelines
		EIGA 121/14 (CGA G-5.6)	Hydrogen Pipeline Systems
		EIGA 15/06	Gaseous Hydrogen Stations
		EIGA 06/19	Safety in storage, handling and distribution of liquid hydrogen
		Directiva 2008/68/CE	Transporte terrestre de mercancías peligrosas
		49 C.F.R. §171 a 180	Hazardous Materials Regulations

Tabla 12 Proposición de regulación internacional para cerrar las brechas detectadas en la regulación nacional, aplicables a la última etapa de la cadena de valor – Consumo

Modificaciones o Proposiciones	Regulación internacional	
Estudiar futura regulación sobre dispensado de hidrógeno en todas sus formas y todas las aplicaciones.	ISO 13984	Liquid hydrogen — Land vehicle fuelling system interface
	ISO 17268	Gaseous hydrogen land vehicle refuelling connection devices.
	ISO 19880-1	Gaseous hydrogen — Fuelling Stations-General Requirements

	NFPA 2 cap. 10	GH2 Vehicle Fueling Facilities
	NFPA 2 cap. 11	LH2 Fueling Facilities
	SAE J2601	Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles
	SAE J2601/2	Fueling Protocol for Gaseous Hydrogen Powered Heavy Duty Vehicles
	SAE J2601/3	Fueling Protocol for Gaseous Hydrogen Powered Industrial Trucks
	SAE J2799	Hydrogen Surface Vehicle to Station Communications Hardware and Software
Regular los vehículos a hidrógeno.	ISO 21266	Road vehicles — Compressed gaseous hydrogen (CGH2) and hydrogen/natural gas blends fuel systems
	ISO 23273	Fuel cell road vehicles — Safety specifications — Protection against hydrogen hazards for vehicles fuelled with compressed hydrogen
	SAE J2578	Recommended Practice for General Fuel Cell Vehicle Safety
	SAE J2579	Standard for Fuel Systems in Fuel Cell and Other Hydrogen Vehicles
	SAE J2990/1	Gaseous Hydrogen and Fuel Cell Vehicle First and Second Responder Recommended Practice
	CGA C-6.4	Methods for External Visual Inspection of Natural Gas Vehicle (NGV) and Hydrogen Gas Vehicle (HGV) Fuel Containers and Their Installations
Regular los talleres de mantención y reparación de vehículos a hidrógeno, los estacionamientos y su tránsito por túneles.	NFPA 2 cap. 17	Parking Garages
	NFPA 2 cap. 18	Repair Garage
Regular la homologación de vehículos a hidrógeno, estableciendo los ensayos a realizar en Chile.	Reglamento (CE) 79/2009	Homologación de vehículos impulsados por hidrógeno
	Reglamento CEPE 134	Homologación en cuanto a seguridad de vehículos de hidrógeno y sus componentes
Estudiar la regulación del uso de hidrógeno en celdas de combustible, procesos de combustión y otros procesos en los sectores industrial, comercial e institucional.	IEC 62282	Fuel cell technologies
	NFPA 2 cap. 12	Hydrogen Fuel Cell Power Systems
	NFPA 2 cap. 14	Combustion Applications
	NFPA 2 cap. 15	Special Atmosphere Applications
	NFPA 2 cap. 16	Laboratory Operations
Actualizar los reglamentos de redes de distribución de gas e instalaciones interiores	ASME B31.12	Hydrogen piping and pipelines

Tabla 13 Proposición de regulación internacional para cerrar las brechas detectadas en la regulación nacional, aplicables a todas las etapas de la cadena de valor

Modificaciones o Proposiciones	Normativa internacional	
Estudiar y, eventualmente, actualizar la regulación chilena de ambientes de trabajo con atmósfera explosiva, equipos a presión, fluidos criogénicos e hidrógeno.	Directiva 1999/92/EC	Protección de los trabajadores expuestos a atmósferas explosivas
	Directiva 2014/68/EU	Armonización de legislaciones sobre comercialización de equipos a presión (PED)
	Directiva 2012/18/EU	Control de riesgos de accidentes graves de sustancias peligrosas (SEVESO)
	Directiva 2014/34/UE	Armonización de legislaciones sobre aparatos y sistemas de protección de atmósferas explosivas (ATEX)
	Directiva 98/24/CE	Protección de los trabajadores contra agentes químicos
	29 C.F.R. §1910.103	Hydrogen

29 C.F.R. §1910.101	Compressed gases
29 C.F.R. §1910.119	Process safety management of highly hazardous chemicals

La normativa técnica levantada por el Consultor Internacional no incluye normas específicas sobre la construcción de los edificios y estructuras de las instalaciones en las que se trabajará con hidrógeno. Sin embargo, algunas normas disponen ciertos requisitos para las estructuras, adicionales a las normas locales de construcción, en cuanto a resistencia al fuego y venteo de explosiones. Por otro lado, al analizar la normativa de algunos reglamentos nacionales, como ser el decreto 289 “Reglamento de Seguridad en Transporte y Distribución de Gas de Red”, el Decreto 67 “Reglamento Seguridad de plantas de Gas Natural", el Decreto 160 “Reglamento de Seguridad para las instalaciones y operaciones de producción, refinación, transporte, almacenamiento, distribución y abastecimiento de combustibles líquidos” y el Decreto 108 “Aprueba Reglamento de Seguridad para las Instalaciones de Almacenamiento, Transporte y Distribución de Gas licuado de Petróleo y Operaciones Asociadas”, ellas no se refieren a ninguna normativa en particular sobre temas de construcción, como ser normas sísmicas u otras, con excepción del Decreto 67 y el 108, que menciona a la Ordenanza General de la Ley General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) y señala también a la Norma Chilena Oficial NCh2369.Of 2003 [34] ‘‘Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales’’. El Consultor propone que se incorpore en los reglamentos asociados al hidrógeno la obligación de cumplir las disposiciones del OGUC. Si bien esto parece innecesario, por ser requisito para la recepción municipal de las obras, el Consultor estima que es conveniente que se diga. Esta opinión se refuerza con el hecho de que muchas normas técnicas hacen mención a las normas de construcción locales, por ejemplo, la NFPA 2 en el punto 6.2 “*Design and Construction*” señala que las edificaciones deberán ser diseñadas y construidas de acuerdo a los reglamentos (códigos) de construcción locales.

Con respecto a la integración y coordinación de la normativa técnica con países de la región, es conveniente señalar que, como se mencionó en 4.2.3, no existe regulación específica en los países estudiados, a pesar de los esfuerzos de algunas asociaciones vinculadas al hidrógeno de Argentina, Brasil y Uruguay. Sin embargo, dado que la regulación del hidrógeno es incipiente y de interés en Sudamérica, el Consultor propone un acercamiento a Argentina y Uruguay para participar en el comité ISO/TC 197 junto a ellos. Por otro lado, se propone buscar puntos de acercamientos con Uruguay en los siguientes puntos:

- Materializar un comité de trabajo bilateral para el intercambio de información
- Compartir experiencia respecto de la búsqueda, generación e implementación de la normativa técnica.
- Intercambio de lecciones aprendidas en la aplicación de la normativa técnica al desarrollo de proyectos durante la etapa de transición mientras se genera la normativa.
- Intercambio de experiencias en la aplicación del *roadmap* y su evolución en el tiempo
- Trabajo interministerial para generación de la nueva normativa y todo otro que pueda ser de beneficio para ambos países.

[34] Declarada Norma Chilena Oficial de la Repú blica mediante decreto supremo N° 178, de 2003, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

Ambas proposiciones son acordes a lo manifestado por las personas entrevistadas de estos países.

5.1.2 Elaboración de un mapa regulatorio nacional

De la Cadena de Valor acordada entre el Ministerio de Energía, el Consultor Internacional y el Consultor Nacional (ver Apéndice 10.12), se identificaron relaciones de dependencia entre sus diferentes, las que se muestran en la Figura 1. En ella se da cuenta de una simplificación de las relaciones utilizando flechas que indican el sentido del flujo y que permiten señalar las interrelaciones. Como ejemplo, se puede apreciar que la etapa Almacenamiento está presente y relacionada con todas las etapas.

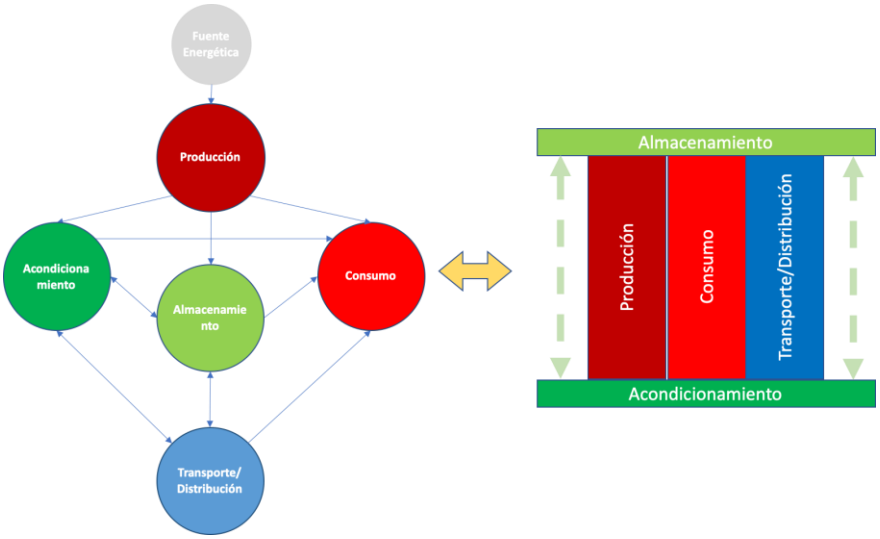

Figura 1 Dos formas de mostrar las relaciones entre las etapas de la cadena de valor; la de la derecha es similar al esquema clásico del modelo de cadena de valor de Porter.

Considerando las relaciones entre las etapas de la cadena de valor, mostradas por la Figura 1, y teniendo en cuenta las interfaces entre ellas, se acordó con el equipo del Ministerio de Energía la siguiente definición de cada una de ellas, que se describe en forma precisa los límites de cada etapa.

- **Producción:** Es el proceso que incluye los procedimientos, instalaciones y equipos necesarios para la generación de hidrógeno y su transferencia a la etapa siguiente. Es la primera etapa de la cadena de valor y se inicia en el lugar de recepción de los insumos (agua, combustibles, energía eléctrica, otros), y finaliza en el lugar de entrega del hidrógeno para su transporte, distribución, almacenamiento, o consumo. La Producción contiene a las etapas de acondicionamiento y almacenamiento que se encuentren en el mismo recinto.
- **Acondicionamiento:** Es el proceso en el cual el hidrógeno sufre un cambio físico necesario para almacenarlo, transportarlo o consumirlo. Esta etapa incluye los procesos de incorporación y extracción de hidrógeno de los Líquidos Orgánicos para Transporte de Hidrógeno

(LOHC), pero excluye los mismos procesos con hidruros metálicos. Es una etapa intermedia que une otras dos etapas de la cadena de valor.

- **Almacenamiento:** Es el proceso de guardar hidrógeno en cualquier estado y por cualquier período. Incluye los procedimientos, instalaciones y equipos necesarios para recibir y guardar cantidades determinadas de hidrógeno, y entregarlo en el momento y condición que se requiera. Es una etapa intermedia que une otras dos etapas de la cadena de valor.
- **Transporte y Distribución:** Es el proceso que considera todos los procedimientos, instalaciones y equipos necesarios para llevar el hidrógeno desde donde se produce, o acondiciona o almacena, hasta el inicio de otra etapa de la cadena de valor, excluyendo el dispensado público y privado.
- **Consumo:** Es el proceso que comprende la etapa final de la cadena de valor y que considera los procedimientos, instalaciones y equipos necesarios para convertir el hidrógeno en formas de energía térmica, mecánica o eléctrica, o en productos derivados para uso energético; esta etapa incluye el dispensado público y privado. El proceso comienza con el almacenamiento gaseoso y termina cuando la molécula del hidrógeno se transforma químicamente.

Como se señaló, las etapas de la cadena de valor tienen múltiples relaciones. Para una mejor comprensión de ellas, un esquema como el modelo de Porter[35], Figura 1, lado derecho, permite un mejor entendimiento. En efecto, de esta manera se pueden distinguir que tres de las etapas de la cadena de valor son los pilares centrales (Producción, Transporte/Distribución y Consumo) y serán referidas como etapas primarias, y dos de ellas (Almacenamiento y Acondicionamiento) son transversales y están presentes en todas las etapas primarias, y serán referidas como secundarias. Lo anterior servirá, entre otros, para organizar la reglamentación que se levantará del Mapa Regulatorio propuesto.

A partir de las consideraciones planteadas en los párrafos anteriores, se generó el "Mapa Regulatorio Nacional", con la recomendación de normas técnicas para cada etapa y parte de la cadena de valor, el que se muestra en la Figura 2. En ella se puede apreciar que las etapas de Acondicionamiento y Almacenamiento están, con frecuencia, integradas dentro de otras etapas. Las normas recomendadas se encuentran también en tablas, en la sección 10.15.3 y desglosadas según las partes de cada etapa en la sección 10.15.4.

[35] https://en.wikipedia.org/wiki/Value_chain

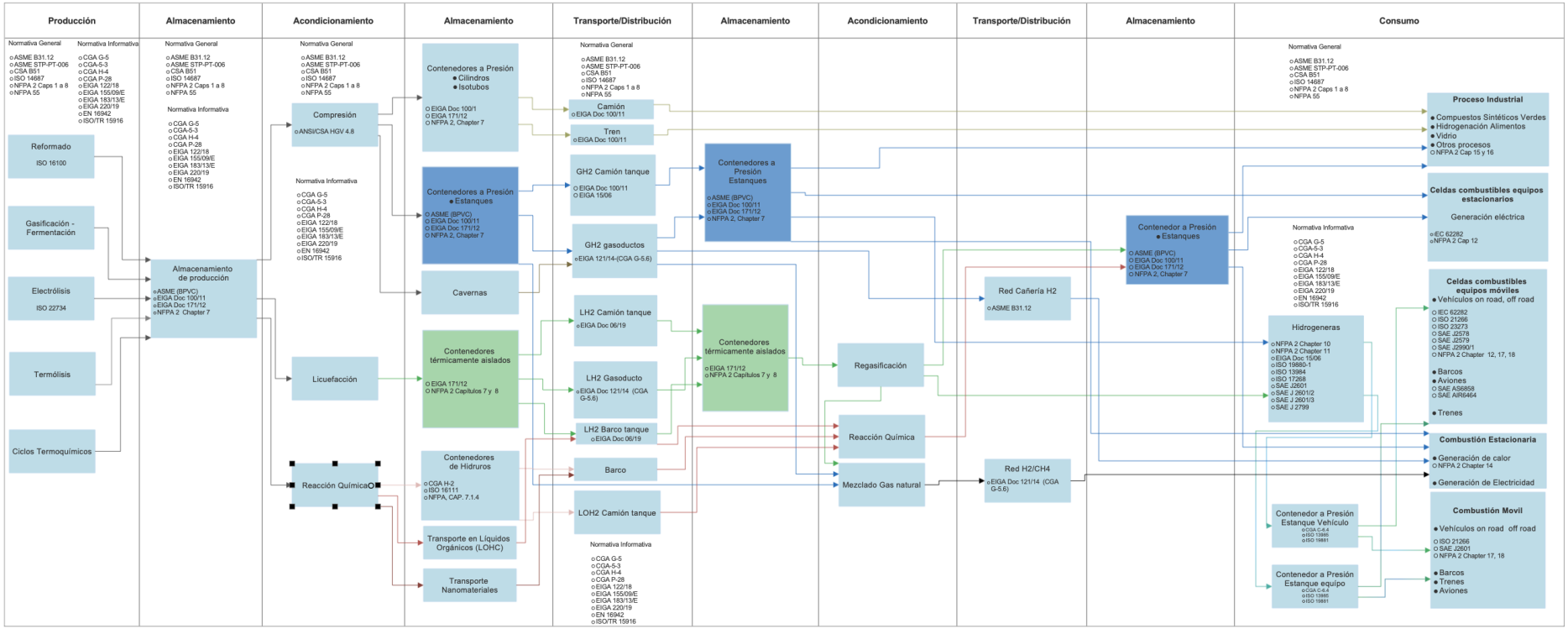

Figura 2 Mapa Regulatorio Nacional del H_2

El estado físico del hidrógeno al que se hace mención en la Figura 2 es referido a gaseoso cuando se usa la sigla GH2 y a líquido cuando se usa la sigla LH2. Se usó el color celeste para los procesos en general. Sin embargo, dado que ciertos tipos de almacenamiento se repiten entre etapas de la cadena de valor, ellos se presentan con un color diferente al del resto del mapa regulatorio. De acuerdo con lo anterior, el almacenamiento en tanques se presenta con el color azul claro y el de contenedores térmicamente aislados con el color verde. Por otro lado, las líneas de flujo de un proceso a otro tienen distintos colores solo para diferenciar el cruce de líneas y el color particular no tiene significado alguno.

Como se puede apreciar en la Figura 2, existen ciertas actividades que, de acuerdo al informe del Consultor Internacional, no cuentan con normativa técnica específica. Ellas se resumen a continuación:

- Producción
    - Gasificación Fermentación
    - Termólisis
    - Ciclos Termoquímicos
- Acondicionamiento
    - Licuefacción y Regasificación
    - Reacción Química (MEH, LOHC, Nanomateriales)
    - Mezclado con GN
- Almacenamiento
    - Almacenamiento en cavernas
- Transporte/Distribución
    - Camión, Tren para transporte cilindros e isotubos
    - Barco para transporte de contenedores de hidruros

A pesar de no encontrarse normativa técnica específica para las partes de la cadena de valor que se mencionan arriba, se puede señalar que las normas de carácter general aplican a la mayoría de ellas. Por otro lado, las partes de las etapas de producción y acondicionamiento sin normativa técnica corresponden a procesos químicos industriales. Como tales, están sujetas a normas que no son específicas para el H_2. Dado lo anterior, se estima que la reglamentación existente para procesos industriales los abordaría y no sería necesario, al menos por ahora, generar una regulación específica para ellas.

El mezclado de hidrógeno con gas natural para ser inyectado en una red de distribución, que no aparece con normas técnicas específicas, debería ser regulado 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. Respecto a lo último, existe en Chile la experiencia del remplazo del gas de ciudad por GN, y de las plantas de propano/aire para el respaldo del GN. En efecto, estos cambios plantean un problema similar de intercambiabilidad de gases.

Respecto del almacenamiento en cavernas, dado que no se encontró normativa técnica y como, además, se estima que no se implementará en Chile este tipo de almacenamiento en

el corto y mediano plazo, se propone que se aborde más adelante. Sin perjuicio de lo anterior, la experiencia que tiene Argentina en este tipo de almacenamiento debería permitir avanzar inicialmente en la búsqueda de normativa técnica en este punto, considerando los contactos realizados durante el desarrollo del presente trabajo.

Finalmente, la normativa específica para los vehículos que transportan cilindros e isotubos; está cubierta en términos generales por la normativa general e informativa. Sin embargo, se estima que, dado que hoy se transporta hidrógeno en cilindros e isotubos, estos procesos deberían estar cubiertos con la normativa que aplica a para el transporte de sustancias peligrosas y que está estipulado en el Decreto 298/2002 “Reglamento de Transporte de Cargas Peligrosas por Calles y Caminos”. En él, entre otros puntos, se especifican las características de los vehículos y su equipamiento.

5.2 Normativa técnica que debiese desarrollarse e implementarse en Chile

En función del mapa regulatorio levantado en la sección anterior, se presenta una proposición sobre la normativa técnica que habría que desarrollar e implementar en Chile, proponiendo algunas organizaciones para participar en el proceso de generación de normas.

La lectura de las normas técnicas internacionales sobre hidrógeno a las que tuvo acceso el Consultor muestra que su elaboración requiere de un número importante de profesionales altamente capacitados y con experiencia en materias que en Chile son poco usuales. Por esto se estima que será difícil constituir uno o más comités nacionales de la calidad y dedicación requeridas para desarrollar normas de alta complejidad. Por lo tanto, el Consultor recomienda que se adopten normas internacionales reconocidas, como las indicadas en el mapa regulatorio presentado en la sección 5.1.2. Las únicas acciones recomendadas son negociar con las Organizaciones que Generan Normas (OGN) la traducción al castellano de las normas seleccionadas. En particular, conviene mencionar la eventual incorporación de normas ISO como normas NCh-ISO. Conviene destacar que muchas normas ISO sobre el hidrógeno han sido traducidas por la Asociación Española de Normalización y homologadas como normas UNE-ISO, por lo que no sería necesario traducirlas.

No obstante lo dicho en el párrafo anterior, no se encontraron normas internacionales aplicables al consumo de hidrógeno en minería y, probablemente, tarde mucho en que OGNs internacionales se interesen en generarlas. Si bien las normas de uso de hidrógeno en aplicaciones industriales y en maquinaria son probablemente aplicables a la minería abierta, parece conveniente verificar que así sea y, eventualmente, generar normas particulares para minería abierta. Por otro lado, no ocurre lo mismo con la minería subterránea donde sin lugar a dudas habrá que elaborar normas nuevas. Ante esto, y dada la relevancia para Chile del consumo de hidrógeno en minería, se propone que el MEN incentive y apoye la participación de profesionales chilenos en el comité ISO/TC 197, a través del INN, para promover y trabajar en la elaboración de normas de uso de hidrógeno en minería. Esta participación se podría materializar con la formación de un comité de expertos en Chile, organizado por el INN, que sería representado por uno de ellos en las reuniones del ISO/TC 197.

Algunas instituciones chilenas que deberían participar en la preparación de normas para el uso de hidrógeno en la minería, a juicio del Consultor, son SERNAGEOMIN, MEN, SEC, empresas mineras (Codelco, Anglo American, AMSA, BHP, CMP), fabricantes de equipos mineros (Komatsu, Cummins, Caterpillar), empresas eléctricas que han manifestado interés en el hidrógeno (Engie, Enel, AES Gener), empresas de gases nacionales (Linde, Indura, Air Liquide Chile) y universidades que estén trabajando en seguridad del hidrógeno. Algunas de ellas son

las que participan en los consorcios Corfo relacionados al hidrógeno, como ser la Pontificia Universidad Católica de Chile, la Universidad de Santiago y la Universidad Federico Santa María. Los organismos gubernamentales mencionados son los que tienen competencia sobre operaciones mineras y combustibles. Las empresas mineras indicadas corresponden a las más grandes minas de cobre y hierro, pero podrían incorporarse otras que manifiesten interés. Las empresas de gases chilenas indicadas son filiales de compañías internacionales que tienen experiencia en hidrógeno y han participado en la elaboración de normas internacionales; sin embargo, podrían incluirse otras empresas nacionales o internacionales con representantes en Chile, que tengan experiencia e interés en el hidrógeno. Las dos primeras empresas eléctricas mencionadas son filiales de grandes corporaciones internacionales que tienen proyectos de producción de hidrógeno, y la tercera es una empresa de capitales nacionales que ha manifestado interés en generar hidrógeno. Las empresas e instituciones nombradas no son las únicas que podrían participar. Para la formación del comité normativo, el INN hace un llamado público muy amplio para detectar otras instituciones o personas interesadas.

6 Análisis de la regulación nacional de otros combustibles que debería incluir al hidrógeno

Se analizó la regulación nacional que rige para otros combustibles que debería ser considerada para posibles modificaciones al incorporar al hidrógeno como un combustible. Primero, en la sección 6.1 se identifican los reglamentos que podrían ser afectados y, luego, en la sección 6.2 se indican las modificaciones necesarias.

6.1 Regulación nacional existente que se debería revisar

La Contraparte Técnica del MEN identificó los reglamentos nacionales de instalaciones, almacenamiento y transporte de otros combustibles que deberán ser revisados y, eventualmente, actualizados como consecuencia de la introducción del hidrógeno energético. En función de lo anterior, la Tabla 14 muestra las leyes y decretos indicados por el MEN que regulan las áreas de homologación y revisiones técnicas de vehículos, impuesto específico a los combustibles usados en vehículos que circulan por calles y caminos, y emisiones atmosféricas.

Tabla 14 Regulación nacional para revisión

Área de aplicación	Fecha de Publicación	Ministerio	Instrumento y número	Título
Homologación de vehículos	04-08-1997	MTT	DTO 54	Dispone normas sobre homologación de vehículos.
Revisiones técnicas de vehículos	29-11-1990	MTT	DTO 156	Reglamenta revisiones técnicas y la autorización y funcionamiento de las plantas revisoras.
Impuesto específico	03-04-1986	MH	Ley 18.502	Establece impuestos a combustibles que señala
Emisiones	03-05-1994	MTT	DTO 54	Establece normas de emisión aplicables a vehículos motorizados medianos que indica.
	16-04-1994	MTT	DTO 55	Establece normas de emisión aplicables a vehículos motorizados pesados que indica
	11-12-1991	MTT	DTO 211	Normas sobre emisiones de vehículos motorizados livianos.

	24-06-1994	MTT	DTO 82	Establece Normas de Emisión a Vehículos y Motores que se Indica
	29-01-1994	MTT	DTO 4	Establece normas de emisión de contaminantes aplicables a los vehículos motorizados y fija los procedimientos para su control.
	17-11-2005	MINSAL	DTO 138	Establece obligación de declarar emisiones que indica.
	12-09-2013	MMA	DTO 29	Establece norma de emisión para incineración, coincineración y coprocesamiento y deroga decreto no 45, de 2007, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

A continuación, la Tabla 15 presenta un breve resumen de los principales contenidos de los instrumentos citados en la Tabla 14, y en el Apéndice 10.16 se encuentra un resumen más extendido de cada una de las leyes y decretos mencionados.

Tabla 15 Resumen de los instrumentos señalados en la Tabla 14

Área de aplicación	Número Documento	Resumen
Homologación de vehículos	DTO 54/97 MTT	Define procedimientos para certificar que los vehículos motorizados cumplen con las normas técnicas establecidas por el MTT. Considera emisiones, construcción, conformidad, y planes y programas de investigación y desarrollo para vehículos. Aplica a todos los vehículos motorizados sin distinción del tipo de motor o combustible.
Revisiones técnicas de vehículos	DTO 156/90 MTT	Entre otros aspectos señala la periodicidad de las revisiones técnicas en función del tipo de vehículo. Establece tipos de equipos e instrumentos y las características de las personas técnicas que deben trabajar en las instalaciones, refiriendo el detalle al Manual de Instrucciones para la Revisión Técnica preparado por el MTT. Aplica a todos los vehículos motorizados distinguiendo el tipo de motor y combustible.
Impuesto específico	Ley 18.502/86 MH	La normativa, modificada por las leyes 20.052/2005 y 20.265/2008, establece impuestos específicos a consumo vehicular a: GNC y GLP. También se refiere a la mezcla de GN con gas de origen no fósil asignando impuesto a la parte proporcional de gas de origen fósil. Incorpora una componente variable del impuesto específico al GN y GLP de uso vehicular y define monto y mecanismo de cobro. Elimina componente fija del impuesto específico al uso del GNC y GLP de uso vehicular. Deroga la aplicación del impuesto al gas como combustible vehicular en la Región de Magallanes.
Emisiones	DTO 54/94 MTT	Establece normas de emisión a vehículos medianos con motores a combustibles: Diésel, GNC, Gasolina, GLP, Bioetanol. Además, incorpora combustibles “flexible fuel”. Define los límites de emisión para: monóxido de carbono, hidrocarburos totales, hidrocarburos no metánicos, óxido de nitrógeno y partículas.
	DTO 55/94 MTT	Establece normas de emisión aplicables a vehículos motorizados pesados destinados al transporte de personas o carga. Aplica a buses, camiones y tractocamiones. Los combustibles afectados son diésel, gasolina y gas. No especifica el que tipo de gas, por lo que aplica a todo gas combustible.
	DTO 211/91 MTT	Establece normas de emisiones para vehículos motorizados livianos. Aplica a vehículos comerciales livianos y de pasajeros. Los límites de emisión en unos casos aplican sólo a los combustibles petróleo diésel, gasolina, GNC y GLP, y en otros aplican a todos los combustibles sin distinción. Distingue entre límites de emisiones para la RM y el resto del país.
	DTO 82/94 MTT	Establece normas de emisión a buses de la locomoción colectiva urbana de Santiago y afecta a los vendedores de buses, fabricantes del motor y chasis. Corrige el límite de emisiones en función de la potencia del motor y considera emisiones diésel y gasolina.
	DTO 4/94 MTT	Establece normas de emisión a vehículos motorizados para los que no se han establecido normas de emisión expresadas en gr/km, gr/HP-h, o gr/kw-h, y a vehículos diésel que circulen por la Región Metropolitana. Además fija los procedimientos para su control. Complementa los decretos 54/94, 55 y 211.
	DTO 138/05 MINSAL	Establece obligación de declarar emisiones de fuentes fijas. Señala diferentes tipos de fuentes fijas y equipos tales como electrógenos y calderas generadoras de vapor y/o agua caliente.
	DTO 29/13 MMA	Establece norma de emisión para incineración, coincineración y coprocesamiento. Deroga decreto Nº 45 de 2007, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Amplía el listado de combustibles a biocombustibles y otros combustibles alternativos Define combustible tradicional, incorporando al hidrógeno.

6.2 Actualización y aplicación al hidrógeno de la regulación de otros combustibles

Esta sección presenta las actualizaciones necesarias a las leyes y decretos indicados en la sección anterior para incluir al hidrógeno. La actualización debería hacerse modificando el reglamento existente mediante otro del mismo tipo. Como en todos los casos contemplados los cambios serían pequeños, no se justifica generar un nuevo reglamento, bastando con modi-

ficar el existente. En la Tabla 16 se presenta un resumen de las actualizaciones o modificaciones propuestas por el consultor y la discusión más amplia se presenta a continuación de la tabla resumen.

Tabla 16 Resumen de las Actualizaciones a los Decretos señalados en la Tabla 14

Área de aplicación	Número Documento	Actualización
Homologación de vehículos	DTO 54/97 MTT	No hay modificación importante a este decreto, pero se sugiere que el MTT dicte una nueva norma técnica para el sistema de combustible de los vehículos a hidrógeno. Adicionalmente, se recomienda revisar el decreto 145/2018 del MTT (establece requisitos técnicos, constructivos y de seguridad para vehículos eléctricos que indica), para verificar su actualización respecto a vehículos con celdas de combustible.
Revisiones técnicas de vehículos	DTO 156/90 MTT	Establecer la frecuencia de las revisiones para vehículos a hidrógeno y, posiblemente, agregar equipamiento especial y capacitación de los técnicos. También se sugiere modificar el manual de revisiones técnicas citado por este decreto.
Impuesto específico	Ley 18.502/86 MH	No es afectado, por lo que no debería modificarse
Emisiones	DTO 54/94 MTT	Incorporar al hidrógeno como combustible para los diferentes tipos de motores y los vehículos con celdas de combustible. Analizar la necesidad de certificar emisiones de vehículos con celdas de combustible.
	DTO 55/94 MTT	Incorporar al hidrógeno como combustible para los diferentes tipos de motores y los vehículos con celdas de combustible. Analizar la necesidad de certificar emisiones de vehículos con celdas de combustible. Cambiar la definición de familia de tipo/modelo de vehículos para incluir vehículos con celdas de combustible.
	DTO 211/91 MTT	Incorporar al hidrógeno como combustible para los diferentes tipos de motores y los vehículos con celdas de combustible. Analizar la necesidad de certificar emisiones de vehículos con celdas de combustible.
	DTO 82/94 MTT	Incorporar al hidrógeno como combustible para los diferentes tipos de motores y los vehículos con celdas de combustible. Analizar la necesidad de certificar emisiones de vehículos con celdas de combustible.
	DTO 4/94 MTT	Incorporar al hidrógeno como combustible para los diferentes tipos de motores y los vehículos con celdas de combustible. Analizar la necesidad de certificar emisiones de vehículos con celdas de combustible.
	DTO 138/05 MINSAL	No es afectado, por lo que no debería modificarse
	DTO 29/13 MMA	No debería ser modificado ya que incluye al H_2 como combustible

El Decreto del MTT N°54/1997, sobre homologación de vehículos, aplica a todos los combustibles sin mencionar ninguno en particular. Sin embargo, ese decreto versa sobre el procedimiento de certificación y no da los requisitos que deben cumplir los vehículos, los que están referidos a normas técnicas establecidas por el MTT. Al respecto, en entrevista con profesional del MTT (entrevista en 10.5.20), indicó que el hidrógeno no está contemplado como combustible para vehículos en ellas. Agrega que, para incorporarlo, dictarían una nueva norma (Decreto), tal como lo hicieron recientemente para la homologación de vehículos eléctricos dictando el Decreto MTT N°145/2018. Esta nueva norma indicará los requerimientos de seguridad del sistema de combustible de los vehículos a hidrógeno. Respecto a los requerimientos de seguridad del sistema eléctrico de potencia de los vehículos con celdas de combustible, estarían considerados en el Decreto del MTT N°145/2018, pero se recomienda revisarlo para verificar que esté actualizado respecto a los requerimientos de seguridad de las celdas de combustible. Por otro lado, no habría cambios en cuanto a emisiones contaminantes, ya que

estas están condicionadas al tipo de motor y no al tipo de combustible. En resumen, no habría que modificar el Decreto del MTT N°54/1997, salvo ampliar los planes y programas de investigación y desarrollo a estas tecnologías emergentes que menciona.

El Decreto del MTT N°156/1990, que reglamenta las revisiones técnicas y la autorización y funcionamiento de las plantas revisoras, distinguiendo el tipo de motor y combustible, debería actualizarse para incorporar al hidrógeno. El tipo de combustible afecta la frecuencia de revisión, por lo que habrá que indicar la que corresponda al hidrógeno. Este reglamento no incluye los detalles de la revisión de los vehículos, los que están contenidos en el Manual de Instrucciones para la Revisión Técnica preparado por el MTT. Consecuentemente, habrá que modificar el manual. La revisión del manual se debe concentrar en la verificación de emisiones, en la revisión del sistema de combustible y en la revisión del sistema eléctrico de potencia de los vehículos con celdas de combustible. Es posible que de la actualización del manual se derive la necesidad de equipamiento adicional, lo que significaría una actualización más al decreto. Por otro lado, se debe revisar el perfil de los técnicos que pueden trabajar en dichas plantas de revisión y su capacitación, para verificar que tengan las competencias necesarias para trabajar con vehículos a hidrógeno.

En otro ámbito, la ley N°18.502 de 1985, que establece impuestos a los combustibles, incorpora las modificaciones importantes realizadas por las leyes N°s20.052 y 20.265, de los años 2005 y 2008 respectivamente, además de modificaciones introducidas por otras leyes. Esta Ley grava con impuestos específicos a los combustibles vehiculares, pero no menciona al hidrógeno, por lo que este combustible no estaría afecto al impuesto. Por lo tanto, se debería evaluar la conveniencia de afectar al hidrógeno a impuestos similares al GNC y el GLP cuando se usa como combustible en vehículos que circulan por calles y caminos públicos. En esta modificación habrá que considerar las condiciones especiales de impuestos a los gases combustible en algunas regiones, como ser en la de Magallanes. Por otro lado, podría pensarse en un trato preferencial al hidrógeno por considerarse menos contaminante, al menos en el caso de las celdas de combustible. Sin embargo, hay que estudiar cuidadosamente el caso de motores de combustión interna (MCI), donde puede haber incremento en las emisiones de algunos contaminantes, dependiendo de la tecnología empleada.

En los temas relacionados a emisiones de vehículos, se estima que en los Decretos N°s54/94, 55/94, 211/91, 82/94 y 4/94, todos del MTT, se debería incorporar al hidrógeno como combustible para los diferentes tipos de motores citados en él. Como se señala en el apéndice 10.16, si bien el Decreto del MTT N°54/94 no incorpora la palabra combustión, el hidrógeno como combustible puede ser usado en MCI o en celdas de combustible (CC). Su uso en MCI inicialmente puede incorporarse en la categoría “flexible fuel”, que incluye el uso en combustión dual, en particular junto con Diésel (como, por ejemplo, lo que persigue como objetivo el Consorcio Corfo de ALSET). Por otro lado, se debería incorporar en los decretos el uso del hidrógeno para vehículos con celdas de combustible. Finalmente, los vehículos a hidrógeno verde con CC son considerados de cero emisiones de CO_2, por lo que habría que explicitar este hecho y considerar eximirlos de la necesidad de certificar emisiones. Sin embargo, hay que tener presente que los vehículos con CC emiten cantidades pequeñas de hidrógeno, que están limitadas más por seguridad que por contaminación atmosférica[36].

[36] El hidrógeno tiene un impacto atmosférico en la capa de ozono y en el calentamiento global. Este impacto es considerado bajo por el momento, aunque existe gran incertidumbre porque hay pocos estudios concluyentes (Derwent, 2018).

Adicionalmente, en el Decreto del MTT N°55/94 se deberían analizar la necesidad de incorporar cambios en la definición de familia de tipo/modelo por cuanto se refiere a cilindrada del motor y número de cilindros, lo que no aplica a vehículos con celdas de combustible -Artículo 1 letra c), punto (4)-.

Respecto del Decreto MINSAL N°138/2005, que obliga a declarar emisiones de fuentes fijas, se estima que la incorporación del hidrógeno como combustible ya sea para su uso en combustión o en celdas combustibles, no afecta el propósito ni la aplicación de dicho decreto y, por lo tanto, no debería modificarse.

El Decreto MMA N°29/2013 considera al hidrógeno como un combustible tradicional y, por lo tanto, su empleo queda sujeto a dicho reglamento. Para los futuros análisis de la reglamentación en torno al hidrógeno, se recomienda tener en cuenta este decreto para que se mantenga actualizado y mencionado por la nueva reglamentación.

7 Proposición de plan de acción regulatorio

Este capítulo propone un plan de acción regulatorio para Chile considerando el corto, mediano y largo plazo, priorizando las acciones que permitan habilitar la regulación del hidrógeno aplicable a los proyectos que comiencen a ejecutarse. De esta forma se facilitará la obtención de los permisos necesarios para estos proyectos, además de reducir el riesgo de accidentes o incidentes, que perjudicarían la percepción de riesgo del hidrógeno. Para elaborar la proposición se contemplan las actividades detalladas en las tres secciones siguientes.

7.1 Priorización de proyectos nacionales

En coordinación con la contraparte técnica, se priorizaron los proyectos identificados en 4.1, que se resumen en la Tabla 2 y Tabla 4 del capítulo 4. A estos proyectos se suman los planes y estudios de hidrógeno presentados en la sección 4.1.3 ”Planes relacionados con el hidrógeno y sus derivados”. Para lo anterior se tomaron en consideración los siguientes criterios:

- La etapa de desarrollo en que se encuentra el proyecto en función del tiempo de inicio, desde una idean interna a ingeniería básica y de detalles.
- Que el proyecto de hidrógeno sea para principalmente para consumo energético
- Que el proyecto aborde la mayor cantidad de etapas de la cadena de valor.

La Tabla 17 muestra los proyectos priorizados según los criterios descritos, y el Apéndice 10.17 presenta la matriz de decisiones empleada para priorizarlos.

Tabla 17 Priorización de Proyectos Nacionales

Prioridad	Organización	Nombre del Proyecto
1	Consorcio Alset	Proyecto Corfo 18PTECHD-89484 "Desarrollo de Sistema de Combustión Dual Hidrógeno-Diesel para Camiones de Extracción Mineros (Caex)"
	Consorcio USM	Proyecto Corfo 18PTECC-89477 "Programa tecnológico en celdas combustibles"
2	Engie y empresa logística	Producción, almacenamiento, distribución y uso de hidrógeno, para ser usado como combustible para grúas montacargas.
3	Enaex-Engie	Producción de H2 verde para síntesis de amoniaco
4	AquaChile –BHP Chile	Generar H2 en la localidad de Calama y transportarlo hasta Mejillones para usar el H2 en la síntesis de amoniaco verde.
5	ENAP	Producción de H2 verde para inyección a matriz de gas en Punta Arenas,
6	Green Technology Ltda. Y AquaFire	Producción de hidrógeno mediante electrólisis y uso en combustión para generación de vapor
7	Empresas Melón	Generación de hidrógeno mediante electrolizador para uso en horno cementero.
8	BLUECOME	Uso en sistemas de calefacción en base a combustión de una mezcla gaseosa de Hidrógeno con Oxígeno.
9	AES Gener	Uso en Combustión dual en generadores eléctricos reemplazando parcial o totalmente el combustible Diésel.
10	Robert Bosch	Combustión de H2 en Calderas de combustión dual o 100% H2.
	Cummins	Uso H2 en celdas combustible para reemplazo de generadores de respaldo a combustión interna por celdas de combustible a hidrógeno.

7.2 Priorización de los requerimientos regulatorios

Los requerimientos regulatorios se priorizaron de acuerdo con el orden de los proyectos, indicado en la sección precedente. Esta estrategia permite facilitar la realización de los proyectos al reducir las incertidumbres regulatorias y ayudar en la obtención de permisos. La Tabla 18 presenta las materias que requieren regulación para los proyectos priorizados en la Tabla 17, manteniendo el mismo orden. Estas materias se incluyen en los reglamentos del plan regulatorio propuesto en la sección 7.4. La última columna de la Tabla 18 indica el órgano regulatorio que se estima debe regular cada materia; sin embargo, los abogados de los ministerios involucrados y del MEN deberán verificar que realmente corresponda a la competencia sugerida. La sección 7.3.2 presenta un breve análisis de la competencia del MEN, el que indica que el MEN tiene competencia en todas las etapas de la cadena de valor del hidrógeno combustible, con excepción de la seguridad de vehículos motorizados que circulan por vías públicas, donde la competencia recae en el MTT. Por otro lado, la regulación del hidrógeno sustancia peligrosa le corresponde al MTT para el transporte por carretera y al MINSAL para los otros casos en general.

La lista priorizada de materias que requieren regulación se hizo considerando las necesidades para cada grupo de proyectos de la misma prioridad, sin repetir las materias que se han listado anteriormente. Se dan dos ejemplos para aclarar esta metodología,

a) los dos proyectos de prioridad 1 de la Tabla 17 necesitan regulación en las cuatro materias de prioridad 1 de la Tabla 18, y

b) el proyecto de generación e inyección de hidrógeno a red de gas (prioridad 5), además de un reglamento sobre distribución de hidrógeno en red (también en prioridad 5), necesita reglamentos sobre generación y almacenamiento de hidrógeno, que no se ponen en esta prioridad porque ya están en una prioridad anterior (2 y 1, respectivamente en este caso).

En esta tabla se debe entender “hidrógeno combustible” cuando se dice “hidrógeno” a secas. La referencia a hidrógeno sustancia peligrosa se hace como tal. Finalmente, hay que aclarar que se ha incluido en la tabla materias relativas a sustancias peligrosas, que ya están reguladas, por considerarse esta regulación insuficiente. Este es un recordatorio de la necesidad de actualizar dicha regulación e, idealmente, armonizarla con la regulación pertinente del hidrógeno combustible.

Tabla 18 Priorización de los Requerimientos Regulatorios

Prioridad de proyectos	Materia que requiere regulación	Órgano con competencia
1	Dispensado de hidrógeno a vehículos y maquinarias	MEN
	Almacenamiento de hidrógeno a granel	MEN
	Transporte por carretera de hidrógeno energético a granel	MEN
	Maquinaria y vehículos industriales a hidrógeno	MEN
2	Generación de hidrógeno combustible	MEN
3	Generación, almacenamiento y redes interiores de hidrógeno sustancia peligrosa	MINSAL
4	Combustión de hidrógeno en hornos y calderas	MEN
5	Distribución de hidrógeno en red de gas	MEN
6	Redes interiores de hidrógeno	MEN
7	Combustión de hidrógeno en artefactos	MEN
8	Generadores eléctricos con combustión dual con hidrógeno	MEN
9	Transporte por carretera de hidrógeno sustancia peligrosa a granel	MTT
10	Generadores eléctricos con celdas de combustible a hidrógeno	MEN

7.3 Otras consideraciones

Esta sección analiza otros aspectos que hay que considerar para decidir cómo estructurar la regulación del hidrógeno. Estos tienen que ver con la regulación separada del hidrógeno si se usa como combustible o no, con la competencia del MEN, y con la forma de organizar los reglamentos. Las siguientes tres subsecciones tratan estos temas.

7.3.1 El hidrógeno como sustancia peligrosa y como combustible

El hidrógeno actualmente se regula como sustancia peligrosa, quedando excluido de esta regulación cuando se usa con fines energéticos en al menos un reglamento (Decreto MINSAL N°43). Sin embargo, en un horizonte de corto plazo será declarado, por ley, como combustible si se usa para fines energéticos. Cuando esto ocurra y se dicten los reglamentos necesarios para su regulación, el hidrógeno será regulado en forma dual, ya sea como combustible, si se usa con fines energéticos, y como sustancia peligrosa, si se usa con otros fines.

Esta situación dual parece inconveniente, ya que los riesgos del hidrógeno en todas las etapas de la cadena de valor previas al consumo son independientes del uso final, lo mismo que las técnicas de mitigación de esos riesgos. Más aún, es concebible que haya ocasiones en que se produzca, acondicione, almacene y transporte hidrógeno del cual una fracción esté destinada a usos energéticos y el resto a otros usos. En este caso, habrá que tener un criterio para decidir cuál de las dos regulaciones debe aplicarse.

La solución a este problema está fuera del alcance del presente estudio. Sin embargo, el Consultor recomienda que se tenga presente en la elaboración de la futura regulación del hidrógeno. En particular, se recomienda al MEN generar instancias de coordinación interministerial para la regulación del hidrógeno, precisamente con los órganos que regulan las sustancias peligrosas. Por lo demás, la acción coordinada de los órganos del Estado está

indicada en del artículo 5° del DFL 1/MSGP publicado el 17-11-200[37]. El objetivo es lograr una reglamentación del hidrógeno en cuanto a sustancia peligrosa coherente con los reglamentos del MEN para el hidrógeno combustible; de este modo, las exigencias al hidrógeno serán las mismas independiente de su uso.

7.3.2 Competencia del Ministerio de Energía

Para preparar un plan de acción regulatorio primero se debe tener claro cuál es la competencia del Ministerio de Energía. Este órgano ministerial fue creado por la Ley Nº20.402, de 2009, que ordenó introducir a este Servicio en la institucionalidad en materia de energía, modificando el DL 2.224, de 1978, del Ministerio de Minería, que también crea la Comisión Nacional de Energía (Vergara y Cía, apéndice 10.19).

La actual institucionalidad en materia energética prevista en el DL Nº2.224/78, permite advertir que el MEN tiene potestades para regular toda la cadena de valor del hidrógeno en cuanto a energético. En efecto, en esa norma se comprende al Ministerio como "*(…) el órgano superior de colaboración del Presidente de la República en las funciones de gobierno y administración del sector energía"* (art1º DL 2.224). Asimismo, se establece que la función principal del ministerio es la de "*elaborar y coordinar los **planes, políticas y normas** para el buen funcionamiento y desarrollo del sector, **velar por su cumplimiento** y **asesorar al Gobierno** en todas aquellas materias relacionadas con la energía"* (art.2º DL 2.224). Y, en esta misma normativa, se precisa la competencia en materia de energía que le corresponde a este ministerio, advirtiendo que "*el sector de energía comprende a todas las actividades de estudio, exploración, explotación, **generación, transmisión, transporte, almacenamiento, distribución, consumo**, uso eficiente, importación y exportación, y cualquiera otra que concierna a la electricidad, carbón, **gas**, petróleo y derivados, energía nuclear, geotérmica y solar, y demás fuentes energéticas*." (art.3º DL 2.224).

A lo anterior, se debe agregar que el aludido DL Nº2.224/78 también precisa que una de las funciones o potestades que podrá desplegar este Ministerio, es normar sobre las cuestiones de seguridad del sector energía. En particular, el literal d) del artículo 4º de ese cuerpo legal dispone que este Ministerio puede "***Elaborar, coordinar, proponer y dictar**, según corresponda, las normas aplicables al sector energía que sean necesarias para el cumplimiento de los planes y políticas energéticas de carácter general así como para la eficiencia energética, **la seguridad** y adecuado funcionamiento y desarrollo del sistema en su conjunto*." La "seguridad" señalada en el mencionado literal puede corresponder a seguridad del desarrollo del mercado energético, es decir, que no falle el abastecimiento, o a la seguridad física, es decir, evitar daño a las personas y a las cosas, o a ambos tipos de seguridad.

No obstante que el DL 2.224 menciona al "gas" como parte del sector energético que compete al MEN, y se puede argüir que el hidrógeno es un gas del sector energético, una modificación en trámite de esta ley lo incluye explícitamente. En efecto, el proyecto de ley de Eficiencia Energética que, a la fecha de este informe, se encuentra en el tercer trámite en el Senado, incluirá al "*hidrógeno y combustibles a partir de hidrógeno*" en la lista del artículo 3°. Más aún, este proyecto de ley también modificará el DFL 1/78 para incluir explícitamente al "*hidrógeno y combustibles a partir de hidrógeno*" entre las sustancias reguladas por él (art. 2° DFL 1/78). Este decreto dispone que *"(…) el Presidente de la República, por decreto*

[37] Fija el texto refundido, coordinado y sistemático de la ley orgánica constitucional de bases generales de la administración del Estado Nº 18.575.

supremo dictado a través del Ministerio de Energía y publicado en el Diario Oficial, podrá imponer deberes y obligaciones determinados destinados a precaver todo hecho que cause o pueda causar daño a las personas o a la propiedad." (art. 5° DFL 1/78) y que "*Por decreto conjunto del Ministerio de Energía, que deberá publicarse en el Diario Oficial, el Presidente de la República podrá declarar como normas oficiales nacionales, las normas técnicas y de Calidad Aplicables a los diversos tipos de petróleo, a los combustibles derivados de éste y a cualquiera otra clase de combustibles*." (art. 6° DFL 1/78). Por lo tanto, el Presidente de la Republica a través del MEN puede dictar reglamentos para el hidrógeno y, además, declarar como norma chilena oficial las normas técnicas necesarias.

En consecuencia, de la revisión de las competencias que el MEN puede desplegar, se desprende que éste tendría las atribuciones o potestades necesarias para reglamentar la seguridad del hidrógeno combustible en toda su cadena de valor. Finalmente, cabe aclarar que el que dicta los reglamentos es el Presidente de la República a través del MEN, aunque en lo sucesivo se mencione solo al MEN que es quien, obviamente, los redacta.

Además, se hace presente que este Ministerio cuenta con potestades de coordinación prevenida en la Ley Nº18.575, de 1986, para "elaborar, coordinar y proponer" reglamentos de otros órganos de la Administración del Estado que presenten un traslape de competencias. En particular, se destaca el traslape de competencias en la regulación de vehículos motorizados que circulen por calles y caminos públicos, donde también tiene competencia el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT). Sin embargo, este caso particular está ya resuelto y entregado a la competencia del MTT. En efecto, los requisitos de seguridad de estos vehículos, su homologación y revisión técnica está bajo la competencia del MTT. Aun así, el MEN tendría el mandato de "elaborar, coordinar, proponer (…) según corresponda" reglamentos en estas materias.

No obstante lo anterior, existen áreas donde la competencia no es clara. Algunas de ellas son los garajes de estacionamiento de vehículos a hidrógeno, los talleres de reparación de ellos, y los lugares de trabajo donde haya exposición de las personas a los riesgos del hidrógeno. En estos casos hay posibles competencias cruzadas con el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, el Ministerio de Salud, el Ministerio del Trabajo e, incluso, con Municipalidades (Vergara y Cía., apéndice 10.19). Para aclarar las jurisdicciones en cada caso, es necesario un estudio jurídico que está fuera del alcance de este informe.

7.3.3 Organización de la reglamentación

Para considerar la proposición de uno o varios reglamentos que permita cubrir el mapa regulatorio propuesto, se debe considerar que las regulaciones se pueden organizar o agrupar de distintas formas. Idealmente, cada grupo tendría sólo un reglamento, a menos que se traslapen las competencias de más de un órgano de la Administración del Estado. Por otro lado, se debe considerar que una buena organización de la reglamentación debe facilitar tanto el trabajo del regulador como el del fiscalizador, y su aplicación por los regulados. En principio, el Consultor opina que es conveniente para el fiscalizador y los regulados tener uno sólo instrumento regulatorio, o tan pocos como sea posible, para facilitar su fiscalización y aplicación. Sin embargo, esto puede ser difícil de lograr, porque puede trasgredir las competencias de algunos entes reguladores, y por el largo tiempo que podría tomar su materialización. Con esta consideración presente, se visualizan seis formas de organizar la generación de reglamentos, que se listan a continuación señalando sus principales atributos. A estas seis formas se puede agregar combinaciones entre ellas.

Un reglamento global

Es concebible tener un reglamento global que cubra todas las etapas de la cadena de valor, permitiendo un enfoque holístico a un tema nuevo en términos energéticos del cual hay poca historia. Esta alternativa facilita la aplicación del reglamento por parte de los regulados y su fiscalización. Un ejemplo de este tipo de reglamento global es el Decreto del Ministerio de Economía Nº160, de 2009, que reglamenta la seguridad de los combustibles líquidos desde su producción hasta la distribución, sin incluir el consumo. Sin embargo, será más difícil para el regulador preparar un documento tan amplio y, con seguridad, habrá interferencia entre competencias de distintos órganos de la Administración del Estado. En resumen, parece poco factible de realizar, al menos en esta etapa inicial.

Un reglamento general más otros específicos

Se puede desarrollar un reglamento general, que cubra los aspectos comunes de seguridad de hidrógeno, complementado con otros reglamentos específicos o normativa interna del Servicio. Esto evitaría repetir las cosas en común en los reglamentos específicos. Adicionalmente, permite avanzar de a poco en la generación de reglamentos, adecuándose a la aparición de nuevos proyectos. Esta solución parece una buena alternativa al reglamento único, y resolvería la interferencia de competencia de distintos órganos reguladores.

El reglamento general podría basarse fuertemente en la norma NFPA 2, complementándola con los aspectos administrativos y otros propios de nuestro país. Se recomienda contemplar la posibilidad de hacer un reglamento muy sucinto donde todas las especificaciones de seguridad estén referidas a la NFPA 2 y otras normas que la complementen. Conviene recordar que la NFPA designa esta norma como un "*code*", término que ella define como "una norma que es una compilación extensa de disposiciones que cubren temas generales o que es adecuada para su adopción en la ley, independientemente de otros códigos y normas." Es decir, esta norma está estructurada para ser fácilmente incorporada como reglamento por un órgano regulador. El único inconveniente que quedaría es que, a la fecha, no hay versión en castellano de esta norma.

Un reglamento general basado en la NFPA 2 cubriría las dos primeras materias de prioridad 1 en la Tabla 18 (Dispensado de hidrógeno a vehículos y maquinarias, Almacenamiento de hidrógeno a granel), la materia de prioridad 2 (Generación de hidrógeno combustible), la primera materia de prioridad 5 (Combustión de hidrógeno en hornos y calderas) y la materia de prioridad 7 (Generadores eléctricos con celdas de combustible a hidrógeno). Es decir, cubre 5 de las 13 materias indicadas en dicha tabla. Las materias no cubiertas serán reguladas por reglamentos específicos para cada una, o conjuntos de ellas.

Reglamentos por etapas de la cadena de valor

Esta organización corresponde al esquema actualmente aceptado tácitamente para otros combustibles. Sin embargo, la interrelación de las etapas de la cadena de valor y el hecho que determinados componentes de una están dentro de otras etapas complejizan esta separación y su coherencia, lo que se solucionaría con reglamentos que cubran más de una etapa. Por otro lado, la última etapa de la cadena de valor, consumo, tiene aspectos tan variados y emergentes que parece difícil mantener actualizado un reglamento único para ella.

Reglamentos por sector

Se buscan sectores de la economía que tengan cosas en común, como ser los sectores a) Industrial, b) Minero, c) Comercial, d) Institucional, e) Transporte, e) Residencial, f) Generadoras eléctricas. Tiene la ventaja de que podría quedar más clara la autoridad con competencia para regular, pero complejiza el criterio común y transversal que deben tener los reglamentos a nivel país.

Reglamentos por sistema u operación

Estos reglamentos serían muy específicos y numerosos; algunos de ellos: vehículos, dispensado, almacenamiento, celdas de combustible, transporte a granel/envasado, etc. Sin embargo, corresponde a la forma como se han desarrollado las normas técnicas, especialmente en el ámbito automotor. Esta organización de los reglamentos presenta el problema de que quedan vacíos en la integración e interacción de estos sistemas.

7.4 Proposición de un plan de acción regulatorio

Basado en el análisis de las formas de organizar los reglamentos, realizado en la sección 7.3.3, se recomienda regular mediante un reglamento general y varios específicos. Las razones que justifican esta recomendación son a) el reglamento general incluye materias comunes en muchos proyectos, dándole consistencia a la reglamentación; b) el reglamento general cubre tres de las cinco materias que habría que reglamentar para los proyectos de prioridad 1 y 2 (ver Tabla 17 y Tabla 18); y c) si el reglamento general se basa principalmente en la NFPA 2 su redacción sería fácil y rápida.

Considerando la priorización de requerimientos regulatorios de 7.2, se propone un plan de acción para el desarrollo de reglamentos para el corto, mediano y largo plazo. Este plan incluye las mesas de trabajo que deberán conformarse y el órgano regulador para cada reglamento. En lo que sigue de esta sección, primero se presentan los reglamentos a elaborar en el corto, mediano y largo plazo, luego se indica las normas técnicas internacionales consideradas para cada reglamento, se sigue con la organización de las mesas de trabajo, para finalizar con el mapa regulatorio mostrando los reglamentos que regulan cada etapa de la cadena de valor.

7.4.1 Reglamentos por horizonte de regulación

El plan considera horizontes de corto, mediano y largo plazo. El corto plazo se extiende por cuatro años, el mediano plazo por los cuatro años siguientes, y el largo plazo por lo que exceda de ocho años. Sin embargo, estos plazos son estimativos y deberán ajustarse de acuerdo con la capacidad para generar los instrumentos y las necesidades de los proyectos de hidrógeno que se materialicen. La regulación recomendada contiene tres tipos de documentos regulatorios: reglamentos, recomendaciones y manuales, ya que no todos ellos pueden constituir reglamentos. A continuación, la Tabla 19 resume el total de documentos regulatorios que se propone crear y modificar, y el horizonte de tiempo esperado. El orden de los tres tipos de instrumentos indica su prioridad en el tiempo.

Tabla 19 Instrumentos regulatorios a dictar o actualizar en el corto, mediano y largo plazo

Nº	Nombre	Horizonte de Tiempo
1	Reglamento general de instalaciones de hidrógeno combustible	Corto 2020-24
2	Reglamento de transporte de hidrógeno combustible por vía pública	
3	Reglamento de sistema de hidrógeno combustible en maquinaria y vehículos industriales	
4	Reglamento de almacenamiento de sustancias peligrosas (DTO 43)	Mediano 2025-28
5	Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales en los lugares de trabajo (DTO 594)	
6	Reglamento de transporte de cargas peligrosas por calles y caminos (DTO 298)	
7	Reglamento de transporte y distribución de hidrógeno por cañerías	
8	Reglamento de artefactos domésticos a combustión de hidrógeno	
9	Reglamento de generadores eléctricos a hidrógeno y duales	
10	Reglamento para las estaciones de dispensado público de hidrógeno	
11	Reglamento de requisitos técnicos, constructivos y de seguridad para los vehículos a hidrógeno gaseoso	
12	Manual de revisión técnica de vehículos a hidrógeno gaseoso	
13	Reglamento de sistema de hidrógeno combustible en maquinaria y vehículos industriales para minería subterránea	
14	Reglamento de seguridad para tanques y contenedores para hidrógeno combustible	Largo 2029-
15	Recomendaciones de seguridad para las emergencias de vehículos a hidrógeno	
16	Reglamento de seguridad para talleres de reparación y mantención de vehículos a hidrógeno	
17	Recomendación de seguridad para garajes de estacionamiento de vehículos a hidrógeno	
18	Reglamento de manipulación y almacenamiento de cargas peligrosas en recintos portuarios (Res. 96, 1997)	
19	Reglamento de requisitos técnicos, constructivos y de seguridad para los vehículos a hidrógeno líquido	
20	Manual de revisión técnica de vehículos a hidrógeno líquido	

Luego, la Tabla 20, Tabla 21 y Tabla 22, presentan los contenidos de cada instrumento y el órgano que lo debería regular, en el corto, mediano y largo plazo, respectivamente. La competencia del MEN se analizó en la sección 7.3.2, y la de los otros ministerios se estimó de conversaciones con personal de ellos y de los reglamentos existentes analizados en la sección 4.3. Sin embargo, existen dudas sobre la competencia de los órganos en algunos de los documentos propuestos, la que habrá que aclarar antes de la elaboración de ellos. Después de cada tabla se explica y comenta su contenido.

Tabla 20 Reglamentos a dictar en el corto plazo: 2020 a 2024

Nombres	Contenido	Órgano regulador
Reglamento general de instalaciones de hidrógeno combustible	Incluye los capítulos 1, 4 a 7, 10 y 13 de la NFPA 2: 1) Administración, 2) Seguridad contra incendios, 3) Opción basada en el comportamiento, 4) Requerimientos generales, 5) Sistemas y almacenamiento de hidrógeno gaseoso, 6) Dispensado de hidró-	MEN

	geno gaseoso, y 7) Generación de hidrógeno. Excluye, por el momento, al hidrógeno líquido. Además, considera la norma ISO 14687 (2019) que especifica la calidad del hidrógeno para diferentes usos energéticos.	
Reglamento de transporte de hidrógeno combustible por vía pública	Establece requerimientos de seguridad para los vehículos, tanques, contenedores, rotulado, personal, operaciones de carga y descarga, conducción, procedimientos de emergencia. Incluye hidrógeno a granel y envasado, gaseoso y líquido.	MEN
Reglamento de sistema de hidrógeno combustible en maquinaria y vehículos industriales	Establece requerimientos de seguridad para vehículos que no circulan por vías públicas, incluyendo sistema de hidrógeno y sistema eléctrico de potencia. Considera sólo hidrógeno gaseoso.	MEN

El “Reglamento general de instalaciones de hidrógeno combustible” está basado principalmente en la norma NFPA 2, y en su primera versión incluye la generación, almacenamiento, acondicionamiento, dispensado de hidrógeno gaseoso. En el mediano plazo se propone completar esta norma con los requerimientos para la combustión del hidrógeno en calderas y hornos, y en el largo plazo se propone completarla con los requerimientos para el hidrógeno líquido. La razón para dictar el reglamento en etapas es facilitar su elaboración en los plazos que lo requieren los proyectos. Sin embargo, si el tiempo lo permite, sería mejor redactarlo completo la primera vez, con lo que se ahorraría el trabajo de modificarlo posteriormente. Por otro lado, la experiencia indica que frecuentemente los reglamentos necesitan ajustes poco después de su dictación, especialmente en materias tan nuevas como estas, por lo que su actualización periódica permitiría corregirlo oportunamente. Estas son consideraciones que se recomienda analizar y discutir al inicio y durante el proceso de redacción. También se consideran los aspectos de la calidad del hidrógeno para diferentes fines energéticos, basados en la norma ISO 14687-2019 que considera todas las aplicaciones del hidrógeno energético y es la más reciente y de mayor aceptación internacional.

El “Reglamento de transporte de hidrógeno combustible por vía pública” pretende ser un reglamento comprensivo, cubriendo tanto el transporte a granel como envasado de hidrógeno gaseoso y líquido. Este reglamento debería servir como referencia para el transporte de hidrógeno sustancia peligrosa, regulado por el MTT.

El “Reglamento de sistema de hidrógeno combustible en maquinaria y vehículos industriales” regulará la seguridad en todos los vehículos que no circulan por la vía pública, los que no son regulados por el MTT. La expresión “vehículos industriales” corresponde a la traducción del término en inglés “*industrial trucks*” que se refiere a vehículos usados en la industria, como apiladores, grúas horquilla y otros similares. El reglamento cubrirá todo tipo de maquinaria y camiones mineros con excepción de la minería subterránea.

Tabla 21 Reglamentos y manuales a dictar o actualizar en el mediano plazo: 2025 a 2028

Nombre	Contenido	Regulador
Reglamento de almacenamiento de sustancias peligrosas (Dto 43/2016)	Actualiza requerimientos para el hidrógeno gaseoso y líquido.	MINSAL
Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales en los lugares de trabajo (Dto 594/2018)	Actualiza requerimientos para el hidrógeno gaseoso y líquido.	MINSAL
Reglamento de transporte de cargas peligrosas por calles y caminos (Dto 298/2002)	Actualiza requerimientos para el hidrógeno gaseoso y líquido.	MTT

Reglamento de transporte y distribución de hidrógeno por cañerías	Establece requerimientos de seguridad para el transporte por gasoducto, distribución en red, e instalaciones interiores de hidrógeno gaseoso y líquido, incluyendo mezclas.	SEC-MEN
Reglamento general de instalaciones de hidrógeno combustible (actualización)	Agrega capítulo 14 de NFPA 2: Aplicaciones de combustión	MEN
Reglamento de artefactos domésticos a combustión de hidrógeno	Establece requisitos de seguridad para artefactos que usen hidrógeno gaseoso para combustión, distintos de celdas de combustible.	MEN
Reglamento de generadores eléctricos a hidrógeno y duales	Establece requisitos para el sistema de hidrógeno combustible de los generadores con MCI. Considera hidrógeno gaseoso y líquido.	MEN
Reglamento para las estaciones de dispensado público de hidrógeno	Establece requisitos técnicos para el dispensado público de hidrógeno gaseoso a vehículos. Estos aplican a la interface de conexión para dispensado y comunicación con el vehículo, sistema de comunicación, protocolo de llenado, medición de cantidad dispensada.	MEN
Reglamento de requisitos técnicos, constructivos y de seguridad para los vehículos a hidrógeno gaseoso	Este reglamento establece los requisitos que hay que verificar en la homologación de vehículos a hidrógeno gaseoso. Será similar al decreto 145/2018 que el MTT preparó recientemente para la homologación de vehículos eléctricos	MTT
Manual de revisión técnica de vehículos a hidrógeno gaseoso	Modificaciones al manual existente para incluir vehículos a hidrógeno gaseoso	MTT
Reglamento de sistemas de hidrógeno para minería subterránea	Establece requerimientos de seguridad para la mina, vehículos y equipos en minería subterránea, incluyendo sistema de hidrógeno, sistema eléctrico de potencia, logística sistemas de detección y otros.	MEN-MM

Los reglamentos de almacenamiento de sustancias peligrosas y sobre condiciones sanitarias y ambientales en los lugares de trabajo, Decretos MINSAL Nºs43/2016 y 594/2018, respectivamente, deberían actualizarse para incluir detalles de seguridad del hidrógeno que hoy no contienen. Deberían citar las disposiciones del Reglamento general de instalaciones de hidrógeno combustible, o basarse en la norma NFPA 2, para que haya consistencia en las regulaciones del hidrógeno como combustible y como sustancia peligrosa. Se recomienda generar una mesa interministerial con el MINSAL, dado que se podría acordar entre ambos órganos dejar que la normativa de las condiciones de seguridad quede en manos del MEN, resolviendo el problema de tener el mismo riesgo regulado de forma distinta.

El Reglamento de transporte de carga peligrosa, Decreto del MTT Nº289/2002, debería actualizarse para armonizarlo con el nuevo Reglamento de transporte de hidrógeno combustible por vía pública. Para ello, ese decreto podría citar al nuevo reglamento o podría referirse a las mismas normas técnicas citadas por el nuevo reglamento. También, al igual que el caso anterior, se recomienda generar una mesa interministerial con el MTT, dado que podría coordinarse que las normativas de seguridad de transporte del hidrógeno como sustancia peligrosa quede en la potestad del MEN, alternativa que parece mejor, ya que cualquier modificación al nuevo reglamento queda de inmediato incluida en el Decreto del MTT Nº289/2002.

El “Reglamento de transporte y distribución de hidrógeno por cañerías” pretende cubrir todo tipo de transporte de hidrógeno gaseoso y líquido por cañerías, ya sea un gasoducto, red distrital de distribución de gas, red industrial, institucional o doméstica. El único sistema de cañerías de hidrógeno excluido de este reglamento será el instalado en vehículos. Se aplicará al hidrógeno y sus mezclas.

También, en el mediano plazo se contempla la actualización del “Reglamento general de instalaciones de hidrógeno combustible” para agregar las aplicaciones de combustión en hornos

y calderas. Sin embargo, si este contenido ya se hubiera incluido en la primera versión, aquí se podrá contemplar la adición del contenido relativo a hidrógeno líquido, programado para el largo plazo. Si no fuera así, también se podrá contemplar la alternativa de incluir el contenido de largo plazo junto con el de mediano plazo, si se dispone del tiempo y los recursos para hacerlo.

El "Reglamento de artefactos domésticos a combustión de hidrógeno" dará los requerimientos de seguridad de los artefactos de combustión de hidrógeno, incluyendo su instalación, requisitos de ventilación y distancias de seguridad. Los requerimientos de la instalación de cañerías para alimentar el hidrógeno estarán contenidos en el Reglamento de transporte y distribución de hidrógeno por cañerías.

El "Reglamento de generadores eléctricos a hidrógeno y duales" establecerá requisitos de seguridad para el sistema de combustible de generadores eléctricos a hidrógeno y duales con motores de combustión interna. Los requisitos de seguridad del sistema de abastecimiento de hidrógeno, con o sin almacenamiento, estarán contenidos en el Reglamento general de instalaciones de hidrógeno combustible y en el Reglamento de transporte y distribución de hidrógeno por cañerías, según corresponda.

El "Reglamento para las estaciones de dispensado público de hidrógeno" establecería requisitos para el buen funcionamiento de las estaciones dispensadoras a público, considerando la compatibilidad con los vehículos, protocolos de dispensado, medición de la cantidad de hidrógeno dispensada y otros similares. Los requisitos de seguridad estarían incluidos en el Reglamento general de instalaciones de hidrógeno combustible. Sin embargo, si en su momento se estima conveniente, se podría agregar a este reglamento. Hay que notar que las estaciones dispensadoras privadas, donde se proyecta en conjunto la estación y la flota que abastecerá, no necesita este reglamento, bastando con los requerimientos de seguridad del reglamento general.

El "Reglamento de requisitos técnicos, constructivos y de seguridad para los vehículos a hidrógeno gaseoso" será muy similar al Decreto del MTT N°145/2018 y servirá para la homologación de los vehículos a hidrógeno que transiten por la vía pública. Complementa este reglamento el "Manual de revisión técnica de vehículos a hidrógeno gaseoso" que contiene los requisitos e instrucciones para las revisiones técnicas de estos vehículos. Estos dos reglamentos no están asociados a ninguno de los proyectos listados en la sección 4.1.1, pero se incluye aquí porque se estima que al mediado plazo deberían aparecer proyectos de vehículos a hidrógeno en el transporte por vías públicas. No obstante que se puso en el último lugar de los reglamentos de mediano plazo, esa ubicación podrá cambiarse en la medida que aparezcan proyectos de esta naturaleza.

El "Reglamento de sistemas de hidrógeno para minería subterránea" regulará la seguridad en todos los ámbitos de la mina en que esté presente el hidrógeno como combustible, incluyendo sistemas de potencia, sistemas móviles como buses y vehículos livianos de transporte de personas y carga, vehículos industriales, equipos mineros, equipos estacionarios y sistemas de detección de gases entre otros.

Tabla 22 Documentos regulatorios a dictar o actualizar en el largo plazo: a partir de 2029

Nombre	Contenido	Regulador
Reglamento de seguridad para tanques y contenedores para hidrógeno combustible	Establece requerimientos de seguridad para tanques para hidrógeno a granel y contenedores para hidrógeno envasado, considerando tanques para hidrógeno gaseoso de los cuatro tipos[38], y tanques aislados al vacío para hidrógeno criogénico.	MEN
Reglamento general de instalaciones de hidrógeno combustible (modificación)	Agrega capítulos 8 y 11 de NFPA 2: Hidrógeno líquido, Dispensado de hidrógeno líquido.	MEN
Recomendaciones de seguridad para las emergencias de vehículos a hidrógeno	Imparte instrucciones a los equipos de emergencia, sean estos propios de una empresa, bomberos o carabineros, para atender a los pasajeros de un vehículo a hidrógeno accidentado, retirarlo del lugar y guardarlo, hasta que personal técnico capacitado se haga cargo de él	Ministerio del Interior y Seguridad Pública
Reglamento de seguridad para talleres de reparación y mantención de vehículos a hidrógeno	Establece requerimientos de seguridad para los talleres de mantención y reparación de todo tipo de vehículos a hidrógeno gaseoso y líquido. Basado en capítulo 18 de NFPA 2.	MINSAL
Recomendación de seguridad para garajes de estacionamiento de vehículos a hidrógeno	Establece requerimientos de seguridad para todo tipo de estacionamientos para vehículos a hidrógeno gaseoso y líquido. Basado en capítulo 17 de NFPA 2.	Municipios
Reglamento de manipulación y almacenamiento de cargas peligrosas en recintos portuarios (Res. 96, 1997)	Actualiza reglamento respecto a contenedores con hidrógeno.	MTT
Reglamento de requisitos técnicos, constructivos y de seguridad para los vehículos a hidrógeno líquido	Este reglamento establece los requisitos que hay que verificar en la homologación de vehículos a hidrógeno líquido. Será similar al decreto 145/2018 que el MTT preparó recientemente para la homologación de vehículos eléctricos	MTT
Manual de revisión técnica de vehículos a hidrógeno líquido	Modificaciones al manual existente para incluir vehículos a hidrógeno líquido	MTT

El “Reglamento de seguridad para tanques y contenedores para hidrógeno combustible” pretende comprender todos los tanques empleados en todas las aplicaciones, con la posible excepción de los tanques para vehículos. Esto último habrá que evaluarlo al momento de preparar el reglamento. Este reglamento aplica sólo al recipiente, tanque, contenedor, cilindro, etc., sin incluir los requisitos de un sistema de almacenamiento. En efecto, el sistema consiste en la integración del recipiente, válvulas de corte, válvulas de alivio, sensores, dispositivo de control y alarmas. Los requerimientos del sistema de almacenamiento se encuentran en el Reglamento general de instalaciones de hidrógeno combustible.

En el largo plazo se contempla actualizar el “Reglamento general de instalaciones de hidrógeno combustible” para agregar lo relativo al hidrógeno líquido. Este contenido se ha dejado para el final porque internacionalmente se ve que el uso de hidrógeno líquido no es todavía muy corriente y, en general, parece apropiado para manejar grandes cantidades. Esto se puede apreciar en la falta de normas para muchas operaciones con hidrógeno líquido.

Al instrumento “Recomendaciones de seguridad para las emergencias de vehículos a hidrógeno” no se la ha llamado reglamento debido a que el Consultor no tiene claro si esto es

[38] Los tipos son: I) tanques metálicos, II) tanques metálicos con refuerzo radial con materiales compuestos (composita, fibras más resinas), III) tanques metálicos con refuerzo completo con composita, IV) tanques de polímeros con refuerzo completo con composita.

materia de reglamento. El Consultor tampoco tiene claro cuál será el órgano con competencia en esta materia, pero podría ser el Ministerio del Interior y Seguridad Pública. No obstante estas dudas, es de gran importancia que los equipos de emergencia, sean estos propios de una empresa, bomberos o carabineros (dependientes del Ministerio del Interior y Seguridad Pública), tengan instrucciones claras sobre cómo atender a los pasajeros de un vehículo a hidrógeno accidentado, cómo retirarlo del lugar y cómo guardarlo, hasta que personal técnico capacitado se haga cargo de él. De no hacerlo, ponen en riesgo su propia seguridad, las de los pasajeros y otras personas cercanas.

El "Reglamento de seguridad para talleres de reparación y mantención de vehículos a hidrógeno" establece requerimientos de seguridad especiales para el hidrógeno que deben cumplir los talleres de reparación y mantención. Estos se refieren principalmente a prevenir y mitigar los peligros que presenta un tanque a gran presión y la formación de mezclas inflamables. En general son disposiciones simples que apuntan a la poca familiaridad de las personas con el hidrógeno. El consultor no tiene claro el órgano de la Administración del Estado con competencias en este caso, que podría ser el MINSAL por tratarse de ambientes de trabajo.

La recomendación de seguridad para garajes de estacionamiento de vehículos a hidrógeno apunta a reducir los riesgos que presentan vehículos a hidrógeno estacionados en garajes públicos y privados. Esta es una materia que aún no se ha desarrollado mucho internacionalmente, pero es posible que en el largo plazo se cuente con normas más completas. En efecto, la NFPA 2 trata esta materia en el capítulo 17 *Parking Garages* que es muy corto (1/4 de página) y sólo dice que un vehículo a hidrógeno presenta peligros similares a uno de combustible convencional y, por lo tanto, tiene los mismos requisitos de seguridad. Aquí se percibe que la tendencia es a exigirle al vehículo a hidrógeno que sea tan seguro como uno convencional y no hacerle exigencias especiales al recinto de estacionamiento. Sin embargo, en el largo plazo, con más experiencia mundial en vehículos a hidrógeno, este concepto puede cambiar. Por esto, se recomienda volver a estudiar este aspecto en el largo plazo.

También en el largo plazo se recomienda estudiar la actualización del "Reglamento de manipulación y almacenamiento de cargas peligrosas en recintos portuarios", contenido en la Resolución del MTT N°96/1997. Se espera que en este plazo haya nuevos antecedentes y normas que permitan actualizar este reglamento. Por el momento, el Consultor Internacional Fichtner no encontró nada aplicable.

El reglamento "Establece requisitos técnicos, constructivos y de seguridad para los vehículos a hidrógeno líquido" servirá para la homologación de los vehículos a hidrógeno líquido que transiten por la vía pública. Complementa este reglamento el "Manual de revisión técnica de vehículos a hidrógeno líquido" que contiene los requisitos e instrucciones para las revisiones técnicas de estos vehículos. Se puso en el último lugar de los reglamentos de largo plazo porque no está clara la velocidad con que se desarrollará el mercado de vehículos a hidrógeno líquido. Por el momento hay pocas normas técnicas sobre esta materia, lo que indica un desarrollo incipiente de la tecnología. Sin embargo, esta situación puede cambiar y, por lo tanto, hay que estar atento a sus avances.

7.4.2 Normas internacionales recomendadas para cada documento regulatorio

La

Tabla 23, a continuación, lista las normas internacionales recomendadas para cada uno de los documentos regulatorios propuestos en la sección anterior. Estas normas están resumidas en la Tabla 11, Tabla 12 y Tabla 13, según la etapa de la cadena de valor. El orden de los reglamentos indica su precedencia y es la misma que la mostrada en la Tabla 19. Para algunos reglamentos no se encontraron normas, pero se espera que estas surjan con el tiempo.

El Reglamento general de instalaciones de hidrógeno combustible se basará principalmente en la norma NFPA 2. Sin embargo, se recomienda estudiar su complementación con las otras normas indicadas, especialmente en lo relativo a las estaciones de dispensado de hidrógeno.

En cuanto al Reglamento de sistema de hidrógeno combustible en maquinaria y vehículos industriales, Fichtner no encontró normas específicas para estas aplicaciones, pero este se puede elaborar basándose en las normas recomendadas que son para vehículos de carretera.

El "Reglamento de almacenamiento de sustancias peligrosas" debiera estar armonizado con el Reglamento general de instalaciones de hidrógeno combustible. Lo mismo ocurre con el "Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales en los lugares de trabajo, pero en este caso se indican directivas de la UE y reglamentos federales de EE.UU. que tratan la seguridad de sistemas a presión y atmósferas inflamables, aplicables a cualquier sustancia con estas características. Este constituye sólo una recomendación para el MINSAL para actualizar el decreto 594/2018 no solo para el hidrógeno.

El "Reglamento de transporte de cargas peligrosas por calles y caminos" debería armonizarse con el Reglamento de transporte de hidrógeno combustible por vía pública. Por lo mismo, se recomiendan las mismas normas para los dos.

Tabla 23 Normas Internacionales para cada documento regulatorio

Nº	Documento regulatorio	Normas internacionales
1	Reglamento general de instalaciones de hidrógeno combustible	NFPA 2, ISO 16110, ISO 22734, SAE J2601, SAE J2601/2, SAE J2601/3, ANSI/CSA HGV 4.8, ISO 14687.
2	Reglamento de transporte de hidrógeno combustible por vía pública	EIGA 15/06, EIGA 06/19, Directiva 2008/68/CE, 49 C.F.R. §171 a 180
3	Reglamento de sistema de hidrógeno combustible en maquinaria y vehículos industriales	ISO 21266, ISO 23273, SAE J2578, SAE J2579
4	Reglamento de almacenamiento de sustancias peligrosas (Dto 43/2016)	NFPA 2
5	Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales en los lugares de trabajo (Dto 594/2018)	NFPA 2, Directiva 1999/92/EC, Directiva 2014/68/EU, Directiva 2012/18/EU, Directiva 2014/34/UE, Directiva 98/24/CE, 29 C.F.R. §1910.103, 29 C.F.R. §1910.101, 29 C.F.R. §1910.119
6	Reglamento de transporte de cargas peligrosas por calles y caminos (Dto 298/2020)	EIGA 15/06, EIGA 06/19, Directiva 2008/68/CE, 49 C.F.R. §171 a 180
7	Reglamento de transporte y distribución de hidrógeno por cañerías	ASME B31.12, EIGA 121/14 (CGA G-5.6), 49 C.F.R. §171 a 180
8	Reglamento de artefactos domésticos a hidrógeno	No se encontraron normas
9	Reglamento de generadores eléctricos con motor de combustión interna a hidrógeno y dual	NFPA 2, IEC 62282
10	Reglamento para las estaciones de dispensado público de hidrógeno	ISO 13984, ISO 17268, ISO 19880-1, SAE J2601, SAE J2601/2, SAE J2799
11	Reglamento de requisitos técnicos, constructivos y de seguridad para los vehículos a hidrógeno gaseoso	Reglamento (CE) 79/2009, Reglamento CEPE 134
12	Manual de revisión técnica de vehículos a hidrógeno gaseoso	CGA C-6.4, Reglamento (CE) 79/2009, Reglamento CEPE 134
13	Reglamento de sistemas de hidrógeno para minería subterránea.	No existe normativa técnica, por lo que es necesario crear normas nuevas para esta aplicación.
14	Reglamento de seguridad para tanques y contenedores para hidrógeno combustible	ASME (BPVC), CGA H-2, EIGA 100/11, ISO 16111, Directiva 2010/35/UE
15	Recomendaciones de seguridad para las emergencias de vehículos a hidrógeno	SAE J2990/1
16	Reglamento de seguridad para talleres de reparación y mantención de vehículos a hidrógeno	NFPA 2
17	Recomendaciones de seguridad para garajes de estacionamiento de vehículos a hidrógeno	NFPA 2
18	Reglamento de manipulación y almacenamiento de cargas peligrosas en recintos portuarios (Res. 96/1997)	NFPA 2
19	Reglamento de requisitos técnicos, constructivos y de seguridad para los vehículos a hidrógeno líquido	No se encontraron normas
20	Manual de revisión técnica de vehículos a hidrógeno líquido	No se encontraron normas

Para los documentos “Reglamento de artefactos domésticos a hidrógeno”, “Reglamento de requisitos técnicos, constructivos y de seguridad para los vehículos a hidrógeno líquido” y “Manual de revisión técnica de vehículos a hidrógeno líquido” no se encontraron normas. Sin embargo, como ellos se elaborarán en el largo plazo, es posible que cuando se inicie su redacción se hayan publicado normas al respecto.

Para el “Reglamento de generadores eléctricos con motor de combustión interna a hidrógeno y dual” no se encontraron normas específicas, por lo que se recomienda basarse en las normas indicadas que aplican a celdas de combustible.

El “Reglamento para las estaciones de dispensado público de hidrógeno” debería citar al Reglamento general de instalaciones de hidrógeno combustible en relación a requisitos de seguridad. El contenido adicional de este reglamento está en la interfaz con los vehículos, de modo que sean compatibles para los distintos tipos de vehículos a hidrógeno y su presión de trabajo.

Respecto al “Reglamento de manipulación y almacenamiento de cargas peligrosas en recintos portuarios”, no se encontraron normas específicas, pero se recomienda revisarlo en base a las distancias de seguridad y otros requerimientos para el almacenamiento de hidrógeno contenidos en la NFPA 2.

Para el reglamento de sistemas de hidrógeno para minería subterránea no existen normas por cuanto es un tema incipiente y, por lo tanto, deberán ser creadas (ver sección 5.2). Para ello se propone la creación de un comité técnico y la incorporación de algún representante experto chileno al comité ISO/TC197, con el apoyo del gobierno.

7.4.3 Mapa regulatorio de reglamentos

La Figura 3 muestra el Mapa Regulatorio Nacional de Reglamentos del H_2 propuesto, para agrupar las normativas de acuerdo a la asignación señalada en la Tabla 19 y de acuerdo a la normativa técnica indicada en la

Tabla 23. Dado lo reducido del espacio se utilizó un código de colores que relaciona los Reglamentos con los procesos de las diferentes etapas de la cadena de Valor. Como se puede apreciar, no están considerado reglamentos para los trenes, barcos y aviones en las etapas de la cadena de valor de Transporte y Distribución y en la etapa de Consumo. Lo anterior debido a que el uso de hidrógeno en estos sistemas de transporte está recién en etapa de experimentación y no se tiene una estimación del plazo de desarrollo de normativa técnica que respalde el uso del H_2 en ellos y, por lo tanto, su adopción en Chile no se ve cercana. Por otro lado, en lo referido a transporte marítimo, nuestro país no tiene injerencia en la reglamentación ya que se rige por lo que disponga la IMO.

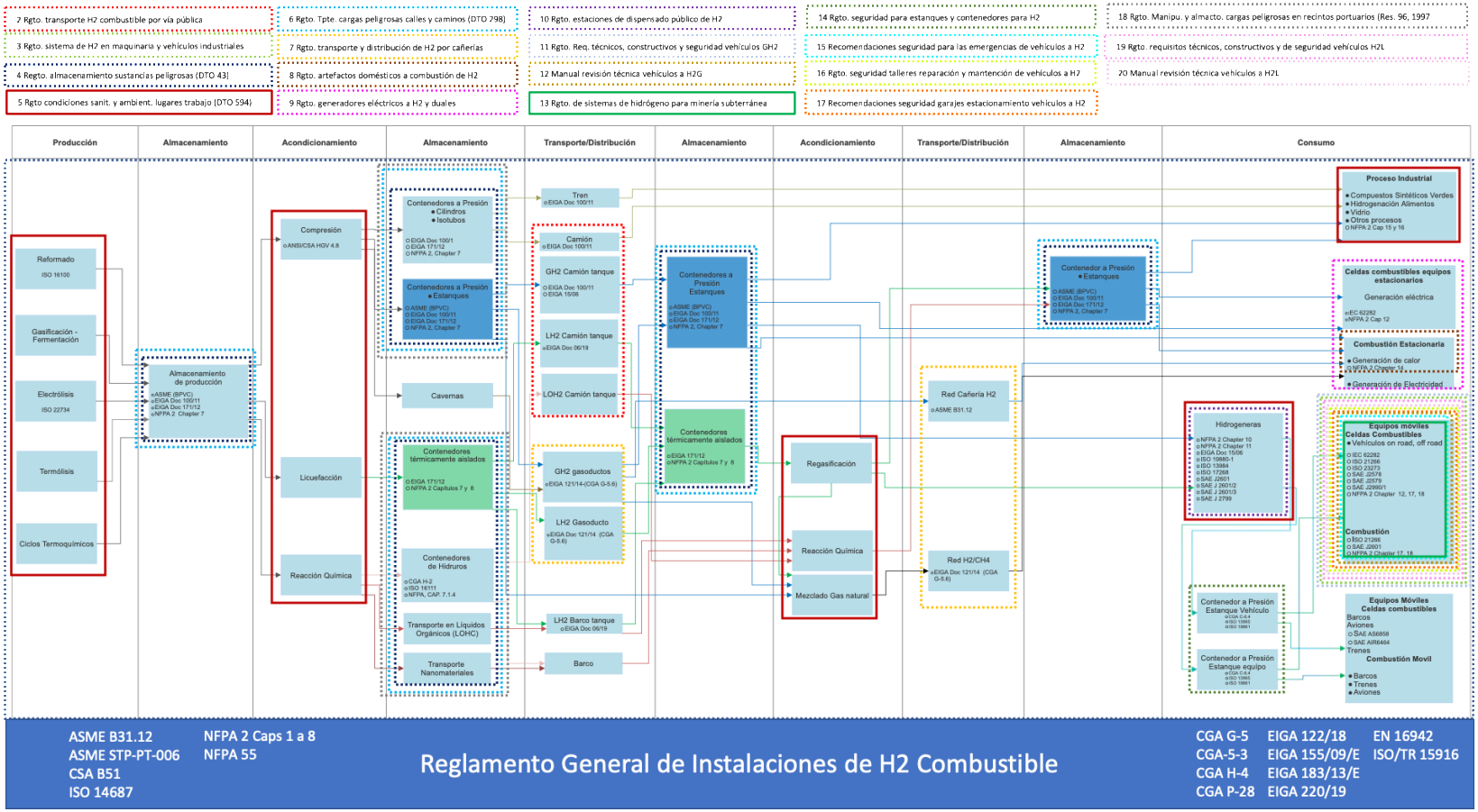

Figura 3 Mapa Regulatorio Nacional de Reglamentos del H_2

7.5 Proceso de desarrollo de documentos regulatorios e identificación de participantes

De las conversaciones con la Sra. María de los Ángeles Valenzuela del Ministerio de Energía se levantó el proceso que normalmente se realiza para desarrollar un nuevo reglamento. La Figura 4 presenta dicho proceso, que incluye las etapas previas a la toma de conocimiento y aprobación por parte de la Presidencia de la República. El énfasis está en la participación de todas las entidades públicas competentes, y las privadas afectadas por la reglamentación o interesadas. Para esto es importante planificar bien los primeros talleres, y definir los invitados a las mesas de trabajo y a las etapas de revisión, incluyendo el ámbito internacional. Por otro lado, en función de lo definido en el punto anterior, se identificaron a los actores que debiesen participar en el desarrollo futuro de los reglamentos y normas técnicas específicas.

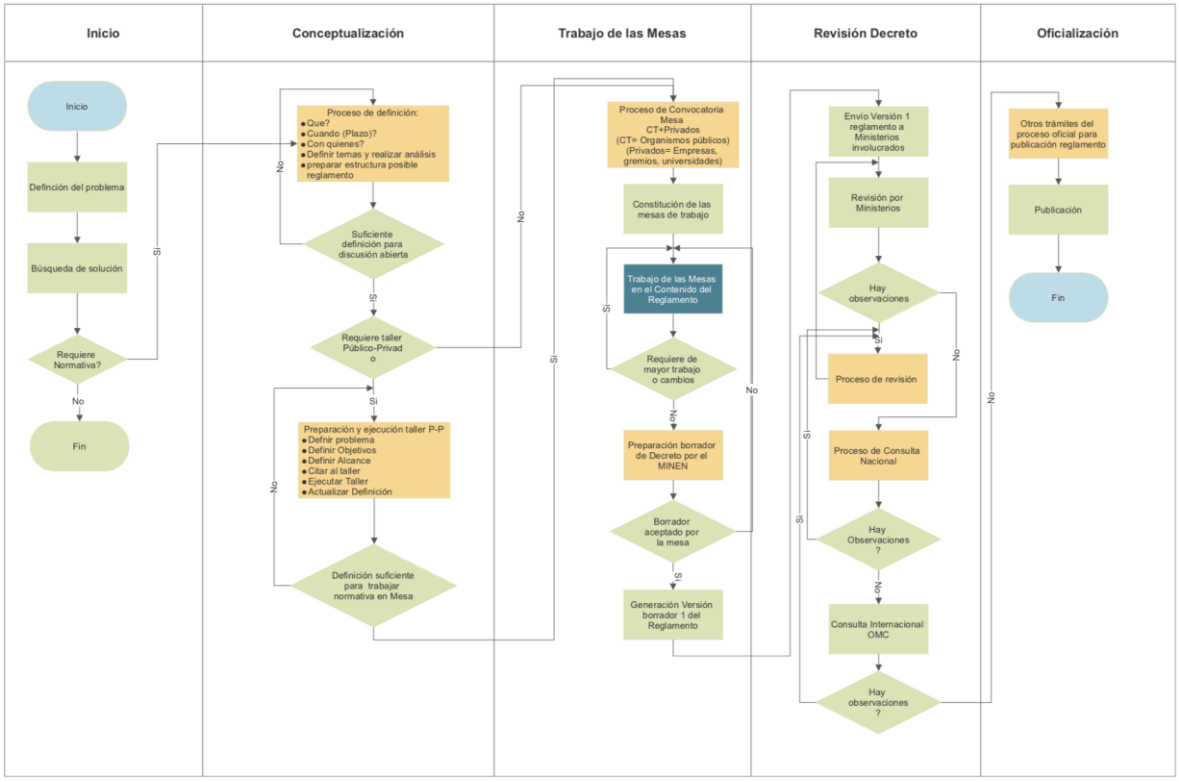

Figura 4 Resumen del proceso de Generación de Reglamentos del MEN

En función del proceso señalado, el Consultor propone realizar inicialmente uno o más talleres como preparación a la convocatoria y desarrollo de las mesas de trabajo. Los objetivos de estos talleres, que puede ser sólo uno si en ese se cumplen los objetivos, son a) informar la intención de redactar un reglamento determinado, b) identificar a los interesados en participar, y c) consensuar los objetivos y alcances del reglamento. Los invitados al taller serán órganos de la Administración del Estado con competencia, órganos autónomos de la Administración del Estado, ONGs y asociaciones gremiales pertinentes, grupos de trabajo establecidos sobre la materia, empresas e individuos que serán afectadas por el nuevo reglamento, instituciones de educación superior e institutos de investigación que trabaje en la materia del reglamento, expertos y otras personas jurídicas y naturales que pudieran contribuir.

Del levantamiento de los proyectos que se están desarrollando, y de los potenciales proyectos tanto de privados como de organismos del Estado, que fueron presentados en el capítulo 4.1 del presente informe, se confeccionó un listado de las organizaciones que debiesen integrar las mesas de trabajo y participar en el desarrollo de cada reglamento. Ellos se señalan a continuación en la Tabla 24

La Tabla 24 presenta los nombres de las organizaciones que se proponen para participar en la elaboración o modificación de los reglamentos, recomendaciones o manuales. Se destaca en color verde a aquellos ministerios que deberían liderar el proceso de generación de reglamentos, descrito en la Figura 4, y en color naranjo-amarillo aquellas organizaciones que deberían participar. En el caso de la organización mencionada como industria automotriz, se propone que, a su debido tiempo, el MEN en conjunto con el MTT designen a aquellas empresas que tengan en sus planes la importación a Chile de vehículos a hidrógeno. Los números que se presentan del 1 al 20 debajo del título “Reglamentos, Recomendaciones y Manuales”, corresponden a los documentos regulatorios mencionados en la Tabla 19. Los organismos públicos se seleccionaron de acuerdo con sus competencias y los privados según su experiencia o interés en los contenidos de cada instrumento regulatorio.

Tabla 24 Participantes para elaboración de Reglamentación

Nº	Organización	Reglamentos, Recomendaciones y Manuales																		
		Corto Plazo			Mediano Plazo										Largo Plazo					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	MEN																				
2	MinSal																				
3	MTT																				
4	MIN																				
5	MMA																				
6	MMin																				
7	SEC																				
8	CNE																				
9	Municipalidades																				
10	DIRECTEMAR																				
11	PUC																				
12	USM																				
13	USACH																				
14	Linde																				
15	Indura																				
16	ENAP																				
17	Metanex																				
18	AES Gener																				
19	ENGIE																				
20	CODELCO																				
21	BHP																				
22	Anglo America																				
23	AMSA																				
24	ALSET																				
25	Solvay																				
26	EKA																				
27	ENAEX																				
28	Gren Technology /AquaFire																				
29	Blue come																				
30	Bosch,																				
31	Cummings,																				
32	Komatsu																				
33	Caterpilar																				
34	Libher																				
35	Industria automotriz																				

Nota: **En verde** organizaciones que lideran; **en naranjo-amarillo**, organizaciones que participan.

7.6 Capacitación

La capacitación es un elemento esencial de la seguridad. Debe ir dirigida, primero, a los usuarios y personal que trabaje con hidrógeno, incluyendo a los equipos de emergencia y bomberos. En segundo lugar, a todos los que participen en la elaboración de la regulación. Y, por último, al personal fiscalizador, para que realice una fiscalización efectiva.

Aunque el MEN no tiene funciones ni atribuciones de capacitación, se recomienda que busque los medios de promover la capacitación a todo nivel. Se considera que esto es fundamental para la seguridad del hidrógeno combustible, especialmente durante su introducción. En

efecto, aunque usando la tecnología adecuada el hidrógeno no es más riesgoso que otros combustibles, sus propiedades son distintas y en general la gente no está familiarizada a él.

La capacitación de las personas que hagan la regulación del hidrógeno debería basarse en los fundamentos de seguridad establecidos en el documento ISO/TR 15916:2015 *Basic considerations for the safety of hydrogen systems*. Dicha capacitación podrá hacerse por medio del estudio individual de este documento, o mediante un curso formal dictado por alguna institución o persona competente.

La adecuada capacitación de los equipos de emergencia, especialmente bomberos y carabineros, es fundamental para el manejo seguro de incidentes y accidentes de vehículos a hidrógeno y en lugares donde existan cantidades significativas de este gas. El tratamiento de accidentes que involucren hidrógeno gaseoso a presión o líquido criogénico es muy delicado debido a las altas presiones que normalmente se usan, bajísimas temperaturas del hidrogeno líquido, y fácil inflamación y, eventualmente, explosión o detonación del hidrógeno mezclado con aire.

En síntesis, el hidrógeno es un combustible nuevo poco conocido, por lo que hay que educar a la gente para su manejo seguro.

8 Conclusiones y Recomendaciones

8.1 Conclusiones

Actualmente, en Chile existe interés para el desarrollo de proyectos de hidrógeno, lo que se ve reflejado en el ámbito privado por los 18 potenciales proyectos que se están estudiando, o ya se han presentado para su autorización a organismos como la SEC, y que se encuentran en diferentes etapas de su ciclo de vida. Adicionalmente, la incorporación del hidrogeno en las agendas de asociaciones gremiales de prestigio, como el Colegio de Ingenieros de Chile, y organizaciones de más reciente creación, como el Club de la Innovación o la asociación H_2 Chile, dan cuenta de ese interés. Desde la perspectiva del Estado, con el apoyo de Corfo se están materializando dos proyectos piloto de hidrógeno con orientación a la minería, que muestra su interés en fomentar el desarrollo de la industria del hidrógeno energético.

Del análisis de las regulaciones existentes en Chile se desprende que el hidrógeno está regulado como sustancia peligrosa, y esta regulación es insuficiente, poco detallada y desactualizada tecnológicamente para ser extendida al uso energético. Por lo anterior, se estima prudente revisar los reglamentos nacionales sobre sustancias peligrosas en comparación con la regulación internacional, para considerar su actualización. Respecto de este punto, y ante el inminente consumo del hidrógeno como combustible en la industria del transporte y otras industrias que emplearían hidrógeno como combustible, se estima que el liderazgo del MEN frente a los otros ministerios será fundamental para generar una regulación integrada, consistente, completa, actualizada y adecuada a las demandas del mercado tanto nacional como global. Lo anterior se ve reforzado con la Ley de Eficiencia Energética en trámite[39], en la que se modifican el decreto con fuerza de ley 1 de 1978 y al decreto ley 2.224 de 1978, de modo que se incluye al hidrógeno energético en el sector energía y, por lo tanto, le compete al MEN su regulación.

[39] A la fecha de este informe se encontraba en el tercer trámite en el Senado.

Respecto de la realidad regional, en particular de países como Perú, Argentina, Uruguay y Brasil, ningún país sudamericano tiene normativas para el hidrógeno combustible o, si las tiene, como es el caso de Argentina, nunca las ha aplicado por carecer de reglamentos. Sin embargo, se identificaron oportunidades que pueden llevar a alianzas estratégicas en este mercado en la formación de capital humano, tanto técnico como científico, en la cooperación para la regulación armonizada del hidrógeno, en el intercambio comercial de equipos, productos y servicios, en la exportación de hidrógeno, en el intercambio de experiencia en transporte público sin huella de carbono, en la adquisición de equipos y en la fabricación de partes, componentes y productos para la industria del hidrógeno. Por otro lado, se estima que el cooperar con otros países de la región permitirá el intercambio de experiencias de políticas de incentivos.

Se identificaron las brechas regulatorias comparando la regulación nacional con la levantada por el Consultor Internacional Fichtner (Fichtner , 2020). Junto a lo anterior, y en conjunto con los profesionales del MEN encargados de este trabajo, se definió la cadena de valor del hidrógeno para Chile, la que considera las etapas de: producción, acondicionamiento, almacenamiento, transporte y distribución, y consumo. Con respecto a las brechas regulatorias en las distintas etapas de la cadena de valor, se concluye que no hay regulación nacional específica para el hidrógeno energético. Por otro lado, se debe revisar la regulación actual de sustancias peligrosas para incluir situaciones no contempladas relativas al hidrógeno y hacerla coherente con la regulación futura del hidrógeno energético. También se identificó la carencia de regulación de todos los usos energéticos del hidrógeno, como celdas de combustibles, vehículos, generación eléctrica, cogeneración y otros.

El análisis de brechas que se realizó permite recomendar los cambios y actualizaciones convenientes para los reglamentos que afectan al hidrógeno como sustancia peligrosa. Para lo anterior se consideró su impacto en la cadena de valor y se propusieron diferentes normativas técnicas para ser consideradas en el análisis de actualización. Por otro lado, se analizó la regulación nacional de otros combustibles que debería ser considerada para posibles modificaciones al incorporar al hidrógeno combustible. Para ello se consideraron los aspectos de homologación, revisiones técnicas, impuestos y emisiones cuya responsabilidad recae en los ministerios de Transportes y Telecomunicaciones, Hacienda, Salud y Medioambiente

Con la definición de la Cadena de Valor del Hidrógeno para Chile, el análisis a la normativa técnica internacional levantada por la empresa Fichtner y los reglamentos federales de EE.UU. citados en el informe del Consorcio Corfo y aportados por el consultor, se seleccionaron las normativas técnicas que permitieron generar el mapa regulatorio nacional que se presentó en la Figura 2 Mapa Regulatorio Nacional del Hidrógeno. El proceso de análisis y selección permitió además generar una base de datos de normativa técnica que podrá servir como herramienta de trabajo para posteriores estudios. Del análisis y selección de las normas técnicas consideradas para el mapa regulatorio del hidrógeno se pudo establecer que las normas recomendadas cubren satisfactoriamente casi la totalidad de las necesidades más inmediatas que tiene Chile en materias de regulación del hidrógeno. Por otro lado, se propone que sean adoptadas por Chile, ya que en el país no existe la capacidad técnica ni experiencia necesaria para preparar normas chilenas equivalentes. La única excepción está en el uso del hidrógeno en minería, área en la cual no hay normas internacionales.

El cruce de la información de los proyectos, su priorización y el desarrollo del mapa regulatorio nacional con la normativa técnica del hidrógeno, junto a consideraciones de temporalidad

en la generación de reglamentos, permitió elaborar un plan de acción regulatorio. Como conclusión de dicho análisis se recomendó la materialización de un reglamento general y varios reglamentos específicos, los que unidos a las recomendaciones de modificación de reglamentos actuales permitió definir un plan de acción regulatorio coherente. Dicho plan contempla la generación de 12 reglamentos, 2 manuales y 2 recomendaciones, además de la modificación y actualización de 4 reglamentos de dos ministerios, MTT y MINSAL. Para lo anterior, se propone desarrollar los primeros tres instrumentos en un horizonte de corto plazo, los siguientes nueve en un horizonte de mediano plazo, y los siete restantes en un horizonte de largo plazo. Junto a lo anterior, se propone un orden de prioridad para su generación y al ministerio que debería liderar el proceso de generación de los instrumentos regulatorios, información resumida en la Tabla 25. La reglamentación considerada en dicha tabla contempla la normativa técnica que fue analizada e incorporada al mapa regulatorio que se presentó en la sección 5.1.2.

Tabla 25 Documentos regulatorios priorizados y organismos responsables

Nº	Nombre	Horizonte de Tiempo	Ministerio Responsable
1	Reglamento general de instalaciones de hidrógeno combustible	Corto	MEN
2	Reglamento de transporte de hidrógeno combustible por vía pública	Corto	MEN
3	Reglamento de sistema de hidrógeno combustible en maquinaria y vehículos industriales	Corto	MEN
4	Reglamento de almacenamiento de sustancias peligrosas (DTO 43)	Mediano	MINSAL
5	Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales en los lugares de trabajo (DTO 594)	Mediano	MINSAL
6	Reglamento de transporte de cargas peligrosas por calles y caminos (DTO 298)	Mediano	MTT
7	Reglamento de transporte y distribución de hidrógeno por cañerías	Mediano	SEC-MEN
8	Reglamento de artefactos domésticos a combustión de hidrógeno	Mediano	MEN
9	Reglamento de generadores eléctricos a hidrógeno y duales	Mediano	MEN
10	Reglamento para las estaciones de dispensado público de hidrógeno	Mediano	MEN
11	Reglamento de requisitos técnicos, constructivos y de seguridad para los vehículos a hidrógeno gaseoso	Mediano	MTT
12	Manual de revisión técnica de vehículos a hidrógeno gaseoso	Mediano	MTT
13	Reglamento de sistemas de hidrógeno para minería subterránea.	Mediano	MEN-MIM
14	Reglamento de seguridad para tanques y contenedores para hidrógeno combustible	Largo	MEN
15	Recomendaciones de seguridad para las emergencias de vehículos a hidrógeno	Largo	MIN
16	Reglamento de seguridad para talleres de reparación y mantención de vehículos a hidrógeno	Largo	MTT
17	Recomendaciones de seguridad para garajes de estacionamiento de vehículos a hidrógeno	Largo	Municipios
18	Reglamento de manipulación y almacenamiento de cargas peligrosas en recintos portuarios (Res. 96, 1997)	Largo	MTT
19	Reglamento de requisitos técnicos, constructivos y de seguridad para los vehículos a hidrógeno líquido	Largo	MTT
20	Manual de revisión técnica de vehículos a hidrógeno líquido	Largo	MTT

Si bien el presente estudio está orientado y focalizado a la regulación técnica de seguridad, se estima importante plantear algunos puntos que emergerán como consecuencia de la adopción del hidrógeno como energético. En efecto, se estima que probablemente en el largo

plazo se podrá generar electricidad e hidrógeno en viviendas particulares, empresas y, en general, fuera de la industria clásica de generación eléctrica y producción de hidrógeno. Esto incluye la cogeneración de energía con celdas de combustible, la recarga de vehículos particulares, y el uso de pequeños dispositivos energizados con hidrógeno. Para ello, se deberá contemplar el estudio de la reglamentación de la operación eléctrica y energética actual y su posible modificación.

Por otro lado, el desarrollo del consumo de hidrógeno en trenes, barcos y aviones, que se encuentra en etapa experimental en algunos países, requerirá nueva regulación nacional en el largo plazo. Sin perjuicio de lo anterior, se estima que se debe mantener un seguimiento a dichos desarrollos, de manera de poder anticipar adecuadamente el esfuerzo regulatorio correspondiente. En particular, una eventual regulación del uso de hidrógeno en trenes se podría adelantar del largo al mediano plazo, por cuanto ya hay prototipos de trenes suburbanos con celdas de combustible. En cuanto a la dimensión marítima y, dado que Chile está suscrito al Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (CMIMP), la regulación del transporte marítimo está fuera del ámbito regulatorio chileno. Sin embargo, se recomienda tener en consideración estudiar la conveniencia de actualizar este código y, si se estima conveniente, hacer las recomendaciones pertinentes a la Organización Marítima Internacional (IMO).

Existen áreas donde la competencia del MEN no permite asumir la responsabilidad de elaboración de un reglamento, como es el caso de las recomendaciones de seguridad para los garajes de estacionamiento de vehículos a hidrógeno, que es de competencia de las municipalidades. Sin embargo, se estima que será el ministerio el que debería liderar el desarrollo de las recomendaciones, en conjunto con las municipalidades, siendo estas últimas las responsables de dictar mediante decretos municipales, u otros instrumentos, dichas recomendaciones para su cumplimiento.

Finamente se deberá analizar y estudiar el tránsito de vehículos a hidrógeno a través de túneles, ya que este aspecto no parece estar resuelto aun internacionalmente. El estudio puede ser parte del desarrollo de la reglamentación minera, por cuanto los modelos de análisis de riesgo y simulaciones que se incluyen en dichos modelos se pueden extender a túneles de vías públicas.

El presente estudio fue financiado por GIZ para el Ministerio de Energía de Chile y fue desarrollado por el Centro de Energía de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

8.2 Recomendaciones

Ante la incorporación de la definición del hidrógeno como energético en el DFL 1 de 1978 y en el DL 2.224/78, considerado en la nueva Ley de Eficiencia Energética actualmente en trámite legislativo, se estima que se deben buscar los mecanismos para sistematizar la coordinación de la regulación del hidrógeno energético, por un lado, y no energético, por otro, de forma que ambas sean coherentes.

A nivel regional, se recomienda participar como país en el comité normativo ISO/TC 197, que es la mesa técnica del hidrógeno donde hoy participa activamente Argentina y pronto lo hará Uruguay. Lo anterior cobra importancia en la generación de normativa técnica para su aplicación en minería subterránea, que hoy no existe.

Dado el proyecto de vehículos pesados (buses y camiones) a hidrógeno que está desarrollando Uruguay, se recomienda analizar la materialización de un comité de trabajo bilateral

para el intercambio de información, coordinar mecanismos para compartir experiencia respecto de la búsqueda, generación e implementación de normativa técnica, intercambiar lecciones aprendidas en la aplicación de la normativa técnica al desarrollo de proyectos durante la etapa de transición mientras se genera la normativa y generar un trabajo interministerial para generación de la nueva normativa, y toda otra actividad que pueda ser de beneficio para ambos países.

Dada la experiencia que Uruguay está adquiriendo con el proyecto de vehículos pesados a hidrógeno, y su interés manifiesto en cooperar con Chile, se recomienda establecer un comité bilateral de cooperación en el corto plazo. Sus funciones serán intercambiar información y experiencias en la aplicación de normas internacionales a proyectos desarrollados antes del desarrollo de una reglamentación nacional, coordinación de la reglamentación elaborada por cada país para que estén armonizadas, y toda otra actividad relacionada beneficiosa para ambos países.

La materialización de proyectos de hidrógeno en Chile fomentará el interés de empresas nacionales por la fabricación local de partes, componentes y productos para este mercado. Por requerimientos de seguridad, dichos productos deben estar certificados por un ente de reconocimiento internacional con capacidad para hacer los ensayos requeridos por las normas internacionales, capacidad que no existe en Chile. Dado los altos costos de la certificación externa de equipos, partes o componentes para la industria del hidrógeno, se recomienda estudiar formas de apoyo a la certificación de productos nacionales. Entre las posibles soluciones, el Consultor propone estudiar la factibilidad de fomentar la creación de laboratorios de certificación y homologación de productos nacionales para el hidrógeno. Estos laboratorios podrían crearse como proyecto chileno conjunto con países como Argentina, Brasil y Uruguay, los que también deberán certificar sus productos nacionales.

Aunque el MEN no tiene funciones ni atribuciones de capacitación, se recomienda que busque los medios de promover la capacitación a todo nivel. Se considera que esto es fundamental para la seguridad del hidrógeno combustible, especialmente durante su introducción.

Actualmente no existen proyectos, al menos declarados o de conocimiento público, de transporte de personas o carga (autos, buses y camiones), por lo que se recomienda estudiar medidas para facilitar el desarrollo de pilotos demostrativos de vehículos a H_2.

El uso público de hidrógeno en vehículos plantea el desafío de establecer una red de hidrogeneras previo a la incorporación de una masa de vehículos que la justifique. Se recomienda buscar incentivos que motiven a las empresas distribuidoras de combustibles para que establezcan esta red que, inicialmente, tendrá poco uso.

Dado que el contar con una regulación del hidrógeno tomará al menos cuatro años (según horizontes de tiempo definidos), se recomienda preparar y difundir una “Cartilla Técnica” (manual o guía) para el desarrollo de nuevos proyectos de hidrógeno. Esta tendrá instrucciones de los pasos a seguir, listado de reglamentos aplicables y de normas internacionales recomendadas, y listado de permisos necesarios con información sobre su tramitación y tiempos estimados para su obtención.

Finalmente, dado que el objetivo principal del MEN al promover el uso de hidrógeno es la descarbonización de la matriz energética, se recomienda estudiar la trazabilidad del origen de la energía eléctrica de la red para identificar aquella que proviene de fuentes renovables. De este modo se permitirá la posibilidad de certificar hidrógeno verde producido lejos de las fuentes de energía renovable. En síntesis, habrá casos en que sea más económico transportar

la energía eléctrica que el hidrógeno, cuando el consumo está lejos de las fuentes de energía renovable.

9 Referencias

Vásquez, R., & Salinas, F. (2018). *Tecnologías del hidrógeno y perspectivas para Chile.* Santiago, Chile: GIZ GmbH.

Rivkin, C., Burgess, R., & Buttner, W. (2015). *Hydrogen Technologies Safety Guide.* Technical Report, NREL. Obtenido de https://www.nrel.gov/docs/fy15osti/60948.pdf

Floristean, A., & Brahy, N. (2019). *EU regulations and directives which impact the deployment of FCH technologies.* HyLaw. Obtenido de https://www.hylaw.eu/info-centre

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

América del Sur. (s.f.). Recuperado el 29 de 12 de 2019, de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Am%C3%A9rica_del_Sur

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

GEOG Project. (s.f.). Recuperado el 29 de 12 de 2019, de HDF Energy: https://www.ceog.fr/home

HDF Energy Touts Big Promises for Its Hydrogen Project in French Guiana. (08 de 06 de 2018). Recuperado el 29 de 12 de 2019, de GTM: https://www.greentechmedia.com/articles/read/hdf-energy-unveils-ambitious-hydrogen-project

French Guiana plans 140 MWh renewable energy storage system. (2018). *Fuel Cells Bulletin, 2018*(6), 3-4. doi:https://doi.org/10.1016/S1464-2859(18)30192-5

Ballard and HDF Energy sign agreement. (29 de 12 de 2019). Obtenido de H2 View: https://www.h2-view.com/story/ballard-and-hdf-energy-sign-agreement/

Hidrógeno 101 en el contexto latinoamericano. (27 de 03 de 2013). Recuperado el 31 de 12 de 2019, de Latinoamérica Renovable: http://latinoamericarenovable.com/2013/03/27/hidrogeno-101-en-el-contexto-latinoamericano/

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

(2010). *Hidrogênio energético no Brasil. Subsídios para políticas de competitividade: 2010-2025.* Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, CGEE.

Aprueban la primera planta de peróxido de Chile en Coronel por $17 mil millones. (09 de 05 de 2019). Recuperado el 01 de 01 de 2020, de Diario Concepción: https://www.diarioconcepcion.cl/economia-y-negocios/2019/05/09/aprueban-la-primera-planta-de-peroxido-de-chile-en-coronel-por-17-mil-millones.html

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

Mega proyecto de tren de cercanías de Lima – Ica y de transporte por tren con hidrógeno. (24 de 03 de 2019). Recuperado el 30 de 12 de 2019, de Colegio de Ingenieros del Perú: http://www.cip.org.pe/events/mega-proyecto-ferroviario-de-tren-de-cercanias-de-lima-ica/

8 de octubre: Día del hidrógeno. (08 de 10 de 2019). Recuperado el 30 de 12 de 2019, de ANCAP: https://www.ancap.com.uy/innovaportal/v/8391/1/innova.front/8-de-octubre:-dia-del-hidrogeno.html

Gobierno analiza uso de vehículos eléctricos a hidrógeno para transporte de carga y pasajeros. (19 de 09 de 2019). Recuperado el 30 de 12 de 2019, de Presidencia, República Oriental del Uruguay: https://www.presidencia.gub.uy/comunicacion/comunicacionnoticias/eficiencia-energetica

Hidrógeno verde. (s.f.). Recuperado el 30 de 12 de 2019, de ANCAP: https://www.ancap.com.uy/innovaportal/v/8384/1/innova.front/hidrogeno-verde.html

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

Argentina y Japón trabajarán juntos en el desarrollo del hidrógeno como combustible limpio. (03 de 10 de 2019). Recuperado el 02 de 01 de 2020, de Proyecto Patagonia: https://www.argentina.gob.ar/noticias/argentina-y-japon-trabajaran-juntos-en-el-desarrollo-del-hidrogeno-como-combustible-limpio

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

Argentina ante el desafío del hidrógeno. (06 de 08 de 2019). Recuperado el 02 de 01 de 2020, de Parabrisas: https://parabrisas.perfil.com/noticias/novedades/argentina-ante-el-desafio-del-hidrogeno-pila-de-combustible-takeshi-uchiyamada-mauricio-macri-toyota.phtml

Promoción del hidrógeno. (24 de 08 de 2006). Recuperado el 02 de 01 de 2020, de InfoLEG: http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/115000-119999/119162/norma.htm

Bolcich, J. (2018). Hidrógeno y energías renovables: antecedentes y perspectivas en Argentina. *Ciencia e Investigación, 68*(2). Obtenido de http://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2018/05/4-Bolcich-cei68-2-5.pdf

National Research Council and National Academy of Engineering. (2004). *The Hydrogen Economy: Opportunities, Costs, Barriers, and R&D Needs.* Washington, DC: The National Academies Press. doi:10.17226/10922

Rivera, J. (2019). *Marco regulatorio internacional del hidrógeno.* Consorcio Corfo 18-PTEC-89484 Alset - PUC . Pontificia Universidad Católica de Chile.

Peralta, E. (2019). *Marco regulatorio chileno del hidrógeno.* Consorcio Corfo 18-PTEC-89484 Alset - PUC. Pontificia Universidad Católica de Chile.

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

Ohi, J. M. (2009). Chapter 14. Hydrogen Codes and Standards. En R. B. Gupta (Ed.), *Hydrogen Fuel: Production, Transport and Storage.* CRC Press.

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

Tchouvelev, A. V., de Oliveira, S. P., & Neves Jr., N. P. (2019). Chapter 6 Regulatory Framework, Safety Aspects, and Social Acceptance of Hydrogen Energy Technologies. En P. E. de Miranda (Ed.), *Science and Engineering of Hydrogen-Based Energy Technologies.* Academic Press, Elsevier.

ANSI 1. (11 de marzo de 2019). Obtenido de About ANSI: https://www.ansi.org/about_ansi/introduction/introduction?menuid=1

CEN 1. (mayo de 2019). *Who we are*. Obtenido de European Committee for Standardization: https://www.cen.eu/about/Pages/default.aspx

Derwent, R. G. (2018). *Hydrogen for Heating: Atmospheric Impacts.* Department for Business, Energy and Industrial Strategy, HM Government, UK.

10 Apéndices

10.1 Definiciones y Abreviaciones

10.1.1 Definiciones

Por conveniencia y para evitar confusiones, en este informe se usarán las palabras siguientes con el significado indicado.

Reglamento[40] = norma general, obligatoria, abstracta y dictada por parte de un órgano distinto del Poder Legislativo. En general, los reglamentos complementan el ordenamiento jurídico existente, especificando y detallando las normas legales. Conforme con el artículo 32 Nº 6 de la Constitución Política, el Presidente de la República tiene la potestad dictar reglamentos en todas aquellas materias que no son de ley. En Chile están contenidos en decretos y resoluciones.

- **Código** = compilación de leyes, decretos y resoluciones (reglamentos), referidos a un tema específico (ejemplo, Código del Trabajo).
- **Norma** = reglas establecidas por un comité de personas interesadas, organizado y dirigido por una institución creada para generar normas, entre otras funciones, sin ser de aplicación obligatoria, a menos que sea requerida por un reglamento.
- **Regulación** = conjunto de reglamentos y normas requeridas por los reglamentos[41]; acto de regular.

En EE.UU. las normas son referidas como *codes* y como *standard*, siendo las primeras más extensas y amplias que las segundas, pero en algunos casos no hay una línea clara que las distinga. Sin embargo, en Europa se usa sólo el término *standard*. Para los efectos de este estudio, la palabra *code* en inglés referida a una norma (en EE.UU.), será traducida al castellano como norma (por ejemplo, se hablará de la "norma" NFPA 2 *Code of Hydrogen Technology*).

También es necesario definir aquellos conceptos relevantes y que habitualmente se encuentran en los documentos analizados, los que se muestran en la

Tabla *26*. Estas definiciones se extrajeron de la página web de la Biblioteca del Congreso Nacional[42] y serán la base para parte del presente informe.

Tabla *26* Definiciones de conceptos relevantes extraídas de la Biblioteca del Congreso Nacional

[40] https://www.bcn.cl/formacioncivica/detalle_guia?h=10221.3/45762

[41] Ver https://www.gob.mx/se/articulos/sabes-que-es-la-regulacion-153584

[42] https://www.bcn.cl/

Concepto	Definición
Código	Conjunto de normas legales sistematizadas que regulan unitariamente una determinada área del derecho, y que contempla además, la recopilación de diversas otras leyes vinculadas a dicha materia.
Decreto	Norma dictada por cualquier autoridad sobre los asuntos o negocios de su competencia. Cuando emana del Presidente de la República se denomina Decreto Supremo.
Decreto ley	Actividad legislativa de los gobiernos en períodos de anormalidad constitucional, consistente en una norma que dicta el Ejecutivo sobre materias propias de una Ley, sin que en ellos intervenga el Poder Legislativo.
Decreto con fuerza de ley	Cuerpos normativos que emanan del Presidente de la República y que recaen sobre materias legales, en virtud de una delegación de facultades del Parlamento, o bien para fijar el texto refundido, coordinado o sistematizado de las leyes.
Resolución	Norma dictada por cualquier autoridad inferior de la administración central sobre asuntos o negocios de su competencia, en virtud de una delegación de atribuciones del Presidente de la República.
Ley	Declaración de los órganos legislativos de carácter abstracta, general y obligatoria, creada según el procedimiento señalado en la Constitución, y que tiene por objeto mandar, prohibir o permitir una determinada conducta.

Otras definiciones de interés son:

Hidrógeno Verde[43]: Hidrógeno producido mediante procesos de electrólisis del agua utilizando electricidad, proveniente de fuentes de energía 100% renovables.

Hidrolinera, Hidrogenera, HRS: Estación de servicio para abastecimiento de H_2

10.1.2 Abreviaciones

ANSI American National Standard Institute

ASME American Society of Mechanical Engineers

ASTM American Society for Testing and Materials

CCS Captura y almacenamiento del carbono

CCUS Captura, almacenamiento y uso del carbono

CEN European Committee for Standardization

CGA Compressed Gas Association

EIGA European Industrial Gas Association

EN European Norm

EE.UU. Estados Unidos de América

ERNC Energías Renovables No Convencionales

GH2 Hidrógeno Gaseoso

GLP Gas Licuado de Petroleo

GNC Gas Natural Comprimido

[43] Definición en Antecedentes 3

GNL	Gas Natural Licuado
HRS	Hydrogen Refueling Stations
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standardization
LH2	Hidrógeno Líquido
MEN	Ministerio de Energía
NFPA	National Fire Protection Association
OGN	Organizaciones que Generan Normas
ONU	Organización de las Naciones Unidas
SAE	Society of Automotive Engineers
SMR:	Reformado de Metano mediante vapor
UE	Unión Europea

10.2 Estructura del marco regulatorio

La estructura del marco regulatorio puede ser representada como una pirámide, donde en la cúspide están los reglamentos, luego las normas específicas para el hidrógeno en el nivel intermedio y, finalmente, en el nivel inferior, las normas para componentes, materiales, equipos y sistemas, como muestra la Figura 5. Todos los documentos requeridos por uno obligatorio de jerarquía superior se hacen obligatorios (Rivkin, Burgess, & Buttner, 2015). El alcance de este estudio se limita a las dos partes superiores de esta pirámide, es decir, reglamentos, que son responsabilidad directa de las autoridades de gobierno que tengan competencia sobre esta materia, y normas específicas sobre seguridad del hidrógeno. Las principales normas que forman la base de la pirámide serán listadas pero no analizadas.

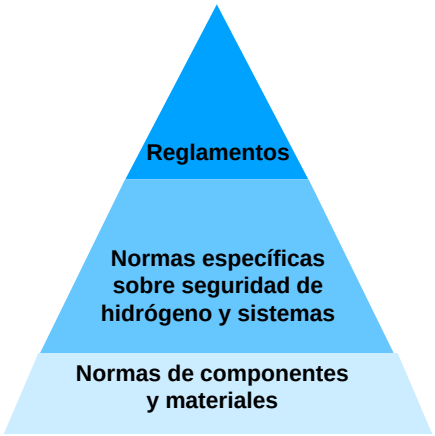

Figura 5 Estructura del marco regulatorio

Las regulaciones internacionales que se analizarán son las proporcionados por el estudio internacional de levantamiento de regulación internacional para el hidrógeno realizado por el consultor internacional Fichtmer, y lo que se pueda recopilar de la regulación de los países definidos como de interés en Sudamérica.

10.3 Objetivos del estudio

Los objetivos presentados a continuación responden a los planteados en las bases de la licitación, con un poco de elaboración nuestra para aclararlos y complementarlos.

10.3.1 Objetivo general

Levantar una línea base regulatoria y proponer un plan de acción nacional para desarrollar un marco regulatorio del hidrógeno. Este marco regulatorio se refiere al hidrógeno como energético, y debería permitir y facilitar el desarrollo de su mercado. Aunque no está explícito en las bases, se entiende por el contexto que el énfasis está en el hidrógeno verde, que permite reducir la huella de carbono de la matriz energética.

10.3.2 Objetivos específicos

Se distinguen siete objetivos específicos de acuerdo a las bases de licitación, los que se presentan a continuación.

Levantamiento de proyectos en Chile

Este objetivo consiste en el levantamiento y caracterización de proyectos a nivel nacional asociados a la producción, almacenamiento, transporte, distribución y usos de hidrógeno, ya sea como energético, como insumo industrial o en la fabricación de subproductos, así como también a grupos interesados en su desarrollo. Aunque el objetivo general se limita al hidrógeno usado como energético, este objetivo específico se extiende a todos los usos y métodos de producción de hidrógeno.

Levantamiento de proyectos en Sudamérica

Recopilación, síntesis y análisis de planes y proyectos relacionados al desarrollo de mercados del hidrógeno de al menos 4 países de Sudamérica, incluyendo Argentina y Uruguay.

Levantamiento de la regulación nacional actual e identificación de brechas

Se refiere a la regulación nacional (reglamentos y normas) que aplica al hidrógeno en cada una de las etapas de su cadena de valor, identificando las brechas que obstaculizan el desarrollo del mercado del hidrógeno como energético.

Análisis de regulaciones internacionales

Identificación y análisis de las regulaciones internacionales que podrían utilizarse en Chile como base para remover las brechas identificadas en el objetivo específico 3, basado en estudio internacional de levantamiento de regulación internacional para el hidrógeno elaborado por terceros.

Propuesta de la regulación técnica específica

Identificación, sin elaboración, de la regulación técnica que debiese desarrollarse e implementarse en Chile, con una mirada estratégica y coherente a las brechas identificadas, tal que permita habilitar el mercado de hidrógeno energético en Chile para toda su cadena de valor.

Propuesta de plan de acción regulatorio

Propuesta de plan de acción regulatorio para Chile para el corto, mediano y largo plazo, priorizando las acciones regulatorias y normativas, en conjunto con la contraparte técnica,

que permitan habilitar el mercado de hidrógeno en términos de los proyectos que comiencen a ejecutarse, considerando su masividad o replicabilidad.

Comparación con regulación nacional de otros commodities

Esta comparación se hará respecto de otros energéticos similares con los que el hidrógeno pudiese competir. Se considerarán aspectos, técnicos, de seguridad, y los sectores ambientales y tributarios.

10.4 Metodología Empleada para el Informe

La metodología empleada para el desarrollo del presente proyecto consistió en siete etapas, las que se describen a continuación.

Estudio de antecedentes

Se estudiaron los documentos e información de las siguientes fuentes:

- Trabajos previos y otros documentos del consultor que no violen acuerdos de confidencialidad
- Documentos públicos y textos en poder del consultor
- Documentos suministrados al inicio del trabajo por el mandante, como ser la propuesta de estrategia realizada por el Comité Solar e Innovación Energética y proyectos especiales presentados ante la SEC.

Recopilación de información por solicitud directa

A través de canales oficiales facilitados por el mandante, se solicitó información sobre la regulación nacional pertinente y proyectos de hidrógeno. Del mismo modo, usando canales oficiales facilitados por el mandante, se solicitó información sobre regulaciones en Sudamérica.

Recopilación de información por Internet

Se consultó en el portal de la Biblioteca de Congreso Nacional[44] para recabar la información faltante sobre la regulación nacional. También se consultó el portal del INN para información sobre normas chilenas. Se buscó por Internet información sobre regulación y proyectos de hidrógeno en países sudamericanos.

Entrevistas

Para la información que no se encontró en las etapas anteriores de esta metodología, se realizaron entrevistas a personas e instituciones específicas. Estas entrevistas fueron presenciales, telefónicas, por Internet (WhatsApp, Skype, y otros), o por correo electrónico. Las entrevistas presenciales se limitaron a las que se realizaron en Santiago. En Apéndice 10.5 se encuentran las entrevistas nacionales y en Apéndice 10.11 las entrevistas internacionales materializadas durante el desarrollo del presente proyecto.

Análisis de la información

Se analizó la información recopilada, con participación de la contraparte técnica.

Reuniones con contraparte técnica

[44] https://www.leychile.cl/Consulta/homebasico

Se realizaron reuniones con la contraparte técnica semana por medio, en las que participaron los consultores.

Elaboración de informes

Los informes de avance se prepararon con el material analizado hasta una semana antes de la fecha en que estos correspondan. El informe final contiene todo lo solicitado por las bases y se compone de la suma de los dos informes de avance entregados.

10.5 Entrevistas nacionales

10.5.1 Empresa: Melón

Fecha: 13 de diciembre de 2019

Nombre Entrevistado: Nicolás Peña

Cargo: Gerente de Innovación y Estrategia

Email: nicolas.pena@melonservicios.cl

Teléfono: +56222800106 +56993424874

Tipo Entrevista: Telefónica

Desarrollo:

Empresa Melón está llevando adelante un proyecto que busca reemplazar el gas natural que se emplea para el secado de materia prima o puzolana para el proceso de fabricación de cemento. Las cantidades de materia prima a secar son del orden de 700.000 toneladas al año y de aproximadamente 200.00 toneladas al año de puzolana. Actualmente el secado se realiza mediante quemadores que son alimentados con gas natural, esta operación se realiza en el molino de crudo o en el proceso anterior al molido de la materia prima en función de las mediciones de humedad que se realicen y sus resultados.

Actualmente el grupo de empresas Melón se encuentran en búsqueda de una tecnología de producción y suministro en planta de H_2. El modelo de negocios inicial está basado en la compra de energía calórica limpia en un modelo tipo ESCO. Para lo anterior se encuentran en la búsqueda de electrolizadores ya sea de tecnología PEM o alcalino y considerarían la adquisición o abastecimiento de electricidad con baja huella de carbono. La incorporación del electrolizador a las operaciones será en función de la disponibilidad de la tecnología que pueda producir H_2 a un precio competitivo con el gas natural tomando las consideraciones de la reducción de emisiones que implica el cambia de gas natural a H_2. A la fecha la empresa Melón, ha sostenido reuniones con la SEC siendo la última con fecha 05 de Junio del 2019 y ha visitado algunas empresas peruanas que están actualmente usando electrolizadores para generar Hidrógeno y usarlo en quemadores para generación de calor en diferentes procesos.

10.5.2 Empresa: Engie

Fecha: 16 de diciembre de 2019

Nombre Entrevistado: Koen Langie

Cargo: Gerente de Desarrollo Hidrógeno en la Minería

Email: koen.langie@engie.com

Teléfono: +

Tipo Entrevista: Presencial en Instalaciones de Engie

Desarrollo:

Además de Koen Langie participaron la Srta. Consuelo Glaria email: consuelo.glaria@engie.com y Hans Kulenkampff, email; Hans.Kulenkampff@h2chile.com

Koen langie señala que la empresa Engie junto a una empresa logística ingresaron oficialmente con fecha 03 de diciembre de 2019 a la SEC, el proyecto denominado "Generación de Hidrógeno como combustible en grúas horquillas. El proyecto consiste en la instalación de una planta de producción de hidrógeno que incluye equipos de compresión, almacenamiento, distribución y estación de carga de hidrógeno a grúas montacargas, las cuales estarán equipadas con celdas de combustibles, para operar en los centros de distribución ubicados en las comunas de Lo Prado y Quilicura.

Como tal el proyecto considera casi toda la cadena de valor del H_2, es decir la producción mediante un hidrolizador, el almacenamiento, el carguío de vehículos montacargas con H_2 y el uso en celdas combustibles que proveerán de energía eléctrica a los montacargas.

Como se señaló el proyecto fue ingresado a la SEC y para ello Engie propuso un proceso que les permitiera ingresa el proyecto como proyecto especial. Para lo anterior desarrollaron el proceso que se muestra en la Figura 6.

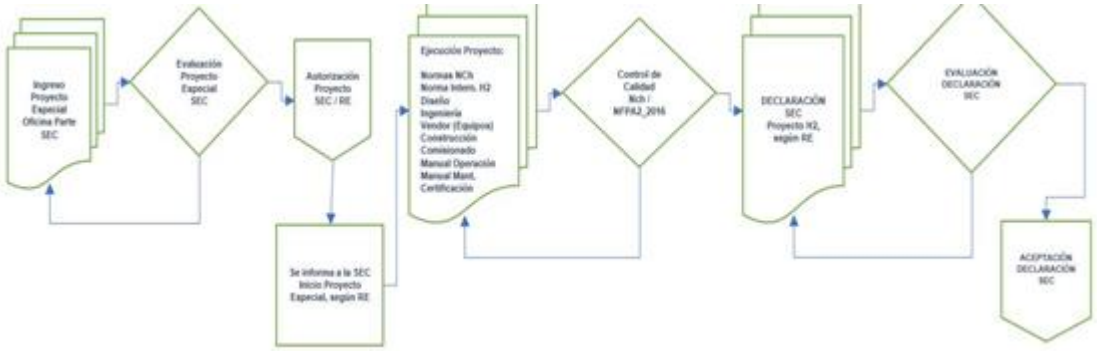

Figura 6 Plan Acción Engie para SEC (fuente: Koen Langie)

De acuerdo a lo descrito, el proceso desarrollado fue siguiendo los modelos de reglamentación actuales sobre seguridad de instalaciones y equipos de combustibles. Para ello ENGIE solicitó la autorización del Proyecto Hidrógeno como combustible, siguiendo el esquema de los DS 67 de Seguridad de Planta de GNL y DS 102 de Seguridad en el Transporte de GNL, y en base a la Normas Nacionales (NCh) e Internacional NFPA 2_2016 Hydrogen Technologies Code.

Actualmente este es el único proyecto que están oficialmente llevando adelante

El proyecto que Engie está desarrollando en conjunto con ENAEX para la generación de H_2 verde que se pueda usar en el proceso de fabricación de nitrato de amonio lo lleva Nils Grobet, nils.grobet@engie.com.

Otro de los temas que se discutió durante la entrevista fue el concepto y definición de H_2 verde, el cual, de acuerdo a Koen, debe ser definido claramente y hoy no se encuentra así. De hecho Engie no coloca en sus presentaciones el concepto de "Hidrógeno Verde".

Al consultarles respecto de la diferenciación de la energía eléctrica generada por ERNC y la venta como energía limpia a usuarios se señaló que este tema es hoy un tema contable de porcentajes producidos y por ende entregados.

Dado que el proyecto aborda la casi totalidad de la cadena de valor del H_2, se utilizaron las siguientes normas para referenciar y respaldar cada una de las actividades o procesos que se deberían desarrollar. A continuación se transcribe textualmente la información entregada por Koen Langie mediante email de fecha 16 de diciembre de 2019.

4.1. Chilean Normative and Regulations

As reference, the most relevant Chilean codes and standards for the project are listed below:

Code Title Standard Purpose

- NCh 382 Terminología y clasificación general de las sustancias peligrosas
- NCh1377 Cilindros de Gas para uso Industrial – Identificación del contenido
- NCh 2190 Sustancias peligrosas – Marcas para información de riesgos
- NCh 2369 Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales
- NCh Elec. 4 Electricidad – Instalaciones de consumo en baja tensión
- DS 43 Reglamento de Almacenamiento de Sustancias Peligrosas
- DS 298 Reglamenta Transporte de Cargas Peligrosas por Calles y Caminos

International Codes and Standards

The list of following codes and standards is non-restrictive:

ASME American Society of Mechanical Engineer, with particular attention to:

- ASME II, Boiler and Pressure vessel code – Materials
- ASME VIII div 1, Boiler and Pressure vessel code - Rules for construction of pressure vessels
- ASME B16.5, Pipe flanges and flanged fittings
- ASME B31.12, Hydrogen piping and Pipelines
- ASME B31.3, Process piping
- ATEX 2014/34/EU, Equipment for Potentially Explosive Atmospheres
- CGA H-5, Standards for Bulk Hydrogen Systems

ISO International Organization for Standardization with particular attention to:

- ISO 10286, Gas cylinders – Terminology
- ISO 834-1, Fire resistance test — Elements of building construction — Part 1: General requirements
- ISO 4126-1, Safety devices for protection against excessive pressure — Part 1: Safety valves
- ISO 4126-2, Safety devices for protection against excessive pressure — Part 2: Bursting disc safety devices
- ISO 11114-1, Gas cylinders - Compatibility of cylinder and valve materials with gas contents - Part 1: Metallic material
- ISO 14687-2, Hydrogen fuel - Product specification - Part 2: Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles
- ISO/TR 15916 Basic considerations for the safety of hydrogen systems
- ISO 17268, Compressed hydrogen surface vehicle fueling connection devices
- ISO 26142, Hydrogen detection apparatus — Stationary Applications
- ISO 31000, Risk management Principles and guidelines

- ISO 22734, Hydrogen Generators using Water Electrolysis Process
- ISO 14687, Hydrogen Fuel Product Specification
- ISO 4126, Safety Devices for Protection against Excessive Pressures
- ISO 5199, Technical specification for centrifugal pumps
- ISO 12944, Paints and Varnishes
- ISO 13501, Fire Classification of Construction Products
- ISO 14847, Rotary Positive Displacement Pumps
- ISO 15761, Steel gate, Globe and Check Valves
- ISO/TS 19880-1, Gaseous hydrogen – Fueling stations – Part 1

NFPA National Fire Protection Association with particular attention to:

- NFPA 2, Hydrogen Technologies Code
- NFPA 55, Storage, Use and Handling of Compressed gases and Cryogenic fluids in portable and stationary Containers, Cylinders and tanks
- NFPA 70, National Electric Code
- OSHA Occupational Safety and Health Administration
- OSA 1910.103, Hazardous Materials – Hydrogen.

SAE International with particular attention to:

- SAEJ2600, Compressed Hydrogen Surface Vehicle Fueling connection devices.
- SAEJ2601, Hydrogen Refueling Standard
- SAE J2719, Hydrogen fuel Quality for Fuel Cell Vehicles
- OSHA Occupational Safety and Health Administration

Other internationally recognized standards may apply for standards and regulations of this project, such as**: AIEE, AISC, AISI, ANSI, API, ASCE, ASTM, AWS, EN, IEC, IEEE, NEMA, NEC**, etc.

10.5.3 Organización: H_2 Chile

Fecha: 16 de diciembre de 2019

Nombre Entrevistado: Hans Kulenkampff, (HK)

Cargo: Presidente H_2 Chile

Email: Hans.Kulenkampff@h2chile.com

Web: https://www.h2chile.cl/h2-chile

Tipo Entrevista: Presencial en Instalaciones de Engie

Desarrollo:

De acuerdo a lo explicado por Hans Kulenkampff (HK), la Asociación Chilena del Hidrógeno, H_2 Chile, es una asociación gremial normada por la ley chilena N° 2757 y registrada con el N°4742 en el Registro de Asociaciones Gremiales del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. H_2 Chile fue fundada el 9 de Enero del 2018 por 28 personas naturales representando al sector privado, público y académico. Actualmente H_2 Chile está formado por 39 socios profesionales donde él es actualmente el presidente de la asociación, siendo su vicepresidente Rodrigo Vásquez.

El Objetivo declarado por H_2 Chile, es fomentar el desarrollo del Hidrógeno como vector energético sustentable, promoviendo su investigación, desarrollo y utilización en aplicaciones industriales, comerciales, residenciales y de movilidad.

Como Misión se declara el acelerar la transición hacia la economía del hidrógeno en Chile y como Visión establecer la sociedad del hidrógeno en Chile y posicionar al país como líder mundial en producción y exportación de Hidrógeno Verde y el desarrollo del Hidrógeno como vector energético sustentable.

H_2 Chile actualmente posee una red de contactos en sud américa, Norte América, Europa y Australia. Actualmente están empeñados en generar redes en los países asiáticos que llevan adelante proyectos de H_2.

Desde la perspectiva nacional, están comenzando a incorporar empresas que estén interesadas en aspectos relacionados a la cadena de valor del H_2 de manera que como asociación gremial puedan fomentar el desarrollo de este con un punto de vista común.

Hans Kulenkampff resalta el conocimiento de las personas y organismos que llevan adelante tanto proyectos como temas de normativas, señalando la dirección https://h2tools.org/, donde se encuentra un portal para apoyar la implementación de prácticas y procedimientos en términos de seguridad en la manipulación y uso del H_2 en una gran variedad de aplicaciones.

HK, señala que potencialmente empresas como CMPC y Celulosa ARAUCO podrían hacer para recuperar H_2; que hoy día se libera al aire, en los procesos químicos que realizan con las empresas ERCO y EPA actualmente. Por otro lado señala que el trabajo realizado por la empresa implementa para el comité solar debería contener un detallado análisis de los proyectos relacionados al H_2 que actualmente se están desarrollando en Chile.

10.5.4 Organización: Colegio de Ingenieros de Chile A.G., Comisión de Energía

Fecha: 19 de diciembre de 2019

Nombre Entrevistado: Dr. Erwin Plett Krüger

Cargo: Presidente Comisión de Energía

Email: erwin.plett@lowcarbon.cl

Teléfono: +569 9779 2785

Web: https://www.ingenieros.cl/

Tipo Entrevista: Presencial

Desarrollo:

El Colegio de Ingenieros de Chile A.G., a través de la Comisión de Energía, cuyo Presidente es el Dr.-Ing. Erwin Plett Krüger, aborda todos los temas relacionados a la generación y el uso de los diferentes tipos de energía. En particular en el último año ha impulsado el profundizar en los temas de energía asociados al Hidrógeno. Al respecto el Dr. Plett señala que junto a lo interesante y promisorio de la tecnología en torno al H_2, se debe considerar la importancia que tiene la regulación y las normativas para el uso del hidrógeno que todavía hay que desarrollar en Chile, así como la imagen y confiabilidad del país y sus instituciones, que inciden directamente en los costos de financiamiento del capital y que son de suma importancia para lograr costos nivelados competitivos en estos proyectos de largo plazo. Esto porque las energías renovables son muy intensivas en capital inicial, con

costos variables operacionales tendientes a cero, en comparación con las energías fósiles que prácticamente sólo tienen costos operacionales.

También señala que Comisión de Energía del Colegio de Ingenieros de Chile, siendo una de las entidades con más larga trayectoria en el rubro energético, está empeñada en promover las energías limpias través del vector energético hidrógeno, generando instancias abiertas de discusión como las charlas específicas sobre hidrógeno en el Mes de la Energía 2019 (25/06 "Hidrógeno Verde – Generación, usos y perspectivas", y 27/06 "Desafíos y Oportunidades de Chile como Exportador de Energía Verde") y en el seminario denominado "El Significado del Hidrógeno Verde para Chile", desarrollado el pasado 27 de noviembre con audiencia record en el auditorio del Colegio de Ingenieros de Chile A.G. y que abordó temas como: Transición energética, La economía del Hidrógeno, Hidrógeno Verde: Innovación chilena de clase mundial, Legislación y Reglamentación Necesarias, Usos del Hidrógeno en motores de combustión dual, El futuro: "Power to X", y un Análisis sobre el panorama internacional del Hidrógeno.

Por otro lado, señala el Dr. Plett que, como Comisión de Energía, están interesados en potenciar la economía del H2 dado que la inversión que se tendrá que hacer en Chile llevará a desafíos ingenieriles que implicará trabajo en primera línea para ingenieros, desafíos de calidad, alta complejidad y el requerimiento de profesionales con elevada preparación, y mano de obra especializada y calificada. Enfatiza que el potencial mercado que tiene Chile generando H2 para el mundo según cifras de la agencia internacional de energía, iea, se puede comparar cuantitativamente con dos veces el PIB chileno, por lo que puede llegar a ser la industria más relevante que haya tenido Chile en su historia. Afirma el Dr. Plett que para lo anterior es fundamental que el Estado genere instancias de colaboración para facilitar la elaboración de legislación, reglamentación y estándares técnicos en temas asociados al hidrógeno para impulsar la materialización de proyectos. La Comisión de Energía del Colegio de Ingenieros de Chile A.G. está muy interesada y dispuesta a colaborar en estas instancias.

10.5.5 Organización: Club de la Innovación

Fecha: 24 de diciembre de 2019

Nombre Entrevistado: Sebastián Pilasi Menicheti

Cargo: Gerente General

Email: sebastian.pilasi@clubdeinnovacion.cl

Teléfono: + 569 9218 5730

Web: https://www.clubdeinnovacion.com/

Tipo Entrevista: presencial

Desarrollo:

El Club de la Innovación tiene como propósito crear valor en las empresas al fortalecer la capacidad de innovación corporativa, forjando una comunidad de aprendizaje, de herramientas y mejores prácticas de innovación, y generando instancias de conexión que permiten desarrollar proyectos colaborativos con el ecosistema de innovación global.

En ese sentido le Gerente General Sebastián Pilasi señala que están trabajando en conjunto con otras organizaciones en promover y preparar temas asociados a la economía del Hidrógeno. Al respecto, han formado una alianza estratégica junto a H2 chile el comité solar y el ministerio de energía. En particular para el año 2020 se encuentran desarrollando un programa de encuentro y discusión en torno al Hidrógeno que consiste en cuatro sesiones a desarrollar durante los meses de marzo a mayo y que busca como objetivo, profundizar el roadmap del hidrógeno que realizó la empresa consultora CDT como parte del trabajo que fue contratado por el Comité Solar e Innovación Energética durante el 2019 y donde se persigue el perfeccionamiento de la estrategia del H_2 para Chile. En este sentido en su rol de articuladores se han colocado como objetivo el ayudar a las empresas a resolver problemas de innovación en torno al H_2 con una perspectiva holística y con énfasis en ser un polo de encuentro entre los sectores privado, público y académico. En particular en torno al H2 están comprometidos en ayudar a sus socios (ver página web donde se listan los socios) a resolver diferentes inquietudes y a generar sinergias entre ellos. Lo anterior busca; con las empresas socias, mediante la generación de mesas de trabajo levantar un portafolio de proyectos y determinar e identificar brechas tanto en lo tecnológico como en lo normativo para que los proyectos en torno al H_2 se puedan priorizar y transformar en realidad. El llamado de la convocatoria se tiene considerado realizarla el 15 de enero de 2020.

10.5.6 Organización: Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC)

Fecha: 27 de diciembre de 2019

Nombre Entrevistado: Hilda Cabello Muñoz

Cargo: Jefa del Departamento Técnico de Sistemas de Combustibles

Email: hcabello@sec.cl

Teléfono: (+56 2) 27565782

Web: https://www.sec.cl/

Tipo Entrevista: Presencial

Desarrollo:

Durante el desarrollo de la entrevista participó por parte del ME:

- María de los Ángeles Valenzuela
- Rodrigo Caro (PUC)

Hoy día no está regulado o normado un procedimiento específico para abordar proyectos que consideren al hidrógeno como combustible, en particular este no está considerado como tal dentro del listado que los define. Al respecto no existe una definición en el DFL1 para “combustible” sino que un listado en el que se clasifican diferentes energéticos en esa categoría. Dado lo anterior, es que se cuenta con un proceso particular para aquellos proyectos que consideren instalaciones que no están normadas, usando la denominación de “proyectos especiales”, los que son analizados caso a caso dado que no están abordados por la reglamentación vigente.

El proceso que se desarrolla para aquellos proyectos especiales, está orientado a determinar que la o las actividades que se desarrollarán, cumplan con medidas de seguridad atingentes y que se demuestre que dichas medidas están orientadas mediante alguna norma internacional conocida y referenciada. Junto a lo anterior se busca asegurar que todos los componentes e instrumentos que se

usarán en el proceso para el cual se está solicitando autorización de la SEC, como elementos eléctricos, sellos, ductos, manuales de operación; si corresponde, hayan sido certificados o acreditados por algún organismo competente en el país. Completado el proceso anterior, la SEC aprueba y da su conformidad para que se ejecute exactamente lo que fue requerido como permiso.

En general de acuerdo a la información de proyectos especiales que se tiene en la SEC, las empresas presentan estos proyectos cuando están relativamente seguras que incorporarán al mercado el producto o servicio asociado al proyecto especial por el cual se solicitó permiso.

Para determinar si el proyecto especial está dentro del marco de acción de la SEC, se analiza su pertinencia de acuerdo al marco que fija el DFL-1 en torno a la cadena de producción, almacenamiento, transporte y distribución de combustibles. Si el proyecto abarca algún eslabón de la cadena de valor debería tener autorización de la SEC. Posiblemente un piloto como tal, no estaría dentro de este ámbito a no ser que se requiera certificar las instalaciones en faenas.

Dentro de los proyectos relacionados al H2 y que la SEC tiene conocimiento se encuentran los siguientes:

1. Respaldo de antenas celulares, presentado por la empresa INDURA-NOKIA el 23 de febrero de 2012 que cuenta con la Resolución SEC Nº 1756 de 2013.
2. Generación de Hidrógeno como combustible en grúas horquillas, presentado por las empresas Engie-Empresa Logística el 03 de diciembre de 2019.
3. Generación de Hidrógeno para uso en horno cementero, consultado por empresas Melón el 05 de junio de 2019.
4. Sistema de calefacción en base a Hidrógeno límpio, presentado por la empresa Green Technology Ltda., el 02 de agosto de 2019.
5. Sistema de generación de vapor en base a Hidrógeno, consultado por la empresa Aqua Chile-BHP el 09 de agosto de 2019.

En algunos proyectos, dado que no existen procesos formales establecidos para proyectos que consideren el Hidrógeno, como el caso del proyecto presentado por Engie, fue difícil definir donde empezaba o terminaba el límite para ser considerado combustible. En este sentido el límite de acción de la SEC termina cuando el Hidrógeno ingresa al vehículo mediante el sistema de carguío definido. Luego, dentro del vehículo o equipo cargado con Hidrógeno, la responsabilidad corresponde al Ministerio de transporte, similar a como se usó con el GLP y GNC.

La SEC no tiene una definición del “Hidrógeno verde” y tampoco lo están abordando por cuanto se considera que es un tema que no está dentro de las responsabilidades de dicho organismo.

10.5.7 Organización: Ministerio del Medioambiente (MMA), Subsecretaria del Medio Ambiente, División de Calidad de Aire Climático

Fecha: 27 de diciembre de 2019

Nombre Entrevistado: Nancy Manríquez Donoso

Cargo: Encargada de fuentes móviles

Email: NManriquez@mma.gob.cl

Web: https://mma.gob.cl/

Tipo Entrevista: Presencial

Desarrollo:

Durante el desarrollo de la entrevista participaron por parte del ME:

- María de los Ángeles Valenzuela
- Álvaro Ruiz

y por parte del Ministerio del Medio Ambiente:

- Carol Arenas

A la fecha en el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) no les ha correspondido evaluar proyectos que estén relacionados al Hidrógeno en algún aspecto de la cadena de su valor, entendiendo como tal la producción, almacenamiento, transporte, distribución y uso.

Hoy en día el tema del Hidrógeno no esta siendo abordado en el MMA. Sin embargo Nancy Manríquez señala que el tema se levantó debido a conversaciones que surgieron durante la COP. Se considera que el MMA debería comenzar a abordarlo en el corto o mediano plazo.

En temas vehiculares o de maquinaria; pero no relacionados directamente a Hidrógeno, se plantea que el MMA actualmente está trabajando en una normativa de emisión de maquinarias que operen fuera de ruta y que tengan una potencia de entre 56 a 560 KW. Para lo anterior se han guiado por algunas normativas internacionales, tanto europeas como americanas (USA). En dicha normativa solo se abordarán las emisiones de gases y material particulado. Estiman que la fecha en que la nueva normativa podría publicarse en el diario oficial será durante el año 2020.

Nancy Manríquez coordinará una reunión con Roberto Martínez, quién es el Jefe del Departamento de Planes y Normas temas industriales donde también se ven temas de fuentes fijas como grupos generadores de electricidad.

10.5.8 Organización: Ministerio del Medioambiente (MMA), Subsecretaria del Medio Ambiente, División de Calidad de Aire Climático

Fecha: 14 de Enero de 2020

Nombre Entrevistado: Roberto Martínez

Cargo: Jefe del Departamento de Planes y Normas

Email: RMartinez@mma.gob.cl

Web: https://mma.gob.cl/

Tipo Entrevista: Presencial

Desarrollo:

Durante el desarrollo de la entrevista participaron por parte del ME:

- María de los Ángeles Valenzuela
- Álvaro Ruiz

y por parte del Ministerio del Medio Ambiente:

- Ivonne Moreno
- Nancy Manríquez

Desarrollo

Actualmente el MMA no esta abordando ni tiene normativa relacionada al hidrógeno. Roberto Martínez señala que el MMA se concentra en la generación de normas de emisiones que son las que cualquier combustible debería cumplir. Dichas normas afectan a diferentes sectores que deben adoptarlas, y para ello usar el mejor combustible que les permita cumplirlas. Se señala que la primera motivación del MMA es reducir las emisiones.

Para el cumplimiento de lo anterior además de la normativa, han desarrollado planes de acción por sectores, los que actualmente están orientados a la Región Metropolitana, Concepción y Sur de Chile.

Dentro de la normativa que esta desarrollando el MMA destacan las de calderas, las de co-incineración e incineración, centrales termoeléctricas, fundiciones, TRS que regula a las plantas de celulosa y la de calefactores. En ninguna de ellas se aborda el hidrógeno en particular ya que están orientadas a las emisiones y en específico al control de los SO_2, NOx y material articulado.

Se señala que en algunas oportunidades se generan incentivos al uso de un determinado combustible en función de la contaminación que producen en su combustión. Lo anterior se ejemplariza con el uso de gas, el que no esta sujeto a normativas exigentes como el resto de los combustibles. Posiblemente el uso del h2 podría seguir la idea planteada anteriormente.

Por otro lado NM señala que la SOFOFA está interesada en los temas del hidrógeno y que la persona que lleva esos temas es Jorge Cáceres jcaceres@sofofa.cl. Tambien se señala que el asesor en estos temas para la SOFOFA es el Sr. Jorge Gomez

El control de las emisiones para el transporte marítimo no es competencia del MMA ya que todas las actividades marítimas son cubiertas por la DIRECTEMAR.

10.5.9 Organización: Robert Bosch S.A.

Fecha: 30 de diciembre de 2019

Nombre Entrevistado: Felipe Guerrero

Cargo: Gerente de Ventas Comercial-Industrial de la División Termotecnología

Email: Felipe.Guerrero@cl.bosch.com

Teléfono: Fijo +56 22 4055-583, Mob. +56 99 8837-480

Web: www.bosch.cl, www.bosch-climate.cl

Tipo Entrevista: Presencial

Desarrollo:

Por parte del Ministerio de Energía participó:

- María de los Ángeles Valenzuela
- Rodrigo Caro (PUC)

Por parte de la empresa Bosch participaron además:

- Felipe Ribera, Ingeniero de proyectos senior de la División Termotecnología.
- Benjamín Arancibia, Product manager Comercial-Industrial de la División Termotecnología.

Felipe Guerrero señala que la casa matriz de empresas Bosch definió comenzar a ofrecer un nuevo producto basado en calderas de uso industrial a hidrógeno. Para lo anterior durante de agosto 2019

se liberó por parte de dicha unidad de negocios de Bosch, la información para la oferta de este nuevo producto. Las calderas que funcionan con H_2 como combustible van desde una capacidad de 175 kilos de vapor hora hasta 55 toneladas de vapor hora, lo que se materializa en calderas de dimensiones desde 2 hasta 14 metros de largo aproximadamente. Se señala que las calderas que son fabricadas por Bosch tienen una eficiencia del orden de 90 a 97%. Actualmente en Rusia se encuentra funcionando una caldera con la capacidad de quemar hasta 100% de H2 pero que hoy opera al 20% de H2 ya que se encuentra en un proceso de escalamiento.

No se cuenta actualmente con información respecto de la normativa que estas calderas a H2 cumplen. Sin embargo se comprometen a averiguar y hacernos llegar dicha información en cuanto la tengan.

Bosch en Chile se encuentra en una etapa de aprendizaje y comprensión del mercado del que se está levantando la información de potenciales clientes para comenzar a ofrecer sus productos. Dado lo anterior es que están en busca de aquellas empresas que generan y usan H_2. Una de las empresas que mencionan como potencial cliente es la empresa EKA ubicada en Concepción, la que genera H_2 como producto secundario en el proceso de producción de peróxido de hidrógeno

El foco de Bosch inicialmente será solo en la oferta de calderas que funciones con H_2 como combustible y no en el resto de los equipos asociados al uso de la caldera como tanques de almacenamientos o producción de H_2. Junto a la oferta señalada anteriormente, tienen considerada la realización de una serie de eventos de difusión y capacitación de estos nuevos productos, para lo cual colaboran con JHG ingeniería entre otras empresas y organizaciones.

También se informa que la empresa Bosch en Inglaterra en su planta de la marca Worcester, desarrolló una caldera domiciliaria que permite quemar mezclas de H2 con gas natural. Al respecto no tienen claridad de una potencial oferta de esos productos en Chile, lo que será función del desarrollo del mercado del H_2.

Se recomendó a Bosch el reunir los antecedentes que se conversaron durante la reunión como normativas, características técnicas de los equipos, potenciales proyectos y acercarse a la SEC para comprender los pasos que deben seguir en este tema.

Se complementará el texto de esta entrevista con la presentación que mostró Felipe Guerrero durante la presente reunión.

10.5.10 Organización: Ministerio de Minería – División de Desarrollo Sostenible

Fecha: 07 enero de 2020

Nombre Entrevistado: Iván Cheuquelaf

Cargo: Jefe de División

Email: icheuquelaf@minmineria.cl

Teléfono: + 56 22 473 30 00

Web: http://www.minmineria.gob.cl/

Tipo Entrevista: Presencial

Desarrollo:

Por parte del Ministerio de Energía participó:

- María de los Ángeles Valenzuela

- Rodrigo Caro (PUC)

Por parte del Ministerio de Minería participaron además:

- María de la Luz Vásquez, Jefa de Unidad Ambiental, División de Desarrollo Sostenible del Ministerio de Minería

Desarrollo:

Junto a lo descrito en los próximos párrafos, en Apéndice 10.5.16 se incluye el texto oficial de la entrevista enviado por el ministerio de energía.

A la fecha de la presente entrevista el Ministerio de Minería no ha sido consultado por proyectos que estén relacionados al empleo del Hidrógeno como combustible tanto para transporte como para procesos en minería. Sin embargo, si tienen conocimiento de los dos proyectos Corfo que son el de combustión dual para camiones CAEX y el de celdas combustible para equipos mineros, los que en algún momento de su desarrollo deberían requerir de pruebas pilotos en un ambiente minero. Por el momento los proyectos antes mencionados no han tenido contacto con dicho ministerio.

En complemento a lo señalado en el párrafo anterior, María de la Luz e Iván consultarán con las otras divisiones del Ministerio de Minería y también con SERNAGEOMIN de proyectos o potenciales proyectos que estén asociados al hidrógeno como combustible ya sea en combustión, celdas combustibles, uso como agente reductor en procesos pirometalúrgicos u otros.

Respecto de la normativa que pudiese estar relacionada al hidrógeno señalan que existe el Decreto 132 que es un reglamento que regula las medidas de seguridad al interior de las faenas mineras, tiene por objetivo proteger la integridad física de los trabajadores y proteger las instalaciones presentes. En el se explicita que se deben aplicar las reglamentaciones existentes para el almacenamiento y manejo de sustancias peligrosas en el cual podría caer el hidrógeno, sin que se nombre en forma específica.

Se señaló que la COP 2029 marcó una ruta para disminuir emisiones y que posiblemente el uso del hidrógeno en algunos procesos mineros; como se está explorando en la industria del acero, podría impactar en dicha reducción.

10.5.11 Organización: Comité Solar e Innovación Energética

Fecha: 08 enero de 2020

Nombre Entrevistado: Ana María Ruz Frías

Cargo: Sub Directora de Desarrollo Tecnológico

Email: ana.ruz@corfo.cl

Teléfono: + 56 2

Web: https://www.comitesolar.cl/comite-solar/comite/

Tipo Entrevista: Presencial

Desarrollo:

Por parte del Ministerio de Energía participó:

- María de los Ángeles Valenzuela

- Rodrigo Caro (PUC)

Por parte del Comité Solar e Innovación Energética participaron además:

- Tomás Baeza Jeria

Desarrollo:

Actualmente el Comité Solar e Innovación Energética no se encuentra envuelto en proyectos relacionados al uso del hidrógeno. Sin embargo Ana María Ruz y Tomás Baeza señalan que están en conversaciones con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) por un potencial proyecto consistente en buses de transporte de personas que sean impulsados mediante energía eléctrica generada por celdas combustibles. El proyecto podría ser similar al que esta financiando el BID en Uruguay y Costa Rica.

Respecto del conocimiento que tienen de otros actores que estén o han incursionado en proyectos con hidrógeno señala que el Señor Gerard Muñoz de Metrogas (gmunoz@metrogas.cl), en su rol de profesor de un magister en economía dirigió una tesis relacionada a energía eólica e hidrógeno y temas de regulación. También señalan el potencial interés de una empresa similar a Metrogas como Gasco Magallanes en la potencial inyección de hidrógeno a la red de gas e indican como ejemplo la situación en el Reino Unido donde se inyecta entre un 10 a un 19% de hidrógeno. Otro proyecto del que tienen conocimiento se estaría desarrollando es el que está explorando la empresa Peróxidos do Brasil, una empresa conjunta entre el grupo Solvay y Productos Químicos Makay (PQM), que consiste en la construcción de una planta de peróxido de hidrógeno en el Parque Industrial de Coronel en Chile y que considera la producción de hidrógeno para dicho proceso. Al respecto señala que la información del estado de aprobación ambiental de este proyecto se encuentra disponible en la página del servicio de evaluación ambiental (SEA).

Respecto de normativas o regulaciones Ana María señala que el comité Solar no participa en estas instancias pero que considera que sería interesante y conveniente para el país el que se fomente la participación de Chile en las “ISO/TC 197 Hydrogen Technologies” donde se están desarrollando normas que tienen directa relación con el hidrógeno.

Por otro lado en términos normativas Ana María y Tomás plantean la pregunta de cómo se considerará que la normativa o regulaciones del hidrógeno puedan abordar el transporte de carga en un camión versus el transporte de personas por buses asumiendo que ambos usan celdas combustibles.

10.5.12 Organización: Antofagasta Minerals SA

Fecha: 07 enero de 2020

Nombre Entrevistado: Diego Lizana Rojas

Cargo: Gerente de Sustentabilidad

Email: dlizana@aminerals.cl

Teléfono: +562 27987056

Web: www.aminerals.cl

Tipo Entrevista: Presencial

Desarrollo:

Por parte de la PUC participaron:

- Patricio Lillo
- Rodrigo Caro de Kartzow

Desarrollo:

Diego Lizana plantea que el compromiso de AMSA es hacia la carbono neutralidad y que es de publico conocimiento el desafío de reducir en 300.000 toneladas año la huella de carbono entre el 2018 y el 2022. Para lo anterior están trabajando en diferentes campos de acción y consideran dentro de su plan de transición energética, el uso de flotas de vehículos y equipos a batería y también a hidrógeno. Nos señala AMSA está participando en las mesas de conversación que está organizando la GIZ en temas de eficiencia energética junto a las principales mineras de Chile, lo que da cuenta del interés de la empresa en estos temas.

Por otro lado, Diego nos indica que AMSA es de las mineras que más invierte en I+D en el país y que quieren avanzar en la incorporación del hidrógeno ya sea en movilidad o en procesos. Al respecto cree que la manera de introducir el H_2 en AMSA es en forma paulatina y progresiva, de manera que la aceptación del H_2 por arte de las personas obedezca a un mayor conocimiento y familiaridad de lo que implica trabajar con este tipo de gases. Dado lo anterior ve una oportunidad de incorporar el uso de H_2 en generación de calor. En este sentido, están analizando y evaluando el eliminar la generación de calor a los procesos mediante fuentes que usen Diésel y gas y, reemplazarlo por calor proveniente de energía solar. Sin embargo, de acuerdo a los cálculos actuales se requerirá generar calor mediante otras fuentes; inicialmente desde hidrocarburos, por cuando no se cubren las necesidades solo con energías renovables. En este sentido la inyección de H_2 como reemplazo de parte de estos hidrocarburos lo hace atractivo. AMSA considera el comenzar con generación de calor como un habilitador para el H_2, que permitirá incorporar el cambio por un aprendizaje paulatino y que llegado el momento podría ser escalado. No consideran que el usar H_2 en los CAEX hoy, sea una solución para AMSA dado el impacto que podría tener en la producción una falla en esos sistemas.

Plantea que la minería en particular debe cubrir la gestión del cambio en las personas en forma paralela a lo tecnológica dado la cultura minera que requiere de mayor tiempo cuando se trata de incorporar nuevas tecnologías y con mayor razón con el tema del H_2.

10.5.13 Organización: CODELCO

Fecha: 22 enero de 2020

Nombre Entrevistado: Milton Valdés

Cargo: Sub Gerente de Sustentabilidad

Email: MVald021@codelco.cl

Teléfono: + 56 9 9318 0333

Web: www.codelco.cl

Tipo Entrevista: Presencial

Desarrollo:

Por parte del Ministerio de Energía participó:

- María de los Ángeles Valenzuela
- Rodrigo Caro (PUC)

Por parte de Codelcol participaron además:

- Gonzalo Ramírez (CodelcoTech), grami018@codelcotech.cl
- Víctor Dorner, (Codelco División el Teniente), VDorner@codelco.cl
- Víctor López (Codelco, Gerencia Corporativa de Innovación), VLope005@codelco.cl
- Richard Aylwin, RAylwin@codelco.cl (Codelco Gerencia Desarrollo sustentable y Cambio Climático)

Desarrollo:

Se señala que el tema del Hidrógeno es un tema interesante pero que en el mundo minero, recién se está comenzando a mirar, al menos en Codelco, señalando como ejemplo que este tema no está incorporado en el Roadmap que desarrollo y esta llevando el proyecto de alta ley.

En particular, Víctor López (VL) plantea que actualmente; a nivel corporativo como Gerencia Corporativa de Innovación, no tienen ningún plan o proyecto donde se considere incorporar H_2 en sus procesos, sean estos de transporte o de procesos. Resalta que Codelco comenzó a trabajar en temas Electromovilidad y que partieron con vehículos a batería dado que era lo disponible en el mercado y que posiblemente les interesaría avanzar en vehículos con celdas combustible si algún OEM o empresa se acercara a conversar con ellos. Por otro lado,VD que la División El Teniente en particular, confeccionó una estrategia y Roadmap orientado a Electromovilidad, y que como tal incluye todas las tecnologías asociadas a este tema y dentro de estas el uso de celdas combustibles considerando que está siendo incorporado como un “range extended” frente a las baterías que tienen un alcance limitado y en particular mayores tiempos de carga. VD señala que encuentran interesante el abordar este y otros temas del H_2 dado que implica un cambio grande en reducción de emisiones. También señala estar dispuestos a probar estas tecnologías en pilotos lo antes posible siempre y cuando algún OEM esté dispuesto a materializar las pruebas. Como muestra del interés de la División El Teniente, VD señaló que están participando como interesados en el consorcio de la Universidad Santa María del proyecto de la Corfo para el desarrollo de un equipo minero con celdas combustibles.

Richard Aylwin (RA) señala que un tema que podría ser interesante es la mezcla de H_2 con gas para procesos que no son de transporte . Resalta que en Codelco los procesos que no son de transporte dan cuenta del 20% del consumo de combustible mientras que el 80% es debido a consumo en los camiones de las minas a rajo abierto.

Por otro lado, VD señala que en el centro logístico que la División el Teniente tiene en el olivar se concentran todos los productos que salen de Codelco hacia otros destinos como acido sulfúrico, desperdicios, etc. y ve que ahí podrían haber oportunidades para extraer dichos materiales con camiones y trenes que no funciones con hidrocarburos, como podría ser el caso de vehículos eléctricos basados en celdas combustibles. En este sentido destaca la oferta que tiempo atrás les hizo la empresa Engie para trenes con celdas combustibles.

En general, estiman que si existiera la normativa en torno al hidrógeno esta sería un catalizador para pensar en otros usos del H_2, de esa manera podrían incorporarlos en los planes de desarrollo de Codelco.

A pesar de que oficialmente declaran no tener proyectos oficiales asociados al hidrógeno señalan que consideran muy importante que Codelco pueda participar en alguna de las futuras mesas técnicas de trabajo que organizará el Ministerio de Energía en este tema.

10.5.14 Organización: Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (Minciencia)

Fecha: 02 enero de 2020

Nombre Entrevistado: Natalia Gonzalez

Cargo: Asesora

Email: ngonzalez@minciencia.gob.cl

Teléfono: +56 9 84995088

Tipo Entrevista: Presencial

Desarrollo:

Por parte del Ministerio de Energía participó:

- María de los Ángeles Valenzuela
- Benjamin Maluenda
- Rodrigo Caro (PUC)

Por parte de Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación participó además:

- Carlos Ávila, cjavila@uc.cl

Desarrollo:

Natalia González señala que en el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación formaron un equipo de trabajo denominado “Equipo Futuro” y que a través de él, participan en el “Comité de Hidrógeno”, en el que están comenzado a avanzar en esos temas junto al Ministerio de Energía, pero que actualmente no tienen otra participación asociada al hidrógeno.

Por otro lado, señala que dentro del Minciencia, la Comisión Nacional de Investigación en Ciencia y Tecnología (CONICyT) es la agencia ejecutora. Actualmente y dado la reciente creación del Micienca, no han trabajado con dicho organismo en temas asociados al hidrógeno. Natalia señala que le consultarán a CONICyT por aquellos proyectos relacionados al hidrógeno y que estén siendo financiados por dicho organismo.

En relación a otros potenciales proyectos relacionados al hidrógeno, Natalia González señala que a partir del 01 de enero del 2020 la Gerencia de Capacidades Tecnológicas de Corfo, pasará a ser parte del Minciencia y que recién están comenzando a avanzar en dicha transición. Dicha organización actualmente lleva adelante proyectos de hidrógeno como el de combustión dual y celdas combustibles para vehículos mineros.

10.5.15 Organización: Ministerio de Relaciones Exteriores, Dirección de Energía, Ciencia y Tecnología e Innovación (DECYTI)

Fecha: 14 enero de 2020

Nombre Entrevistado: Héctor García

Cargo: Subdirector de Energía, Innovación y Planes Estratégicos

Email: hgarcia@minrel.gob.cl

Tipo Entrevista: Presencial

Desarrollo:

Por parte del Ministerio de Energía participó:

- María de los Ángeles Valenzuela
- Rodrigo Caro (PUC)

Desarrollo:

Héctor señala que en la DECYTI ven los alcances políticos y no comerciales de las actividades o relaciones internacionales en temas de ciencia y tecnología y que los aspectos comerciales se abordan en la División de Comercio y Desarrollo Sustentable.

Se plantea que la cancillería ha seguido el tema del H_2 a nivel nacional e internacional por cuanto uno de los pilares estratégicos es asegurar el abastecimiento de energía del país a través de todos los vectores energéticos. Este grupo se creo a raíz del corte del abastecimiento de gas desde argentina el año 2009 y se abordo como tema estratégico por cuanto afectaba a la imagen país frente a la comunidad internacional. Hoy la cancillería ha expandido su accionar de apoyo hacia todas las áreas que están relacionadas a la energía en chile tales como la CNE, CHEN. ENAP, etc. Con énfasis en los planes y proyectos de alcance internacional. También señala que la cooperación con el Ministerio de Energía es permanente y fluida. En este sentido, la Cancillería tiene financiamiento para los PAEE (Proyectos de actividad específica en el extranjero) y el otro para la materialización de reuniones internacionales en Chile como será el caso de la "Misión Innovation "en junio. Para poder apoyar las acciones de los ministerios ellos requieren de una petición de los ministerios ya que eso los habilita para actuar. Al respecto señala uno de los posibles apoyos sería incorporar el contexto internacional de la política o estrategia del H_2 en la política para que la cancillería participe. Como ejemplo indica que loca como ejemplo la "Política de Energía" está considerada claramente en el contexto de la política exterior. Como un ejemplo del interés de la cancillería en el tema, señala que en septiembre del 2019, la cancillería organizó internamente una conferencia del H_2 donde se les explico a los directores de cancillería en que esta el mundo y Chile en este ámbito.

En el ámbito político como imagen país, estima que es muy atractivo para que Chile lo use como estrategia para la venta de sus productos y del H_2 mismo. En los temas en general que lleva la Corfo, la cancillería está preparando acciones para que la comunidad internacional sepa en que esta Chile de manera de articular y facilitar en el extranjero lo que los ministerios propongan. Por otro lado, señala que Chile participa en varias mesas de trabajo como parte de los TLC a los que esta suscrito, pero que sin embargo no participa en ninguna de las que está relacionadas al hidrógeno y que esto podría cambiar si es de interés del Ministerio de Energía. Finalmente, señala que la Cancillería podría incorporar en las comisiones mixtas al Ministerio de Energía en temas de H_2 que podrían ser en los temas de ciencia e interconexión energética.

10.5.16 Organización: SUBREI, División de Comercio y Desarrollo Sustentable

Fecha: 02 enero de 2020

Nombre Entrevistado: Pablo Romero Zurbuchen

Cargo: Asesor Legal

Email: paromero@direcon.gob.cl

Teléfono: + 56 2 22827 54095

Web: www.subrei.gob.cl

Tipo Entrevista: Presencial

Desarrollo:

Por parte del Ministerio de Energía participó:

- María de los Ángeles Valenzuela
- Rodrigo Caro (PUC)

Por parte de la SUBREI participaron además:

- Gigliola Di Giammarino, asesora

Desarrollo:

Pablo Romero señala el interés de la SUBREI en el apoyo y desarrollo del comercio sustentable y sus impactos, por ejemplo temas relacionados a inversiones en la industria del gas, temas de medioambiente como el del cambio climático en el que participan en foros de la OMI y la OACI. También están interesados en apoyar aquellas exportaciones para que rebajen sus huellas de carbono y temas relacionados a estandarizaciones, negociaciones, normativa y políticas públicas entre otros.

Respecto del hidrógeno, se señala que se podría crear la diplomacia del hidrógeno para potenciar la participación de Chile como uno de los principales productores mundiales. Hoy el Ministerio de relaciones exteriores no tienen establecido oficialmente alguna línea en dicho sentido y señala a que están atentos a que desde el Ministerio de Energía les llegue alguna solicitud para avanzar en esos temas.

Dentro del Ministerio de Relaciones Exteriores existen otras organizaciones que podrían estar también interesados en temas de hidrógeno como la Dirección de Energía, Ciencia, Tecnología e Innovación (DECyTI) en donde ven aspectos de tecnología desde la perspectiva de políticas de toma de decisiones y negociaciones. Al respecto recomienda tomar contacto Héctor García en el email: hgarcia@minrel.cob.cl o en el teléfono +56 2 2 827 4968. La DECYTI el año pasado organizó en conjunto con el Comité Solar un seminario del hidrógeno. También la Dirección de Medioambiente y Asuntos Oceánicos (DIMA), quienes llevan las negociaciones de cambio climático.

En los TLCs a los que Chile está suscrito, existen marcos de cooperación en temas de energía en donde países como Japón tienen capítulos relacionados al hidrógeno. La APEC tiene un grupo de cooperación donde desarrollan proyectos en esos temas. En uno de ellos Japón presentó el proyecto AHEAD que tiene relación con la importación de hidrógeno gris desde Australia y/o posiblemente desde Brunei. Señala por ejemplo, que el año 2018 el grupo de energía en Nueva Zelandia presentó un tema respecto de la experiencia del uso del hidrógeno en el transporte. Señala que será necesario analizar dentro de los TLCs a los que Chile está suscrito, cual es la condición de gravámenes del hidrógeno y el impacto que esto podría tener en potenciales exportaciones.

Respecto de posibles empresas extranjeras interesadas en desarrollar temas de hidrógeno en el país señala que a la fecha no tiene conocimiento de que alguna haya tomado contacto con el ministerio de Relaciones Exteriores. Tampoco respecto de empresas Chilenas que pretendan abordar el negocio de las exportaciones, indicando que posiblemente ese acercamiento podría haber sido con ProChile.

En relación a países Sud Americanos señala que no se ha visto hasta hoy que alguno esté potenciando temas de hidrógeno. Sin embargo, en temas relacionados a biocombustibles ha sido notoria

la participación de Brasil en diferentes foros. Por otro lado en estos temas hoy no existe acercamiento de los países sudamericanos respecto del hidrógeno. Al respecto Pablo Romero señala que solicitarán a las embajadas de Chile en la región que realicen las gestiones para evaluar el interés por demanda y/o oferta de hidrógeno verde.

Desde la perspectiva del transporte marítimo señala los esfuerzos a nivel internacional de que los buques de carga empleen combustibles más limpios. Aquí ve un potencial de desarrollo para el hidrógeno verde.

En transporte aéreo señala que se está pensado en combustibles sintéticos de captura y secuestro de carbono que daría origen a un combustible carbono neutral y que se ve que en esa área hay un potencial interesante de desarrollo.

En los temas de los párrafos precedentes Pablo Romero remitirá los links de algunas referencias y documentos de los que se conversó durante la reunión tales como:

- EDF - *Sailing on solar* (link)
- EDF – Electrofuels for Shipping (Chile, link)
- METI - Formulation of a New Strategic Roadmap for Hydrogen and Fuel Cells, (Link)
- OECD – Production Transformation: Policy Review of Chile, (Documento)

Otro tema que puede ser de interés para la comunidad internacional es el de la trazabilidad de los procesos y las materias primas que se usan para el desarrollo de nuevos combustibles lo que abarcaría el hidrógeno.

10.5.17 Organización: Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Departamento Marítimo, Fluvial y Lacustre

Fecha: 03 enero de 2020

Nombre Entrevistado: Gonzalo Frigerio

Cargo: Coordinador

Email: gfrigerio@mtt.gob.cl

Teléfono: +56 2 24213365

Web: www.mtt.cl

Tipo Entrevista: Presencial

Desarrollo:

Por parte del Ministerio de Energía participó:

- María de los Ángeles Valenzuela
- Rodrigo Caro (PUC)

Desarrollo:

Gonzalo Frigerio indica que actualmente no se está analizando el tema del hidrógeno por parte del Ministerio de Transporte en temas de transporte marítimo o en transporte de carga ferroviaria o camiones. Sin embargo, consultará con la División de Normas y Operaciones del Ministerio de Transporte por si ellos estuvieran analizando algo en relación posiblemente a las Celdas Combustibles.

Respecto de normativa en transporte marítimo en Chile se aplican las normas de la Organización Marítima Internacional (OMI), dado que nuestro país está suscrito a todos los convenios existentes y ellos se aplican a la marina mercante chilena en forma espejo a dicha normativa internacional. Gonzalo revisará si existe alguna normativa nacional que aplique al hidrógeno para el transporte marítimo.

Gonzalo señala que los operadores navieros están avanzando en temas de motores eléctricos, señalando como ejemplo al grupo MAERSK, que ha declarado ser cero emisiones al 2050. Sin embargo, en temas de uso de hidrógeno en particular, para la propulsión de buques mercantes no hay declaraciones de intención conocidas.

En otros aspectos señala que Mauricio Funes, está asesorando a la Ministra Hutt en electromovilidad y que consultará respecto de temas de hidrógeno.

Se incorpora a la entrevista la información entregada por Gonzalo Frigerio con fecha posterior a ella:

Buques para el transporte de hidrógeno

https://ecoinventos.com/primer-buque-transporte-hidrogeno-liquido/

Clasificación gases

https://www.es.dsv.com/air-freight/mercancias-peligrosas/9-clases-mercancias-peligrosas/clase-2-gases

Manipulación de hidrógeno en recintos portuarios

https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=60403

Clasificación OMI del hidrógeno

https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/unrec/rev13/Spanish/03b_DGL%20Rev13sp.pdf

10.5.18 Organización: Siemens

Fecha: 07 enero de 2020

Nombre Entrevistado: Philipp Bezler

Cargo: Gerente de Negocios

Email: philipp.bezler@siemens.com

Teléfono: + 56 9 5197 7874

Web: www.

Tipo Entrevista: Presencial (videoconferencia)

Desarrollo:

Por parte del Ministerio de Energía participó:

- María de los Ángeles Valenzuela
- Rodrigo Caro (PUC)

Desarrollo:

Philipp Bezler señala que el Siemens actualmente está fabricando a nivel mundial diferentes tipos de electrolizadores tanto alcalinos como PEM. Al respecto Siemens tiene diferentes desarrollos de electrolizadores para diferentes tamaños de producción, resaltando la familia de electrolizadores denominados SILYZER serie 200 y 300 capaces de producir entre 100 a 2000 kg de hidrógeno por hora. Por otro lado, señala que Siemens está desarrollando turbinas para combustión dual (hidrocarburos gaseosos e hidrógeno) capaces de quemar hasta un 100 % de hidrógeno y que actualmente se encuentra en operación habiendo alcanzado en pruebas hasta un 34% de hidrógeno. El objetivo que se ha planteado Siemens es que al 2030 tanto las nuevas turbinas como las transformadas podrán quemar 100% hidrógeno minimizando la producción de NOx.

Respecto de proyectos en Chile Philipp señala que son parte de un consorcio en el que participarán con sistemas de electrolizadores y el equipamiento eléctrico para un proyecto en el sur de Chile pero que desgraciadamente existen acuerdos de confidencialidad de la información por lo que no puede compartir información.

Por otro lado, Philipp aborda el tema de los derivados del hidrógeno verde para la generación de combustibles sintéticos. Al respecto señala que en Chile existe carencia de una regulación y que sería conveniente avanzar en ella dado que hay una fuerte tendencia a avanzar en esta dirección.

10.5.19 Organización: Consultora Independiente en Temas de Hidrógeno

Fecha: 30 de diciembre de 2019

Nombre Entrevistado: Karin Von Osten

Cargo: Consultor

Email: karin.vonosten@gmail.com

Teléfono: +569 77681804

Tipo Entrevista: Presencial

Desarrollo:

Por parte del Ministerio de Energía participó:

- Rodrigo Caro (PUC)

Karin Von Osten actualmente está trabajando como consultor independiente en temas de ingeniería y en particular relacionados al Hidrógeno. Dentro de los proyectos en los que trabaja existen dos de ellos que son financiados por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y que están orientados a proyectos de investigación para la producción de H_2. Por motivos de confidencialidad de la información y estado de la postulación no puede entregar mayores detalles. Sin embargo en el proyecto participan diferentes empresas y universidades las que en conjunto y mediante un consorcio están postulando a los fondos del BID.

En paralelo a su rol de consultor independiente, Karin es miembro de H_2 Chile y dentro de esa organización se encuentra trabajando en temas relacionados al análisis de la normativa técnica regulatoria existente en el país. Como tal, el objetivo que se busca entre otros aspectos es generar una instancia para que las empresas privadas que están o tienen la intención de trabajar con H_2; en las diferentes etapas de la cadena del valor, puedan contar con una normativa técnica. Dicha normativa técnica se podría trabajar con el Instituto nacional de normalización (INN) o también con otros organismos técnicos del estado como podría ser el caso del Ministerio de Energía.

Karin señala que durante el seminario organizado por el Colegio de Ingenieros de Chile denominado "El Significado del Hidrógeno Verde para Chile", le correspondió ser uno de los expositores con el tema denominado "Hidrógeno y Regulaciones" en el que presentó una breve análisis del estado de las regulaciones vigentes en torno al H2 y los desafíos que esto trae.

10.5.20 Organización: Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Subsecretaría de Transporte, División de Normas y Operaciones

Fecha: 01 abril de 2020

Nombre Entrevistado: Andrés Portales

Cargo: Profesional de la División de Normas y Operaciones, Subsecretaría de Transportes

Email: aportale@mtt.gob.cl

Web: www.mtt.cl

Tipo Entrevista: Presencial video conferencia

Desarrollo:

Por parte del Ministerio de Energía participó:

- María de los Ángeles Valenzuela
- Álvaro Ruiz
- Juan de Dios Rivera (PUC)
- Rodrigo Caro (PUC)

Desarrollo:

Andrés señala que fue designado como representante titular para integrar reuniones de Punto Focal para estudio de propuesta de estrategia Regulatoria del Hidrógeno para Chile . En tal condición, ha sido entrevistado e indica que la ley faculta al Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT) para establecer las características técnicas de construcción, dimensiones y condiciones de seguridad, comodidad, presentación y mantenimiento para todo tipo de vehículos que circulen por los caminos y demás vías públicas o particulares destinados al uso público, de todo el territorio de la República.. La definición anterior no contempla los vehículos denominados fuera de ruta. La definición anterior, implica que la fijación de normas de emisión y su control, para maquinaria automotriz y vehículos fuera de ruta es facultad del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) y eventualmente de otros organismos. Asimismo, hace llegar una nómina acotada de documentos que son los que regulan la acción del MTT en relación con los vehículos y sus normas de emisión:

- El Decreto Ley N° 557, de 1974, www.leychile.cl/N?i=6193&f=1981-11-08&p=
- Decreto con Fuerza de Ley N° 343 de 1953, www.leychile.cl/N?i=5479&f=1962-01-05&p=
- Decreto con Fuerza de Ley N° 279 de 1960; www.leychile.cl/N?i=5295&f=1964-05-16&p=
- Ley N° 18059, www.leychile.cl/N?i=29486&f=1981-11-07&p=
- DFL N° 1, de 2007, de los Ministerios de Justicia y Transportes y Telecomunicaciones,
- www.leychile.cl/N?i=1007469&f=2020-02-29&p=
- Decretos N° 211 de 1991, MTT, www.leychile.cl/N?i=11031&f=2019-03-21&p=
- Decreto N°54 de 1994, MTT, www.leychile.cl/N?i=8349&f=2019-03-21&p=
- Decreto N° 55 de 1994, MTT, www.leychile.cl/N?i=8364&f=2012-05-16&p=
- Decreto N° 4 de 1994, MTT; www.leychile.cl/N?i=7307&f=2018-09-15&p=
- Decreto N° 156 de 1990, MTT; www.leychile.cl/N?i=10183&f=2019-01-10&p=
- Decreto N° 145 de 2017, MTT; www.leychile.cl/N?i=1125120&f=2019-11-13&p=

Respecto a la normativa de seguridad que deben cumplir los vehículos que son homologados y que circulan por las calles, caminos y carreteras, en el artículo 62 del DFL1 del 2007, se designa al MTT como responsable de definir dicha normativa y su control. Señala que la fijación de normas de emisión y fiscalización de su cumplimiento son facultad del MMA, pero que ambos Ministerios actúan coordinadamente para que en la homologación los vehículos cumplan tanto con las normativas de seguridad como la de emisiones, lo mismo que en la revisión técnica de los mismos.

Por otro lado, señala que a la fecha él no ha recibido ninguna consulta respecto de potenciales proyectos de vehículos que empleen el hidrógeno como fuente de energía, ni tampoco solicitudes de permisos para pilotos, ni de patrocinio. También nos indica que no tiene conocimiento que a la fecha el MTT haya desarrollado algún estudio respecto del impacto en la reglamentación actual por la incorporación del hidrógeno como combustible. Manifestando que posiblemente cuando esto ocurra, el MTT deberá estudiar los antecedentes sobre la materia y si corresponde ordenar la modificación de la reglamentación vigente o generar una nueva, como ocurrió, por ejemplo, en el caso de los vehículos eléctricos con el Decreto 145 de 2017. También destaca que en dicho Decreto se definen los tipos de vehículos eléctricos y que en el artículo 1 letra e) se definen el vehículo con celdas combustibles como: “aquel vehículo eléctrico liviano o mediano, con una pila de combustible y una máquina eléctrica como convertidores de la energía de propulsión”.

Por otro lado señala que a través del Centro de Control y Certificación Vehicular (3CV) se realiza la homologación de los vehículos y que también dicho Centro de Control y Certificación Vehicular (3CV) ha colaborado en la realización de pruebas pilotos, guiando a sus realizadores y efectuando algunas pruebas de emisiones, combustibles y otras; plantea además, que las experiencias generalmente se han solicitado por periodos de seis meses. Además, señala que existen algunas facultades en el MTT para autorizar proyectos experimentales en el caso del uso de gas licuado o gas natural como combustible en vehículos pesados, no existiendo para hidrogeno.

Finalmente, Andrés plantea la necesidad de conocer en forma oficial el proyecto del MEN que se está desarrollando en torno al hidrógeno para ponerlo a disposición de las autoridades del MTT para su análisis y si corresponde, ordena las modificaciones legales y reglamentarias que ello amerite. María de los Ángeles Valenzuela (MAV) describe los pasos que se seguirán y que oficialmente el MTT fue informado vía oficio del inicio del proyecto y que esta reunión se enmarca dentro del alcance de lo que se planteó en él. También MAV informa de las acciones estimadas que vendrán luego de que se termine este proyecto cuya fecha de término es el 08 de Abril del presente año, esto en el momento que se conformen las mesas de trabajo para el desarrollo de la normativa, se les invitará a participar formalmente vía oficio.

10.6 Empresas y Proyectos de Producción de Hidrógeno en Chile

10.6.1 Linde Gas Chile S.A

El objetivo de la empresa Linde[45] es la producción de H_2 para suplir la demanda de la refinería Aconcagua de ENAP y de clientes externos mediante la venta de H2 en Cilindros o grandes tubos a alta presión. La Producción alcanza a 4.200 kg/h de hidrógeno (46.700 Nm3/h) a 21 bar y 30 °C. para la demanda de ENAP y de 4.500 kg/mes (50.000 Nm3) para ser distribuido a través de camiones para clientes externos. El proceso de producción es a partir del reformado

[45] Antecedentes 3 y Vásquez, R., & Salinas, F. (2018). *Tecnologías del hidrógeno y perspectivas para Chile.* Santiago, Chile: GIZ GmbH

de metano con vapor y declaran tener una eficiencia térmica de 85 % . La inversión para la producción de H_2 fue de US$ 70 MM y la modalidad de venta a la refinería Aconcagua de ENAP es a través de un modelo OTF (Over the Fence).

10.6.2 Refinería Bio Bio

La refinería Bío Bío[46] de ENAP cuenta con dos plantas generadoras de H_2 con una capacidad de producción en su planta más moderna de 25.000 Nm3/h y de 6000 NM3/ en la otra, la que funciona en forma intermitente. La producción de H_2 es en su totalidad para la satisfacción del consumo interno de la refinería en su planta ubicada en Huallepén. El proceso de producción de H_2 es a través del reformado de gas Metano con vapor. La inversión que se realizo fue del orden de los US$ 32 MM.

10.6.3 INDURA SA

El objetivo de la producción de H_2 de la empresa Indura (Air Products) es satisfacer la demanda de H_2 de la empresa de Vidrios Lirquen en la localidad de Lirquén. La planta tiene una capacidad de 200 Nm2/h de producción de H_2 mediante el proceso de electrólisis.

Por otro lado, la empresa Indura tiene una planta de producción de H_2 en la localidad de Graneros para la empresa ASU INDURA la que comercializa el H_2 en cilindros. El proceso de producción es a partir de electrólisis.

https://www.indura.cl/web/cl

10.6.4 Empresas Melón

Empresa Melón [47]está llevando adelante un proyecto que busca reemplazar el gas natural que se emplea para el secado de materia prima o puzolana para el proceso de fabricación de cemento. Las cantidades de materia prima a secar son del orden de 800.000 toneladas al año y de aproximadamente 500.00 toneladas al año de puzolana. El secado se realiza actualmente mediante quemadores alimentados con gas natural y se realiza en el molino de crudo a en el proceso anterior al molido. Actualmente se encuentran en búsqueda de una tecnología de producción y suministro en planta de H_2. Para lo que se encuentran en la búsqueda de electrolizadores ya sea de tecnología PEM o alcalino. La incorporación del electrolizador a las operaciones será en función de la disponibilidad de la tecnología que pueda producir H_2 a un precio competitivo con el gas natural tomando las consideraciones de la reducción de emisiones que implica el cambia de gas natural a H_2. A la fecha la empresa Melón, ha sostenido reuniones con la SEC siendo la última con fecha 05 de Junio del 2019.

El proyecto considera producción y uso del H_2.

10.6.5 Empresa Engie y Empresa Logística

Empresa Engie[48] junto a una empresa Logística, ingresaron oficialmente con fecha 03 de diciembre de 2019 a la SEC, el proyecto denominado “Generación de Hidrógeno como combustible en grúas horquillas. El proyecto consiste en la instalación de una planta de producción

[46] Documento de Antecedentes 3 y Vásquez, R., & Salinas, F. (2018). *Tecnologías del hidrógeno y perspectivas para Chile.* Santiago, Chile: GIZ GmbH

[47] SEC y entrevista Nicolás Peña, Subgerente Innovación empresas Melón

[48] SEC y entrevista a Koen Langi, Jefe proyecto H2 para minería de empresas Engie

de hidrógeno que incluye equipos de compresión, almacenamiento, distribución y estación de carga de hidrógeno a grúas montacargas, las cuales estarán equipadas con celdas de combustibles. Para operar en los centros de distribución el proyecto considera producción, almacenamiento, carguío y uso del H_2.

10.6.6 AquaChile – BHP Chile

La empresa AquaChile[49] – BHP Chile inició conversaciones con la SEC, siendo la última instancia la de fecha 09 de agosto de 2019. Se planteó el proyecto denominado "Sistema de generación de vapor en base a Hidrógeno". El proyecto consiste en la producción de hidrógeno mediante electrólisis, el que se almacenará en un tanque para equilibrar presiones y posteriormente se suministrará a calderas existentes; las que actualmente operan con Diésel, para su combustión y proceso de generación de vapor. La información técnica que tienen dichas empresas se basa en plantas que operan actualmente en Perú.

El proyecto considera producción y uso del H_2.

10.6.7 ENEL/EPS

De acuerdo al documento de Antecedentes 1 "Propuesta de estrategia para el Desarrollo del Mercado de Hidrógeno Verde en Chile" la empresa ENEL/EPS el año 2017 construyó en el sector de cerro pabellón, a través de Electro Power Systems una plata de producción de H_2 basada en el proceso de electrólisis. Se desconoce la capacidad de producción. Sin embargo se trata de una instalación híbrida, desarrollada por Enel con el apoyo tecnológico de Electro Power Systems (EPS), que comprende una instalación solar fotovoltaica de 125 kW combinada, con un sistema de almacenamiento de energía basado en hidrógeno y en baterías de litio, que suman una capacidad de almacenamiento total de más de 580 kWh y garantizan el suministro de energía por más de 24 horas (la-primera-microrred-de-solar-almacenamiento-plug-and-play-del-mundo-esta-en-chile).

10.6.8 Nestlé

De acuerdo al documento de Antecedentes 1 "Propuesta de estrategia para el Desarrollo del Mercado de Hidrógeno Verde en Chile" la empresa Nestlé produce H_2 mediante electrólisis para el proceso de hidrogenación de aceites. Se desconoce la capacidad de producción.

10.6.9 ENAP:

Durante los próximos meses entrará en operación el parque eólico Vientos Patagónicos de ENAP en las cercanías de Punta Arenas. Es un parque de aproximadamente 11 MW. Dado que la demanda máxima del sistema mediano de Magallanes (operado por la empresa Edelmag) es de aproximadamente entre 40-45 MW, se espera que el parque sufra vertimientos controlados por el operador de la red para mantener condiciones de seguridad.

ENAP[50] está pensando estudiar un proyecto de síntesis de metano verde. El proyecto consistiría en la producción de hidrógeno verde usando los vertimientos del parque eólico (se piensa en una potencia disponible de alrededor de 2, 3 o 4 MW máximo), para luego mezclarlo con CO_2 capturado

[49] SEC

[50] Información proporcionada por Benjamín Maluenda del Ministerio de Energía

del ambiente o de algún proceso industrial para obtener CH_4. Este metano sería inyectado en el suministro de gas natural que ENAP ya provee a la ciudad de Punta Arenas.

10.7 Proyectos y Operaciones de Usos del Hidrógeno en Chile

10.7.1 Empresa ALSET

La empresa ALSET lidera un consorcio formado las Universidades Universidad de Santiago De Chile, la Pontificia Universidad Católica de Chile, la empresa Acciona, las empresas mineras Anglo American Sur S.A., Compañía Minera Del Pacífico S.A. y BHP, la empresa Ntt Data Institute Of Management Consulting,Inc. Y la empresa ENGIE CHILE S.A. El objetivo del proyecto es materializar un piloto para el uso del Hidrógeno en combustión dual para camiones de grandes tonelajes en la minería. Dicho consorcio es financiado a través del Proyecto Corfo 18PTECHD-89484 el que considera un financiamiento de $ 3.500.000.000. https://www.corfo.cl

10.7.2 Universidad Técnica Federico Santa María

La universidad Técnica Federico Santa María (USM) lidera un consorcio de Electromovilidad minera mediante celdas combustibles. Dicho consorcio está integrado por la Agencia Chilena De Eficiencia Energética , el Instituto Fundación Fraunhofer Chile Research, el Centro Nacional De Hidrógeno, la Fundación Hidrógeno Aragón y la empresa Linde Gas Chile S.A. El objetivo del consorcio es transformar un vehículo de proceso minero de diésel a eléctrico, empleando celdas combustibles a H_2 para la generación de electricidad. También tiene como objetivos la disminución de emisiones de CO_2 en minería, al reemplazar diésel por hidrógeno, apoyar a la minería en la producción de cobre verde, impulsar la penetración de nuevas fuentes de energía en la industria minera nacional (Hidrógeno) y desarrollar capacidades y tecnologías necesarias para potenciar la Electromovilidad en Chile. Este consorcio es financiado a través del proyecto Corfo 18PTECC-89477 por un total de CLP 650.000.000.

https://www.corfo.cl

10.7.3 Empresas Green Technology Ltda. – AquaFire

Las empresas Green Technology Ltda. y AquaFire ingresaron a la SEC con fecha 02 de agosto del 2019 el proyecto denominado “Sistema de Calefacción en base a Hidrógeno Limpio” el que se está ejecutando como parte de un proyecto CORFO. El proyecto busca la comercialización de artefactos destinados a calefacción por combustión de “gas Brown” (mezcla de Hidrógeno con Oxígeno) obtenido mediante electrólisis

10.7.4 Empresa INDURA y NOKIA

La empresa Indura[51], en conjunto con la empresa NOKIA Siemens Network Chile Ltda, ingresaron oficialmente a la SEC con fecha 23 de diciembre del 2019 el proyecto denominado “Sistema de Respaldo en base a Celdas Combustible de Hidrógeno para sitios de Telecomunicaciones”. El proyecto consiste en la instalación de gabinetes para proveer de energía eléctrica de respaldo a sistemas de telecomunicaciones (antenas de celulares), mediante celdas de combustible en base a hidrógeno gaseoso.

[51] SEC

10.8 Grupos de Interés en Chile

10.8.1 Asociación Chilena del Hidrógeno

La Asociación Chilena del Hidrógeno, H_2 Chile, es una asociación gremial normada por la ley chilena N° 2757 y registrada con el N°4742 en el Registro de Asociaciones Gremiales del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. H_2 Chile fue fundada el 9 de Enero del 2018 por 28 personas naturales representando al sector privado, público y académico. Actualmente H_2 Chile está formado por 39 socios profesionales

El Objetivo de H_2 Chile, es fomentar el desarrollo del Hidrógeno como vector energético sustentable, promoviendo su investigación, desarrollo y utilización en aplicaciones industriales, comerciales, residenciales y de movilidad.

Como Misión se declara el acelerar la transición hacia la economía del hidrógeno en Chile y como Visión establecer la sociedad del hidrógeno en Chile y posicionar al país como líder mundial en producción y exportación de Hidrógeno Verde y el desarrollo del Hidrógeno como vector energético sustentable.

https://www.h2chile.cl/h2-chile

10.8.2 Colegio de Ingenieros, Comisión de Energía

El Colegio de Ingenieros de Chile A.G., a través de la Comisión de Energía, cuyo Presidente es el Dr.-Ing. Erwin Plett Krüger, aborda todos los temas relacionados a la generación y el uso de los diferentes tipos de energía. En particular en el último año ha impulsado el profundizar en los temas de energía asociados al Hidrógeno

El Colegio de Ingenieros de Chile, es una de las entidades con más larga trayectoria en el rubro energético, está empeñada en promover las energías limpias través del vector energético hidrógeno, generando instancias abiertas de discusión y potenciar la economía del H_2.

10.8.3 Club de la Innovación

Promover las energías limpias través del vector energético hidrógeno, generando instancias abiertas de discusión. potenciar la economía del H_2. Impulsar que el Estado genere instancias de colaboración para facilitar la elaboración de legislación, reglamentación y estándares técnicos en temas asociados al hidrógeno para impulsar la materialización de proyectos.

10.8.4 Universidades y Centros de Investigación

También se identificaron las actividades de universidades o centros de investigación en términos de: investigación, desarrollo de tecnología, inversión, y enfoque ambiental, entre otros.

Desde la perspectiva de la investigación, diferentes universidades del país realizan actividades sobre sistemas y métodos de producción, nuevos materiales de usos con H_2, optimización de procesos y almacenamiento. ellas son las siguientes:

- Universidad Técnica Federico Santa María, USM
- Universidad de Chile, UC
- Pontificia Universidad Católica de Chile, PUC

- Universidad Católica de Valparaíso, UCV
- Universidad de Santiago de Chile, USACH
- Universidad Andrés Bello, UAB
- Universidad de la Frontera, UFRO
- Universidad de Concepción. UdeC

10.9 Selección de Países Sudamericanos

Las bases de la propuesta señalaban que hay que considerar a Argentina y Uruguay como países preseleccionados. Para seleccionar los otros dos países se definieron los siguientes seis criterios:

1. Nivel de desarrollo de la regulación del hidrógeno
2. Producción actual de hidrógeno
3. Proyectos de hidrógeno declarados
4. Desarrollo de la electromovilidad
5. Potencial de integración con Chile para el comercio del hidrógeno
6. Capacidad de desarrollo de la producción de hidrógeno

Estos criterios se plasmaron en una matriz y se evaluaron mediante el método jerárquico analítico en función de ponderadores que, junto a los criterios, fueron acordados con el Ministerio de Energía. La matriz de evaluación se resume en la

Tabla 27 y los detalles del cálculo se pueden ver Apéndice Nº 10.9 en el archivo Excel Matriz Evaluación Países Ver 3.xlsx, que complementa este informe. El puntaje asignado por criterio a cada país se hizo en forma estimativa, en conjunto con la Contraparte Técnica, sobre la base de la información presentada en el Apéndice 10.10. Se observa que los dos países con mayor puntaje son Brasil y Perú.

Tabla 27 Matriz de selección de los dos países sudamericanos adicionales

	Criterio	Ponderación	Bolivia	Brasil	Colombia	Ecuador	Guyana	Guyana Fr.	Paraguay	Peru	Venezuela	Surinam
1	Nivel de desarrollo de regulación	25%	0,00	25,00	0,00	0,00	0,00	25,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	Producción actual de H2 en el país.	20%	20,00	20,00	20,00	0,00	0,00	4,00	10,00	20,00	20,00	0,00
3	Proyectos de H2 declarados	15%	0,00	15,00	0,00	3,00	0,00	5,70	5,70	2,40	0,60	0,00

4	Desarrollo de la electromovilidad	5%	1,00	5,00	5,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00
5	Potencial integración con Chile para comercio de H2	20%	13,50	7,50	5,00	4,00	0,00	0,40	3,50	13,50	2,00	0,00
6	Capacidad de desarrollo de producción de H2	5%	1,00	5,00	2,50	2,50	0,00	2,50	2,50	5,00	5,00	1,00
	Total ponderaciones	100%	35,50	77,50	32,50	10,50	0,00	38,60	22,70	41,90	27,60	1,00

10.10 El Hidrógeno en Sudamérica

Sudamérica está formada por trece países soberanos, Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Guyana, Paraguay, Perú, Surinam, Uruguay y Venezuela, incluyendo la Guayana Francesa (América del Sur, s.f.) (Índice de Países, s.f.). Excluyendo a Chile, Argentina y Uruguay, quedan diez países de donde escoger los dos restantes que necesitamos. Para esto buscamos en Google usando las palabras clave “hidrógeno en ...” y “hydrogen in …”, donde usamos el nombre de cada uno de estos diez países en lugar de los puntos suspensivos. También los resultados fueron filtrados por fecha (último año) y país; en el último caso, se filtró por el país en el que se buscaban desarrollos energéticos del hidrógeno. Si bien esta búsqueda puede omitir información sobre acciones y políticas de gobierno que no hayan tenido suficiente difusión pública, estimamos que esta deficiencia no es relevante. En efecto, los países con mayor desarrollo del hidrógeno, como Brasil y Argentina, presentan gran cantidad de noticias sobre el tema. A continuación resumimos los resultados de la búsqueda.

10.10.1 Argentina

Argentina es un país destacado en Sudamérica en el desarrollo del hidrógeno como combustible. Los primeros estudios sobre el H_2 como vector energético se iniciaron en la década de 1980. En 2005 se creó un programa oficial para el financiamiento de proyectos de investigación en la producción, purificación y aplicaciones del H_2 como combustible, participando alrededor de 120 investigadores. Varias universidades y centros de investigación realizan actualmente una amplia variedad de investigaciones básicas y aplicadas, con énfasis en la producción y usos finales del hidrógeno. El centro emblemático es la Planta Experimental de Hidrógeno de Pico Truncado, en el extremo sur del país, que genera hidrógeno a partir de energía eólica. Esta planta fue concebida como una escuela/fábrica, con un módulo destinado a la capacitación teórico-práctica, y otro destinado a la producción, almacenamiento, laboratorio, taller y ensayos de prototipos (Hidrógeno 101 en el contexto latinoamericano, 2013). En el ámbito legislativo, en agosto de 2006 el Congreso de la Nación Argentina aprobó la ley 26.123 sobre “Régimen para el desarrollo de la tecnología, producción, uso y aplicaciones del hidrógeno como combustible y vector de energía”, con el propósito de promover la investigación, el desarrollo, la producción y la utilización del H_2 como combustible, y estimular el desarrollo de una industria del hidrógeno (Promoción del hidrógeno, 2006).

A fines de 2019, Argentina y Japón suscribieron un Memorándum de Cooperación en materia de hidrógeno, para impulsar su desarrollo como fuente de energía no contaminante. Este acuerdo se realiza en el marco de la Asociación estratégica establecida entre ambas naciones. La Patagonia argentina cuenta con uno de los mejores recursos de energía eólica del mundo con el que se podría producir hidrógeno limpio a gran escala y con posibilidades de exportación a Japón. Con esta visión, la empresa Hychico del grupo Capsa-Capex instaló en 2008 una planta de producción de hidrógeno renovable en Comodoro Rivadavia, Chubut.

(Argentina y Japón trabajarán juntos en el desarrollo del hidrógeno como combustible limpio, 2019). Esta planta tiene un parque eólico con siete aerogeneradores de 900 kW, con una potencia total de 6.3 MW, y con un factor de potencia de 50%. La capacidad nominal es de 160 Nm3/h de H_2, usando electrolizadores de Hydrogenics (El proyecto de hidrógeno argentino que hace escuela en el mundo, 2019). Coincidente con lo anterior, en agosto de 2019, el Presidente del Directorio de Toyota propuso al Presidente de Argentina el trabajo conjunto para desarrollar el hidrógeno energético, aprovechando que Toyota Argentina será la filial responsable de la operación de todas las filiales de Toyota en Latinoamérica y el Caribe (Argentina ante el desafío del hidrógeno, 2019).

La Asociación Argentina del Hidrógeno (AAH) reúne desde 1996 a investigadores y desarrolladores de tecnología, mayoritariamente del ámbito académico. Entre otras acciones, la AAH publica un boletín de difusión desde principios de 1998. Su Presidente, Juan Carlos Bolcich[52], publicó en 2018 un artículo que resume el estado del hidrógeno energético en Argentina (Bolcich, 2018). Ya en 1998 se convirtió un auto para funcionar con hidrógeno, y en 2006 se hace lo mismo con una camioneta. En 2005 se instaló una planta experimental de hidrógeno con un electrolizador importado de 1 Nm3/h, al que se le sumó un segundo electrolizador construido en Argentina por el ITBA[53] (2011 a 2013). En esta planta experimental se han realizado experiencias en pequeña escala en almacenamiento de H_2 en forma de hidruros, desarrollo de quemadores catalíticos y su aplicación en hornos para uso doméstico, pequeña celda de combustible y grupo electrógeno, todo desarrollado en Argentina. También menciona la planta de Hychico en Chubut, agregando las pruebas que está haciendo esta empresa para almacenar hidrógeno en pozos agotados de gas natural, a 800m de profundidad.

Argentina ha participado desde 1997 en la elaboración de normas, códigos y estándares, a través de su participación en el comité técnico ISO/TC 197 (Bolcich, 2018). Esto lo ha hecho por medio del IRAM[54], donde funciona el respectivo comité local de hidrógeno. El objetivo principal comprende aspectos de seguridad en el manejo del hidrógeno en toda su cadena, desde la producción, almacenamiento, transporte, distribución y aplicaciones (Bolcich, 2018).

Los centros de investigación e instituciones académicas que se dedican al hidrógeno en Argentina de mayor relevancia son (Bolcich, 2018):

- Comisión de Energía Atómica, Centro Atómico Bariloche y Centro Atómico Constituyentes. Almacenamiento de hidrógeno en forma de hidruros, materiales para pilas de combustible de alta temperatura, óxidos sólidos, fragilización por hidrógeno en metales.
- Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. Laboratorio de mecánica y máquinas térmicas. Evaluación de motores en banco de ensayo que funcionan con H_2 en mezclas combustibles.
- ITBA, Instituto Tecnológico Buenos Aires. Tecnologías del hidrógeno "*power to gas*".

[52]E-mail: jbolcich@bariloche.com.ar, bolcichjuan@gmail.com.

[53] Instituto Tecnológico de Buenos Aires, https://www.itba.edu.ar/.

[54] Instituto Argentino de Normalización y Certificación, http://www.iram.org.ar/. Tiene filial en Chile: IRAM Chile S. A. http://www.iramchile.cl/index.asp.

Los principales temas de investigación y desarrollo que tratan son:

- El desarrollo de electrolizadores.
- Almacenamiento de hidrógeno en tubos, tipo bobinas, de bajo diámetro.
- Motores de combustión que funcionen con hidrógeno, y su aplicación en ómnibus.

10.10.2 Bolivia

La búsqueda no mostró uso de tecnologías del hidrógeno, salvo los usos convencionales en refinerías de petróleo y grandes generadores eléctricos.

10.10.3 Brasil

Brasil es el país latinoamericano líder en programas de I&D sobre la energía del H2, con el Programa de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Economía del Hidrógeno (ProH2), que abarca todas las fases de los sistemas eléctricos solares con almacenamiento de energía en forma de hidrógeno (SESH): producción, almacenamiento, transporte y usos finales. Aunque han priorizado la aplicación de celdas de combustible en generación distribuida en sistemas aislados y en vehículos, también han estudiado el proceso de obtención de H2 a partir de etanol y glicerol. La mayoría de la investigación y proyectos demostrativos la realizan en redes cooperativas con participación de universidades y centros de investigación. Las iniciativas privadas también se enfocan al desarrollo y comercialización de celdas de combustible y generadores de 5 y 50 kW, de tecnología propia. En el año 2009, empieza a operar en Sao Paulo el primer autobús a H2 con una autonomía de 300 km, capacidad para 63 pasajeros y en el cual el H2 se produce por electrólisis (Hidrógeno 101 en el contexto latinoamericano, 2013).

El CYTED, programa intergubernamental de cooperación multilateral en ciencia y tecnología, que fomenta la cooperación en Investigación e Innovación para el desarrollo de la región iberoamericana, publicó en 2010 un informe que resume el estado de avance de las tecnologías del hidrógeno en Brasil en la sección 4.2 *Hidrógeno como vector de energía en Brasil* (Laborde, y otros, 2010, págs. 33-40). Señala que el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCT) creó el Programa de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Economía del Hidrógeno (ProH2), y el Ministerio de Minas y Energía (MME) creó la Guía para una infraestructura de la economía del hidrógeno en Brasil. Ambas iniciativas consolidan esfuerzos dispersos realizados desde antes de 2001, y las focalizan en la aplicación de sistemas de celdas de combustible para generación de energía eléctrica distribuida en sistemas aislados y en vehículos para transporte colectivo urbano. Inicialmente se contempla la generación de hidrógeno a partir de etanol para luego incluir otras fuentes renovables. El programa tiene cinco redes de desarrollo, 1) producción y almacenamiento de hidrógeno, 2) celdas de combustible tipo PEM, 3) celdas de combustible tipo SOFC, 4) sistemas, integración y aplicación, y 5) red de utilización. El informe menciona tres proyectos demostrativos importantes. El primero consiste en un autobús urbano que empezó a operar en Rio de Janeiro en mayo de 2010. Fue diseñado y construido en Brasil; la celda de combustible tipo PEM fue fabricada por la empresa brasileña Electrocell. El segundo fue desarrollado por la empresa de transporte público de Sao Paulo, poniendo en servicio un bus para 90 pasajeros[55] y 300 km de autonomía. El bus fue integrado por la misma empresa de transporte, con la participación de empresas

[55] Nótese que la fuente del párrafo anterior dice que la capacidad es de 63 pasajeros.

brasileñas y extranjeras, como Ballard (celdas de combustible) y Hydrogenics (electrolizadores y dispensadores de hidrógeno). El tercer proyecto demostrativo consiste en el montaje y operación de un prototipo para producir hidrógeno a partir de etanol. Este hidrógeno alimentaría una celda de combustible tipo PEM para generación estacionaria de energía eléctrica, con una potencia nominal de 5 kW. Sin embargo, a la fecha de esta publicación el sistema aún no operaba.

El Estado de Brasil tiene políticas de incentivo del mercado del hidrógeno, que apunta no sólo a que este se desarrolle para descarbonizar la matriz energética y se más independientes de combustibles importados, sino que para desarrollar una industria brasileña de tecnologías del hidrógeno. Esta visión se muestra en el informe del CGEE[56] publicado en agosto de 2010 (Hidrogênio energético no Brasil. Subsídios para políticas de competitividade: 2010-2025, 2010). Este documento hace un diagnóstico de la situación y propone políticas para sortear los cuellos de botella que demoran el desarrollo del mercado del hidrógeno. Entre ellas propone fomentar el desarrollo de normas y estándares para la certificación de productos y servicios relacionados con las tecnologías de hidrógeno y celdas de combustible. Indica que hay un número insuficiente de normas y estándares nacionales relacionados con el uso energético del hidrógeno. También recomienda "promover la educación y capacitación apropiadas en normas, códigos y estándares, y seguridad para autoridades, reguladores, estudiantes, usuarios y el público en general a través de cursos y talleres específicos". Destaca que no existe un mercado de hidrógeno para combustible, y recomienda proteger a través de tarifas aduaneras a la industria brasileña de tecnologías del hidrógeno que se pueda desarrollar.

De los párrafos anteriores se desprende que ya existe en Brasil la capacidad para fabricar e integrar algunos equipos para sistemas de hidrógeno. Además de las empresas mencionadas anteriormente, la empresa Hytron[57] produce, entre otras cosas, celdas de combustible, electrolizadores para generar hidrógeno e hidrogeneras. Adicionalmente, la empresa Peróxidos do Brasil ha desarrollado un nuevo método de producción de peróxido de hidrógeno de baja huella de carbono que usa hidrógeno, entre otros insumos, e instalará una planta en el Parque Industrial de Coronel, Chile[58]. En mayo de 2019 anuncian la aprobación ambiental del proyecto, que contempla una inversión de USD 25 millones (Aprueban la primera planta de peróxido de Chile en Coronel por $17 mil millones, 2019). También la empresa fabricante de buses Marcopolo produce buses a hidrógeno, habiendo introducido tres nuevas unidades en Sao Paulo a mediados de 2019[59].

10.10.4 Colombia

Encontramos muchas noticias sobre el futuro del hidrógeno verde y de desarrollos en otros países, pero nada sobre proyectos concretos en Colombia. La excepción podría ser las declaraciones de la

[56] Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

[57] https://www.hytron.com.br/about-us

[58] https://www.peroxidos.com.br/es/Noticias/NovaMyH2O2Chile.html

[59] https://www.marcopolo.com.br/marcopolo/comunicacao/noticias/onibus-marcopolo-viale-brs-movidos-a-hidrogenio-no-transporte-urbano-paulistano

empresa Ecopetrol[60]; empresa de energía colombiana, cuyo presidente manifestó en octubre de 2019 que dentro de las iniciativas en evaluación se contemplan la "utilización de energía geotérmica, así como hidrógeno y pequeñas centrales hidroeléctricas".

10.10.5 Ecuador

Se encontró en internet un artículo denominado "Proyecto de ley del Hidrógeno", el que esta escrito por el Por: Dr. Wilson Torres Espinosa, Doctor en Jurisprudencia, Profesor y Director de la CATEDRA UNESCO de la U.C. Dicho documento habla de un proyecto de Ley que propone impulsar y regular las actividades de investigación y desarrollo de la utilización del hidrógeno, declarando el interés nacional en el desarrollo de la tecnología, producción, uso y aplicación del hidrógeno como energético. Junto a lo anterior, menciona los siguientes contenidos: Política Nacional. Objetivos. Sujetos. Autoridad de aplicación. Infracciones y Sanciones. Créase el Fondo Nacional de Fomento del Hidrógeno. Régimen Fiscal Promocional. Disposiciones transitorias. Sin embargo no se encontraron referencias en organismos del estado Ecuatoriano que confirmaran la existencia; ya sea como proyecto de ley o iniciativa, del documento señalado anteriormente. La información se encuentra en el siguiente Link. https://www.derechoecuador.com/proyecto-de-ley-del-hidrogeno, que al parecer es una plataforma donde se encuentra diferente información legal de Ecuador.

Además de lo señalado anteriormente se encontraron sólo noticias sobre desarrollo y venta de pequeños generadores de hidrógeno para contribuir a la combustión de combustibles fósiles en motores de combustión interna.

10.10.6 Guyana

No encontramos información alguna sobre hidrógeno en Guyana.

10.10.7 Guayana Francesa

Encontramos un solo proyecto de hidrógeno en la Guayana Francesa, que consiste en una planta de energía solar con producción y almacenamiento de hidrógeno para generar electricidad cuando no hay sol. El proyecto CEOG (*Centrale Électrique de l'Ouest Guyanais*) fue presentado por HDF Energy y anunciado en varias páginas web entre mayo y septiembre de 2018. La planta se construiría entre 2019 y 2020, para operar hasta el año 2040 (GEOG Project, s.f.). La planta solar tendría una capacidad de 55 MW, para entregar a la red 10 MW durante el día, y 3 MW en la noche, y requiere una inversión de USD 105.000.000 (HDF Energy Touts Big Promises for Its Hydrogen Project in French Guiana, 2018) (French Guiana plans 140 MWh renewable energy storage system, 2018). La última noticia sobre este proyecto se publicó el 10/12/2019 es la firma de un acuerdo entre Ballard y HDF Energy para el desarrollo del sistema de celdas de combustible para este proyecto (Ballard and HDF Energy sign agreement, 2019).

[60] https://www.valoraanalitik.com/2019/10/18/ecopetrol-planea-construir-300-megavatios-en-proyectos-de-energia-solar-y-eolica/

10.10.8 Paraguay

En febrero de 2019 se publicó la firma de un acuerdo entre el holding brasileño ECB Group y el gobierno de Paraguay para materializar un proyecto de USD 800 millones con el fin de producir 16.500 barriles por día de diésel y kerosene de aviación renovables. Estos combustibles se producirán a partir de aceite de soya e hidrógeno, el que será producido por electrólisis con electricidad renovable (Firma brasileña invertirá USD 800 millones en fábrica de diésel verde, 2019). Fuera de esta noticia, no hay otros antecedentes sobre hidrógeno en este país.

10.10.9 Perú

El Colegio de Ingenieros del Perú presentó el 24 de abril de 2019 una conferencia donde se propone un proyecto para unir las ciudades de Lima e Ica mediante un ferrocarril propulsado por hidrógeno. El proyecto se presentaría a la licitación de esta ruta ferroviaria de 324 km, que se cubriría a una velocidad máxima de 200 km/h por un monto estimado de USD 3 264 millones (Mega proyecto de tren de cercanías de Lima – Ica y de transporte por tren con hidrógeno, 2019).

Fuera de esto, encontramos sólo actividades académicas relativas al hidrógeno, además de nuevas plantas de generación de hidrógeno a partir de reforma de hidrocarburos para usos convencionales. Sin embargo, existen algunos emprendimientos privados como es el caso de la planta faenadora de pollos “Redondos“, ubicada en la ciudad de Huacho, aproximadamente 160 kilómetros al norte de Lima. En dicha planta cuentan con un electrolizador con una capacidad de producción de aproximadamente 200.000 Nm^3/mes de hidrógeno. El hidrógeno es usado como combustible para una caldera.

10.10.10 Surinam

La búsqueda no entregó ningún resultado que valga mencionar.

10.10.11 Uruguay

La Política Energética de Estado de Uruguay logró, en pocos años, que casi el 100% de la energía eléctrica sea fuentes renovables. En estos años se incorporaron 1.500 MW de energía eólica y 260 MW de energía solar fotovoltaica, además de la tradicional hidroeléctrica. El gobierno a través del MIEM[61] y sus empresas públicas energéticas ANCAP[62] y UTE[63], está enfocado en la descarbonización del transporte, para lo que están desarrollando el proyecto Verne. Este es un proyecto piloto de producción de hidrógeno verde y su uso en ómnibus interurbanos de pasajeros y camiones de transporte carretero de carga. Sus principales componentes son dos, 1) una instalación de producción y carga de hidrógeno verde ubicada en Montevideo, compuesta de un electrolizador, almacenamiento, compresión y un surtidor y 2) diez vehículos a celda de combustible de hidrógeno, 5 ómnibus interurbanos con una autonomía de aproximadamente 500 km; y 5 camiones de transporte carretero con una

[61] Ministerio de Industria, Energía y Minería.

[62] Empresa integrada, de propiedad estatal, de energía, combustibles y lubricantes, cementos portland y de desarrollo de los biocombustibles. Paysandú y Av. Libertador, Phone number (+598 2) 1931, Fax (+598) 2902 2180, C.P. 11100 – Montevideo – Uruguay, www.ancap.com.uy.

[63] Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE), empresa pública del Sector Energía que desarrolla actividades de generación, trasmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica.

autonomía de aproximadamente 900 km. Sus objetivos son 1) desarrollar un ecosistema inicial de producción y uso de hidrógeno verde en ómnibus interurbanos de pasajeros y camiones de transporte carretero de carga, 2) identificar barreras y lagunas en todas las dimensiones (técnicas, normativas, regulatorias, comerciales, capital humano, concienciación pública, etc.), 3) contribuir a desarrollar una hoja de ruta nacional del hidrógeno para alcanzar un mercado potencial de 3.600 autobuses interurbanos y 20.000 camiones de transporte carretero; además de otras aplicaciones como la producción de metanol, la inyección de hidrógeno a la red de gas directamente o mediante metano sintético, e incluso la exportación de hidrógeno verde (8 de octubre: Día del hidrógeno, 2019) (Gobierno analiza uso de vehículos eléctricos a hidrógeno para transporte de carga y pasajeros, 2019).

La Presidente de ANCAP Marta Jara, en entrevista en TV, dice que el proyecto Verne apunta al transporte pesado y de distancias largas, ya que para distancias cortas son mejores las baterías. El proyecto Verne (Hidrógeno verde, s.f.), con un costo de USD 10.000.000, desarrollará un piloto con cinco camiones y cinco buses interurbanos (Entrevista Telenoche, 2019). Otra autoridad que expone en presentaciones es el director nacional de Energía, Rubén García. Adicionalmente, en algunas noticias se menciona a Pablo Barrios, miembro de la comunidad de Innovación de ANCAP.

10.10.12 Venezuela

Sobre hidrógeno en Venezuela sólo se encontraron publicaciones de trabajos académicos y artículos sobre la posible producción de hidrógeno a partir de gas natural botado a la atmósfera, y de arenas bituminosas y campos petrolíferos. Además, hay varios sitios web que discuten la posibilidad y conveniencia de generar hidrógeno verde en Venezuela y sustituir los combustibles fósiles usados en transporte. Sin embargo, no hay noticias de proyectos concretos, ni siquiera en sus más tempranas etapas de desarrollo.

10.11 Entrevistas Internacionales

10.11.1 Argentina

Organización: HYCHICO y Asociación Argentina del Hidrógeno, AAH2

Fecha: 21 enero de 2020

Nombre Entrevistados: Ariel Pérez (HYCHICO), Juan Carlos Bolcich, (AAH2)

Cargo: Gerente General HYCHICO/ Presidente AAH2

Email: Ricardo_Ariel.Perez@grupocapsa.com.ar
bolcich@bariloche.com.ar

Teléfono: + 54 11 5288 8834 (Ariel Pérez); 54-0294-4523745 (Juan Carlos Bolcich)

Web: http://www.hychico.com.ar/eng/index.html
https://www.aah2.org

Tipo Entrevista: Presencial por video conferencia

Desarrollo:

Por parte del Ministerio de Energía participó:

- María de los Ángeles Valenzuela
- Alberto Ortega
- Ángel Caviedes
- Juan de Dios Rivera (PUC)
- Rodrigo caro (PUC)

Por parte de AAH2 participó además:

- Horacio Canestro

De acuerdo a lo señalado por Juan Carlos Bolcich, Argentina creó hace aproximadamente 14 años la Ley 26.123 del Hidrógeno denominada "Régimen para el desarrollo de la tecnología, producción, uso y aplicaciones del hidrógeno como combustible y vector de energía". Dicha Ley; que fue trabajada y gestada por AAH2, nunca fue transformada en reglamentos por lo que no ha podido usarse a la fecha. También señala que están considerando actualizarla ya que está pronto a vencer puesto que las leyes tienen una vigencia de veinte años. También señala que actualmente en Argentina no hay una política de descarbonización que oficialmente incorpore al H_2 como un elemento para aportar a ello.

Argentina a través de la AAH2, pertenece a los comités técnicos de la ISO/TC 197 "Hydrogen Technologies" que es donde se están generando la normativa del H_2. Juan Carlos Bolcich señala que llevan bastantes años participando en esos grupos y que les ha tocado generar normativa. Señala que encuentra que es fundamental que Chile sea miembro de este grupo y que participe. Destaca como muy importante la norma de calidad del H_2 por cuanto podría afectar el desarrollo del mercado Argentino si no fueran capaces de alcanzar los estándares de calidad que se están persiguiendo. También participa en estas mesas de la ISO/TC 197, la organización Argentina encargada de las normas en ese país que es el IRAM (http://www.iram.org.ar/) y la persona del IRAM es el secretario de la AAH2. Señala que IRAM tiene sede en Chile y que con ellos se podría acceder a cierta normativa.

Por otro lado señalan que actualmente en Argentina no existen proyectos o planes del estado para potenciar el uso del H_2 como combustible. Señala que sin embargo existen algunas iniciativas privadas en que se está usando el H_2 como agente químico en síntesis de fertilizantes o en la industria siderúrgica, y que se busca que estas industrias utilicen H_2 verde, en vez de H_2 gris.

Hoy como AAH2; señala Horacio Canestro, se encuentran analizando un memorando de entendimiento (MOU) con Japón, el que está orientado a la provisión de H_2 verde para el 2030. Resaltan que pudiera parecer largo plazo, pero que para comenzar a proveer de H_2 a Japón en esa fecha se requiere de la formación de una masa crítica técnica y de mercado y que eso toma bastante tiempo. Por otro lado también se encuentran conversando con Alemania a través de la GIZ para la generación de alianzas.

Dentro del ámbito privado, HYCHICO; empresa que pertenece al grupo Capsa, es la única empresa Argentina que genera H_2 desde energías renovables (existe la producción de hidrógeno gris para uso en refinerías) y lo inyecta a su matriz de gas natural para posteriormente quemarlo y generar electricidad mediante la planta termoeléctrica localizada en el sur de Argentina. Hychico es una empresa de capitales privada y trabajan muy de la mano con AAH2 en los temas de hidrógeno. Hychico produce actualmente alrededor de 120 Nm^3/h de hidrógeno.

Ariel también señala que Argentina desarrollo un borrador de Roadmap hace algunos años, pero que no se transformó en oficial y que lo compartirá con el ministerio de energía de Chile. Por su

parte, el Ministerio se comprometió a compartir el borrador de estrategia del hidrógeno desarrollado en conjunto con el comité solar.

Consideran fundamental para el desarrollo de la región el poder generar alianzas con Chile y otros países. Al respecto uno de los temas que señalan como muy positivos es el de representar un mercado más interesante frente a los OEMs; por ejemplo en el suministro de buses con celdas combustibles, como también la posibilidad de exportar a través de puertos o ductos transnacionales el H_2 hacia países como Japón o Alemania.

También Juan Carlos mencionó como sugerencia mirar las mezclas de H_2 con GN, dado que es uno de los usos más factibles. Para Argentina, a pesar de ser grandes productores de GN, las mezclas en las redes de GN lo ven positivo por ser una forma de descarbonización.

10.11.2 Brasil

Organización: UNICAMP Universidade Estadual de Campinas, Brasil

Fecha: 18 enero de 2020

Nombre Entrevistado: Ênnio Peres

Cargo: PhD, Profesor de la UNICAMP University

Email: lh2ennio@ifi.unicamp.br

Web: www.unicamp-br

Tipo Entrevista: email

Desarrollo:

Ennio señala que Brasil trabajo en la elaboración de un Roadmap relacionado al hidrógeno pero que los trabajos que se estaban realizando quedaron detenidos el año 2005 y que desde esa fecha a nivel de políticas y regulaciones no se ha avanzado en Brasil. En el link a continuación se puede acceder al texto borrador del Roadmap del hidrógeno para Brasil https://1fa05528-d4e5-4e84-97c1-ab5587d4aabf.filesusr.com/ugd/45185a_c96a3f34c3a843d98c77e763f0d9898a.pdf.

Por otro lado, da cuenta de los esfuerzos de crear una red de hidrógeno que pretendía evaluar la situación nacional de Brasil en torno al hidrógeno. Dichos esfuerzos tampoco progresaron y no se continuó con este trabajo. En el siguiente link se puede acceder al texto del documento https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Hidrogenio_energetico_completo_22102010_9561.pdf/367532ec-43ca-4b4f-8162-acf8e5ad25dc?version=1.5).

Ennio señala hace poco tiempo se creó la Asociación Brasilera del Hidrógeno conocida por la sigla ABH2. A la página de la ABH2 se puede acceder a través del siguiente link: http://www.abh2.com.br/index.php/pt/). También Ennio indica que el coordinador de la ABH2 es el Profesor Dr. Paulo Emílio Valadão de Mirada (pmiranda@metalmat.ufrj.br). El Dr Valadão está agrupando a los diferentes investigadores del campo del H_2 en esta organización sin fines de lucro y que tiene como objetivo potenciar la investigación científica y el desarrollo tecnológico del hidrógeno en Brasil.

Texto del e-mail

lh2ennio
17 de enero de 2020, 18:11
Detalles
RES: Hydrogen development efforts in Chile and Ministry of Energy
Para: Rodrigo Caro, Cc: Mauricio Duarte, Juan De Dios Rivera, María de los Ángeles Valenzuela, lh2ennio@ifi.unicamp.br

Hola, Rodrigo. ¿Cómo estás?

Muchas gracias por tu mensaje.
Yo creo que usted tiene mayor interés em los aspectos regulatorios del hidrógeno em Brasil. Yo trabajo más con la tecnología del hidrógeno, actualmente con el almacenamiento de energía eléctrica como hidrógeno.
Em Brasil tuvimos la elaboración de un Roadmap del hidrógeno (https://1fa05528-d4e5-4e84-97c1-ab5587d4aabf.filesusr.com/ugd/45185a_c96a3f34c3a843d98c77e763f0d9898a.pdf), pero esto está detenido desde 2005. También tuvimos una Red del Hidrógeno, que tampoco logró suceso. Hay un trabajo del CGEE (https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Hidrogenio_energetico_completo_22102010_9561.pdf/367532ec-43ca-4b4f-8162-acf8e5ad25dc?version=1.5) que tiene una evaluación de la situación nacional. Pero la actividad más reciente fue la creación de la Associação Brasileira de Hidrogênio (ABH2- http://www.abh2.com.br/index.php/pt/), cuyo coordinador, Prof. Dr. Paulo Emílio Valadão de Mirada (pmiranda@metalmat.ufrj.br), tiene hecho un importante trabajo de reunir los investigadores brasileños em esta área de conocimiento. Yo creo que un contacto con él será muy fructífero para usted.

Un abrazo.

Ennio

Organización: UFRJ, Universidad Federal de Rio de Janeiro, Brasil

Fecha: 30 enero de 2020

Nombre Entrevistado: Paulo Emilio De Miranda

Cargo: PhD, Profesor Titular, Presidente Asociación Brasilera del H_2

Email: pmiranda@labh2.coppe.ufrj.br

Web: www.labh2.coppe.ufrj.br

Teléfono: +55 (21) 3938-8791

Tipo Entrevista: email

Desarrollo:

Paulo de Miranda señala que desde el año 2003 Brasil es miembro del IPHFCE, (https://www.iphe.net) donde participa junto a otros 17 países entre los que está Japón y Corea del Sur quienes han declarado su compromiso por la sustentabilidad y por el uso del hidrógeno. Esta organización tiene por principal preocupación el discutir políticas públicas para el uso de H_2 energía. Brasil es el único país sud americano que participa y de Centro América se incorporó hace poco Costa Rica. Respecto del tema, Rodrigo Caro comentará en el Ministerio de Energía la oferta de Paulo para apoyar que Chile pueda participar en dicha instancia.

También indica que en el año 2005 se desarrollo un routemap del H_2 para Brasil y que han ocurrido cambios en la responsabilidad ministerial del H_2, y a que desde el año 2018 el tema del Hidrógeno es llevado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología y no por el Ministerio de Minas e Industrias. Dado lo anterior y habiéndole señalado que Chile ofició al Ministerio de Minas y Energía de Brasil, Paulo se compromete a contactarnos con la persona del Ministerio de Ciencia y Tecnología que lleva el tema del H_2

Hoy existen distintas instancias de financiamiento de proyectos de H_2 en Brasil, algunas de ellas con fondos Sectoriales, otros Municipales, otros Ministeriales, otros de fondos de las Universidades y por privados y empresas pequeñas de alta tecnología.

Respecto de regulaciones, señala que algunos Municipios generan su propia normativa en torno al H_2. Respecto de esto, Paulo remitirá un listado con aquellas regulaciones que se ha desarrollado

Desde el punto de vista de las actividades que se realizan en Brasil en torno al H_2, Paulo señala que todos los años en el mes de Noviembre, la Asociación Brasilera del H2 (ABH2) desarrolla una conferencia en Torno al H_2. Al respecto, señala el interés que desde Chile pudiesen participar. Rodrigo

Caro comentará de esta invitación al equipo del proyecto del Ministerio de Energía. La ABH2 funciona en el centro de post grado de la Universidad Federal de Rio de Janeiro (UFRJ)

La ABH2 participa junto a la Asociación Brasileña de Normas Técnicas en la confección de normativa técnica relacionada al H2

Paulo manifiesta su interés de generar mantener comunicaciones con en estos temas. Patricio Lillo generará el contacto entre la Pontificia Universidad Católica (PUC) y la UFRJ. Rodrigo Caro los contactará con al Asociación Chilena del H2.

10.11.3 Perú

Organización: BREIN empresa del grupo BRECA

Fecha: 20 enero de 2020

Nombre Entrevistado: Jaime Reategui

Cargo: Ingeniero de proyectos de la empresa BREIN

Email: jaime@brein.pe

Teléfono: + 51 968 401 951

Web: https://www.linkedin.com/company/breinhub/about/

Tipo Entrevista: telefónica

Desarrollo:

Jaime señala que actualmente en el Perú no existe regulación relativa al hidrógeno como combustible, ya que en su país se consideran como tales, aquellos que emiten CO2 al combustionar. También señala que junto a las empresas Melón de Chile pertenecen al grupo peruano de empresas denominado BRECA. Como tal, en conjunto con Melón han estado en contacto con la empresa Energynvest quién ha provisto de equipos electrolizadores a dos empresas peruanas localizadas en las ciudades de Tacna y Huacho. Jaime señala que junto a la empresa Energynvest consultaron al Ministerio de Industria y Energía para avanzar en la producción y uso de hidrógeno gaseoso y que la respuesta fue que ante la carencia de legislación siguieran las mismas normativas que se usan para el gas natural en Perú. Cabe señalar que la empresa Energynvest es también dueaña de una empresa denominada SGAS que ofrece suministro de energía vía gases por convenios tipo ESCO. Dicha empresa es la que está liderando la introducción del hidrógeno en Perú y se encuentra en conversaciones con BHP Perú y muy interesada en introducirse al mercado chileno vía empresa melón como un primer cliente.

Jaime se comprometió a gestionar el contacto con la empresa Energynvest, donde el Sr Alberto Paz es su presidente (alberto.paz@energynvest.com).

10.11.4 Uruguay

Organización: ANCAP

Fecha: 17 enero de 2020

Nombre Entrevistado: Marta Jara Otero

Cargo: Presidente ANCAP

Email: mjara@ancap.com.uy

Teléfono: + 59 8 91 393 970

Web: https://www.ancap.com.uy/

Tipo Entrevista: Telefónica

Desarrollo:

Marta Jara señala que el proyecto Verne tiene un alcance mucho mayor que el realizar un piloto de buses que funciones mediante energía proveniente de celdas combustible. Al respecto, en el tema del hidrógeno participan los tres organismos del estado que tiene relación con el esfuerzo país que se está desarrollando en Uruguay y que son El Ministerio de Industria y Minería, la empresa de electricidad estatal UTE y la empresa del estatal de combustibles ANCAP que lidera ella. Las acciones que se están desarrollando hoy en Uruguay abarca el desarrollo de un ecosistema del hidrógeno, la identificación de las barreras normativas, técnicas, de capital humano y otras, la generación de una hoja de ruta y el potencial empleo del hidrógeno en otras aplicaciones como el metanol y el uso en redes de gas domiciliarias e industriales.

Marta Jara indica que es ideal comenzar a explorar integraciones y alianzas estratégicas en el origen de los proyectos y que dado que ambos países están comenzando a avanzar con miras a una economía del hidrógeno encuentra, estarían encantados de estudiar potenciales alianzas entre nuestros países. Uno de los temas de interés es el del escalamiento, por cuanto la generación de un mercado atractivo para los OEMs viene dada por los tamaños de los mercados y el hecho que en temas como transporte se tengan proyectos similares haría atractivo para cualquier OEM participar en la región.

Para comenzar las conversaciones con el Ministerio de Energía; pero en un nivel técnico, Marta Jara designó al jefe de proyectos técnicos Jorge Ferreiro (jferreiro@ancap.com.uy) para que se contacte con nosotros y podamos partir conversaciones en torno a la normativa y otros temas en los que ha estado trabajando Uruguay.

La primera reunión se llevará a cabo el 21 de enero de 2020 a las 09:00 horas.

Organización: ANCAP

Fecha: 21 enero de 2020

Nombre Entrevistado: Jorge Ferreiro (JF)

Cargo: Gerente de Desarrollo

Email: jferreiro@ancap.com.uy

Web: https://www.ancap.com.uy

Tipo Entrevista: Presencial por videoconferencia

Desarrollo:

Por parte de ANCAP además participó:

- Juan Domatini
- Carolina Losa

Por parte del Ministerio de Energía participó:

- María de los Ángeles Valenzuela
- Alberto Ortega
- Ángel Cabiedes
- Carlos Vial
- Juan de Dios Rivera (PUC)
- Rodrigo Caro (PUC)

Desarrollo:

Jorge Ferreiro señala que los orígenes del proyecto Verne se basan en que la matriz energética eléctrica del Uruguay es del orden de 98% de fuentes renovables y que los excedentes son aproximadamente del 20%. Por otro lado el 70% de los hidrocarburos que consume e importa Uruguay son para la industria del transporte, tanto buses como carga. Siendo este sector responsable del 64% de las emisiones de CO_2. Actualmente tienen proyectos de vehículos a baterías, pero aquellos de mayor tonelaje como buses y camiones quedan fuera debido al rango que estos pueden cubrir diariamente y, es precisamente en ese segmento donde quieren introducir el H_2. Por las razones anteriores, el ministerio de industria y minería invita a la empresa de combustibles ANCAP y a la empresa de electricidad UTE a participar en el desarrollo de una solución para transporte pesado basada en H_2.

Respecto de la normativa para el desarrollo de los pilotos o el sistema de movilidad basado en H_2, señala que la estrategia de Uruguay es aprender del piloto y en paralelo ir generando la regulación respectiva. Ellos se han fijado un horizonte de cinco años desde que parta el piloto para generar la regulación y normativa técnica y de uso, dado que el piloto tendrá una duración de diez años. En paralelo al desarrollo de la normativa, generarán un Routemap para Uruguay.

Para el piloto y desde el punto de vista técnico, usarán la normativa técnica internacional como las ISO, NFPA2 y otras.

El piloto consiste en la producción de H_2 en ANCAP por un tercero, con un flujo de 700 kgH_2/día, con un solo punto de carga en ese lugar, 10 vehículos pesados entre camiones y buses. Será operado por los operadores de las flotas. Están analizando potenciales subsidios a la adquisición con un bono asociado al CAPEX y una tarifa bonificada que les permita asemejarse en costo a los vehículos a combustión interna. Quieren potenciar la asociatividad público-privada para el caso del piloto. El Routemap deberá definir cómo será el modelo de negocios cuando se termine el piloto y señala como ejemplo que con el caso de la generación eólica el modelo es desregulado. Hoy Uruguay tiene varios incentivos que se están aplicando a la Electromovilidad tales como reducción de impuesto. Estiman que las licitaciones para el piloto se lanzarán el segundo semestre de este año par a comenzar a operar el 2022.

El concepto de la educación también está presente según Jorge Ferreira, en particular con aquellas unidades de emergencia como bomberos y otras unidades.

Desde el punto de vista de alianza internacionales, Jorge menciona a Alemania y también Paraguay.

Tal como señaló en otra entrevista la Sra Marta Jara, Presidente de ANCAP, están interesados en generar alianzas con Chile. Para ello, tomarán contacto con el ministerio industria y energía; en particular con Martín Carone y Wilson Sierra de manera de explorar generar una mayor cooperación con nuestro país. Finalmente resaltan que la política energética de Uruguay es una Política de Estado que tiene mas de diez años de duración y que a logrado seguir independientemente de los cambios de gobierno.

10.12 Cadena de valor del hidrógeno

Es conveniente establecer claramente la cadena de valor del hidrógeno para visualizar todas las actividades que hay que regular. Para esto se consultaron varios esquemas de cadena de valor y se compararon con la cadena propuesta por Fichtner y la desarrollada anteriormente por el Ministerio de Energía para el GN. Con estos antecedentes se interactuó con la empresa Fichtner y el Ministerio de Energía acordando una cadena de valor que guíe el marco regulatorio nacional. A continuación se presenta el primer borrado y, luego, la versión final.

10.12.1 Primer borrador

Incorporando las observaciones a la cadena de valor propuesta inicialmente por Fichtner, se definió un primer borrador que se presenta en la Figura 7 y que da cuenta de la cadena de valor del H_2 futura.

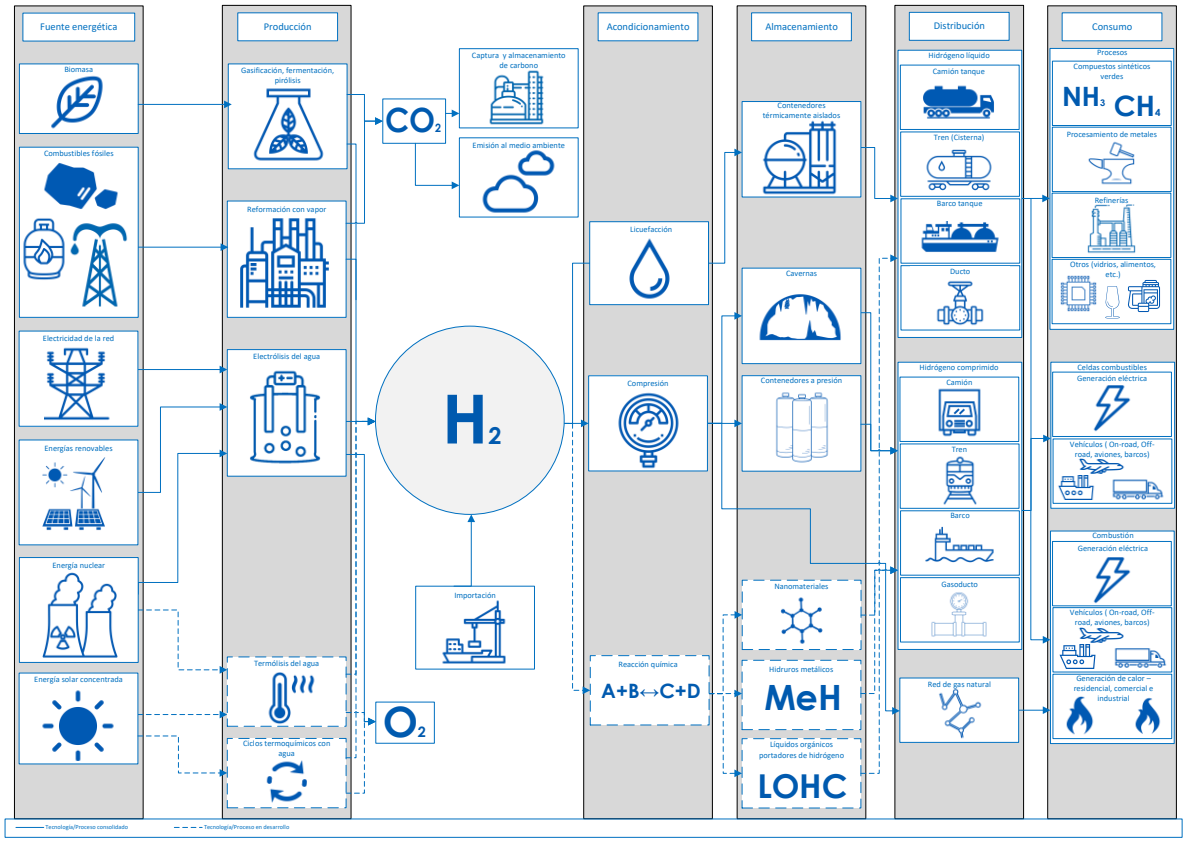

Figura 7 Cadena de Valor del H_2 (Fuente: Empresa Fichtner)

El detalle de los componentes de la cadena de valor futura del H2 para Chile se puede describir y desagregar en seis eslabones, donde el primero consideraría la fuente de la energía que produce el hidrógeno:

- Fuente energética
  - Combustibles fósiles

  - Biomasa
  - Electricidad de la red
  - Energía nuclear
  - Energías renovables

- Producción.
  - Reformado
  - Gasificación fermentación
  - Electrólisis
  - Termólisis
  - Ciclos termoquímicos
- Procesamiento
  - Licuefacción
  - Compresión
  - Sin Procesamiento
- Almacenamiento.
  - Contenedores térmicamente aislados
  - Cavernas
  - Contenedores a presión
    - Cilindros
    - Isotubos
- Transporte y distribución de hidrógeno.
  - LH_2 en Camión tanque e infraestructura de transferencia
  - LH_2 en Tren tanque e infraestructura de transferencia
  - LH_2 en Barco tanque e infraestructura de transferencia
  - H2 Comprimido en Camión tanque e infraestructura de transferencia
  - H_2 comprimido en Tren tanque e infraestructura de transferencia
  - H_2 comprimido en Barco tanque e infraestructura de transferencia
  - H_2 comprimido en gasoductos
  - H_2 con gas natural
- Consumo
  - Procesos Industriales

- Compuestos sintéticos verdes (Metano, Amoniaco, otros)
- Procesamiento de metales
- Refinería.

– Celdas combustibles
  - Generación eléctrica
  - Vehículos on road y off road
  - Barcos
  - Aviones
  - Trenes
  - Cogeneración (calor y electricidad)

– Combustión
  - Generación de calor
  - Generación eléctrica
  - Vehículos on road y off road
  - Barcos
  - Aviones
  - Trenes

10.12.2 Definición de las etapas de la cadena de valor final

Posteriormente, se acordó la cadena de valor definitiva y se definió con detalle los conceptos y el alcance de cada una de las etapas de ella y sus interrelaciones.

En efecto, de la Cadena de Valor se puede evidenciar que las etapas están separadas de acuerdo a un orden establecido: fuente de energía, producción, acondicionamiento, almacenamiento, transporte/distribución y consumo. Sin embargo, los límites de los conceptos que ellas representan se pueden encontrar dentro de otras etapas de la cadena de valor, como por ejemplo es el caso del almacenamiento que se encuentra presente; de diferentes maneras, en todas ellas salvo en la etapa “fuente de energía”.

Para identificar las relaciones de dependencia entre las diferentes etapas de la cadena de valor reflejadas la Figura 8 da cuenta de una simplificación de dichas relaciones. En efecto, se han utilizado flechas como conectores que indican la dirección y sentido flujo. Como se puede apreciar de las interrelaciones, para la etapa de la cadena de valor de almacenamiento, esta tiene relación y está presente en todas las etapas.

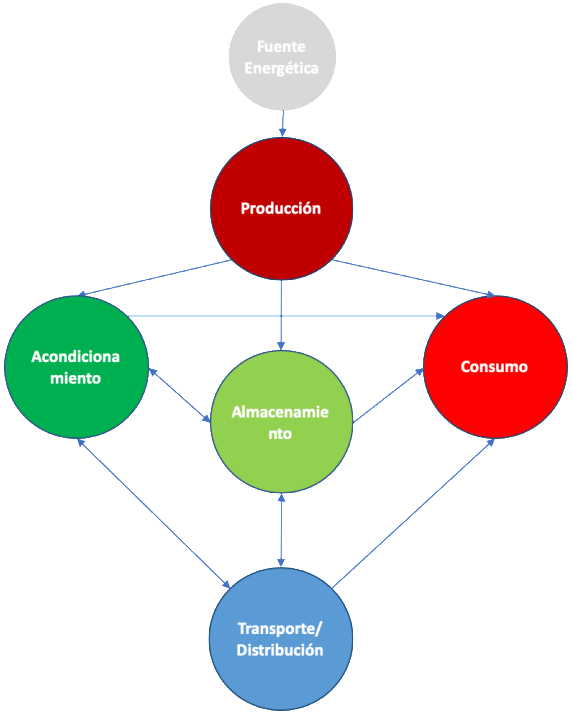

Figura 8 Relaciones entre las etapas de la cadena de valor

Considerando las relaciones entre las etapas de la cadena de valor, y teniendo en cuenta las interfaces entre ellas, se trabajó con el equipo del Ministerio de Energía en las definiciones de cada una de ellas y, además, reflejar cuando se entiende que comienza una etapa de la cadena de valor, cuando termina y sus interrelaciones. Lo anterior servirá; entre otros, para proponer la reglamentación que se levantará del Mapa Regulatorio propuesto.

- **Producción:** Es el proceso que incluye los procedimientos, instalaciones y equipos necesarios para la generación de hidrógeno y su transferencia a la etapa siguiente. Es la primera etapa de la cadena de valor y se inicia en el lugar de recepción de los insumos (agua, combustibles, energía eléctrica, otros), y finaliza en el lugar de entrega del hidrógeno para su transporte, distribución, almacenamiento, o consumo. La Producción contiene a las etapas de acondicionamiento y almacenamiento que se encuentren en el mismo recinto.
- **Acondicionamiento:** Es el proceso en el cual el hidrógeno sufre un cambio físico necesario para ya sea almacenarlo, transportarlo o consumirlo. Esta etapa incluye los procesos de incorporación y extracción de hidrógeno de los Líquidos Orgánicos para Transporte de Hidrógeno (LOHC), pero excluye los mismos procesos con hidruros metálicos. Es una etapa intermedia que une otras dos etapas de la cadena de valor.
- **Almacenamiento:** Es el proceso de guardar hidrógeno en cualquier estado y por cualquier período. Incluye los procedimientos, instalaciones y equipos necesarios para recibir y guardar cantidades determinadas de hidrógeno, y entregarlo en el momento y condición que se requiera. Es una etapa intermedia que une otras dos etapas de la cadena de valor.

- **Transporte y Distribución:** Es el proceso que considera todos los procedimientos, instalaciones y equipos necesarios para llevar el hidrógeno desde donde se produce, o acondiciona o almacena , hasta el inicio de otra etapa de la cadena de valor, excluyendo el dispensado público y privado.
- **Consumo:** Es el proceso; que comprende la etapa final de la cadena de valor y que considera los procedimientos, instalaciones y equipos necesarios para convertir el hidrógeno en formas de energía térmica, mecánica o eléctrica, o en productos derivados para uso energético; esta etapa incluye el dispensado público y privado. El proceso comienza con el almacenamiento gaseoso y termina cuando la molécula del hidrógeno se transforma químicamente.

Considerando la cadena de valor del consultor internacional, las relaciones presentadas en la Figura 8 y las definiciones presentadas precedentemente se desarrolló la cadena de valor del hidrógeno que se propone en la Figura 9 Diagrama de Flujos de la Cadena de Valor Propuesta. Dicha cadena de valor será utilizada para la proposición del Mapa Regulatorio Nacional. El estado físico del hidrógeno al que se hace mención en la Figura 9 es referido a gaseoso cuando se usa la sigla GH2 y a líquido cuando se usa la sigla LH2. Dentro de la cadena de valor se usó el color celeste para todos los procesos. Sin embargo dado que ciertos tipos de almacenamiento se repiten entre etapas de la cadena de valor, ellos se presentan con un color diferente al del resto del mapa regulatorio. De acuerdo a lo anterior, el almacenamiento en tanques se presenta con el color azul claro y el de contenedores térmicamente aislados con el color verde. Por otro lado, las líneas de flujo de un proceso a otro tienen distintos colores solo para diferenciar el cruce de líneas y el color particular no tiene significado alguno.

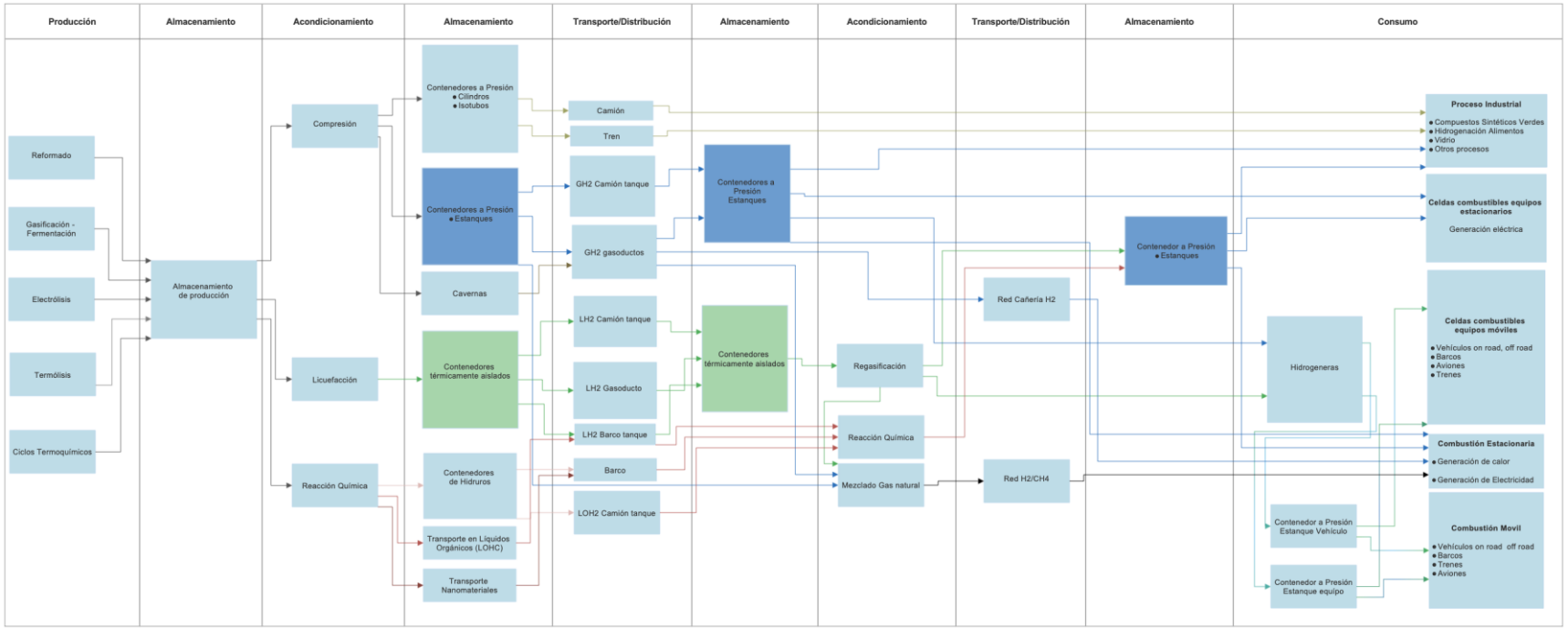

Figura 9 Diagrama de Flujos de la Cadena de Valor Propuesta

10.13 Proyectos de H2 que Desarrollan las Universidades en Chile

A continuación, se describe en mayor detalle la información de los proyectos asociados al H_2 que desarrollan las universidades. Mayoritariamente la información fue obtenida del Libro del Hidrógeno[64], indicando la fuente en caso contrario.

Nombre	Cadena de Valor	Línea de investigación	Financiamiento	Responsable
USM	Producción	Producción de H_2 con materias primas	FONDECYT 11080106 y 1121188,	Departamento de Ingeniería Mecánica
	Uso	Aplicación de H_2 en Motor de combustión Diésel	ND	
UC	Producción	Celdas SOE, celdas biológicas y foto electroquímicas	ND	Departamento de Ingeniería Química y Biotecnología
	Producción	Producción de H_2 a partir de reformado de gases o gasificación	ND	Prof. Francisco Gracia
	Uso	Materiales para electrolitos y electrodos de celdas de combustible SOE de temperatura intermedia	ND	Departamento de Ingeniería Mecánica
		Desarrollo de materiales para electrolito y electrodos de celdas SOE	ND	
PUC[65]	Almacenamiento	"Materiales en base a aerogeles de grafeno dopados con nanopartículas metálicas. Fecha inicio: enero 2019. Fecha término: diciembre 2020	Proyecto Centro de Energía UC	Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química
	Normativo	"Seguridad y normas para uso de hidrógeno en minería". Fecha inicio: septiembre 2018. Fecha término: septiembre 2020.	Consorcio Tecnológico Corfo Combustión Dual para Minería	Departamento de Ingeniería en Minas
	Almacenamiento	"Almacenamiento de hidrógeno en medios microporoso. Fecha inicio: Diciembre 2018. Fecha término: Junio 2020.	Se complementa con recursos e investigación aportada por la	Departamento de Ingeniería Química

[64] Vásquez, R., & Salinas, F. (2018). *Tecnologías del hidrógeno y perspectivas para Chile.* Santiago, Chile: GIZ GmbH

[65] Patricio Lillo, Pontificia Universidad Católica de Chile

			UTFSM a partir de junio del 2019	
UCV	Producción	Producción de bio hidrógeno como fuente de energía renovable	CONICYT	Departamento de Química
	Producción	Producción de H_2 a través de proceso anaeróbico		
USACH	Almacenamiento	Materiales para almacenamiento de H_2	ND	Departamento de Física. Departamento de Ingeniería Metalúrgica
	Producción	Producción de H_2 con energía eléctrica renovable (paneles solares y turbinas eólicas)		
UAB	Almacenamiento	Almacenamiento de H_2 por adsorción en materiales nanoestructurados	ND	Departamento de Ciencias Físicas
	Uso	Materiales catalizadores para celdas combustible de H_2	ND	
UFRO	Producción, Almacenamiento	Generación y almacenamiento de H_2 generado a partir de turbinas eólicas y paneles solares	Ministerio de Energía.	Vicerrectoría de Investigación y Postgrado.
UdeC	Producción	Estudio de materiales para aceleración de reacción catalítica de la conversión en metano del gas de síntesis de biomasa	ND	Departamento de Ingeniería Química.
	Uso	Diseño de aleaciones metálicas y materiales nanoparticulados para diseño de catalizadores que transforman el CO_2 en metanol utilizando H_2 verde		
Universidad de Atacama[66]- Pontificia Universidad Católica de Valparaíso -Universidad Santa María	Producción	Proyecto FIC 40013425 "Producción de Hidrógeno utilizando Energía Solar Fotovoltaica" por un monto de $150.000.000 Fecha inicio: 19-04-2019 Fecha Término: 19-12-2020		Departamento de Química y Biología

10.14 Documentos regulatorios chilenos

En este Apéndice se presenta una breve descripción de los documentos que regulan o hacen referencia directa a la seguridad en el uso del hidrógeno en Chile, o que indirectamente afectan el uso del hidrógeno si este fuera considerado como combustible. Los documentos analizados corresponden a decretos y resoluciones de diferentes ministerios y a normas chilenas. En la sección 10.14.1 se listan los documentos ordenados por los organismos que los emiten. En la sección 10.14.2 se presentan otros documentos que, si bien no tienen directa relación con el uso del hidrógeno, se

[66] https://www.researchgate.net/project/Proyecto-Fic-40013425-Produccion-de-Hidrogeno-utilizando-Energia-Solar-Fotovoltaica

aplican al uso de combustibles en general y sirven de referencia. La información presentada a continuación es parte de la información trabajada por la Pontificia Universidad Católica de Chile para el Consorcio ALSET de combustión Dual en Camiones para la Minería (Peralta, 2019).

10.14.1 Regulación nacional que aplica al hidrógeno

En el presente Apéndice, se presentan las diferentes regulaciones que afectan directa o indirectamente al H_2. Ellas se presentan en dos tablas que dan cuenta de las regulaciones que se aplican o pueden aplicar directamente al hidrógeno, y aquellas de carácter general aplicadas a los combustibles gaseosos.

Actualmente el hidrógeno en Chile es regulado como sustancia peligrosa (aquella que pueda significar riesgo para la salud, seguridad o bienestar), que consta en la **Resolución Exenta 408** del 2016 emitida por el Ministerio de Salud, donde se listan las sustancias consideradas peligrosas. En esta lista se encuentra el hidrógeno líquido criogénico y el hidrógeno comprimido. El almacenamiento de sustancias peligrosas es regulado por el mismo ministerio en el **Decreto 43**, cuya versión más reciente es de marzo de 2016. Este documento cita a la **NCh282:2013** que clasifica a las sustancias peligrosas, en cuya versión más reciente (2017) amplía la clasificación de "sustancias" a "mercancías" peligrosas[67]. En esta clasificación el hidrógeno cae dentro de la clase 2.1, gases inflamables. El transporte terrestre de sustancias peligrosas es regulado por el Ministerio de Transportes en el **Decreto 298** de febrero de 2002 y la manipulación y almacenamiento de sustancias peligrosas en los puertos se encuentra regulados por la **Resolución 96** de enero de 1997, del mismo ministerio. Por otro lado, el transporte marítimo es regulado por el Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas de la Organización Marítima Internacional[68] (OMI; en inglés, IMO), aprobado por el D.S. Nº 777 de 1978[69].

Además de los documentos mencionados anteriormente, existen otros decretos que regulan aspectos de seguridad pero no mencionan directamente al hidrógeno. Sin embargo, deben ser tomados en cuenta ya que establecen requerimientos generales, por ejemplo en distancias de seguridad, formas de proceder ante emergencias, niveles de exposición o concentraciones máximas, protección contra incendio, entre otros, que podrían tangencialmente aludir al uso del hidrógeno en faena. Estos documentos son el **Decreto 132** del Ministerio de Minería que regula la seguridad minera y el **Decreto 594** del Ministerio de Salud sobre las condiciones ambientales y sanitarias en el trabajo. Además de la **NCh282:2013** citada en el **Decreto 43**, existen otras dos normas que regulan los distintivos de identificación para el transporte y señales de seguridad para sustancias peligrosas, estas son la **NCh2190:2003** y **NCh1114/4:2000**, respectivamente.

Es importante destacar que el **Decreto 43** excluye explícitamente a los combustibles líquidos y gaseosos que son utilizados como recursos energéticos. En este caso, la regulación recae sobre el Ministerio de Economía. Sobre este punto es necesario comentar que ante una posible reclasificación del hidrógeno la regulación en el ámbito energético recae sobre el Ministerio de Energía, de los cuales el último tiene la facultad de emitir decretos sobre materias de seguridad, mientras que la SEC cumple más bien un rol fiscalizador.

---

[67] Mercancías peligrosas incluye a las sustancias peligrosas y a sistemas y dispositivos peligrosos.

[68] http://www.imo.org/en/Publications/IMDGCode/Pages/Default.aspx

[69] APRUEBA COMO REGLAMENTO DE LA REPUBLICA EL CODIGO MARITIMO INTERNACIONAL DE MERCADERIAS PELIGROSAS Y SUS ANEXOS Y DEROGA PARTE QUE INDICA DEL REGLAMENTO GENERAL DE TRANSPORTES PARA LA MARINA MERCANTE

A continuación, se presenta un resumen y breve análisis de los reglamentos listados en la Tabla 9. No se resume la Resolución 408 Exenta ya que principalmente contiene un listado que incluye al hidrógeno[70]. Las normas del INN se resumen en la sección 0.

DTO-132 Ministerio de Minería, Reglamento de seguridad minera.

Introducción y alcances

Este reglamento, que regula las medidas de seguridad al interior de las faenas mineras, tiene por objetivo proteger la integridad física de los trabajadores y proteger las instalaciones presentes. Las disposiciones ahí contenidas son aplicables a todas las actividades que se desarrollan en la Industria Extractiva Minera y no excluyen la aplicación de otros reglamentos existentes en la medida que sean aplicables.

Por su carácter general, este documento incluye diferentes regulaciones que se escapan del alcance de este estudio, por lo tanto sólo serán analizadas aquellas que aluden al manejo de sustancias peligrosas o control de incendios producto de estas. Se deja fuera toda reglamentación que regule la seguridad en explotación de minas subterráneas.

Resumen de reglamentación que puede afectar al uso de hidrógeno

Con respecto a la fiscalización de las regulaciones contenidas en el documento, se le designan al SERNAGEOMIN las funciones de controlar y fiscalizar, investigar accidentes, exigir el cumplimiento de las acciones correctivas y proponer la dictación de documentos normativos y acciones preventivas en cuanto a seguridad en las faenas mineras.

En cuanto al manejo de sustancias peligrosas solo se explicita que se deben aplicar las reglamentaciones existentes para el almacenamiento y manejo de sustancias peligrosas. Sin embargo, hay varios artículos sobre prevención y control de incendios, que en general citan otros reglamentos.

Cabe mencionar que, en el artículo 129, este reglamento permite el uso de GLP y GN para propulsar vehículos o equipos automotores en minas subterráneas. Esta disposición facilitaría la aceptación del hidrógeno para los mismos fines.

DTO-43 Ministerio de Salud, Reglamento de almacenamiento de sustancias peligrosas.

Introducción y alcances

El Decreto define sustancia peligrosa (SP) como aquella que pueda significar un riesgo para la salud, la seguridad o el bienestar de los seres humanos y animales. De acuerdo con la NCh382:2013, Sustancias Peligrosas- Clasificación (que en su versión más reciente, de 2017, amplía el alcance haciendo referencia no sólo a sustancias peligrosas sino que a mercancías peligrosas) el hidrógeno es clasificado como “Clase 2.1, Gases Inflamables”. Dentro del alcance del documento, el Artículo 3° dice “Quedan excluidos del ámbito de aplicación de este reglamento: … Los combustibles líquidos y gaseosos, utilizados como recursos energéticos, regulados por los decretos respectivos del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción“. Es decir, el hidrógeno usado como combustible debe ser regulado por el Ministerio de Energía, que remplazó al Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción en este ámbito con posterioridad a la fecha de publicación del Dto-43.

Requerimientos generales para una instalación de almacenamiento de sustancias peligrosas

[70] La Resolución 408 Exenta se puede leer en https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1090269.

Toda instalación de sustancias peligrosas inflamables (SPI) sobre 10 toneladas deberá contar con la Autorización Sanitaria para su funcionamiento, o también si la SPI se almacena en un tanque fijo de más de 15 m^3. En el documento se explicitan los antecedentes necesarios para dicha autorización y se fija una periodicidad de 2 veces al año para actualizar los antecedentes.

Además de lo anterior, se listan a continuación otros requerimientos generales a cualquier instalación:

- Acceso controlado
- Se deben consignar por escrito los procedimientos de operación
- El personal deberá recibir una capacitación anual, como mínimo (se especifican los tópicos)
- Registro con nombre comercial y químicos de las SP, capacidad máxima y promedio almacenada
- Hojas de datos según NCh2245:2015
- Se prohíbe fumar
- Plan de emergencias con los apartados descritos en el artículo 190 del Decreto.

Almacenamiento de gases envasados

En este apartado se especifican los requisitos de almacenamiento para cilindros, los cuales deben ser cumplidos en adición a los ya establecidos para almacenamiento en de SPs en general. Con respecto a las cantidades máximas de almacenamiento, para gases inflamables se establece un máximo de 3 m^2 o 4 m^2 de superficie de almacenamiento de cilindros, dependiendo de si es en bodega de SPs o en bodega exclusiva de gases inflamables, respectivamente; si el área necesaria es mayor, se deben almacenar en bodegas exclusivas para cilindros.

Con respecto a la seguridad ante explosiones o incendios, se establece que las instalaciones eléctricas deben ser a prueba de explosión o intrínsecamente seguras, los techos deben ser de cubierta liviana e incombustible. Se menciona además que, de existir áreas adyacentes (ver definición en Decreto), los muros deben ser RF180[71] como mínimo, y para áreas mayores a 30 m^2 se debe contar con sistemas de enfriamiento con autonomía mínima de 60 minutos.

Almacenamiento a granel

Con respecto a las cantidades máximas permitidas para almacenar en tanques, se establece que para una bodega mixta se pueden mantener hasta 15 m^3 cuando la distancia a los muros sea menor o igual a 3 m, mientras que si es mayor a 3 m se pueden almacenar hasta 30 m^3. En el caso que el tanque sea enterrado se pueden almacenar hasta 60 m^3 con un distanciamiento de 1 m a los muros. De ser necesario almacenar una cantidad mayor a las especificadas anteriormente, se deben implementar medidas de control de riesgo adicionales, que serán evaluadas por la Autoridad Sanitaria.

En cuanto al diseño de los sistemas de seguridad se menciona que estos recintos deben contar con sistemas manuales de extinción de incendios a base de extintores y considerar efectos sísmicos. También se menciona que se debe contar con un plan escrito de inspección y mantención. Además, se hace referencia a la necesidad de contar con las memorias de cálculo de los diseños de los tanques o, en su defecto, si el tanque es importado se debe acreditar el certificado del fabricante.

Almacenamiento a granel de líquidos

[71] Resistencia al fuego de 180 min., medido en ensayo normado.

A continuación se detallan los requerimientos para el almacenamiento a granel de los líquidos, y líquidos inflamables. Dichos tanques deberán:

- Contar con sistemas de control de derrames.
- Tener una placa que identifique la norma bajo la cual fueron construidos, año, capacidad, entre otros datos de diseño (que pueden ser revisados en el documento).
- Contar con la memoria del diseño.
- Los tanques sobre superficie deben descansar sobre fundaciones de concreto, albañilería, o acero y deben estar anclados.
- Contar con un sistema de venteo, si es enterrado el sistema debe estar a una altura mínima de 3,7 m sobre el nivel del terreno y a 1,5 m de cualquier colinde.
- Para instalaciones nuevas se deben hacer pruebas de hermeticidad, control de espesores, revestimientos, porosidad, espacios intersticiales, entre otras.
- Se deben hacer mantenciones según indica la Figura 10.
- Los tanques de líquidos inflamables deben tener las distancias de seguridad indicadas en la Figura 11 .
- Los tanques con más de 100 m^3 de almacenamiento deben contar con un sistema de extinción de incendios y de enfriamiento propio.
- Rotularse según indica la NCh2190:2003, con una visibilidad de 10 m; si el tanque es enterrado la señalética debe estar a no más de 3 m de la tapa de la cámara y a no menos de 1,5 m de altura, además debe ser señalizada la zona como “Zona de tanques enterrados”.
- Con un sistema de detección y contención de fugas, mientras que si es subterráneo debe contar con un cubeto estanco de 15 L en la válvula de entrada.
- Con un sistema de protección de sobrellenado.
- Indicar los materiales usados en las tuberías, las que deben contar con un diseño de control de corriente estática.
- El sistema de bombeo debe contar con un procedimiento operacional trazable.
- Los camiones usados para carga y descarga deben tener conexión a tierra y la conexión de la manguera debe tener un sistema de control de derrames.

Objeto de mantención	Método	Objetivo	Frecuencia
Cañerías y accesorios	Inspección visual	Buscar evidencias de fugas	Mensual
Estanque en uso y con producto	Inspección visual	• Buscar evidencias de fugas, distorsiones del manto, signos de asentamiento y corrosión • Verificar estado de la fundación, del recubrimiento y de la aislación	Mensual Anual
	Inspección exterior del manto, techo o cabezal según corresponda	• Verificar verticalidad, desviaciones locales y redondez. • Verificar calidad de las soldaduras.	Cada 5 años
	Evaluación y/o medición de espesores	• Verificar espesores del manto, techo, entre otros	Evaluar cada 5 años y medir , al menos, a los 10 años En caso de estanques con revestimiento se podrá medir cada 25 años
Estanque sin producto	Inspección visual interior	• Verificar espesores de fondo y manto. • Verificar asentamiento del fondo	Cada 10 años
	Evaluación y/o medición de espesor del fondo.	• Verificar corrosión, fugas y espesor del fondo	Medir a los 15 años En caso de estanques con revestimiento, evaluar cada 15 años y se podrá medir cada 25 años

Figura 10 Requisitos de las mantenciones

Capacidad del estanque (m3)	Distancia desde el manto del estanque al muro medianero o deslinde del sitio (m)	Distancia desde el manto del estanque a otra construcción en que laboren personas (m)
0-1	1.5	1.5
1-3	3.0	1.5
3-50	4.5	1.5
51-100	6.0	1.5
101 – 200	13.5	3.0
201 – 400	15.0	4.5
401 - 2000	24.0	7.5
2001 -4000	30.0	10.5
4001 – 8000	40.5	13.5
8001 - 12000	49.5	16.5
>12000	52.5	18

Figura 11 Distancias de seguridad según capacidad del tanque

Almacenamiento a granel de gases

A continuación se detallan los requerimientos para el almacenamiento a granel de los gases, y gases inflamables. Dichos tanques deberán:

- Contar con un sistema manual de extinción y un sistema de enfriamiento externo.
- Señalar los gases almacenados según la NCh2190:2003.
- Indicar en una placa la norma de fabricación, año, presión máxima de operación, capacidad en m^3, entre otros datos de diseño.
- Acreditar norma de construcción usada, materiales constructivos, capacidad volumétrica, entre otros aspectos de diseño.
- Se deberán inspeccionar mensualmente las conexiones, tuberías y válvulas; anualmente se deberá hacer una inspección visual detallada de la superficie y cada 5 años deberán ser inspeccionados los tanques por una empresa externa acreditada.
- Estar protegidos por barreras físicas que impidan el acceso de personal no entrenado
- Cumplir con las distancias de seguridad establecidas por la Figura 12 (específica para el hidrógeno); de no cumplir con las distancias se deberán implementar medidas adicionales de control de riesgos.
- Tener al menos 3 costados libres donde no existan construcciones adyacentes y cuando las haya deben tener una RF de 120.
-

Distancia desde el manto del estanque más cercano a muro medianero o deslinde del sitio (m)	Distancia desde el manto más cercano a otra construcción o almacenamiento dentro de la misma empresa (m)	Distancia entre estanques (m) y muro RF 120 de sala de producción o envasado (m)	Distancia entre estanques (m)
8	8	1,5	1

Figura 12 Distancia de seguridad específica para el hidrógeno

Plan de emergencia

El Título XIII establece la obligación de preparar un plan de emergencia, e indica sus contenidos mínimos.

DTO-594 Ministerio de Salud, Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo.

Introducción y alcances

Este reglamento regula las condiciones sanitarias y ambientales dentro de los lugares de trabajo, sin perjuicio de la reglamentación específica que pueda existir. Es decir, para el caso de las faenas mineras se deben cumplir tanto el reglamento interno y el Reglamento de Seguridad Minera como este decreto.

Este documento establece diferentes medidas obligatorias para las empresas en relación con los trabajadores, tales como tiempo de exposición a sustancias nocivas, condiciones de higiene, condiciones ambientales, entre otras. Para este análisis sólo se considerarán aquellas medidas que deben ser implementadas debido a la introducción del hidrógeno en las operaciones, es decir se dejan fuera todas aquellas que hagan referencia a contaminantes tóxicos y tiempos de exposición máxima a estos.

Resumen de reglamentación que puede afectar al uso de hidrógeno

Si bien el hidrógeno no es tóxico, es necesario considerar un escenario en el que, producto de una fuga, el oxígeno es desplazado. En este caso el Decreto establece que no se permite una concentración de oxígeno menor a 18%.

Con respecto al almacenamiento de sustancias peligrosas se cita al Decreto 43 del Ministerio de Salud y se especifica que se deben etiquetar adecuadamente las sustancias, capacitar a los operarios, manejar planes de emergencia, entre otros aspectos declarados en el documento del Ministerio de Salud.

Con respecto al control de incendios, se menciona que se deben mantener controles periódicos de las sustancias en existencia, programas de orden y limpieza, además de un estricto control de laborares de soldadura, cortes o reparaciones en general cuando se almacenen productos combustibles, como el hidrógeno (si bien no se menciona explícitamente al hidrógeno). También se establecen requisitos para los extintores de incendio manual, descritos en la Figura 13. El número de extintores debe calcularse dividiendo la superficie a proteger por la superficie máxima de cubrimiento del extintor, teniendo en cuenta que se deben distribuir de tal manera que nunca se supere la distancia máxima de traslado al foco del incendio. Sin embargo, no aclara que los extintores no se usan para

apagar llamas de gases, sino que para extinguir otros fuegos de sustancias líquidas o sólidas que puedan afectar al almacenamiento de gases inflamables.

Superficie de cubrimiento máxima por extintor (m2)	Potencial de extinción mínimo	Distancia máxima de traslado del extintor (m)
150	4A	9
225	6A	11
375	10A	13
420	20A	15

Figura 13 Requisitos para extintores de incendio manuales

Se definen 4 clases para los tipos de incendios (Figura 14), las que no incluye los incendios de gases inflamables ya que estos no se deben apagar. De acuerdo con el reglamento analizado, para la clasificación B se debe contar con extintores de potencial mínimo 10 B, con excepción de las zonas de almacenamiento de combustible donde debe ser 40 B. Sin embargo, esta clasificación no es igual en otros documentos existentes; por ejemplo, la norma UNE-EN 2-1994/A1 del 2005[72] define los incendios de gases inflamables como Clase C. Por otra parte, la NCh934:2008 define las clases de la misma forma que en este Decreto, pero incluye a los gases en la Clase B.

[72] Se puede comprar en https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/une/?c=N0034982; la clasificación de los incendios que hace esta norma se puede ver en https://firestation.wordpress.com/2010/10/30/clases-de-fuego-segun-une-en-2-1994a1-de-2005/.

TIPO DE FUEGO	AGENTES DE EXTINCION
CLASE A Combustibles sólidos comunes tales como madera, papel, género, etc.	Agua presurizada Espuma Polvo químico seco ABC
CLASE B Líquidos combustibles o inflamables, grasas y materiales similares.	Espuma Dióxido de carbono (CO_2) Polvo químico seco ABC - BC
CLASE C Inflamación de equipos que se encuentran energizados eléctricamente.	Dióxido de carbono (CO_2) Polvo químico seco ABC - BC
CLASE D Metales combustibles tales como sodio, titanio, potasio, magnesio, etc.	Polvo químico especial

Figura 14 Clasificación de los tipos de fuego según el Decreto 594

DTO-298 Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Transporte de cargas peligrosas por calles y caminos.

Introducción y alcances

Este documento reglamenta el transporte por calles y caminos de sustancias que signifiquen riesgos para las personas, para la seguridad pública o el medio ambiente. Se excluyen dentro de estas sustancias a los explosivos y materiales radioactivos. En el Artículo 1 se especifica que "Las disposiciones del presente decreto son sin perjuicio de la reglamentación especial que sea aplicable a cada producto peligroso en particular", lo que tiene importancia cuando se analizan otras reglamentaciones.

En este análisis de dejan fuera las regulaciones de carácter general que se dan por aplicadas independiente de si se introduce la utilización del hidrógeno, por ejemplo medidas como la antigüedad de los vehículos, señalética y rotulación general, etc. El foco del análisis se hace considerando el escenario de transporte del hidrógeno a granel en cualquier estado (líquido o gaseoso). A continuación se hace un resumen de estas regulaciones, enfatizando lo relacionado con el tema de estudio.

Resumen de reglamentación que puede afectar al uso de hidrógeno

De manera general se menciona que el transporte de sustancias peligrosas a granel se debe hacer considerando no sólo la operación misma del transporte, sino que también la de carga, descarga y transbordo. También se debe tener en cuenta la compatibilidad de sustancias (definida en el Decreto 43 del Ministerio de Salud) cuando se transporten más de una.

Con respecto a la descarga, se menciona que sólo en el caso que se transporte una única y exclusiva sustancia peligrosa a granel, es decir que no se utilice el mismo medio para cargar una sustancia diferente, se puede continuar la operación sin limpiar los depósitos. En este caso, si sólo se transporta hidrógeno no sería necesaria la operación de limpieza. En el proceso de carga y descarga el

motor debe estar detenido, a menos que sea imperioso para el funcionamiento, e inmovilizado usando cuñas u otros elementos.

Con respecto a la circulación, se deben evitar las vías densamente pobladas (no se precisa ningún número mínimo) y de gran flujo vehicular. Se prohíbe el uso de túneles con más de 500 m de longitud cuando exista una vía alternativa segura (tampoco se establece qué es "segura"). También se prohíbe estacionarse en zonas residenciales, lugares públicos o de fácil acceso al público y lugares de gran densidad vehicular.

RES 96, MINISTERIO DE TRANSPORTES, RESOLUCIÓN QUE Actualiza Y Modifica Reglamento De Manipulacion y Almacenamiento; de Cargas Peligrosas en Recintos Portuarios

Esta Resolución, actualiza y modifica el reglamento de manipulación y almacenamiento de cargas peligrosas en recintos portuarios. Se divide en 25 títulos, dejando sin efecto la Resolución Nº 478 de 1986, la Resolución Nº 182 de 1987, la Resolución Nº 375 de 1988, la Resolución Nº 86 de 1988 y toda otra disposición incompatible con la presente Resolución. En ella nunca se menciona al hidrógeno explícitamente. Sin embargo, establece regulaciones que lo pueden aludir implícitamente.

En el artículo 2, la resolución divide las categorías de carga peligrosa en tres:

- Cargas de Depósito Prohibido[73]
- Cargas de Depósito Condicionado[74]
- Cargas de Ingreso Prohibido al Territorio Nacional[75]

En las cargas de depósito condicionado, el hidrógeno se clasifica en la Clase 2 "Gases comprimidos, licuados o disueltos bajo presión", sub-clase 2,1 "Gases inflamables". Sin embargo, no se menciona el caso de gases licuados criogénicos, aunque en el Anexo A, en los niveles de riesgo, en el nivel 4 incorpora las palabra "gaseosos-criogénicos".

En el artículo 20 se describe el manejo de contenedores que contengan mercancías peligrosas de depósito condicionado y que podría afectar al H2 en sus formas de almacenamiento en cilindros, isotubos o contenedores tanque.

Respecto a distancias de seguridad en el título 21 se señala la clasificación de riesgo de acuerdo a la NFPA 704. En la clasificación de riesgo, el hidrógeno cae en el Nivel 4 de peligro de inflamabilidad, que se definen como "Nivel 4 Materiales que a presión atmosférica y temperatura ambiente normal se vaporizan rápida o completamente, o que enseguida se dispersan en el aire y que arden a gran

[73] Son aquellas que "… deben ser embarcadas o desembarcadas en forma directa, no pudiendo permanecer en los recintos portuarios", artículo 2 Res 96.

[74] Son aquellas "… de embarque o de retiro inmediato, pudiendo depositarse en forma excepcional en el recinto o área especial de la Administración de Puerto", artículo 2 Res 96.

[75] Son aquellas "…establecidas o que establezca en el futuro la Autoridad Sanitaria correspondiente", artículo 2 Res 96.

velocidad (gaseosos - criogénicos); Se considera cualquier sustancia liquida o gaseosa con temperatura de F.P.[76] bajo los 22,8°C y temperatura de ebullición bajo los 37,8°C, cenizas de materias solidas combustibles y vapores líquidos (inflamables o combustibles).”

En la Resolución no se aprecian indicaciones para la carga o descarga a granel de gases comprimidos o licuados a granel desde barcos tanques. Posiblemente se debe a que este tipo de transferencia se realiza en terminales especializados.

DTO-40 Ministerio del Trabajo y Previsión Social, Reglamento sobre prevención de riesgos profesionales.

Introducción y alcances

Este documento establece responsabilidades para los trabajadores y empleadores en aspectos relativos a la seguridad en el trabajo. El Decreto define riesgo profesional como “los atinentes a accidentes en el trabajo o a enfermedades profesionales”, además de establecer que el Servicio Nacional de Salud será el responsable de fiscalizar las actividades realizadas por los organismos administradores de seguro y las Mutualidades. A las últimas les asigna la función de realizar actividades de prevención de riesgos en las empresas.

El Decreto se divide en seis títulos, en los cuales nunca se menciona al hidrógeno explícitamente. Sin embargo, establece regulaciones que lo pueden aludir. Se dejan fuera de este análisis todos los aspectos asociados a prevención de riesgos general (como la conformación de departamentos de prevención de riesgos, medidas de higiene, estadísticas de accidentes, etc.) porque se entiende que son materias ampliamente conocidas. A continuación se hace un resumen de estas regulaciones haciendo énfasis en la relación con el tema en estudio.

Resumen de reglamentación que puede afectar al uso de hidrógeno

El título V del decreto regula la generación de reglamentos internos de las empresas y menciona que es obligación establecer y mantener al día un reglamento de seguridad e higiene. Este reglamento es de carácter obligatorio para los trabajadores y se debe entregar una copia gratuita a todos. Si bien se entiende que dicho reglamento ya debe existir en cualquier empresa que esté funcionando actualmente, este debiera ser actualizado incluyendo en alguno de sus puntos el uso del hidrógeno. Específicamente, se define que este reglamento debe tener al menos un preámbulo y cuatro capítulos donde se señalen disposiciones generales, obligaciones, prohibiciones y sanciones. Los artículos 18 y 19 del Decreto establecen los temas tratados en los capítulos de obligaciones y prohibiciones, y de acuerdo con esto se debiera buscar la forma de incluir aspectos relativos al uso del hidrógeno.

El título VI se refiere a la obligación que tiene el empleador de informar sobre los riesgos a los que está expuesto un trabajador. El artículo 21 establece que se debe poner especial atención en informar sobre los elementos a los que estarán expuestos los trabajadores durante su jornada, se deben identificar los riesgos específicos a los que se expone, y como se debe controlar y prevenir dichos riesgos. En este sentido, es importante considerar lo anterior respecto al uso del hidrógeno en la faena, esta información debe ser canalizada a través de los Comités Paritarios de Higiene y Seguridad y los Departamentos de Prevención de Riesgos.

[76] Flash Point

Conclusiones

El hidrógeno actualmente en chile es clasificado como una sustancia peligrosa, según la NCh382:2003 entra dentro de la Clase 2.1, gases inflamables. Según esto, la reglamentación vigente que regula el uso del hidrógeno es aquella que trata el manejo de sustancias peligrosas. De los documentos revisados se verifica que el hidrógeno aparece listado como sustancia peligrosa tanto en su forma comprimida como líquida en la Resolución 408 Exenta. Ante esto, parece prioritario que las autoridades de gobierno competentes clasifiquen al hidrógeno como combustible para las aplicaciones que lo usen como tal.

Cabe destacar el Decreto 40 del Ministerio del Trabajo y Previsión Social, que obliga a los empleadores a preparar y mantener actualizado un reglamento de seguridad e higiene, además de informar a los trabajadores sobre los riesgos que corren y capacitarlos para enfrentarlos adecuadamente. Estas disposiciones obligan a actualizar dicho reglamento de seguridad e higiene, además de informar y capacitar a los trabajadores, cuando se incorpora el uso o manejo de hidrógeno.

De todos los documentos revisados, el Decreto 43 del Ministerio de Salud es el más completo en cuanto a medidas concretas como distancias de seguridad, capacidades máximas de almacenamiento, entre otras. Sin embargo, si se compara con los reglamentos internacionales su alcance es muy corto. Más aún, no existe ningún reglamento específico para el uso del hidrógeno, como sí ocurre en países donde se tiene más experiencia.

Según esto, la reglamentación actual sólo cubre levemente el almacenamiento del hidrógeno, y aspectos como el transporte y manejo quedan aún menos regulados. Los decretos de carácter general analizados (Seguridad Minera, Prevención de Riesgos Profesionales y Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo) prácticamente no se refieren a temas de seguridad en el manejo de sustancias peligrosas y más bien regulan situaciones estándar, como incendios, o especifican obligaciones para las empresas, como cierta periodicidad en las mantenciones o señaléticas adecuadas.

Por lo tanto, luego de la revisión se concluye que la reglamentación actual no es lo suficientemente específica para un uso seguro del hidrógeno en una faena minera.

Referencias

1. Glosario legislativo. (2019). Revisado desde https://www.bcn.cl/ayuda_folder/glosario
2. Quienes Somos - Comisión Nacional de Energía. (2019). Revisado desde https://www.cne.cl/quienes-somos/
3. Historia - Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. (2019). Revisado desde https://www.economia.gob.cl/acerca-de/historia
4. https://www.sernageomin.cl/mision-y-vision-institucional/
5. Prevención, protección y actuación ante emergencias. (2019). *Clases de fuego y sus características*. [online] Revisado desde: https://www.aprendemergencias.es/incendios/clases-de-fuego/

10.14.2 Listado de regulaciones sobre combustibles gaseosos que no aplican directamente al uso del hidrógeno pero que se deberían considerar

Tabla 28 Listado de normas y reglamentos sobre seguridad de combustibles gaseosos

Organismo	Título	Número documento	Fecha de publicación
Ministerio de Energía	Deroga Decreto n° 20, de 1964, y lo reemplaza por las disposiciones que indica	DFL-1	09-02-2017
Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción	Aprueba reglamento de seguridad para las instalaciones y operaciones de producción y refinación, transporte, almacenamiento, distribución y abastecimiento de combustibles líquidos	D-160	07-07-2009
Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción	Establece requisitos mínimos para instalar y declarar estaciones surtidoras de gas licuado de petróleo (GLP) a vehículos motorizados	RES 2016 EXENTA	09-07-2005
Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción	Procedimiento para declarar estaciones surtidoras de gas natural comprimido (GNC) para uso automotriz	RES 414 EXENTA	29-03-2004
Ministerio de Energía	Aprueba reglamento de seguridad para las instalaciones de almacenamiento, trasporte y distribución de gas licuado de petróleo y operaciones asociadas	DTO-108	10-10-2014
INN	Gas natural comprimido -sistema para el uso de GNC como combustible de vehículos motorizados-Requisitos mínimos de seguridad.	NCh 2109	1998
INN	Gas natural comprimido -Estaciones surtidoras de GNC- Requisitos mínimos de seguridad.	NCh 2110	1998

Regulaciones chilenas aplicables al hidrógeno como combustible o sustancia peligrosa

Decreto con Fuerza de Ley 160

Si la clasificación del Hidrógeno se modificara y fuera considerado como un combustible, el artículo segundo del DFL-1 podría aplicar por cuanto en su Artículo segundo indica que este “Establécese un registro en el que los propietarios de las instalaciones que sirvan para producción, importación, refinación, transporte, distribución, almacenamiento, abastecimiento, regasificación o comercialicen combustibles derivados del petróleo, biocombustibles líquidos, gases licuados combustibles y todo fluido gaseoso combustible, como gas natural, gas de red y biogás deberán inscribirlas. No se entenderán incluidas en las actividades antes señaladas la explotación de depósitos naturales de petróleo y gas natural. La Superintendencia de Electricidad y Combustibles será el organismo responsable de establecer y mantener el citado registro”. El concepto “todo fluido gaseso” señalado en el DFL-1 podría abordar el hidrógeno gaseoso, sin embargo no el hidrógeno en estádo líquido. Lo anterior implica una brecha con la realidad por cuanto dejaría fuera una de las diferentes formas de almacenamiento, transporte, distribución y uso del H2.

Decreto 160.

Este Decreto, establece el reglamento de seguridad para las instalaciones y operaciones de producción y refinación, transporte, almacenamiento, distribución y abastecimiento de combustibles líquidos (CL), perfeccionando el reglamento aprobado por DS 90 de 1996 e incorporando aspectos normativos relevantes y desarrollos tecnológicos recientes en materia de seguridad a las instalaciones y a la incorporación de los biocombustibles. En su artículo segundo establece la definición de combustibles líquidos (CL), definiéndolos como “mezclas de hidrocarburos, en estado líquido, a temperatura de 37,8 °C (100 °F) y presión máxima absoluta de 275 kPa (39,8 psi), utilizados para generar

energía por medio de la combustión. Se entenderá que forman parte de estos los biocombustibles líquidos, biodiesel y bioetanol, producidos a partir de biomasa.

Normas chilenas aplicables al hidrógeno como sustancia peligrosa

Este Apéndice muestra el alcance (disponible también en la página web del INN) de las tres normas chilenas aplicables al hidrógeno como sustancia peligrosa.

NCh382:2017 Mercancías peligrosas[77] – Clasificación

Esta norma establece una clasificación de las mercancías peligrosas en clase y división. Esta norma presenta dos listas de mercancías peligrosas, la primera ordenada por su numeración de las Naciones Unidas (NU) y la segunda por orden alfabético, indicando su peligro primario y, cuando corresponda, su peligro secundario y el número de Guía GRE 2016 (primeras acciones en caso de emergencia). Esta norma clasifica a las mercancías peligrosas de acuerdo al peligro más significativo que presentan en el transporte en territorio nacional. NOTA: Se debe considerar la legislación específica aplicable a los distintos modos de transporte.

NCh2190:2019 Transporte de sustancias peligrosas – Distintivos para identificación de riesgos

1.1 Esta norma establece los requisitos de los distintivos de seguridad con que se deben identificar los peligros que presentan las mercancías peligrosas; incluyendo requisitos sobre las características de las marcas, etiquetas y rótulos, uso de ellos, excepciones en el uso y lugares en que se deben colocar.

1.2 Los distintivos de seguridad (marcas, etiquetas, rótulos) que se establecen en esta norma están destinados para ser colocados en la superficie externa del embalaje/envase, embalaje/envase exterior, embalaje, bulto y en unidad de transporte en que se trasladan. NOTA Para el caso del etiquetado de envases se aplican las disposiciones establecidas por la Autoridad Competente.

1.3 Esta norma se aplica en el transporte de las mercancías peligrosas definidas en NCh382, por vía terrestre, dentro del país. NOTA: Se debería considerar la legislación específica aplicable a los distintos modos de transporte.

1.4 Las disposiciones de esta norma no se aplican a las marcas o etiquetas de los envases siguientes:

a) gases licuados de petróleo para uso doméstico, ver NCh78 y NCh1924;

b) gases licuados de petróleo para uso automotriz, ver NCh2106, NCh2107 y NCh2108;

c) gas natural para uso automotriz, ver NCh2109;

d) gases comprimidos, ver NCh1025 y NCh1377.

1.5 Como principio general, cuando, por circunstancias especiales, la Autoridad Competente determine la conveniencia de exceptuar temporalmente la aplicación de algunas de las disposiciones establecidas en esta norma, se entiende que, en esos casos excepcionales, se debe disponer la aplicación de procedimientos especiales que garanticen un nivel de seguridad adecuado.

1.6 Las disposiciones de esta norma se aplican sin perjuicio de las reglamentaciones nacionales específicas existentes sobre la materia, y de las disposiciones particulares que disponga la Autoridad

[77] Esta norma corresponde a la actualización de la norma mencionada en los reglamentos revisados, se cambió la palabra “sustancias” por “mercancías” que abarca un significado más amplio para la clasificación

NCh1411/4:2000 Prevención de riesgos – Parte 4: Señales de seguridad para la identificación de riesgos de materiales

1.1 Esta norma establece los riesgos relacionados con la salud, la inflamabilidad y la reactividad (o inestabilidad) de los materiales y relaciona los riesgos que se puedan presentar a corto plazo por exposiciones agudas durante el manejo de materiales bajo condiciones de incendio, derrames o emergencias.

1.2 Esta norma proporciona un método de identificación simple y de fácil reconocimiento, entregando una idea general de los riesgos de un material y los grados de severidad de éstos referidos a su manejo, prevención contra incendio, exposición y control. Los objetivos del método son: proporcionar una señalización apropiada y la debida información para salvaguardar la vida del personal que trabaja en las instalaciones mismas o que acude externamente ante una determinada emergencia; servir de guía en la planificación efectiva contra el fuego y el control de las operaciones de emergencia, incluyendo el retiro de residuos; asistir a todo el personal designado, ingenieros, personal de planta y de seguridad en la evaluación de riesgos.

1.3 Reconocer las condiciones locales en relación a los riesgos y mantener una evaluación y discusión constante en términos generales.

1.4 Esta norma se aplica a instalaciones industriales, comerciales y en general a todas las que fabriquen, procesen, utilicen o almacenen materiales peligrosos.

1.5 Esta norma no se aplica al transporte de materiales peligrosos.

1.6 Esta norma no se aplica para exposiciones crónicas o a una exposición ocupacional no asociada a una emergencia.

NCh2245:2015 Hoja de datos de seguridad para productos químicos

Esta norma define las secciones, contenido y formato general de la hoja de datos de seguridad (HDS) para productos químicos. Se aplica a las HDS que debe preparar el proveedor de productos químicos dentro del territorio nacional.

Decretos y reglamentos de seguridad de combustibles gaseosos

Como referencia, este Apéndice resume los reglamentos sobre seguridad de combustibles.

DTO 160 Reglamento de seguridad para las instalaciones y operaciones de producción y refinación, transporte, almacenamiento, distribución y abastecimiento de combustibles líquidos - Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción

Se entiende por combustible líquido (CL) todo aquel combustible mezcla de hidrocarburos que a 37,8 C es líquido a una presión máxima absoluta de 275 kPa, y que es usado para obtener energía por medio de la combustión (esto entonces incluye a todos los derivados del petróleo y a los biocombustibles producidos a partir de biomasa). Los CL son clasificados según su punto de inflamación[78].

Para la seguridad en la operación se debe contar con un Sistema de Gestión de Seguridad y Riesgo y un Manual de Seguridad de Combustibles Líquidos. Se establecen frecuencias de inspección según tipo de instalación (almacenamiento, producción, transporte, etc.). En el diseño de las instalaciones

[78] Temperatura a la que el CL produce la cantidad suficiente de vapor para sustentar una llama en su superficie.

se deben considerar las distancias mínimas de seguridad, no se debe sobrepasar el 25% de concentración con respecto al límite de inflamabilidad inferior y se debe incluir un diseño antisísmico.

Se entiende por tanque de almacenamiento todo aquel con una capacidad superior a 227 L, para el diseño se debe seguir las normas API Std 620-650, UL 58-142, ASME Section VIII, ASTM D 4021, BS 2594, según corresponda. El venteo se debe diseñar según API Std 2000. Se establecen las dimensiones y decisiones de diseño para la ventilación de alivio.

Se establecen las distancias de seguridad según clase de combustible, presión de almacenamiento, tipo de tanque y tipo de instalaciones cercanas. Se deben considerar zonas estancas para evitar derramas de CL, o sistemas de conducción de derrames alejados de las instalaciones.

Se establecen los requerimientos de diseño para tanques enterrados tales como profundidad del tanque, refuerzos, cubiertas aislantes, etc. Para tanques al interior de los edificios se debe seguir NFPA 30. Todos los tanques deben estar claramente identificados según se detalla. Se detalla la manera de operar para el combate de incendio en tanques sobre superficie. También se establece la frecuencia y el modo de inspección de los tanques según su clasificación

DTO-108 Reglamento de seguridad para las instalaciones de almacenamiento, transporte y distribución de gas licuado de petróleo y operaciones asociadas - Ministerio de Energía

Este Decreto reemplaza a los Decretos Nº 29 denominados “Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento, Transporte y Expendio de Gas Licuado” y al Nº 226 de 1982, que establece “Requisitos de Seguridad para Instalaciones y Locales de Almacenamiento de Combustibles”, ambos del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción.

El Reglamento “establece los requisitos que deben cumplir las instalaciones de gas licuado de petróleo (GLP), en la etapas de diseño, construcción, operación, mantenimiento, inspección y termino definitivo de operaciones, en las cuales se realizaran las actividades de almacenamiento, envasado, transporte, transferencia, distribución y abastecimiento de GLP, así como las obligaciones de las personas naturales y jurídicas que intervienen en dichas actividades”.

Se nombran las normas chilenas aplicables. Se mencionan algunas decisiones de diseño relevantes como:

- Diseñar una ventilación para mantener las concentraciones de vapores inflamables por debajo del 25% del límite inferior de inflamabilidad.
- Contar con un diseño sísmico de acuerdo a NCh2369. Of2003.
- Se debe cumplir con NFPA 14 y NFPA 58 para las instalaciones eléctricas y redes de agua, respectivamente.
- Para los tanques de almacenamiento se debe considerar diseños sísmicos, vientos, inundaciones. Deben ser diseñados según la norma ASME *Boiler and Pressure Vessel Code*, también se debe considerar la corrosión (acidez, humedad, cloruros, etc.).

Para control de ignición se sigue NFPA 58. Se mencionan además las normas a seguir (todas internacionales) para el diseño de las plantas de GLP. Se establecen diferencias en las medidas de seguridad (más estrictas) para almacenamientos mayores a 100 m^3. Se obliga a las estaciones de GLP a contar con un manual de seguridad y se detallan los capítulos requeridos.

Para el diseño de camiones tanque se sigue NFP 58 (para las válvulas, cañerías, conexiones, etc.) al igual que para su mantención, además se debe diseñar de tal manera que no haya diferencias de potencial entre las partes metálicas y que estén bien aisladas.

La transferencia de GLP sigue NFPA 58.

Se establece el número mínimo de bocas de riego[79], diámetro nominal y tipo de mangueras según cantidad de kg de GLP almacenado, de igual manera se establece el número mínimo de extintores según cantidad de kg de GLP almacenado

Definiciones INN

El INN en su página web establece algunas definiciones de importancia para este estudio, según este organismo una norma "Es un documento de conocimiento y uso público, aprobado por consenso y por un organismo reconocido. La norma establece, para usos comunes y repetidos, reglas, criterios o características para las actividades o sus resultados y procura la obtención de un nivel óptimo de ordenamiento en un contexto determinado."

En el mismo sitio se hace la diferencia entre una norma chilena y una norma chilena oficial según consta en la siguiente definición del INN: "Una norma chilena es un documento cuyo estudio a nivel de Comité Técnico ha finalizado y ha sido aprobada por el Consejo del INN. Una norma chilena oficiales una norma chilena que ha sido aprobada por un Ministerio, mediante decreto o resolución."

Con respecto a la obligatoriedad de las normas se estable lo siguiente: "Todas las normas chilenas y normas chilenas oficiales son en su origen de carácter voluntario. Se transforman de cumplimiento obligatorio al ser citadas en algún tipo de reglamentación (resolución, decreto o ley), ya sea en forma particular (ej. Cúmplase con norma chilena NCh382) o en forma general (ej. cúmplase con las normas chilenas sobre elementos de seguridad)."

Se clasifican las áreas según grado de peligrosidad (principalmente según qué tan permisible es la formación de una atmosfera explosiva o qué tan probable es) y de acuerdo a esto se toman medidas preventivas.

Se hace referencia también a las medidas de seguridad y normas internacionales seguidas para el diseño de los camiones destinados a transportar CL. Se mencionan: NCh 2190 of 2003 Transporte de sustancias peligrosas – Distintivos para identificación de riesgos y DS 298/94 Reglamentos de Transporte de Cargas Peligrosas por Calles y Caminos del Ministerio de Trasportes y Telecomunicaciones.

Incompatibilidad de sustancias peligrosas

En el Decreto 43 del Ministerio de Salud, también se definen sustancias incompatibles para almacenarse en el mismo recinto según clase. Esto tiene implicancias en el diseño y construcción del almacenamiento, las que son declaradas en párrafos posteriores. La Figura 15 muestra la matriz de incompatibilidad.

[79] Conexión en una tubería de una red de agua, a la cual puede conectarse una manguera.

Clase peligro NU	1 (1')	2.1	2.2	2.3	3	4.1	4.2	4.3	5.1	5.2	6	7	8	9
1 (1')	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2.1	1	3	3	1	3	3	3	3	3	3	2	2	3	1
2.2	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
2.3	1	1	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	2	1
3	1	3	3	2	3	3	3	3	2	3	1	3	3	1
4.1	1	3	3	2	3	3	3	3	2	3	1	3	2	1
4.2	1	3	3	2	3	3	3	3	2	3	1	3	1	1
4.3	1	3	3	2	3	3	3	3	2	3	1	3	2	1
5.1	1	3	3	2	2	2	2	2	3	3	1	3	2	1
5.2	1	3	3	2	3	3	3	3	3	3	1	3	2	1
6	1	2	3	3	1	1	1	1	1	1	3	3	1	1
7	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
8	1	3	3	2	3	2	1	2	2	2	1	3	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

1'	Corresponde a la Clase Explosivos. Su almacenamiento depende de las incompatibilidades especificas
3	Sustancias compatibles
1	Precaución. Revisar incompatibilidades individuales, según HDS
2	Son incompatibles

Figura 15 Matriz de incompatibilidad de SPs según clase definida en NCh 382:2013

10.15 Regulaciones Técnicas Internacionales

Las normas técnicas son creadas por organizaciones dedicadas específicamente a esto (Organizaciones que Generan Normas, OGN), siguiendo un procedimiento riguroso, establecido por cada una de ellas. Cada norma es preparada por un Comité Técnico especial de personas interesadas y con conocimientos en el tema. Una característica típica de las normas es que son consensuadas por este comité (Ohi, 2009, pág. 477).

Las normas más importantes sobre el GH_2 dispensado por hidrogeneras (NFPA 2, cap. 10, ISO 19880-1) ofrecen un riesgo similar o inferior al que tienen las gasolineras convencionales; durante la preparación de estas normas se hizo análisis cuantitativo de riesgo para validar que esto sea efectivo (LaChance, Middleton, & Groth, 2012). Las otras normas sobre hidrógeno siguen el mismo espíritu, aunque no se hayan validado con análisis cuantitativo de riesgo. En general, se puede afirmar que un sistema de hidrógeno se puede construir y operar con un riesgo aceptado[80] por la sociedad, como se hace con cualquier combustible convencional. Para esto, sólo hace falta tomar resguardos adecuados, los que están contenidos en las normas de seguridad (Wurster, 2016, pág. 211).

Los reglamentos, que son obligatorios, son dictados por autoridades del Estado en cada nación. Como referencia, el Informe de avance 2 de Fichtner recopila reglamentos de la UE que aplican directa o indirectamente al hidrógeno. Adicionalmente, el Consultor agregó reglamentos federales de EE.UU., obtenidos del informe del Consorcio Corfo (Rivera, 2019).

[80] Si bien no es posible determinar con precisión qué riesgo es aceptado por la sociedad, y este varía con el tiempo y el lugar, de algún modo los Comités Técnicos llegan a un consenso sobre lo que es aceptable.

En la primera sección de este apéndice se hace una breve descripción de las OGN más relevantes para las tecnologías del hidrógeno. En la segunda se seleccionan normas aplicables a las distintas etapas de la cadena de valor del hidrógeno, y en la tercera se proponen las que podrían usarse en los reglamentos chilenos.

10.15.1 Organizaciones que Generan Normas

Hay numerosas OGN que generan normas aplicables a sistemas y componentes para hidrógeno, las que se diferencian por el campo técnico que cubren y por el lugar donde se ubican y se enfocan. Sin embargo, el territorio objetivo de muchos de estos organismos ha ido cambiando desde uno restringido a uno globalizado. Algunas de estas organizaciones se especializan en una materia, como ser gases comprimidos, y otras generan normas en todos los campos posibles.

En EE. UU., la organización ANSI (*American National Standards Institute*) tiene por misión supervisar el proceso de creación de normas, realizado por OGNs, y acreditarlas, constituyendo un cuerpo de normas nacionales (ANSI 1, 2019). Las normas adoptadas como nacionales llevan la sigla ANSI precediendo la sigla del organismo que generó la norma, por ejemplo, ANSI/ASME B31.1-2007.

En Europa existe la organización CEN (*European Committee for Standardization*), cuya misión es constituir un cuerpo unificado de normas para sus miembros, que son 34 países, principalmente europeos (CEN 1, 2019). Para esto, adopta normas de otras OGNs europeas y genera nuevas normas para materias donde no las hay. Las normas preparadas o adoptadas por CEN llevan la sigla EN.

A nivel global existe una tendencia a armonizar las normas para facilitar el comercio y los viajes entre los países (Tchouvelev, de Oliveira, & Neves Jr., 2019, págs. 310-214). La

Tabla 29 lista las principales OGN agrupadas según su área de acción, indicando el campo que cubren y su sitio web (URL), extraída de (Rivera, 2019, pág. 20) y complementada.

Las organizaciones ISO e IEC son las únicas realmente internacionales, ya que tienen miembros de casi todos los países, aunque no todos participan en la elaboración de una norma determinada. Por ejemplo, Chile no participa en el comité ISO/TR 197 encargado de preparar las normas sobre hidrógeno. A pesar de esto, sus normas se pueden considerar de consenso internacional. Algo similar ocurre con la IEC; sin embargo, el único aspecto que este organismo norma relacionado con el hidrógeno, es la seguridad de las celdas de combustible. Chile está representado en ISO por el INN, y en IEC por CORNELEC[81].

Tabla 29 Organizaciones que generan normas relevantes para el hidrógeno (Rivera, 2019)

Global		
Organismo normativo	Campo	URL
ISO, International Organization for Standardization	Todo	https://www.iso.org/home.html
IEC, International	Electricidad y electrónica (Celdas de combustible)	https://www.iec.ch/

[81] Corporación Chilena de Normalización Electrotécnica, http://cornelec.cl/.

Electrotechnical Commission		
América del Norte		
Organismo normativo	Campo	URL
NFPA, National Fire Protection Association	Todo lo relacionado con protección contra incendio y explosión	https://www.nfpa.org/
SAE, Society of Automotive Engineers	Todo lo relacionado con vehículos terrestres y aéreos	https://www.sae.org/
CSA, Canadian Standards Association	Todo	https://www.csagroup.org/
CGA, Compressed Gas Association	Componentes de sistemas de gases comprimidos	https://www.cganet.com/
ANSI, American National Standards Institute	Acreditación de OGN, designación norma nacional de EE.UU.	https://www.ansi.org/
ASME, American Society of Mechanical Engineers	Componentes y sistemas mecánicos	https://www.asme.org/
ASTM, American Society for Testing and Materials	Materiales y ensayos	https://www.astm.org/
Europa		
Organismo normativo	Campo	URL
CEN, European Committee for Standardization	Acreditación, todo	https://www.cen.eu/Pages/default.aspx
EIGA, European Industrial Gases Association	Gases industriales	https://www.eiga.eu/

América del Norte tiene el mayor número de OGNs relevantes para el hidrógeno; son siete, todas con reconocimiento internacional. Aunque estas OGNs nacieron en un contexto nacional, todas ellas hoy tienen un enfoque global, pero sus miembros no son países sino que individuos o empresas. Entre estas OGN destacan la NFPA y la ASME, por desarrollar normas muy completas y amplias que, por esta razón, ellos llaman "*codes*". En particular, los *codes* de la NFPA se proponen para ser adoptados como reglamento y, por ello, suelen llamarse también "*model codes*" (Tchouvelev, de Oliveira, & Neves Jr., 2019, pág. 307), (Ohi, 2009, pág. 478).

10.15.2 Selección de Normas

En base a la lista de normas internacionales preparada por el consultor internacional Fichtner (Fichtner , 2020), y a otros antecedentes, se seleccionaron las normas internacionales que se podrían aplicar en Chile a cada etapa de la cadena de valor, para cubrir las brechas identificadas en 4.3.2. El criterio de selección fue considerar las normas que son citadas por los reglamentos, las que serán llamadas primarias. Estas normas primarias, a su vez, citan otras normas, que serán llamadas secundarias, lo que se explicó en el Apéndice 10.2 (Figura 5), donde se analiza la estructura típica de un marco regulatorio. Las normas primarias normalmente se aplican a sistemas completos, mientras que las secundarias se aplican a componentes y materiales. Sin embargo, esta distinción no siempre es clara, por lo que cuando

se redacte cada reglamento habrá que revisar nuevamente esta selección. A este criterio se agregó el que sean normas sobre seguridad del hidrógeno o sus mezclas, descartándose normas para el GN, sobre asuntos ambientales, sobre aspectos comerciales y de incentivo al uso de hidrógeno. Se debe tener presente que las normas son dinámicas, y constantemente se modifican, se anulan, y también aparecen normas nuevas. A las normas seleccionadas del informe de Fichtner, se agregaron unas pocas seleccionadas con el mismo criterio del informe del Consorcio Corfo (Rivera, 2019).

La selección se hizo analizando la información sobre el alcance de cada norma contenida en los informes de Fichtner y del Consorcio Corfo, más la lectura de las normas NFPA y EIGA, que se encuentran disponibles en línea. Por lo tanto, hay que tomar con reserva esta selección y, si hay dudas, habrá que comprar y estudiar las normas que se consideren necesarias.

Las normas seleccionadas se agruparon por etapa de la cadena de valor, agregando dos categorías nuevas: Generales e Informativas. Las normas clasificadas como generales aplican en alguna medida a toda la cadena de valor; en ella se encuentran normas sobre calidad del hidrógeno, sobre sistemas de cañerías y aspectos generales de las instalaciones. Algunas normas generales también tienen aplicaciones específicas a alguna etapa de la cadena de valor, pero no se repitieron en la etapa que corresponde para no hacer demasiado larga la lista. La idea es que al preparar un reglamento para una etapa específica de la cadena de valor se consideren primero las normas generales y, luego, las específicas. En ocasiones ocurre que una norma aplica a dos o más etapas, en cuyo caso esta se repite en el listado de cada una de las etapas a las que aplica. Finalmente, los documentos en la categoría Informativas no son normas propiamente tal, aunque en el listado no se distinguen, pero entregan información valiosa, por ejemplo, sobre propiedades del hidrógeno, principios generales de seguridad del hidrógeno y terminología. El Consultor considera que, aunque no tiene sentido que un reglamento los haga obligatorios, este si puede recomendar su estudio.

La norma NFPA 2 presenta un caso particular que hay que destacar. Esta norma corresponde a lo que en EE.UU. llaman "*model code*", lo que significa que está hecha para ser adoptada por alguna autoridad como reglamento, en su totalidad o en parte, con o sin modificaciones (Ohi, 2009, pág. 478). Por esta razón, incluye todas las etapas y muchas aplicaciones, exceptuando el transporte de hidrógeno y su uso en vehículos. Esta norma se incluyó en cada etapa que corresponde, indicando el o los capítulos que aplican.

Las tablas Tabla 30 a Tabla 36 muestran las normas seleccionadas por etapa de la cadena de valor, incluyendo las Generales y las Informativas. El archivo denominado "Base de datos de normas de hidrógeno.xlsx", anexo al presente informe (10.18), contiene el listado completo de las normas presentadas en el informe de Fichtner y las aportadas por el Consultor. En el mismo archivo se hace la selección de las normas de acuerdo al criterio indicado.

Tabla 30 Normas seleccionadas aplicables a Producción

Norma	Título
NFPA 2 capítulo 13	Hydrogen Generation Systems
ISO 16110	Hydrogen generators using fuel processing technologies
ISO 22734	Hydrogen generators using water electrolysis — Industrial, commercial, and residential applications.

Tabla 31 Normas seleccionadas aplicables a Acondicionamiento

Norma	Título
ANSI/CSA HGV 4.8-2012 (R2018)	Hydrogen gas vehicle fueling station compressor guidelines

La norma contenida en la tabla anterior se ha seleccionado, a pesar de no corresponder a un sistema sino que a un componente, ya que no hay una norma primaria aplicable al acondicionamiento y, además, el compresor es el componente más importante de un tipo de acondicionamiento. Lo que le falta a esta norma son disposiciones respecto a la instalación y sistemas de seguridad. Sin embargo, hay que recordar, además, que todas las normas incluidas en la categoría General también aplican al Acondicionamiento. En particular, la NFPA 2 en la sección 7.1.20 da requisitos generales de equipos de compresión y procesamiento de hidrógeno, incluyendo dispositivos de alivio de presión y de corte de seguridad.

Tabla 32 Normas seleccionadas aplicables a Almacenamiento

Norma	Título
ASME BPVC	Boiler and Pressure Vessel Code
CGA H-2	Guideline for Classification and Labeling of Hydrogen Storage Systems with Hydrogen Absorbed in Reversible Metal Hydrides
CGA H-5	Standard for Bulk Hydrogen Supply Systems
EIGA 06/19	Safety in storage, handling and distribution of liquid hydrogen
EIGA 100/11	Hydrogen Cylinders and Transport Vessels
EIGA 171/12	Storage of Hydrogen in Systems Located Underground
NFPA 2 capítulos 7	Gaseous Hydrogen
NFPA 2 capítulos 8	Liquefied Hydrogen
ISO 16111	Transportable gas storage devices — Hydrogen absorbed in reversible metal hydride

En la etapa Almacenamiento se ha incluido la norma ASME BPVC por ser muy citada por reglamentos y normas sobre tanques para hidrógeno. Sin embargo, no cubre el sistema de almacenamiento con todos sus componentes y sistemas de seguridad. También se incluyó la norma CGA H-2 por considerarse que el etiquetado es importante en la seguridad de uso de los contenedores. Las normas EIGA 100/11 e ISO 16111 no corresponden a un sistema de almacenamiento propiamente tal, pero el almacenamiento en contenedores transportables no constituye un sistema por la condición de ser transportable.

Tabla 33 Normas seleccionadas aplicables a Transporte y distribución

Norma	Título	Comentarios
ASME B31.12	Hydrogen piping and pipelines	
CGA G-5.6-2005 (EIGA 121/14)	Hydrogen Pipeline Systems	Estas dos normas están armonizadas
EIGA 121/14 (CGA G-5.6)	Hydrogen Pipeline Systems	
EIGA 06/19	Safety in storage, handling and distribution of liquid hydrogen	

Las normas CGA G-5.6 y EIGA 121/14 están armonizadas, por lo que son equivalentes. Sin embargo, conviene usar la segunda porque se puede obtener en formato pdf sin costo.

Tabla 34 Normas seleccionadas aplicables a Consumo

Norma	Título	Comentarios
CGA G-5.4	Standard for Hydrogen Piping Systems at User Locations	
CSA B51-2019	Boiler, Pressure Vessel, and Pressure Piping Code, Part 3 (Hydrogen filling stations)	
CSA HGV 4.9-2016	Hydrogen fuelling stations	
EIGA 15/06	Gaseous Hydrogen Stations	
EN 17127	Outdoor hydrogen refuelling points dispensing gaseous hydrogen and incorporating filling protocols	
IEC 62282	Fuel cell technologies	
ISO 13984	Liquid hydrogen — Land vehicle fuelling system interface	
ISO 17268	Gaseous hydrogen land vehicle refuelling connection devices.	
ISO 19880-1	Gaseous hydrogen — Fuelling stations-General Requirements	
ISO 21266	Road vehicles — Compressed gaseous hydrogen (CGH2) and hydrogen/natural gas blends fuel systems	
ISO 23273	Fuel cell road vehicles — Safety specifications — Protection against hydrogen hazards for vehicles fuelled with compressed hydrogen	
NFPA 2 capítulo 7	Gaseous Hydrogen	
NFPA 2 capítulo 8	Liquefied Hydrogen	
NFPA 2 capítulo 10	GH2 Vehicle Fueling Facilities	
NFPA 2 capítulo 11	LH2 Fueling Facilities	
NFPA 2 capítulo 12	Hydrogen Fuel Cell Power Systems	
NFPA 2 capítulo 14	Combustion Applications	
NFPA 2 capítulo 15	Special Atmosphere Applications	
NFPA 2 capítulo 16	Laboratory Operations	
NFPA 2 capítulo 17	Parking Garages	
NFPA 2 capítulo 18	Repair Garage	
NFPA 853	Standard for the Installation of Stationary Fuel Cell Power Systems	Complementaria y citada por NFPA 2
SAE AIR6464	Hydrogen Fuel Cells Aircraft Fuel Cell Safety Guidelines	
SAE AS6858	Installation of Fuel Cell Systems in Large Civil Aircraft	
SAE J2578_2014	Recommended Practice for General Fuel Cell Vehicle Safety	
SAE J2579_2018	Standard for Fuel Systems in Fuel Cell and Other Hydrogen Vehicles	
SAE J2600	Compressed Hydrogen Surface Vehicle Fueling Connection Devices	
SAE J2601	Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles	
SAE J2601/2_2014	Fueling Protocol for Gaseous Hydrogen Powered Heavy Duty Vehicles	

SAE J2601/3_2013	Fueling Protocol for Gaseous Hydrogen Powered Industrial Trucks	Aplica a vehículos industriales (p.ej., grúas horquilla).
SAE J2799_2014	Hydrogen Surface Vehicle to Station Communications Hardware and Software	
SAE J2990/1_2016	Gaseous Hydrogen and Fuel Cell Vehicle First and Second Responder Recommended Practice	

Aunque las normas ISO 13984, ISO 17268 y SAE J2600 regulan componentes, no sistemas, se han incluido por su relevancia para que las hidrogeneras y los vehículos sean compatibles. Adicionalmente, no siempre son citadas en otras normas. Las normas CGA G-5.4 y CSA B51-2019, sobre sistemas de cañerías, se incluyen aquí y no en la categoría Generales, porque se trata de sistemas de cañerías en el lugar de consumo.

Tabla 35 Normas generales

Norma	Título	Comentarios
ASME B31.12	Hydrogen piping and pipelines	
ASME STP-PT- 006-2007	Design Guidelines for Hydrogen Piping and Pipelines	
CSA B51-2019	Boiler, Pressure Vessel, and Pressure Piping Code	Similar a ASME B31.12
EN 16726	Gas infrastructure - Quality of gas - Group H	
EN 17124	Hydrogen fuel - Product specification and quality assurance - Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles	
ISO 14687:2019	Hydrogen fuel quality – Product specification	Remplaza las ISO 14687 partes 1, a 3
NFPA 2 capítulos 1 a 8	General, CH2 y LH2	
NFPA 55	Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code	Contenida en la NFPA 2
SAE J2719	Hydrogen Fuel Quality for Fuel Cell Vehicles	

Las normas ASME B31.12, ASME STP-PT- 006 y CSA B51-2019 se han incluido en la categoría Generales porque dan requerimientos para sistemas de cañerías, que son parte de la mayoría de las aplicaciones incluidas en todas las etapas de la cadena de valor. Sin embargo, todas ellas excluyen las cañerías instaladas en vehículos. Estos tienen exigencias especiales debido a las vibraciones y los riesgos derivados de la exposición al agua, polvo, lubricantes, posibles colisiones y la proximidad de los ocupantes del vehículo.

Las normas EN 16726, EN 17124, ISO 14687 y SAE J2719, sobre calidad del hidrógeno, se incluyen a pesar de no ser de seguridad por su gran relevancia. Estas normas se consideran aplicables a todas las etapas de la cadena de valor, no solo a producción, ya que debe evitarse la contaminación del producto en las etapas de acondicionamiento, almacenamiento, transporte y distribución. También son aplicables a la etapa consumo, porque los usuarios deben tener claro qué le pueden exigir al suministrador de hidrógeno.

Tabla 36 Documentos informativos

Norma	Título	Etapa CV
CGA G-5-2017	Hydrogen	General
CGA G-5.3	Commodity Specification for Hydrogen.	General
CGA H-4	Terminology Associated with Hydrogen Fuel Technologies	General
CGA P-28	OSHA Process Safety Management and EPA Risk Management Plan Guidance Document for Bulk Liquid Hydrogen Systems	General
EIGA 122/18	Environmental impacts of hydrogen plants	Producción
EIGA 155/09/E	Best available techniques for hydrogen production by steam methane reforming	Producción
EIGA 183/13/E	Best Available Techniques for the Co-Production of Hydrogen, Carbon Monoxide & their Mixtures by Steam Reforming	Producción
EIGA 220/19	Environmental Guidelines for Permitting Hydrogen Plants Producing Less Than 2 Tonnes Per Day	Producción
EN 16942	Fuels - Identification of vehicle compatibility - Graphical expression for consumer information	Consumo
ISO/TR 15916 2015	Basic considerations for the safety of hydrogen systems	General

10.15.3 Normas Propuestas para la Cadena de Valor

Existen normas emitidas por distintas OGNs que tratan la misma materia con algunas diferencias. La tendencia es a armonizarlas para no tener conflicto entre ellas. Sin embargo, muy pocas han sido armonizadas a la fecha. Para hacer una proposición coherente, hay que comparar normas equivalentes y recomendar cuál preferir. Esta comparación se hace agrupando las normas con nombre o contenido similar y analizándolas con algún detalle.

Comparación de normas similares

A continuación se analizan las normas de nombre o contenido similar para decidir cuál de ellas se recomienda por sobre las otras. La comparación se hace por etapa de la cadena de valor. Hay que aclarar que la comparación se hizo en base a la descripción de las normas contenidas en el informe de Fichter, que es muy resumida y sin detalles, complementada con información obtenida de Internet. Es decir, no se estudiaron las normas en detalle, salvo las pocas a disposición del Consultor. Por lo tanto, se recomienda que en caso de dudas se compren las normas necesarias y se estudien detalladamente.

Tabla 37 Comparación de normas similares aplicables a Producción

Norma	Título	Comentarios
NFPA 2 capítulo 13	Hydrogen Generation Systems	Todo tipo de generación, capacidad 0,036 a 100 kg/h
ISO 16110	Hydrogen generators using fuel processing technologies	Capacidad menor a 35,6 kg/h
ISO 22734	Hydrogen generators using water electrolysis — Industrial, commercial, and residential applications.	No indica límites de capacidad

Se recomiendan las tres normas, por complementarse en capacidad y nivel de detalle.

En la etapa Acondicionamiento hay una sola norma, por lo que no hay comparación alguna que hacer.

Tabla 38 Comparación de normas similares aplicables a Almacenamiento

Norma	Título	Comentarios
CGA H-5	Standard for Bulk Hydrogen Supply Systems	Especifica como ubicar, seleccionar equipos, instalar, poner en marcha, mantener y eliminar sistemas de suministro de CH2 y LH2 a granel.
EIGA 06/19	Safety in storage, handling and distribution of liquid hydrogen	Aplica al almacenamiento fijo de LH2 y su transporte a granel por tierra y mar. Disposiciones muy generales, cita reglamentos de la UE.
NFPA 2 capítulo 7	Gaseous Hydrogen	Aplica a almacenamiento, procesamiento y distribución en la planta de CH2 envasado y a granel. Incluye aspectos administrativos y distancias de seguridad.
NFPA 2 capítulo 8	Liquefied Hydrogen	Aplica a almacenamiento, procesamiento y distribución en la planta de LH2 envasado y a granel. Incluye aspectos administrativos y distancias de seguridad.

Se recomienda preferir la norma NFPA 2 porque parece más completa, tiene mayor reconocimiento, se puede leer gratis on line, y cuesta menos (USD 79,5 vs. USD 113 para la CGA H-5). Se recomienda EIGA 06/19 como posible modelo de reglamento; se puede obtener gratis en formato pdf.

Tabla 39 Comparación de normas similares aplicables a Transporte y Distribución

Norma	Título	Comentarios
ASME B31.12	Hydrogen piping and pipelines	Es un verdadero manual de diseño, aplica a GH2 y LH2. (2019, 280 p.)
EIGA 121/14 (CGA G-5.6)	Hydrogen Pipeline Systems	Da requerimientos generales, aplica a GH2 solamente.
EIGA 06/19	Safety in storage, handling and distribution of liquid hydrogen	Aplica a transporte en vehículos terrestres y marinos.

Se recomienda preferir la norma ASME B31.12 por ser la más completa y reconocida. También se recomienda las dos EIGA como complemento, por ser muy generales y gratis.

Las normas similares de la etapa Consumo se han agrupado según la aplicación específica donde ellas existen, y se han ordenado alfabéticamente: celdas de combustible, hidrogeneras, interface hidrogenera-vehículo, protocolos de dispensado, sistemas de cañerías, y vehículos.

Tabla 40 Comparación de normas similares aplicables a Consumo – Celdas de combustible (CC)

Norma	Título	Comentarios
IEC 62282	Fuel cell technologies	Aplica a todas las CC, incluye los sistemas de combustible y eléctrico, incluye métodos de ensayo.

		Considera seguridad y performance. No incluye CC en vehículos de carretera. Tiene 21 partes.
NFPA 2 capítulo 12	Hydrogen Fuel Cell Power Systems	Aplica a todas las CC, incluyendo las de vehículos. Considera sólo seguridad del hidrógeno. Poco desarrollado, cita otras normas de CC y la NFPA 853.
NFPA 853	Standard for the Installation of Stationary Fuel Cell Power Systems	Aplica sólo a aspectos de seguridad del hidrógeno del CC estacionarias.

Se recomienda preferir las normas IEC 62282 y NFPA 2, y considerar un análisis más detallado para decidir entre ellas. La norma NFPA 2 cita a la NFPA 853, por lo que la última queda incluida en la primera.

Tabla 41 Comparación de normas similares aplicables a Consumo – Hidrogeneras

Norma	Título	Comentarios
CSA HGV 4.9	Hydrogen fueling stations	Aplica al dispensado a vehículos livianos.
EIGA 15/06	Gaseous Hydrogen Stations	Recomendaciones para estaciones de llenado de cilindros y tanques para el transporte en camiones y FFCC. Incluye distancias de seguridad.
ISO 19880-1	Gaseous hydrogen — Fuelling stations-General Requirements	Características mínimas de diseño de hidrogeneras públicas y privadas. No incluye distancias de seguridad.
NFPA 2 capítulo 10	GH2 Vehicle Fueling Facilities	Aplica a todas las instalaciones para cargar hidrógeno en vehículos. Incluye distancias de seguridad.

Se recomienda preferir las normas NFPA 2 e ISO 19880-1. La NFPA incluye distancias de seguridad, que no tiene la ISO, pero la ISO parece más detallada. La EIGA 15/06 no aplica a hidrogeneras, sino que al llenado de cilindros y tanques para el transporte; debe incluirse en la etapa Transporte y Distribución.

Tabla 42 Comparación de normas similares aplicables a Consumo – Interface hidrogenera-vehículo

Norma	Título	Comentarios
EN 17127	Outdoor hydrogen refuelling points dispensing gaseous hydrogen and incorporating filling protocols	Requerimientos mínimos para interoperabilidad de hidrogeneras públicas; no incluye aspectos de seguridad. Incluye protocolos de llenado. (2018, 20 p.)
ISO 17268	Gaseous hydrogen land vehicle refuelling connection devices.	Norma internacional que especifica el diseño, características de seguridad y operación de los conectores de dispensado de hidrógeno a vehículos terrestres, incluyendo el hardware de comunicación. (2020, 45 p.)
SAE J2600	Compressed Hydrogen Surface Vehicle Fueling Connection Devices	Especifica el diseño y prueba de conectores, boquillas y receptáculos de hidrógeno comprimido para vehículos de superficie. (2015, 39 p.)

Se recomienda preferir la norma ISO por ser más completa, nueva y de mayor aceptación internacional. Sin embargo, es posible que todas estén armonizadas, o al menos la EN y la ISO.

Tabla 43 Comparación de normas similares aplicables a Consumo – Protocolos de dispensado

Norma	Título	Comentarios
EN 17127	Outdoor hydrogen refuelling points dispensing gaseous hydrogen and incorporating filling protocols	Requerimientos mínimos para interoperabilidad de hidrogeneras públicas; no incluye aspectos de seguridad. Incluye protocolos de llenado. (2018, 20 p.)
SAE J2601	Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles	Establece límites de seguridad y requisitos de rendimiento para dispensadores de hidrógeno gaseoso, con presiones hasta 70 Mpa y enfriamiento del hidrógeno hasta -40 °C. (2016, 267 p.)
SAE J2601/2_2014	Fueling Protocol for Gaseous Hydrogen Powered Heavy Duty Vehicles	Establece las condiciones límite para la alimentación segura de los vehículos, con presión de servicio máxima de 35 MPa. (2014, 13 p.)
SAE J2601/3_2013	Fueling Protocol for Gaseous Hydrogen Powered Industrial Trucks	Establece límites de seguridad y requisitos de rendimiento para dispensadores dehidrógeno gaseoso a vehículos industriales (p.ej., grúas horquilla). (2013, 16 p.)

Se recomienda preferir las normas SAE por ser más extensas, completas y mejor documentadas; adicionalmente, son más citadas.

Tabla 44 Comparación de normas similares aplicables a Consumo – Sistemas de cañerías

Norma	Título	Comentarios
CGA G-5.4	Standard for Hydrogen Piping Systems at User Locations	Especificaciones y principios generales recomendados para sistemas de tuberías de hidrógeno gaseoso o líquido. (2019, 10 p.)
CSA B51-2019	Boiler, Pressure Vessel, and Pressure Piping Code	La Parte 3 da requisitos para los sistemas de cañerías a presión de estaciones de servicio de gas natural comprimido y de hidrógeno y los recipientes de almacenamiento estacionarios. (2019, 213 p.)
ASME B31.12	Hydrogen piping and pipelines	Es un verdadero manual de diseño, aplica a GH2 y LH2. (2019, 280 p.)

Se recomienda preferir la norma ASME B31.12 por ser la más completa y reconocida.

Tabla 45 Comparación de normas similares aplicables a Consumo – Vehículos

Norma	Título	Comentarios

ISO 21266	Road vehicles — Compressed gaseous hydrogen (CGH2) and hydrogen/natural gas blends fuel systems	Requerimientos mínimos de seguridad del combustible y métodos de ensayo. Tiene dos partes, la primera sobre seguridad y la segunda sobre métodos de ensayo. No aplica a vehículos con CC. (2018, 14+9=13 p.)
ISO 23273	Fuel cell road vehicles — Safety specifications — Protection against hydrogen hazards for vehicles fuelled with compressed hydrogen	Requerimientos mínimos de seguridad del hidrógeno para vehículos con MCI o CC. (2013 actualizada 2019, 6 p.)
SAE J2578	Recommended Practice for General Fuel Cell Vehicle Safety	Disposiciones de seguridad del hidrógeno y del sistema de alto voltaje. Aplica a vehículos con MCI y con CC, incluye recomendaciones para la respuesta de emergencia. (2014, 71 p.)
SAE J2579	Standard for Fuel Systems in Fuel Cell and Other Hydrogen Vehicles	Da requerimientos de diseño, construcción, operación y mantención para los sistemas de hidrógeno. Complementa la SAE J2578. (2018, 102 p.)

Se recomienda preferir las normas SAE por ser más completas. Sin embargo, convendría un análisis comparativo más detallado de las normas ISO, ya que tienen mayor aceptación internacional.

Tabla 46 Comparación de normas similares aplicables a todas las etapas de la cadena de valor

	Generales	
Norma	Título	Comentarios
EN 16726	Gas infrastructure - Quality of gas - Group H	Norma general de gases para la infraestructura gasera de Europa. No es específica para el hidrógeno.
EN 17124	Hydrogen fuel - Product specification and quality assurance - Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles	Especificación de producto y aseguramiento de la calidad para celdas de combustible tipo PEM para vehículos de carretera.
ISO 14687	Hydrogen fuel quality – Product specification	Especificaciones de calidad del hidrógeno para distintos usos energéticos. (2019, 17 p.)
SAE J2719	Hydrogen Fuel Quality for Fuel Cell Vehicles	Norma de calidad del hidrógeno para celdas de combustible tipo PEM. (2015, 14 p.)

Se recomienda preferir la norma ISO por considerar todas las aplicaciones del hidrógeno, ser más reciente y de mayor aceptación internacional.

Proposición de normas

Las normas que se proponen corresponden a las seleccionadas en 10.15.2, excluyendo las que no son recomendadas en la comparación de normas similares. Las tablas siguientes listan las normas propuestas ordenadas por etapa de la cadena de valor.

Tabla 47 Normas propuestas aplicables a la etapa Producción

Norma	Título
NFPA 2 capítulo 13	Hydrogen Generation Systems
ISO 16110	Hydrogen generators using fuel processing technologies

ISO 22734	Hydrogen generators using water electrolysis — Industrial, commercial, and residential applications.

Tabla 48 Normas propuestas aplicables a la etapa Acondicionamiento

Norma	Título
ANSI/CSA HGV 4.8	Hydrogen gas vehicle fueling station compressor guidelines

Tabla 49 Normas propuestas aplicables a la etapa Almacenamiento

Norma	Título
ASME (BPVC)	Boiler and Pressure Vessel Code
CGA H-2	Guideline for Classification and Labeling of Hydrogen Storage Systems with Hydrogen Absorbed in Reversible Metal Hydrides
EIGA 100/11	Hydrogen Cylinders and Transport Vessels
EIGA 171/12	Storage of Hydrogen in Systems Located Underground
NFPA 2 cap. 7	Gaseous Hydrogen
NFPA 2 cap. 8	Liquefied Hydrogen
ISO 16111	Transportable gas storage devices — Hydrogen absorbed in reversible metal hydride

Tabla 50 Normas propuestas aplicables a la etapa Transporte y Distribución

Norma	Título
ASME B31.12	Hydrogen piping and pipelines
EIGA 121/14 (CGA G-5.6)	Hydrogen Pipeline Systems
EIGA 15/06	Gaseous Hydrogen Stations
EIGA 06/19	Safety in storage, handling and distribution of liquid hydrogen

Tabla 51 Normas propuestas aplicables a la etapa Consumo

Norma	Título
EIGA 15/06	Gaseous Hydrogen Stations
IEC 62282	Fuel cell technologies
ISO 13984	Liquid hydrogen — Land vehicle fuelling system interface
ISO 17268	Gaseous hydrogen land vehicle refuelling connection devices.
ISO 19880-1	Gaseous hydrogen — Fuelling stations-General Requirements
ISO 21266	Road vehicles — Compressed gaseous hydrogen (CGH2) and hydrogen/natural gas blends fuel systems
ISO 23273	Fuel cell road vehicles — Safety specifications — Protection against hydrogen hazards for vehicles fuelled with compressed hydrogen
NFPA 2 cap. 7	Gaseous Hydrogen
NFPA 2 cap. 8	Liquefied Hydrogen

NFPA 2 cap. 10	GH2 Vehicle Fueling Facilities
NFPA 2 cap. 11	LH2 Fueling Facilities
NFPA 2 cap. 12	Hydrogen Fuel Cell Power Systems
NFPA 2 cap. 14	Combustion Applications
NFPA 2 cap. 15	Special Atmosphere Applications
NFPA 2 cap. 16	Laboratory Operations
NFPA 2 cap. 17	Parking Garages
NFPA 2 cap. 18	Repair Garage
SAE AIR6464	Hydrogen Fuel Cells Aircraft Fuel Cell Safety Guidelines
SAE AS6858	Installation of Fuel Cell Systems in Large Civil Aircraft
SAE J2578	Recommended Practice for General Fuel Cell Vehicle Safety
SAE J2579	Standard for Fuel Systems in Fuel Cell and Other Hydrogen Vehicles
SAE J2601	Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles
SAE J2601/2	Fueling Protocol for Gaseous Hydrogen Powered Heavy Duty Vehicles
SAE J2601/3	Fueling Protocol for Gaseous Hydrogen Powered Industrial Trucks
SAE J2799	Hydrogen Surface Vehicle to Station Communications Hardware and Software
SAE J2990/1	Gaseous Hydrogen and Fuel Cell Vehicle First and Second Responder Recommended Practice

Tabla 52 Normas propuestas aplicables a todas las etapas de la cadena de valor

Norma	Título
ASME B31.12	Hydrogen piping and pipelines
ASME STP-PT- 006	Design Guidelines for Hydrogen Piping and Pipelines
CSA B51	Boiler, Pressure Vessel, and Pressure Piping Code
ISO 14687	Hydrogen fuel quality – Product specification
NFPA 2 caps. 1 a 8	General, CH2 y LH2
NFPA 55	Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code

Tabla 53 Normas propuestas de carácter informativo para toda la cadena de valor

Norma	Título
CGA G-5- 2017	Hydrogen
CGA G-5.3	Commodity Specification for Hydrogen.
CGA H-4	Terminology Associated with Hydrogen Fuel Technologies
CGA P-28	OSHA Process Safety Management and EPA Risk Management Plan Guidance Document for Bulk Liquid Hydrogen Systems
EIGA 122/18	Environmental impacts of hydrogen plants
EIGA 155/09/E	Best available techniques for hydrogen production by steam methane reforming.

EIGA Doc 183/13/E	Best Available Techniques for the Co-Production of Hydrogen, Carbon Monoxide & their mixtures by Steam Reforming
EIGA 220/19	Environmental Guidelines for Permitting Hydrogen Plants Producing Less Than 2 Tonnes per Day.
EN 16942	Fuels - Identification of vehicle compatibility - Graphical expression for consumer information
ISO/TR 15916	Basic considerations for the safety of hydrogen systems

10.15.4 Desglose de las Normas Propuestas Según las Partes de la Cadena de Valor

A continuación se desglosa la aplicación de las normas a las partes de cada etapa de la cadena de valor identificadas en 10.12, indicando aquellas partes sin normas aplicables.

1. **Producción.**
    - General:
        - ASME B31.12 Hydrogen piping and pipelines
        - ISO 14687 Hydrogen fuel quality
        - NFPA 2, caps. 1 a 8 y 13 Hydrogen Generation Systems;
        - NFPA 55 Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code
    - Reforma con vapor:
        - ISO 16110 Hydrogen generators using fuel processing technologies
    - Gasificación fermentación (No existen regulaciones disponibles)
    - Electrólisis:
        - ISO 22734 Hydrogen generators using water electrolysis — Industrial, commercial, and residential applications.

En esta etapa no se consideró incorporar a este listado las siguientes normas por las razones que se señalan junto a cada una de ellas:

a) EIGA Doc 122/18 Environmental impacts of hydrogen plants: considerada como norma de carácter general

b) EIGA Doc 220/19 Environmental Guidelines for Permitting Hydrogen Plants Producing Less Than 2 Tonnes Per Day: considerada como norma de carácter general

c) ISO/TR 15916 Basic considerations for the safety of hydrogen systems: considerada como una recomendación técnica (TR) y no una norma en si misma.

d) NFPA 2 Hydrogen technologies Code: considerada como norma de carácter general.

- Termólisis (No existen regulaciones disponibles)

- Ciclos termoquímicos (No existen regulaciones disponibles)

2. Acondicionamiento

- General:
  - ANSI/CSA HGV 4.8 Hydrogen gas vehicle fueling station compressor guidelines.
  - ASME B31.12 Hydrogen piping and pipelines
  - EIGA 122/18 Environmental impacts of hydrogen plants;
  - ISO 14687 Hydrogen fuel quality
  - NFPA 2, cap. 1 a 8 General
  - NFPA 55 Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code

- Licuefacción (No existen regulaciones disponibles)

- Regasificación (No existen regulaciones disponibles)

- Compresión:
  - ANSI/CSA HGV 4.8 Hydrogen gas vehicle fueling station compressor guidelines.

- Reacción química (No existen regulaciones disponibles)

En esta etapa no se consideró incorporar a este listado la siguiente norma por las razones que se señalan junto a cada una de ellas:

a) ISO/TR 15916 Basic considerations for the safety of hydrogen systems. Considerada como recomendación técnica y no norma

3. Almacenamiento.

- General
  - ASME B31.12 Hydrogen piping and pipelines
  - ISO 14687 Hydrogen fuel quality
  - NFPA 2, cap. 1 a 8 General
  - NFPA 55 Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code

- Contenedores a presión (cilindros, tanques, isotubos)
  - ASME (BPVC) Boiler and Pressure Vessel Code
  - EIGA Doc 100/11 Hydrogen Cylinders and Transport Vessels
  - EIGA Doc 171/12 Storage of Hydrogen in Systems Located Underground
  - NFPA 2 Hydrogen technologies Code, Chapter 7 Gaseous Hydrogen

En esta etapa no se consideró incorporar a este listado las siguientes normas por las razones que se señalan junto a cada una de ellas:

a) EN 10229 Evaluation of resistance of steel products to hydrogen induced cracking (HIC). Considerada como norma de componentes y materiales.

b) ISO 11114 Transportable gas cylinders — Compatibility of cylinder and valve materials with gas contents: Considerada como norma de componentes y materiales.

c) ISO 17081 Method of measurement of hydrogen permeation and determination of hydrogen uptake and transport in metals by an electrochemical technique: Considerada como norma de componentes y materiales.

d) 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: Considerada como norma de componentes y materiales.

e) ISO/TR 15916 Basic considerations for the safety of hydrogen systems. Considerada de carácter informativo.

f) CGA H-5 Standard for Bulk Hydrogen Supply Systems. Se da prioridad a la NFPA2

- Contenedores térmicamente aislados
  - EIGA Doc 171/12 Storage of Hydrogen in Systems Located Underground
  - NFPA 2 Hydrogen technologies Code, Chapter 7 y 8 Liquified Hydrogen

En esta etapa no se consideró incorporar a este listado las siguientes normas por las razones que se señalan junto a cada una de ellas:

a) EN 1797 Cryogenic vessels - Gas/material compatibility: Considerada como norma de componentes y materiales.

b) EN 10229 Evaluation of resistance of steel products to hydrogen induced cracking (HIC): Considerada como norma de componentes y materiales.

c) EIGA Doc 133/14 Cryogenic vaporisation systems – prevention of brittle fracture of equipment and piping: Considerada como norma de componentes y materiales.

d) EIGA Doc 151/15 Prevention of Excessive Pressure during Filling of Cryogenic Vessels: Considerada como norma de componentes y materiales.

e) ISO 17081 Method of measurement of hydrogen permeation and determination of hydrogen uptake and transport in metals by an electrochemical technique: Considerada como norma de componentes y materiales.

f) 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: Considerada como norma de componentes y materiales.

g) CGA H-5 Standard for Bulk Hydrogen Supply Systems, contenida en la NFPA 2

h) EIGA Doc 06/19 Safety in storage, handling and distribution of liquid hydrogen. Contenida en la NFPA 2.

i) ISO/TR 15916 Basic considerations for the safety of hydrogen systems. Considerada de carácter informativo.

j) CGA H-3 Standard for Cryogenic Hydrogen Storage. Considerada como norma secundaria.

k) EIGA Doc 24/18 Vacuum insulated cryogenic storage tank systems pressure protection devices. Considerada como norma secundaria.

l) CGA P-28 OSHA Process Safety Management and EPA Risk Management Plan Guidance Document for Bulk Liquid Hydrogen Systems. Considerada de carácter informativo.

m) NFPA 55 Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code, Considerada de carácter general.

- Cavernas: (No existen regulaciones disponibles)

- Hidruros Metálicos
  - *CGA H-2* Guideline for Classification and Labeling of Hydrogen Storage Systems with Hydrogen Absorbed in Reversible Metal Hydrides

- ISO 16111 Transportable gas storage devices — Hydrogen absorbed in reversible metal hydride.

- Nanomateriales (No existen regulaciones disponibles)

- Líquidos Orgánicos portadores de hidrógeno (LOHC) (No existen regulaciones)

4. Transporte y Distribución.

- General
  - ASME B31.12 Hydrogen piping and pipelines
  - ISO 14687 Hydrogen fuel quality
  - NFPA 2, cap. 1 a 8 General
  - NFPA 55 Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code

- Hidrógeno líquido (Camión tanque, Tren cisterna, Barco Tanque)
  - EIGA Doc 06/19 Safety in storage, handling and distribution of liquid hydrogen

- Hidrógeno líquido: Ducto
  - EIGA Doc 121/14 (CGA G-5.6) Hydrogen Pipeline Systems

En esta etapa no se consideró incorporar a este listado las siguientes normas por las razones que se señalan junto a cada una de ellas:

a) EN 10229 Evaluation of resistance of steel products to hydrogen induced cracking (HIC). Considerada como norma de componentes y materiales.

b) EIGA Doc 133/14 Cryogenic vaporisation systems – prevention of brittle fracture of equipment and piping. Considerada como norma de componentes y materiales.

c) ISO/TR 15916 Basic considerations for the safety of hydrogen systems

d) ISO 17081 Method of measurement of hydrogen permeation and determination of hydrogen uptake and transport in metals by an electrochemical technique. Considerada como norma de componentes y materiales.

e) 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. Considerada como norma de componentes y materiales.

f) ISO/TR 15916 Basic considerations for the safety of hydrogen systems. Considerada de carácter informativo.

g) EN 17124 Hydrogen fuel quality- Product specification. Cubierta por la ISO 14687.

h) CGA P-28 OSHA Process Safety Management and EPA Risk Management Plan Guidance Document for Bulk Liquid Hydrogen Systems. Considerada de Carácter Informativo.

- Hidrógeno comprimido
  - General
    a) EIGA Doc 100/11 Hydrogen Cylinders and Transport Vessels
  - H_2 comprimido en Camión
    a) Camión tanque
  - EIGA 15/06 GASEOUS HYDROGEN STATIONS
    b) Camión isotubos, (No existe normativa específica disponible)
    c) Camión transporte cilindros, (No existe normativa específica disponible)
  - H_2 comprimido en Tren (No existe normativa específica disponible)
    a) Tren tanque
    b) Tren transporte cilindros
  - H_2 comprimido en Barco (No existe normativa específica disponible)
    a) Barco tanque
    b) Barco transporte cilindros

En esta etapa no se consideró incorporar a este listado las siguientes normas por las razones que se señalan junto a cada una de ellas:

a) ASME STP/PT-0005 Design Factor Guidelines for High-Pressure Composite Hydrogen Tanks: Considerado en almacenamiento de hidrógeno comprimido

b) ASME/STP-PT-014 Data Supporting Composite Tank Standards Development for Hydrogen Infrastructure Applications. Considerado en almacenamiento de hidrógeno comprimido

c) CGA H-5 Standard for Bulk Hydrogen Supply Systems: Considerado en hidrogeneras

d) EN 10229 Evaluation of resistance of steel products to hydrogen induced cracking (HIC). Considerada como norma de componentes y materiales.

e) ISO 17081 Method of measurement of hydrogen permeation and determination of hydrogen uptake and transport in metals by an electrochemical technique. Considerada como norma de componentes y materiales.

f) 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. Considerada como norma de componentes y materiales.

g) ISO/TR 15916 Basic considerations for the safety of hydrogen systems. Considerada de carácter informativo.

- H_2 en gasoductos
  - H_2 con gas natural
    a) EIGA Doc 121/14 (CGA G-5.6) Hydrogen Pipeline Systems

En esta etapa no se consideró incorporar a este listado las siguientes normas por las razones que se señalan junto a cada una de ellas:

a) EN 10229 Evaluation of resistance of steel products to hydrogen induced cracking (HIC). Considerada como norma de componentes y materiales.

b) ISO 17081 Method of measurement of hydrogen permeation and determination of hydrogen uptake and transport in metals by an electrochemical technique. Considerada como norma de componentes y materiales.

c) 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. Considerada como norma de componentes y materiales.

d) ISO/TR 15916 Basic considerations for the safety of hydrogen systems. Considerada de carácter informativo.

- Dispensado industrial, marítimo y aéreo (No existen regulaciones disponibles)

5. Consumo.

Como una manera resaltar el proceso de expendio de hidrógeno se ha incorporado en forma separada la normativa relacionada a hidrogeneras (HRS), lo que se presenta más abajo.

- General
  - ASME B31.12 Hydrogen piping and pipelines
  - NFPA 2, cap. 1 a 8 General
  - NFPA 55 Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code

- Procesos Industriales (existe normativa vigente para procesos industriales que no es parte del alcance de este estudio)
  - Compuestos sintéticos verdes (Metano, Amoniaco, otros)
  - Procesamiento de metales
  - Refinería de petróleo
  - Otros (vidrios, alimentos, etc.)

  a) NFPA 2 Caps. 15 Special Atmosphere Applications

  b) NFPA 2 Caps. 16 Laboratory Operations

- Celdas combustibles
  - Generación eléctrica
    - IEC 62282 Fuel cell technologies
    - NFPA 2 Cap. 12 Hydrogen Fuel Cell Power Systems

En esta etapa no se consideró incorporar a este listado las siguientes normas por las razones que se señalan junto a cada una de ellas:

a) ISO 26142 Hydrogen detection apparatus — Stationary applications

b) ASME B31.12 Hydrogen piping and pipelines. Considerada como norma de carácter general

c) ISO/TR 15916, Basic considerations for the safety of hydrogen systems: considerada en normas de carácter general.

d) CGA G-5.4 Standard for Hydrogen Piping Systems at User Locations

e) ISO 14687 Hydrogen fuel quality — Product specification. Considerada de carácter general.

f) NFPA 55 Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code

g) NFPA 853 Standard for the Installation of Stationary Fuel Cell Power Systems. Incluída y citada en la NFPA 2

- Vehículos (on road, off road)
  - IEC 62282 Fuel cell technologies
  - ISO 21266 Road vehicles — Compressed gaseous hydrogen (CGH2) and hydrogen/natural gas blends fuel systems
  - ISO 23273 Fuel cell road vehicles — Safety specifications — Protection against hydrogen hazards for vehicles fuelled with compressed hydrogen.

- SAE J2578 Prácticas recomendadas para la seguridad general del vehículo con celda de combustible.
- SAE J2579 Standard for Fuel Systems in Fuel Cell and Other Hydrogen Vehicles.
- NFPA 2 Hydrogen technologies Code, Chapter 12, Hydrogen Fuel Cell Power Systems.
- NFPA 2 Hydrogen technologies Code, Chapter 17, Parking Garage
- NFPA 2 Hydrogen technologies Code, Chapter 18, Repair Garage

– Barcos (No existen regulaciones disponibles)

– Aviones
  - SAE AS6858 Installation of Fuel Cell Systems in Large Civil Aircraft
  - SAE AIR6464 Hydrogen Fuel Cells Aircraft Fuel Cell Safety Guidelines

– Trenes (No existen regulaciones disponibles)

En esta etapa no se consideró incorporar a este listado las siguientes normas por las razones que se señalan junto a cada una de ellas:

a) EIGA Doc 15/06 Gaseous Hydrogen Stations: se consideró como parte de la normativa de las hidrogeneras (HRS)

b) CGA C-6.4 Methods for External Visual Inspection of Natural Gas Vehicle (NGV) and Hydrogen Gas Vehicle (HGV) Fuel Containers and Their Installations. Considerada como norma de componentes y materiales.

c) CGA G-5.3 Commodity Specification for Hydrogen. Considerada de carácter informative.

d) CGA G-5.4 Standard for Hydrogen Piping Systems at User Locations. Considerada como norma de componentes y materiales.

e) ISO 12619 Road vehicles — Compressed gaseous hydrogen (CGH2) and hydrogen/natural gas blends fuel system components. Considerada como norma de componentes y materiales.

f) SAE J2600 Compressed Hydrogen Surface Vehicle Fueling Connection Devices. Considerada como norma de componentes y materiales.

g) ISO 17268 Gaseous hydrogen land vehicle refuelling connection devices. Considerada como norma de componentes y materiales.

h) ISO 13984 Liquid hydrogen — Land vehicle fuelling system interface. Considerada como norma de componentes y materiales.

i) EN 16942 Fuels - Identification of vehicle compatibility - Graphical expression for consumer information. Considerada de carácter informative

j) CGA H-4 Terminology Associated with Hydrogen Fuel Technologies. Considerada como informativa.

k) EN 17124 Hydrogen fuel - Product specification and quality assurance - Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles. Cubierta por la ISO 14687.

l) ISO 13985 Liquid hydrogen — Land vehicle fuel tanks. Considerada como norma de componentes y materiales.

m) ISO 14687 Hydrogen fuel quality — Product specification. Considerada como general.

n) ISO 19881 Gaseous hydrogen — Land vehicle fuel containers. Considerada como norma de componentes y materiales.

o) ISO/TR 15916, Basic considerations for the safety of hydrogen systems. Considerada como informativa.

p) EN 16942 Fuels - Identification of vehicle compatibility - Graphical expression for consumer information. Considerada como informativa.

q) SAE J2719 Hydrogen Fuel Quality for Fuel Cell Vehicles. Cubierta por la ISO 14687.

- Combustión
  - Generación de calor (Residencial, Comercial, Industrial)
    - NFPA 2 Chapter 14, Combustion Applications
  - Generación eléctrica (No existen regulaciones disponibles)
  - Vehículos on road y off road
    - ASME B31.12 Hydrogen piping and pipelines
    - ISO 21266 Road vehicles — Compressed gaseous hydrogen (CGH2) and hydrogen/natural gas blends fuel systems
    - SAE J2601 Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles
    - NFPA 2 Hydrogen technologies Code, Chapter 17, Parking Garage
    - NFPA 2 Hydrogen technologies Code, Chapter 18, Repair Garage

En esta etapa no se consideró incorporar a este listado las siguientes normas por las razones que se señalan junto a cada una de ellas:

a) ASTM D7566 Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons. Considerada como norma de componentes y materiales.

b) ISO 19880-1 Gaseous hydrogen — Fuelling stations-General Requirements: considerada como parte de las hidrogeneras

c) EIGA Doc 15/06 Gaseous Hydrogen Stations: considerada como parte de las hidrogeneras

d) ISO 13984 Liquid hydrogen — Land vehicle fuelling system interface. Considerada como norma de componentes y materiales

e) ISO 13985 Liquid hydrogen — Land vehicle fuel tanks. Considerada como norma de componentes y materiales

f) ISO 17268 Gaseous hydrogen land vehicle refuelling connection devices. Considerada como norma de componentes y materiales

g) ISO 19881 Gaseous hydrogen — Land vehicle fuel containers. Considerada como norma de componentes y materiales

h) SAE J2600 Compressed Hydrogen Surface Vehicle Fueling Connection Devices. Considerada como norma de componentes y materiales.

i) CGA G-5.4 Standard for Hydrogen Piping Systems at User Locations. Cubierta por la ASME B31.12 Hydrogen piping and pipelines

j) CGA H-4 Terminology Associated with Hydrogen Fuel Technologies. Norma informativa.

k) ISO/TR 15916 Basic considerations for the safety of hydrogen systems. Norma informative.

l) ISO 12619 Road vehicles — Compressed gaseous hydrogen (CGH2) and hydrogen/natural gas blends fuel system components. Norma secundaria.

m) ASTM D4504 Standard Practice for Evaluation of New Aviation Turbine Fuels and Fuel Additives. Norma secundaria.

n) CGA C-6.4 Methods for External Visual Inspection of Natural Gas Vehicle (NGV) and Hydrogen Gas Vehicle (HGV) Fuel Containers and Their Installations. Norma secundaria

- Hidrogeneras con CH_2 y LH_2
  - EIGA Doc 15/06 Gaseous Hydrogen Stations
  - ISO 19880-1 Gaseous hydrogen — Fuelling stations-General Requirements.
  - ISO 13984 Liquide hydrogen – land vehicle fueling system interface
  - ISO 17268 Gaseous hydrogen land vehicle refueling connection devices
  - NFPA 2 Chapter 10, GH_2 Vehicle Fueling Facilities
  - NFPA 2 Chapter 11, LH_2 Fueling Facilities
  - SAE J2601 Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles.

- SAE J2601/2 Fueling Protocols for Gaseous Hydrogen Powered Heavy Duty Vehicles.
- SAE J2601/3 Fueling Protocols for Gaseous Hydrogen Powered Industrial Triuks.
- SAE J2799 Hydrogen Surface Vehicle to Stations Communications Hardware and Software.

En esta etapa no se consideró incorporar a este listado las siguientes normas por las razones que se señalan junto a cada una de ellas:

a. EN 17127 Outdoor hydrogen refuelling points dispensing gaseous hydrogen and incorporating filling protocols.

b. SAE J2719 Hydrogen Fuel Quality for Fuel Cell Vehicles. Cubierta por la ISO 14687 que es de carácter general.

10.16 Regulaciones Afectadas por la Introducción del H_2 como Combustible

Homologación

El Decreto 54 de 1997 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT), cuya última versión entró en vigencia el 07 de febrero de 2003, define los procedimientos para certificar los vehículos motorizados destinados a circular por calles y caminos para que cumplan con las normas técnicas establecidas por el MTT, que dan los detalles de los requisitos que deben cumplir los vehículos. Lo anterior, desde la perspectiva de emisiones, constructiva, conformidad, y planes y programas de investigación y desarrollo para vehículos. Las emisiones se refieren a los gases de escape y a la evaporación de hidrocarburos, y se aplican a vehículos motorizados livianos, medianos y pesados definidos en los decretos supremos números 211-91, 82-93, y 54 y 55-94. Aplica a todos los vehículos sin distinción del tipo de motor o combustible.

Revisiones Técnicas

El decreto 156 de 1990 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, cuya última versión entró en vigencia el 10 de enero de 2019, aplica a todos los vehículos motorizados, indicando, entre otros aspectos, la periodicidad de las revisiones técnicas en función del tipo de vehículo que se trate, y estableciendo los tipos de equipos e instrumentos y las características de las personas técnicas que deben trabajar en él. El detalles de las revisiones y verificaciones que se debe realizar está en el Manual de Instrucciones para la Revisión Técnica preparado por el MTT. Aplica a todos los vehículos sin distinción del tipo de motor o combustible.

Impuesto Específico

El impuesto específico a los combustibles lo establece el Ministerio de Hacienda en tres leyes, a saber: la Ley 18.502, modificada por la Ley 20.502, y la Ley 20.265.

La ley 18.502 del 03 de abril de 1986, cuya última versión entró en vigencia el 04 de agosto de 2013 y que fue modificada por la Ley 20.052, establece los impuestos específicos para

consumo vehicular a los siguientes combustibles: Gas Natural Comprimido (GNC) y Gas Licuado de Petróleo (GLP), definiendo los mecanismos para ello. Entre otras cosas, dispone un mecanismo registrador que grabe la cantidad de combustible que se haya cargado en los tanques. Por otro lado se refiere a la mezcla de GN con gas de origen no fósil asignando el impuesto solo a la parte proporcional de gas de origen fósil. Establece regulaciones complementarias para la utilización del gas como combustible en vehículos. Esta Ley incorpora una componente variable del impuesto específico al GN y GLP. Para lo anterior, define el monto y mecanismo de cobro. Por otro lado Ley deroga la aplicación del impuesto al gas como combustible en la Región de Magallanes que fue dispuesto en la Ley 20.093[82] del 21 de enero del 2006

La certificación de lo señalado anteriormente corresponderá a la SEC a petición del SII. La ley además hace mención a biogases sin profundizar en ellos. Por otro lado, establece que el Registro Civil e Identificación, debe incorporar el tipo de combustible a los requisitos de inscripción.

Emisiones

El Decreto 54 de 1994 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT), establece normas de emisión aplicables a vehículos medianos (tipo 1 y tipo 2, y clase 1, clase 2 y clase 3), que utilizan motores de combustión interna (MCI) con combustibles líquidos y gaseoso: Diésel, Gas Natural Comprimido (GNC), Gasolina, Gas Licuado de Petróleo (GLP), Bioetanol. Además incorpora los combustibles que denomina "flexible fuel" según lo define la "Agencia de Protección Ambiental de los estados Unidos de Norteamérica (USEPA) en el *Code of Federal Regulations* Título 40, parte 86. Se establecen los "valores máximos de gases y partículas, que un motor o vehículo puede emitir bajo condiciones normalizadas, a través del tubo de escape o por evaporación". Aunque el decreto, no menciona la palabra "combustión", se entiende que los gases que se miden en el tubo de escape son producto de ella. Los contaminantes a medir, para los cuales se definen sus límites máximos de emisión, son: monóxido de carbono (CO), hidrocarburos totales (HCT), hidrocarburos no metánicos (HCNM), óxido de nitrógeno (NOx) y partículas. Define además cómo y en qué condiciones deben ser medidos y cómo deben ser rotulados y tramitados los resultados.

El Decreto 55 de 1994 del MTT, cuya última versión entro en vigencia el 15 de mayo de 2012, establece normas de emisión aplicables a vehículos motorizados pesados, disponiendo los valores máximos de gases y partículas que pueden emitir bajo condiciones normalizadas a través del tubo de escape o por evaporación. Los vehículos motorizados pesados son aquellos destinados al transporte de personas o carga por calles y caminos, y que tiene un peso bruto vehicular igual o superior a 3.860 kilogramos. Incorpora buses, camiones y tractocamiones. Los combustibles afectados por este decreto están referidos por el tipo de motor y son diésel, gasolina y gas, sin especificar el tipo de gas. El gas natural sólo se menciona porque no tiene límite de emisiones de hidrocarburos totales sino que de hidrocarburos no metánicos.

El Decreto 211 de 1991 del MTT, cuya última versión entró en vigencia el 21 de marzo de 2019, establece normas de emisiones para vehículos motorizados livianos. Es similar a los decretos 54/94 y 55 del MTT, y la diferencia radica en que aplica a la gama más liviana de

[82] Ley 20.93 del 21-01-2006, Ministerio de Hacienda, "Establece un Régimen Transitorio para la Aplicación del Nuevo Impuesto Específico al Gas como Combustible, en la XII Región y Modifica Artículo Primero Ley 19.709".

vehículos: Comerciales Livianos tipo 1, tipo 2; Comerciales Livianos clase 1, clase 2 y clase 3; y Vehículos Livianos de pasajeros. Los límites de emisión para todo el país, con excepción de la RM, no especifican el tipo de combustible, salvo pequeñas diferencias para el petróleo diésel (PD) y GN. Los límites de emisión para la RM, en cambio, aplican explícitamente al PD, gasolina, GNC y GLP.

El Decreto 82 de 1994 del MTT, cuya última versión entró en vigencia el 21 de febrero de 2004, establece normas de emisión a los buses de la locomoción colectiva urbana de Santiago, de peso igual o mayor a 3.860 kg. Afecta a los vendedores de buses, a los fabricantes del motor y a los fabricantes del chasis. Además, fija normas sobre los certificados de ellos, corrige el límite de emisiones en función de la potencia del motor y considera emisiones provenientes de evaporación de hidrocarburos del diésel y la gasolina.

El Decreto 4 de 1994 del MTT, cuya última versión entró en vigencia el 15 de septiembre de 2018, establece normas de emisión de contaminantes atmosféricos a vehículos motorizados con motor encendido por chispa para los cuales no se hayan establecido normas de emisión expresadas en gr/km, gr/HP-h, o gr/kw-h y a vehículos diésel que circulen por la Región Metropolitana. Este decreto cita a los decretos 54/94, 211 y 55, todos del MTT, a los que complementa.

El Decreto 138 de 2005 del Ministerio de Salud, cuya última versión entró en vigencia el 20 de enero de 2011, establece a los titulares de fuentes fijas la obligación de entregar “los antecedentes necesarios para estimar las emisiones provenientes de cada una de sus fuentes”. El Decreto señala a diferentes rubros, actividades o tipos de fuentes fijas y también equipos tales como electrógenos y calderas generadoras de vapor y/o agua caliente. El decreto no hace mención al tipo de combustible que se emplee ni los detalles de las emisiones y solo se refiere a que ellos deben ser informados anualmente.

El Decreto 29 de 2013 del Ministerio del Medio Ambiente, establece norma de emisión para incineración, coincineración y coprocesamiento, y deroga el decreto Nº 45, de 2007, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. La modificación amplía el listado de combustibles a biocombustibles y otros combustibles alternativos, e incorpora nuevas definiciones y modifica otras para actualizar la norma. También define lo que se entiende por combustible tradicional, incorporando al hidrógeno, entre otros, como uno de ellos. El Reglamento aplica a instalaciones de incineración, instalaciones de coincineración que correspondan a hornos rotatorios de cal o a instalaciones forestales, y para las instalaciones de coprocesamiento que correspondan a hornos de cemento.

10.17 Priorización de proyectos

Para realizar la priorización de los proyectos que están en desarrollo o que potencialmente se iniciarán en el corto o mediano plazo, y que fueron levantados durante el transcurso del presente proyecto, se definieron criterios y se asignaron puntajes de manera de racionalizar el proceso. Los criterios que se emplearon son:

- La etapa de desarrollo en que se encuentra el proyecto en función del tiempo de inicio.
- Que el proyecto de hidrógeno sea principalmente para consumo energético
- Que el proyecto aborde la mayor cantidad de etapas de la cadena de valor.

A cada uno de los criterios señalados se les asignó un puntaje entre 0 y 100, con un factor de ponderación del puntaje de 50, 20 y 30% respectivamente. Los porcentajes fueron elegidos considerando que el tiempo de implementación, primer criterios, es el de mayor urgencia para la generación de reglamentos, seguido del que idealmente aborde la mayor cantidad de etapas de la cadena de valor y, finalmente, el que el consumo sea principalmente para uso energético. La

Tabla 54 da cuenta de la matriz de evaluación para la priorización de los proyectos y la

Tabla 55 presenta el puntaje que se le asignó a cada criterio en función de su desagregación para la evaluación. Finalmente, en función del puntaje obtenido se separa su priorización en el orden del puntaje obtenido.

Tabla 54 Matriz de priorización de proyectos

Nº	Organización	Objetivo	Puntaje al Criterio				Puntaje Ponderado				Orden puntaje
			Etapa de desarrollo	Fines energéticos	Impacto Cadena Valor	Total	Etapa de desarrollo (50%)	Fines energéticos (20%)	Impacto Cadena Valor (30%)	Total	
1	Consorcio Alset	Proyecto Corfo 18PTECHD-89484 "Desarrollo de Sistema de Combustión Dual Hidrógeno-Diesel para Camiones de Extracción Mineros (Caex)"	100	100	60	**260**	50	20	18	**88**	**1**
2	Consorcio USM	Proyecto Corfo 18PTECC-89477 "Programa tecnológico en celdas combustibles"	100	100	60	**260**	50	20	18	**88**	**1**
3	Engie y empresa logística	Producción, almacenamiento, distribución y uso de hidrógeno, para ser usado como combustible para grúas montacargas.	80	100	80	**260**	40	20	24	**84**	**2**
4	Enaex-Engie	Producción de H_2 verde para síntesis de amoniaco	80	50	80	**210**	40	10	24	**74**	**3**
5	AquaChile –BHP Chile	Producción de hidrógeno mediante electrólisis y uso en combustión para generación de vapor	30	100	60	**190**	15	20	18	**53**	**4**
6	ENAP	Producción de H_2 verde para inyección a matriz de gas en Punta Arenas,	10	100	80	**190**	5	20	24	**49**	**5**
7	Green Technology Ltda. Y AquaFire	Uso en sistemas de calefacción en base a combustión de una mezcla gaseosa de Hidrógeno con Oxígeno.	30	100	40	**170**	15	20	12	**47**	**6**
8	Empresas Melón	Generación de hidrógeno mediante electrolizador para uso en horno cementero.	15	100	60	**175**	7,5	20	18	**45,5**	**7**
9	BLUECOME	Uso en Combustión dual en generadores eléctricos reemplazando parcial o totalmente el combustible Diésel.	30	100	20	**150**	15	20	6	**41**	**8**
10	AES Gener	Generar H_2 en la localidad de Calama y transportarlo hasta Mejillones para usar el H_2 en la síntesis de amoniaco verde.	10	50	80	**140**	5	10	24	**39**	**9**
11	Robert Bosch	Combustión de H2 en Calderas de combustión dual o 100% H2.	10	100	20	**130**	5	20	6	**31**	**10**
12	Cummins	Uso H_2 en celdas combustible para reemplazo de generadores de respaldo a combustión interna por celdas de combustible a hidrógeno.	10	100	20	**130**	5	20	6	**31**	**10**

Tabla 55 Matriz de puntajes por criterios

Etapa desarrollo		Para consumo energético		Impacto Cadenas Valor	
Concepto	Puntaje	Concepto	Puntaje	Concepto	Puntaje
Proyecto iniciado	100	Si	100	Consumo	20
Proyecto en etapa de Ingeniería	80	No	50	Trasporte/distribución	20
Idea presentada a la SEC	30			Almacenamiento	20
Idea consultada a SEC	15			Acondicionamiento	20
Idea interna	10			Producción	20

10.18 Documentos Anexos al Informe

Este informe se complementa con los siguientes archivos electrónicos, considerados como anexos:

- Matriz Evaluación Países ver 3.XLSX
- Base de datos de normas de hidrógeno.xlsx
- Mapa Regulatorio Nacional VF.pptx
- Mapa Regulatorio Nacional VF.PDF
- >Mapa Regulatorio Nacional VF.VSDX
- Priori-Proyectos H2-V1.xlsx
- Proceso Reglamentacion MEN-VF.VSDX

10.19 Minuta de Vergara y Cía

RECOMENDACIÓN DE UNA TÉCNICA REGULATORIA DEL HIDRÓGENO (H_2) PARA CHILE.

ANÁLISIS JURÍDICO DE LA POSIBILIDAD DE DICTAR NORMAS TÉCNICAS POR EL MINISTERIO DE ENERGÍA

ALEJANDRO VERGARA BLANCO

Profesor de Derecho Administrativo

JUAN ANDRÉS ROJAS BRIONES

Investigador asociado

Programa de Derecho Administrativo Económico UC

Este análisis jurídico se realiza en el marco la *propuesta de una técnica regulatoria para normar la seguridad del Hidrógeno en Chile* que debe entregar el Centro de Energía de la Pontificia Universidad Católica (en adelante, "Centro Energía UC"), por mandato de la Agencia GIZ, al Ministerio de Energía, ello, además, vinculado al informe denominado "Proposición de estrategia regulatoria del Hidrógeno para Chile" (en adelante, "Informe Regulatorio H2").

Cabe señalar que la colaboración prestada al Centro de Energía UC se ha materializado y concentrado a partir de conferencias y revisión de los antecedentes pertinentes. Principalmente, tiene por objetivo, primero, aclarar aspectos normativos orgánicos de los Servicios que pueden, en su caso, intervenir en la seguridad de la utilización del hidrógeno (en adelante, "H_2") y, segundo, responder dudas sobre la técnica regulatoria válida y apropiada que pueden adoptar en la materia los órganos de la Administración del Estado, en especial el Ministerio de Energía.

Ambos aspectos son expuestos en el presente escrito, en el siguiente orden:

En primer lugar (A) se exponen los *antecedentes*. Principalmente, se hace referencia a la regulación aplicable actualmente a la seguridad del H_2 en Chile. Para ello, se tiene especial consideración de lo señalado en el segundo avance del Informe Regulatorio H_2, acompañado por el Centro de Energía UC en la solicitud de la presente minuta;

Luego (B) se exponen las *potestades del Ministerio de energía en materia de seguridad del H_2*, para lo cual se analiza su ley orgánica constitucional. Todo ello con el objeto de determinar que aspectos de la cadena de valor

y al respecto de la seguridad del H_2 podrían ser normados por tal Ministerio. Asimismo, determinar los aspectos que no pueden ser regulados por el Ministerio de Energía, por ser competencia de otros organismos sectoriales; y,

Finalmente (C), y en vista de lo expuesto, se proponen *recomendaciones sobre la técnica regulatoria que se debiese adoptar*, teniendo siempre presente que la posibilidad de dictar normas técnicas procede válidamente de una potestad normativa con sustento legal previo.

A/ ANTECEDENTES

I. OBJETO Y PRODUCTO DEL INFORME REGULATORIO H_2

En el presenta apartado, se expone el propósito del Informe Regulatorio H2 (1) y los productos obtenidos del mismo (2). En virtud de estos aspectos, es que se recomendó al Centro de Energía, observar las potestades de los diversos órganos que intervienen en la seguridad del H_2.

1. Objetivo principal y tareas relevantes para el desarrollo del informe licitado por el Ministerio de Energía

Tras la revisión de los términos de referencia de la Agencia GIZ[83] y los antecedentes licitatorios[84] sobre la realización del Informe Regulatorio H2, es posible identificar el objeto principal (a) y las tareas relevantes del mismo (b).

a) El *objetivo primordial del informe* es levantar una línea base regulatoria al respecto de la seguridad de las instalaciones de H_2, tanto en las operaciones asociadas a su producción, transporte marítimo, transporte terrestre, almacenamiento, distribución y usos finales, para desarrollar un plan de acción nacional que permita desarrollar en mercado de H_2.

Lo anterior, es producto de dos grandes intereses que hay al respecto del uso del H_2, a saber:

1º) el actual y el esperado uso masivo que presenta o podrá presentar el H_2, como combustible, que requiere de una utilización segura para la población y de un marco regulatorio claro para toda la cadena de valor del H_2, que previene el Informe. En efecto, hoy existen diversos sectores, tanto públicos como privados, que promueven la utilización del H_2 como un combustible, en remplazo de los fósiles, para la producción de la energía. Tanto así, que se espera, en el corto plazo, que el H_2 sea normado como combustibles (el H_2) en la tramitación legislativa de la Ley de Eficiencia Energética[85].

2ª) que, a pesar de lo anterior, se mantendrá la utilización del H_2 en el sector manufacturero. Pues, siempre han existido diversos interesados en la utilización del mismo para la producción de insumos, por ejemplo, la producción de fertilizantes para el sector agrícola.

---

[83] GIZ (2019): "*Términos de Referencia Proyecto Descarbonización del sector energía en Chile*", PN 69.3020.0-001.00, Nº 83339485, 18 de octubre de 2019. Documento facilitado por el Centro de Energía UC, con fecha 25mar2020.

[84] En especial, las Preguntas/Respuestas aclaratorias de la Licitación del Informe Regulatorio H_2.

[85] Mensaje del Ejecutivo Nº88-366, del año 2018, que se contiene en el Boletín Nº12.058-08 sobre Eficiencia Energética, que obra en el tercer trámite constitucional (Senado). En dicho trámite legislativo, se realizó una indicación por parte del Ejecutivo, para introducir normativa que califique al hidrógeno como un combustible (https://www.senado.cl/appsenado/templates/tramitacion/index.php?boletin_ini=12058-08).

b) Ahora bien, el objetivo que se acordó alcanzar, entre la Agencia GIZ y Ministerio de Energía, sólo se hace posible por medio del desarrollo de *tareas específica*s, en las que se destacan desde el punto de vista normativo, el desarrollo de tres (3) aspectos, a saber:

1º) El levantamiento de la normativa nacional actual, e identificación de las brechas que aplican al H_2 en cada una de las etapas de su cadena de valor;

2º) Propuesta de normativa técnica específicas que debiese desarrollarse e implementarse en Chile, con una mirada estratégica y coherente a las brechas identificadas, tal que permita habilitar el mercado del H_2 en Chile para toda su cadena de valor;

3º) Contar con una propuesta de plan de acción regulatorio para Chile para el corto, mediano y largo plazo, priorizando las acciones regulatorias y normativas, en conjunto con la contraparte técnica, que permita habilitar el mercado del hidrógeno en términos de los proyectos que comiencen a ejecutarse, consideren su masividad o replicabilidad; y,

2. El informe tiene como resultado una propuesta de la técnica regulatoria más apropiada en materia de seguridad del H_2 para el sector energético y para otros fines

En el desarrollo del llamado "Informe Regulatorio H2", se da a conocer las brechas regulatorias sobre la seguridad en la utilización del H_2, que aplican ya sea si se utiliza como combustible o si se utiliza como materia prima para el sector manufacturero.

En ese contexto, el Informe Regulatorio H2 propone tres aspectos a destacar, que son:

a) El desarrollo de una normativa, por parte del Ministerio de Energía, que pueda regular toda la cadena de valor del H_2, y que tenga como destinatarios los usuarios del mismo como combustible;

b) La técnica regulatoria que se recomienda desplegar al Ministerio de Energía para normar la seguridad del H_2 en el sector energético, es por medio de la dictación de un *reglamento general*[86] y comprensivo de la utilización del H_2 en la generación de energía. Además, se dice, que esa normativa base sea complementada, por normativas específicas para cada actividad, que vayan presentando sus particularidades.

[86] Se deja constancia, es evidente, que se usa la expresión "reglamento" de un modo no técnico-jurídico; esto es, pues en el ordenamiento vigente la potestad reglamentaria le corresponde, únicamente, al Presidente de la República, en virtud del art. 32 N°6 de la Constitución. En la práctica se suele usar esta expresión para referirse a otros curpos normativos, como es el caso de las normas técnicas que pueden dictar algunos órganos administrativos; cuyo es el caso de Ministerio de Energía, como se señala más adelante.

c) Y, finalmente, se recomienda desplegar reuniones interministeriales entre diversos órganos de la Administración del Estado, para que en forma coordinada se pueda regular la cadena de valor del H_2 que tenga fines diversos a los energéticos.

Todo lo anterior, se recomienda para resguardar tanto la seguridad de las personas como la propiedad, permitir una normal y sana competencia entre los actores del sector energético y establecer reglas claras -seguridad jurídica- para quienes pretenden utilizar el H_2.

II. Reglamentos existentes sobre el H_2 en su cadena de valor, según Informe Regulatorio H_2

Una vez aclarado los objetivos y resultados obtenidos con el Informe Regulatorio del H2, es importante destacar dos aspectos que se expone en ese informe sobre la seguridad del H_2, que son: la actual regulación a la seguridad que podrá aplicar al H_2 (a), para luego, precisar esa escasa normativa existente (b).

1. La actual regulación del H_2

El referido informe se explica que no hay regulaciones específicas para el H_2, pues queda regulado por los Reglamentos de las sustancias peligrosas, al considerarse al que es un gas inflamable. Sin embargo, esto debiese cambiar una vez que la Ley de Eficiencia Energética se apruebe, dado que ahí comenzaría a regularse el H_2 como un combustible.

En virtud de ello, se previene que las barreras o brechas regulatorias sobre la seguridad del H_2 son dos, a saber:

a) por una parte, los reglamentos que regulan al H_2 como sustancias peligrosas (gas inflamable), son de antigua data, poco detallados y no contemplan las particularidades del uso y manejo del H_2, como, por ejemplo, no se previenen las necesidades de ventilación específicas, medidas contra explosiones, y disposiciones para su manipulación y transferencia; y,

b) por otra parte, los aspectos no regulados que son el H_2, deben comenzar a determinarse la forma en que se regulará el uso y aplicación de este futuro combustibles (promulgada la Ley de Eficiencia Energética), considerando que este podrá tener un uso masivo en la población (combustible de vehículos).

2. Escasa normativa del H_2 en Chile

La normativa actual que regula al H_2 como una sustancia peligrosa, ha sido referenciada en el Informe Regulatorio H2, precisamente en la tabla N°9. La cual se vuelve a repetir, debido a su importancia.

Tabla: Sobre regulación de la seguridad H_2 expuesta en Informe

Organismo	Título	Tipo y número del documento	Fecha de publicación
Ministerio de Minería	Aprueba reglamento de seguridad minera	DTO-132	07-02-2004
Ministerio de Salud	Aprueba el reglamento de almacenamiento de sustancias peligrosas	DTO-43	25-09-2016
	Aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo	DTO-594	14-02-2018
	Aprueba listado de sustancias peligrosas para la salud	RES 408 EXENTA	10-06-2016
Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones	Reglamenta transporte de cargas peligrosas por calles y caminos	DTO-298	02-02-2002
	Actualiza y modifica reglamento de manipulación y almacenamiento de cargas peligrosas en recintos portuarios	Resolución 96	20-01-1997
Ministerio del Trabajo y Previsión Social	Aprueba reglamento sobre prevención de riesgos profesionales	DTO-40	16-09-1995
INN	Mercancías peligrosas- Clasificación	NCh382	2017
	Transporte de sustancias peligrosas- Distintivos para identificación de riesgos	NCh2190	2003
	Prevención de riesgos - Parte 4: Señales de seguridad para la identificación de riesgos de materiales	NCh1411/4	2000
	Hoja de datos de seguridad para productos químicos	NCh2245	2015

Conforme a la tabla anterior y la revisión de la normativa expuesta, es posible señalar que estas regulaciones son pocos específicas, pues carecen de un adecuado nivel de precisión, como es el caso de las regulaciones internacionales referidas al H_2.

III. Consultas realizadas por el Centro de Energía UC con ocasión del Informe Regulatorio H2

En el último período del desarrollo del Informe Regulatorio H2, se nos consulta la opinión sobre los siguientes dos aspectos[87]:

1. ¿Cuál es la técnica normativa más posible y más conveniente para regular la seguridad del H_2?

[87] Tales consultas fueron formuladas mediante un lenguaje muy genérico, sin las precisiones técnico-jurídicas adecuadas (lo que es comprensible y propio del diálogo interdisciplinario, respecto de profesionales no juristas), por lo que fueron adecuadas o ajustadas al lenguaje más preciso de la técnica normativa.

Esta consulta implica dar razones sobre la conveniencia de adoptar al respecto una de estas opciones: o contener toda la regulación en un solo cuerpo normativo general, o realizarlo a través de varios cuerpos normativos más específicos.

2. ¿Cómo se pueden dictar variados cuerpos normativos que regulen la seguridad del H_2?

Pregunta que surge para el caso en que se opte por la técnica regulatoria de varios cuerpos normativos, y no uno general, como es obvio.

Todo lo anterior, en el entendido que lo que se consulta es la posibilidad de dictar normas técnicas por el Ministerio de Energía *directamente* (para lo cual se revisan sus potestades más adelante), y no se ha postulado la posibilidad de que sea el Presidente de la república quien dicte un Reglamento de una nueva y eventual ley sobre la materia. Pues, como se sabe, las posibilidades regulatorias por los órganos de la Administración, cada vez que hay una ley previa sobre la materia (lo que no es el caso actualmente, pues esa ley aún no se dicta) son las dos siguientes:

i) la dictación de uno o varios reglamentos por el Presidente de la República;

ii) la dictación de una o varias normas técnicas por el órgano administrativo que ostente esa potestad, a partir de su ley orgánica (cuyo es el caso del Ministerio de Energía, como se revisa más adelante).

En el Informe regulatorio H2, citado, se ha optado por esta segunda posibilidad; de ahí que sea la que se desarrolla en esta minuta.

Con ocasión de esas preguntas, para recomendar una técnica regulatoria y responder las consultas sobre la dictación de los cuerpos normativos necesarios, cabe detenerse, entonces, en las potestades y competencias del Ministerio de Energía. Al revisar las facultades de ese ministerio será posible formular una recomendación al respecto, esto es, si la seguridad del H_2, en sus dos utilizaciones -combustible o materia prima-, podrá o no regularse en un solo y único reglamento.

B/ REVISIÓN POTESTATIVA DEL MINISTERIO DE ENERGÍA PARA LA SEGURIDAD DEL H_2

I. POTESTAD DEL MINISTERIO QUE LO FACULTAN PARA DICTAR NORMAS TÉCNICAS SOBRE LA SEGURIDAD DEL H_2

Considerando una eventual pronta aprobación de la Ley de Eficiencia Energética, pues se espera que dicha ley califique al H_2 como combustible, y sólo en tal caso, y una vez que suceda, cabe precisar que el Ministerio de Energía tiene potestades para la dictación de normas técnicas que regulen la seguridad del mismo, pero respecto de su uso en la industria energética. Bajo ese contexto, es importante considerar como se define en la Ley (a); las potestades del Ministerio de Energía (b); la potestad específica que le permite regular la seguridad a través de normas técnicas (c); lo que podrá recaer en el H_2 como combustible (d).

1. El Ministerio de Energía es el órgano que colabora con las funciones de gobierno en materia de energía

Este órgano fue creado por la Ley N°20.402, de 2009, que ordenó introducir a este Servicio en la institucionalidad en materia de energía, modificando el DL 2.224, de 1978, del Ministerio de Minería (en adelante, "DL N°2.224/78"), que también crea a la Comisión Nacional de Energía. En el artículo 1° del DL N°2.224/778, se define a este ministerio como:

> *"(…) el órgano superior de colaboración del Presidente de la República en las funciones de gobierno y administración del sector energía."*

2. Competencia del Ministerio de Energía para dictar normas técnicas

En el inciso1° artículo 2° del DL N°2.224/78, se establece que la función principal del ministerio es la de:

> *"(…) elaborar y coordinar los planes, políticas y normas para el buen funcionamiento y desarrollo del sector, velar por su cumplimiento y asesorar al Gobierno en todas aquellas materias relacionadas con la energía".*

Luego, en el artículo 3° de ese decreto precisa la competencia en materia de energía que le corresponde prestar este ministerio, señalando que:

> *"(…) el sector de energía comprende a todas las actividades de estudio, exploración, explotación, generación, transmisión, transporte, almacenamiento, distribución, consumo, uso eficiente, importación y exportación, y cualquiera otra que concierna a la electricidad, carbón, gas, petróleo y derivados, energía nuclear, geotérmica y solar, y demás fuentes energéticas."*

3. Potestades respecto de la seguridad que puede ejercer el Ministerio de Energía en el marco de sus competencias

Las funciones que podrá desplegar este Ministerio para dictar normas técnicas sobre la seguridad del sector eléctrico, están previstas en el literal d) del artículo 4° del DL N°2.224/78, dispone que este Ministerio puede:

"*Elaborar, coordinar, proponer y dictar, según corresponda, las normas aplicables al sector energía que sean necesarias para el cumplimiento de los planes y políticas energéticas de carácter general así como para la eficiencia energética, la seguridad y adecuado funcionamiento y desarrollo del sistema en su conjunto*."

La seguridad a que alude el mencionado literal, corresponde a dos aspectos de la seguridad del desarrollo del mercado energético, esto es: que no falle el abastecimiento o a la seguridad física, y evitar los riesgos de daño a las personas y a la propiedad.

4. El Ministerio podrá dictar normas técnicas sobre la seguridad del H_2 en cuanto se considere un combustible

De acuerdo con las competencias y potestades que el Ministerio de Energía puede ejercer, para el caso que se dicte la Ley señalada más arriba que aún está en proyecto, se desprende que tal ministerio tiene las atribuciones o potestades necesarias para dictar normas técnicas sobre la seguridad del H_2 combustible en toda su cadena de valor. En efecto, las disposiciones transcritas del DL N°2.224/78, permiten concluir que el Ministerio puede regular toda la cadena de valor del hidrógeno en cuanto a combustible.

En todo caso, cabe dejar en claro que estas normas técnicas son de carácter administrativo, y tienen un valor *infra legal* e *infra reglamentario.*

II. ASPECTOS NO SUSCEPTIBLES DE SER REGULADOS POR EL MINISTERIO DE ENERGÍA Y QUE SON DE COMPETENCIA DE OTROS ÓRGANOS DE LA ADMINISTRACIÓN DEL ESTADO.

Conforme a la revisión de las competencias y potestades del Ministerio de Energía que están previstas en el DL N° 2.224/78, es posible señalar que la utilización del H_2 como materia prima, esto es, con fines distintos a la generación de energía o como combustible, no podrá ser regulada por ese Servicio.

En efecto, ello se seguirá normando por las normas que regulan a las sustancias peligrosas, referenciadas en la tabla *ut supra*[88]

C/ RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES PARA LA TÉCNICA REGULATORIA

Tras la revisión de las potestades del Ministerio de Energía, se proceden a dar respuesta a las inquietudes planteadas por el Centro de energía a UC -expuestas en el acápite A, párrafo III anterior-:

[88] Sobre este aspecto, se destaca una consulta del Centro de Energía UC sobre ¿Qué órgano es el competente para normar la seguridad en los estacionamientos subterráneos? Al respecto se indicó que el subsuelo es administrado por las Municipalidades, quienes al momento de licitar o de expedir la patente de funcionamiento debiesen preocuparse de las normas de seguridad del H_2.

1º) Dado que el Ministerio de Energía podrá normar (a través de *normas técnicas*; las que no cabe confundir con un *reglamento*) sólo la seguridad del H_2 en cuanto sea un combustible, parece recomendable que ese Ministerio proceda a dictar una norma general que fije los parámetros mínimos de la seguridad en el uso y aplicación del H_2 como fuente generadora de energía.

2º) Asimismo, se recomienda que la regulación general (a través de una norma técnica) aclare que los aspectos técnicos más específicos que pueda involucrar el uso o aplicación del H_2 como combustible puedan ser precisados por ese Ministerio a través de otras normas técnicas más específicas. Ello se recomienda, con ocasión de que el uso del H_2 como combustible podrá ser diverso como, por ejemplo, podrá tener un uso tanto en la generación de energía eléctrica y como combustible de los vehículos.

3º) Por lo anterior, se recomienda proponer al Ministerio desplegar su potestad colaborativa con otros órganos de la Administración del Estado en la regulación de la seguridad del H2, prevista en el inciso 2º del art.3 de la Ley Nº18.575, de 1986, que establece orgánica constitucional de bases generales de la administración del estado. Ello, para normar aspectos en que deban tener participación otros órganos de la Administración del Estado, ya sea para la regulación del H_2 como combustible o como materia prima. Todo ello, para que la normativa de la seguridad sea coherente.

4º) Finalmente, se advierte que la llamada "codificación" de las normas que regulen la seguridad (esto es, intentar construir diversos cuerpos normativos, uno general y otros más específicos) es una tarea también recomendable, pues es un intento por reunir las normas que regulan un sector en cuerpos coherentes y vinculados entre sí. Lo que pareciera que importa es que la regulación de la seguridad H_2, ya sea como combustible o materia prima, quede coherente y que pueda existir seguridad jurídica para los múltiples interesados en su uso y aplicación.

Santiago, 8 de abril de 2020.