

DANITZA MONTSERRAT ETEROVIC MARTÍ

**AVANCES Y DESAFÍOS EN TORNO A LA REGULACIÓN
DEL HIDRÓGENO VERDE EN CHILE**

ADVANCES AND CHALLENGES IN THE REGULATION OF
GREEN HYDROGEN IN CHILE

ARTÍCULO INÉDITO DE INVESTIGACIÓN

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO (CHICAGO)

Eterovic Martí, Danitza Montserrat. «Avances y desafíos en torno a la regulación del hidrógeno verde en Chile». *Revista de Derecho Aplicado LLM UC* 10 (2022).

<https://doi.org/10.7764/rda.10.19971>

REVISTA DE DERECHO APLICADO LLM UC

Número 10
Diciembre 2022
ISSN: 2452-4344

Recepción: 22 de abril, 2022

Aceptación: 15 de noviembre, 2022

Resumen

Esta investigación describe el desarrollo de la regulación del hidrógeno verde (H₂V) en concordancia con las metas y el plan de acción fijados en la Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde. Se revisarán distintos aspectos de la regulación de la cadena de valor del hidrógeno verde y su evolución, para después revisar los desafíos regulatorios a que se enfrenta la industria, como el desarrollo de la certificación del hidrógeno verde, el régimen de responsabilidad de los productores, la regulación de la gobernanza, la posibilidad de una incompetencia sobreviniente del Ministerio de Salud al dejar de considerar el hidrógeno molecular como sustancia peligrosa, y la planificación territorial. Por último, analizaremos cómo el plan de acción fijado en la Estrategia durante el mandato del entonces presidente Sebastián Piñera continúa vigente en el mandato del presidente Gabriel Boric.

Palabras clave: Hidrógeno verde, Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde, Ministerio de Energía, combustible, sustancia peligrosa.

Abstract

This research describes the development of the regulation of Green Hydrogen (GH₂) according to the goals and roadmap of the National Strategy of GH₂. We will analyze the different aspects of the regulation of the value chain of GH₂ and its evolution. Later, we will revise the regulation challenges the industry faces, like the development of a certification system, the responsibility regime of the manipulators of GH₂, the possibility that the Ministry of Health becomes incompetent to regulate GH₂, the regulation of its governance and the territorial planification. Finally, we will analyze how the roadmap defined in the Strategy during the government of then-President Sebastián Piñera continues in the government of President Gabriel Boric.

Keywords: Green hydrogen, National Strategy of Green Hydrogen, Ministry of Energy, fuel, hazardous substance.

Danitza Montserrat Eterovic Martí

Municipalidad de Coyhaique
Coyhaique, Chile
dmeterovic@uc.cl

Danitza Montserrat Eterovic Martí es abogada de la Pontificia Universidad Católica de Chile, y magíster en Derecho LLM con Mención en Derecho Regulatorio de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Su ejercicio profesional está ligado a temas de hidrógeno, derecho energético, derecho administrativo, derecho civil y derecho comercial.

Municipality of Coyhaique
Coyhaique, Chile
dmeterovic@uc.cl

Danitza Montserrat Eterovic Martí is a Lawyer graduated from the Pontifical Catholic University of Chile, with a Master in Laws in Regulatory Law. Professional practice in the Hydrogen industry, Administrative Law, Civil Law and Commercial Law.

I. INTRODUCCIÓN: QUÉ ES EL HIDRÓGENO, FORMAS DE PRODUCIRLO, USOS TRADICIONALES Y NUEVOS USOS EN EL CONTEXTO DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

1.1. Calentamiento global y necesidad de reducir la huella de carbono

Para combatir el cambio climático, muchos Estados han acordado reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI); en particular, Chile se comprometió a volverse carbono-neutral al año 2050, lo cual quedó plasmado en la Ley 21.455.

Las actuales soluciones para reducir la emisión de gases de efecto invernadero son la generación de electricidad a partir de energías renovables no convencionales (ERNC), la electromovilidad, la eficiencia energética y el llamado *hidrógeno verde* (H₂V).¹ El presente trabajo tratará sobre esta última solución.

1.2. Qué es el hidrógeno

El átomo de hidrógeno es el primer elemento de la tabla periódica, formada por un protón y un electrón. Es la sustancia más abundante del universo, ya que constituye cerca del 75% de su materia visible² y suele formar moléculas con otros átomos, lo que genera distintas sustancias orgánicas e inorgánicas y con diferentes propiedades, como el agua (H₂O); los enlaces carbono-hidrógeno (C-H), presentes en las sustancias orgánicas; o el amoníaco (NH₃), entre muchos otros.

Sin embargo, cuando hablamos de hidrógeno solemos referirnos al hidrógeno molecular o dihidrógeno (H₂), que se forma con el enlace de dos átomos de hidrógeno. El hidrógeno molecular es un gas extremadamente inflamable, más liviano que el aire, incoloro, inodoro, insípido, no tóxico, no corrosivo y asfixiante en caso de inhalación. Se encuentra principalmente en el plasma del universo y en las estrellas, mientras que es muy difícil encontrarlo de forma natural en la Tierra.³ Por lo mismo, debe manufacturarse para utilizarlo en la industria humana.

¹ Mensaje del Boletín 14755-08.

² «Pero... ¿qué es el hidrógeno?», Misión Cavendish, <https://misioncavendish.com/hidrogeno-verde-conceptos>.

³ «Pero...».

1.3. Forma tradicional de producir H₂ y usos industriales

Tradicionalmente, el H₂ se utiliza en procesos industriales como la refinación del petróleo, la producción de amoníaco, metanol, metales y vidrio, la elaboración de alimentos o la licuefacción del carbón, entre otros.⁴

El 90%⁵ del H₂ se obtiene a partir del gas natural o de otros hidrocarburos.⁶ Se le denomina *hidrógeno gris* porque es un dihidrógeno que se obtiene a partir de hidrocarburos y emitiendo gases de efecto invernadero a la atmósfera,⁷ en contraposición al denominado *hidrógeno azul*, el cual, a pesar de ser producido también a partir de hidrocarburos, no libera dióxido de carbono (CO₂) en el proceso.⁸

1.4. La novedad del hidrógeno verde y su uso como vector energético

Por su parte, el *hidrógeno verde* (H₂V) es el hidrógeno molecular que se produce sin emitir gases de efecto invernadero. Por lo general, se entiende que el hidrógeno verde es aquel que se produce a través de la electrólisis del agua (H₂O), separado mediante electricidad obtenida a través de energías renovables no convencionales el átomo de oxígeno del H₂,⁹ aunque también se ha explorado la producción biológica del H₂V a través de procesos químicos naturales desarrollados por microalgas.¹⁰ El artículo 1 numeral 4 del proyecto de ley que impulsa la producción y uso del hidrógeno verde en el país (Boletín 14756-08), define al hidrógeno verde como «aquel hidrógeno producido a partir de electrólisis de agua mediante la utilización de energía eléctrica proveniente exclusivamente de energías renovables, o a partir de tecnologías de producción de hidrógeno que empleen exclusivamente energías renovables autorizadas por la Comisión según los criterios que defina el reglamento», permitiendo que futuras tecnologías también puedan sintetizarlo.

⁴ Emilio Nieto Gallego, «Obtención y aplicaciones del hidrógeno» (conferencia, Fundación de la Energía, 17 de enero de 2018).

⁵ Gabriela Ensínck, «Hidrógeno gris, azul y verde: Cuáles son las diferencias en el llamado “combustible del futuro”», *Economía Sustentable*, 1 de octubre de 2021, <https://economiasustentable.com/noticias/hidrogeno-gris-azul-y-verde-cuales-son-las-diferencias-en-el-llamado-combustible-del-futuro>.

⁶ «Del gris al verde, los colores del hidrógeno», *Good New Energy de Enagás*, 30 de septiembre de 2021,

⁷ Ensínck, «Hidrógeno gris...».

⁸ «Del gris...».

⁹ «Pero...».

¹⁰ Ramón Roca, «Microalgas, otra forma de producir hidrógeno verde», *El Periódico de la Energía*, 20 de febrero de 2021, <https://elperiodicodelaenergia.com/microalgas-otra-forma-de-producir-hidrogeno-verde/>.

Gracias a sus características químicas, como su inflamabilidad —que se traduce en su gran poder calorífico—,¹¹ el hidrógeno verde sirve para reemplazar los combustibles fósiles en nuevas aplicaciones: transporte, calefacción a través de gasoductos, almacenamiento de energía, soporte de sistemas eléctricos, producción verde de sus subproductos (amoníaco, etanol, metanol, e-gasolina, nitrato de amonio, peróxido de hidrógeno, etcétera) y como reemplazo del hidrógeno gris en sus aplicaciones tradicionales. Debido a lo anterior, países como Japón, Canadá, España, Alemania y otros han anunciado estrategias nacionales en torno al hidrógeno verde y azul para cumplir con sus metas de carbono-neutralidad, enfrentándose al desafío de volver al hidrógeno verde competitivo respecto del hidrógeno gris, sin perjuicio de que se espera que se abarate en comparación al hidrógeno gris debido a la guerra entre Rusia y Ucrania, pues Europa se propuso dejar de depender económicamente del gas ruso.¹²

1.5. La Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde

El 3 noviembre de 2020, el Estado de Chile lanzó la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, con tres metas específicas: i) producir el H₂V más barato del planeta para 2030; ii) estar entre los tres principales exportadores para 2040; y iii) contar con 5 Gigawatt de capacidad de electrólisis en desarrollo para 2025.¹³ Tras una consulta pública, el 9 de noviembre de 2021 se publicó la versión final de la Estrategia.¹⁴

La Estrategia proyecta que Chile podría utilizar energías renovables no convencionales para producir 70 veces su demanda interna de energía, por lo que busca explotar su potencial de producción de hidrógeno verde y convertir al país en una potencia mundial

¹¹ Patricio Lillo, «Hidrógeno verde: El combustible del futuro», Educación Profesional, Escuela de Ingeniería Pontificia Universidad Católica de Chile, <https://educacionprofesional.ing.uc.cl/hidrogeno-verde-el-combustible-del-futuro>.

¹² Sofía Aravena, «Freno al gas ruso aceleraría proyectos de hidrógeno verde en nuestro país», *La Tercera*, 14 de marzo de 2022, <https://www.latercera.com/pulso/noticia/freno-al-gas-ruso-aceleraria-proyectos-de-hidrogeno-verde-en-nuestro-pais/H5ZFWNCPOJCUDL3L23XIJBFOAI/>.

¹³ «Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde: Chile, fuente energética para un planeta cero emisiones» (versión preliminar), Ministerio de Energía, 3 de noviembre de 2020, <https://energia.gob.cl/h2/Estrategia-nacional-de-hidrogeno-verde>.

¹⁴ «Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde: Chile, fuente energética para un planeta cero emisiones» (versión final), Ministerio de Energía, 3 de noviembre de 2020, p. 10, https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_h2_-_espanol.pdf.

gracias a la mejor radiación del planeta en el desierto de Atacama, su radiación solar en la zona centro y la energía eólica de la zona extremo austral, cuya capacidad *in-shore* es similar a la capacidad *off-shore* de otros países.¹⁵ Así, el hidrógeno verde producido en el desierto de Atacama y en la región de Magallanes y de la Antártica Chilena tendrían los costos de producción más baratos del planeta.¹⁶

Se contemplan tres oleadas para el desarrollo de esta Estrategia:¹⁷

- Primera oleada (2020-2025): Consumo doméstico de gran escala con demanda establecida, a través de la producción nacional de amoníaco verde, el reemplazo del hidrógeno gris en la industria, su uso en el transporte de pasajeros y de carga pesada.
- Segunda oleada (2025-2030): Más usos en transporte terrestre, como la minería, y el inicio de su exportación.
- Tercera oleada (2030 en adelante): Apertura de nuevos mercados de exportación y la descarbonización del transporte marítimo y aéreo.¹⁸

A su vez, la Estrategia señala cuatro aristas en su plan de acción:¹⁹

- Fomento al mercado doméstico y a la exportación.
- Normativa, seguridad y pilotajes.
- Desarrollo social y territorial.
- Formación de capacidades e innovación.

La regulación del hidrógeno verde se enfoca en concretar el plan de acción de la segunda y, en menor medida, de la tercera arista. En efecto, la arista de *Normativa* busca: i) el desarrollo de la regulación y normativa del hidrógeno verde para resguardar aspectos de seguridad y dar certezas a los inversionistas; ii) establecer un equipo operativo para acompañar la tramitación de permisos para el desarrollo de pilotajes de H₂V; iii) revisar la regulación e infraestructura del gas natural para promover la introducción de cuotas de hidrógeno verde en su distribución;²⁰ iv) la modificación del DFL 1/1979 y el DL 2.224 que Crea el Ministerio de Energía y la Comisión de Nacional de Energía para incluir al hidrógeno verde como energético; v) dar potestad reglamentaria al Ministerio

¹⁵ «Estrategia...» (versión final), 10.

¹⁶ «Estrategia...» (versión final), 11.

¹⁷ «Estrategia...» (versión final), 17-18.

¹⁸ «Estrategia...» (versión final), 13.

¹⁹ «Estrategia...» (versión final), 25-29.

²⁰ «Estrategia...» (versión final), 26.

de Energía; vi) difundir el proceso de solicitud de autorización de proyectos especiales de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC); y vii) revisar la normativa del sector eléctrico para permitir la participación de las tecnologías del hidrógeno verde en el sistema, proveyendo servicios de energía, capacidad y servicios complementarios.²¹

Por su parte, la arista de *Desarrollo social y territorial* contempla: i) reducir las barreras regulatorias y de mercado para la inclusión de soluciones de hidrógeno verde en la planificación y expansión de sistemas eléctricos medianos; ii) evaluar las oportunidades y desafíos del hidrógeno verde en las políticas, ordenamientos y planes territoriales; iii) incluir consideraciones de la cadena de valor del hidrógeno verde en los procesos de elaboración de dichas políticas y planes territoriales;²² iv) revisar la normativa de uso de suelos aplicable a los procesos del hidrógeno y sus permisos asociados para identificar y reducir potenciales barreras a su desarrollo; y v) analizar, reservar y entregar en concesión terrenos fiscales de buenas condiciones para el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde y derivados.²³

Por último, la Estrategia señala que la gobernanza estará formada por el Ministerio de Energía a través de la División de Combustibles y Nuevos Energéticos, y por el Consejo Asesor.²⁴ La División de Combustibles y Nuevos Energéticos tendrá competencia para coordinar la ejecución del plan de acción con autoridades nacionales y locales, organizaciones civiles, industria y la academia; revisar y actualizar los supuestos de la Estrategia cada dos años y medio (precios, posicionamiento internacional del país, aplicaciones energéticas, etcétera); y actualizar la Estrategia y revisar las metas alcanzadas cada cinco años.²⁵ Por su parte, el Consejo Asesor estará formado por el ministro de Energía, que lo preside; el ministro de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación; el ministro de Minería; el ministro de Transporte; el ministro de Bienes Nacionales; el ministro de Relaciones Exteriores; y, a selección del ministro de Energía, dos representantes de la industria, dos representantes de la academia y dos representantes de la sociedad civil. Dicho Consejo tendrá como atribución aprobar las revisiones y actualizaciones de la Estrategia propuestas por el ministro de Energía.²⁶

²¹ «Estrategia...» (versión final), 29.

²² «Estrategia...» (versión final), 27.

²³ «Estrategia...» (versión final), 29.

²⁴ «Estrategia...» (versión final), 30.

²⁵ «Estrategia...» (versión final), 30.

²⁶ «Estrategia...» (versión final), 30.

2. DISTINTAS ARISTAS E HISTORIA DE LA REGULACIÓN DEL HIDRÓGENO VERDE

2.1. Áreas a regular

La regulación del hidrógeno verde abarca distintos aspectos: seguridad del manejo, regulación medioambiental, normas con incentivos económicos, regulación territorial, normas de certificación, etcétera. Existe regulación que en forma directa favorece al hidrógeno verde, mencionándolo expresamente, como también regulación de manera indirecta, como aquellas que favorecen «las energías renovables» u otros conceptos semejantes.

La regulación del hidrógeno verde incluye todas las etapas de la cadena de valor: producción, almacenamiento, transporte, distribución y uso final, entre ellos, la sintetización de subproductos verdes. No abordaremos la regulación de sus subproductos, pues antes de la existencia del hidrógeno verde ya se regulaba la gasolina, el metanol, etanol, amoníaco, etcétera. En cambio, nos centraremos en las demás etapas de la cadena de valor.

Por último, existe tanto regulación estatal, plasmada en leyes y reglamentos, como normas técnicas de normalización dictadas por organismos cuyo fin es la mantención de ciertos estándares, las que son obligatorias si la ley o un reglamento las sanciona.

2.2. Regulación medioambiental

2.2.1. Ingreso al Servicio de Evaluación Ambiental

El riesgo medioambiental de esta industria está dado principalmente por la cantidad de hidrógeno verde almacenado, no por la capacidad de producción, pues la electrólisis del H₂O es un proceso químico de poco riesgo.²⁷

La **tabla 1** identifica los casos específicos de la industria del hidrógeno verde que deben ingresar al Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), sin perjuicio de otros impactos ambientales relacionados, como la construcción de caminos, sistemas de transmisión eléctrica, etcétera.

²⁷ Inodú (Jorge Moreno, Donny Holaschutz, Héctor Moreno y Tomás Meyer), *Identificación de aspectos ambientales, sectoriales y territoriales para el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde en toda su cadena de valor* (Santiago: GIZ), 3.

Tabla 1. Actividades que deben someterse al sistema de evaluación ambiental

Etapa de la cadena de valor	Hipótesis que deben ingresar al SEA
Producción y generación de H ₂ V	Producción, disposición y/o reutilización de 80.000 kg/día de H ₂ V o más durante al menos semestre, y con una periodicidad mensual o mayor; producción, disposición, reutilización y/o almacenamiento de 120.000 kg/día de O ₂ ; disposición de 1.000 kg de O ₂ o más al día. ²⁸
Almacenamiento como gas comprimido o como líquido mediante licuefacción	Almacenamiento de 80.000 kg/día de H ₂ V. ²⁹
Transporte en camiones	Transporte por tierra de H ₂ u O ₂ en una cantidad superior a 400 t/día que durante al menos un semestre. ³⁰
Transporte en red	Desarrollo de un nuevo tramo de gasoducto o si este se destina al transporte de sustancias y/o residuos conectando centros de producción, almacenamiento, tratamiento o disposición con centros de similares características o con redes de distribución. ³¹
Estaciones de carga y descarga de combustible	Almacenamiento de 80.000 kg de H ₂ V o más durante al menos un semestre, y con una periodicidad mensual o mayor; almacenamiento de 200.000 litros o más para expendio de combustibles a vehículos. ³²
Generación eléctrica con motores o turbinas	Almacenamiento de 80.000 kg de H ₂ V o más. ³³
Uso industrial en caldera	Almacenamiento de 80.000 kg de H ₂ V o más. ³⁴

Fuente: Elaboración propia, a partir de Inodú, *Identificación...*

Es menester señalar que, conforme al artículo 11 ter de la Ley 19.300, aquellos proyectos de hidrógeno verde que busquen readecuar infraestructura existente deberán ingresar al SEA por la modificación y no por el proyecto preexistente, caso que ocurriría, por ejemplo, al readecuar gasoductos.

²⁸ Inodú, *Identificación...*, 33-34.

²⁹ Inodú, *Identificación...*, 43, 52-53.

³⁰ Inodú, *Identificación...*, 59.

³¹ Inodú, *Identificación...*, 64.

³² Inodú, *Identificación...*, 73.

³³ Inodú, *Identificación...*, 98.

³⁴ Inodú, *Identificación...*, 104.

Todo proyecto de hidrógeno verde debe ceñirse a las reglas generales en materia ambiental, así como también someterse a su institucionalidad, por lo que no sería necesario crear regulación ambiental específica del H₂V, al menos por el momento. En efecto, de conformidad al estudio de Inodú, la electrólisis es un proceso de bajo riesgo porque no implica condiciones potencialmente peligrosas, como altas presiones o temperaturas, ni tampoco grandes cantidades de sustancias peligrosas.³⁵

2.2.2. Normas de calidad y normas de emisión

A la fecha no existen normas de calidad ni normas de emisión que regulen al hidrógeno verde. De todos modos, se debe tener presente la naturaleza química del H₂V y de los residuos de su producción para estudiar su interacción con la naturaleza y así determinar las normas que debieran elaborarse.

La combustión de H₂ no genera dióxido ni monóxido de carbono,³⁶ sino vapor de agua y calor, pudiendo evaluarse a futuro una norma primaria, norma secundaria o una norma de emisión de vapor de agua según el impacto ambiental de su aumento en el aire. Lo mismo aplica respecto de la liberación de oxígeno a la atmósfera por la producción de hidrógeno verde, pues por cada tonelada se producen ocho toneladas de oxígeno, las que pueden almacenarse o bien liberarse a la atmósfera como residuo.³⁷ Sería recomendable instar a las empresas productoras de hidrógeno verde a reutilizar el oxígeno obtenido, lo que tendría beneficios ambientales, pues no alteraría la composición del aire, como también beneficios económicos, al aprovecharse al máximo los recursos provenientes del H₂O.

Respecto del caso de liberaciones de hidrógeno verde al aire, debe tenerse presente que están prohibidas por razones de seguridad, tal como se ordena en instrumentos de normalización como el NFPA-2.³⁸ Entonces, no constituyen una emisión regulada por parámetros ambientales, sino que las fugas son accidentes que, en caso de ocurrir, acarrear la responsabilidad del establecimiento según el régimen que les aplica; en consecuencia, dictar una norma de emisión de hidrógeno molecular es improcedente.

2.2.3. Herramientas para el fomento del desarrollo sostenible que benefician al hidrógeno verde

Por último, la industria del hidrógeno verde puede beneficiarse de las herramientas existentes para fomentar el desarrollo sostenible. Por ejemplo, el artículo 7 de la Ley 19.300

³⁵ Inodú, *Identificación...*, 39.

³⁶ Inodú, *Identificación...*, 112.

³⁷ Inodú, *Identificación...*, III.

³⁸ Artículo 4.10.1 de la NFPA-2-2022.

señala que «los fondos de investigación científica, desarrollo tecnológico y social que tengan asignados recursos en la Ley de Presupuesto de la Nación, podrán financiar proyectos relativos al medio ambiente, sin perjuicio de sus fines específicos», que en el caso de la industria del hidrógeno verde se plasma en la creación del Instituto de Tecnologías Limpias en la región de Atacama, adjudicado al ASDIT.³⁹ Por su parte, el artículo 7 bis y siguientes de la Ley 19.300 regulan la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), obligatoria para los instrumentos de planificación territorial (IPT) que se modifiquen conforme se implemente la Estrategia. La Ley 21.455 establece instrumentos ambientales que pueden potenciar el uso del hidrógeno verde, como la Estrategia Climática de Largo Plazo (artículo 5), Planes Sectoriales de Mitigación de Cambio Climático (artículo 8), Planes Sectoriales de Adaptación al Cambio Climático (artículo 9), etcétera. Por último, el artículo 7 *quinquies* de la Ley 19.300 señala que el Ministerio del Medio Ambiente establecerá un programa de regulación ambiental que contenga los criterios de sustentabilidad y las prioridades programáticas en materia de políticas, planes y programas para la elaboración y revisión de los instrumentos de gestión ambiental y de gestión del cambio climático, en el ámbito de sus competencias. Entonces, gracias a este artículo, el Ministerio tiene facultades para regular el uso del hidrógeno verde para el cumplimiento de los instrumentos ya señalados.

2.3. Requisitos de calidad del hidrógeno verde

No existe regulación estatal al respecto. Con todo, existe la NCH2187:1992, «Gases comprimidos – Hidrógeno – Clasificación, requisitos de calidad y métodos de muestreo y análisis», elaborada por el Instituto Nacional de Normalización.

Se espera en la agenda regulatoria del Ministerio de Energía que se dicte el Reglamento de Especificaciones de Calidad del hidrógeno verde, como señalaremos en el capítulo 2.5 de esta investigación.

2.4. Regulación de la seguridad del hidrógeno molecular antes de la Estrategia

Antes de que se produjera hidrógeno verde, el hidrógeno molecular era regulado como una sustancia peligrosa en el Decreto Supremo 43 de 2016, «Reglamento de Almacenamiento de Sustancias Peligrosas» del Ministerio de Salud (DS 43/2016), que lo clasifica como sustancia peligrosa 2.1 (gas inflamable) y regula los siguientes aspectos:

Artículo 153. Las distancias de seguridad de estanques superficiales para almacenamiento de gases inflamables, serán las indicadas en las tablas siguientes:

[...] Tabla 2. Distancias mínimas de seguridad de estanques de hidrógeno:

³⁹ «Quiénes somos ASDIT: Asociación para el Desarrollo del Instituto Tecnológico», ASDIT, <https://www.asdit.cl/#somos>.

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

Sin perjuicio de lo señalado, los estanques que almacenen gases inflamables, podrán tener por uno de sus costados construcción o zona de trabajo adyacente. En el caso de construcción adyacente, el muro que enfrenta el estanque deberá tener un RF de 120 [resistencia al fuego de 120 minutos].

Artículo 154. Los estanques existentes que almacenen gases inflamables, incluido el hidrógeno, deberán cumplir las siguientes condiciones:

- Tener al menos tres costados o direcciones libres, en que no existan construcciones adyacentes.
- Cuando existan construcciones adyacentes al estanque, el muro que enfrenta el estanque deberá tener una RF de 120.
- Para los estanques que no cumplan con los distanciamientos de las tablas del artículo 153, deberán implementar medidas adicionales de control de riesgos, las que serán evaluadas por la autoridad sanitaria. En todo caso el distanciamiento mínimo al muro medianero será de 5 m.

Solamente estos dos artículos regulaban expresamente la seguridad del H₂ en Chile, sin perjuicio de las normas técnicas existentes, cuya aplicación dependía del reconocimiento por vía reglamentaria o legal. Lo anterior se tornó insuficiente para regular sus nuevos usos como combustible, lo que dio pie a que el Gobierno impulsara una agenda regulatoria al respecto, que analizaremos en el capítulo siguiente.

Como dato anecdótico, el Decreto 122 de 1991, que «Fija requisitos dimensionales y funcionales a vehículos que presten servicios de locomoción colectiva», del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, señala en su artículo 7 ciertos requisitos que deben cumplir las ventanas de los buses de locomoción colectiva, diciendo expresamente que «dicho requisito no será exigible a buses de propulsión eléctrica, híbrida o hidrógeno siempre y cuando el encapsulamiento del sistema de propulsión del vehículo no lo permita».

Esta regulación existía desde 1991, pero recién en 2021 se vio su utilidad. En efecto, el 17 de septiembre de 2021 la entonces ministra de Transportes y Telecomunicaciones, Gloria Hutt, anunció que se abriría una licitación pública para dotar de buses a hidrógeno verde y eléctricos para transporte urbano.⁴⁰ Más tarde, el 24 de octubre de 2022, los ministerios de Energía, del Medioambiente y de Transportes y Telecomunicaciones firmaron un convenio de colaboración junto con instituciones privadas y académicas para promover un autobús piloto de hidrógeno verde en el sistema de transporte RED de Santiago.⁴¹

2.5 Diagnóstico y agenda regulatoria del Estado de Chile

Dado que la regulación chilena específicamente relacionada al hidrógeno molecular era escasa, se hacía necesario utilizar normativa que regularan a las «sustancias inflamables» o «sustancias peligrosas» para utilizar H₂ industrialmente, y se evaluó la necesidad profundizar la regulación de aspectos específicos del hidrógeno verde como combustible.

Un estudio del Centro de Energía UC señalaba que la regulación chilena en torno a la seguridad del hidrógeno verde era insuficiente para su uso energético, pues carecía de normas sobre recipientes de alta presión, fluidos criogénicos (H₂V líquido), atmósferas inflamables, mitigación de explosiones, necesidades de ventilación, manipulación y transferencia de H₂V o incorporación de nuevas tecnologías, ni tampoco evaluaba el riesgo de la mayor exposición de la población.⁴²

Alineado con este diagnóstico, el Ministerio de Energía elaboró la siguiente agenda regulatoria:⁴³

Primera etapa (2020-2023):

- Reglamento general de instalaciones de hidrógeno molecular.
- Reglamento de especificaciones de calidad del hidrógeno molecular.
- Reglamento de estaciones de servicio multicombustible.

⁴⁰ «Más buses eléctricos e hidrógeno verde: La palabra de Gloria Hutt sobre licitaciones postpandemia», *Portal Movilidad*, 17 de septiembre de 2021, <https://portalmovilidad.com/mas-buses-electricos-e-hidrogeno-verde-la-palabra-de-gloria-hutt-sobre-licitaciones-postpandemia/>.

⁴¹ «Chile alista piloto de transporte público a hidrógeno verde», *Bnamericas*, 24 de octubre de 2022, acceso el 30 de octubre de 2022, <https://www.bnamericas.com/es/noticias/chile-prepara-piloto-de-transporte-publico-a-hidrogeno-verde>.

⁴² Centro de Energía UC (Patricio Lillo, Juan de Dios Rivera y Rodrigo Caro), *Proposición de estrategia regulatoria del hidrógeno para Chile* (Santiago: GIZ, 2020), 4-5.

⁴³ María de los Ángeles Valenzuela, «Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde» (webinar Seguridad del Hidrógeno en la Minería Subterránea, Cámara Minera de Chile, 27 de agosto de 2020).

Segunda etapa (2024-2027):

- Reglamento de transporte de hidrógeno molecular por gasoducto y de distribución por redes.
- Reglamento de artefactos domésticos a combustión de hidrógeno molecular.
- Reglamento de generadores eléctricos a hidrógeno molecular y duales.
- Reglamento de requisitos técnicos, constructivos y de seguridad para vehículos a hidrógeno molecular gaseoso (en conjunto con el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones).
- Reglamento de seguridad para talleres de reparación y mantención de vehículos a hidrógeno molecular (en conjunto con el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones).
- Reglamento de sistemas de hidrógeno molecular para minería (en conjunto con el Ministerio de Minería).

Tercera etapa (2028 en adelante):

- Reglamento de requisitos técnicos, constructivos y de seguridad para los vehículos a hidrógeno molecular líquido (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones).
- Actualización del Decreto Supremo 618 de 1970, «Reglamento para la Manipulación de Explosivos y Otras Mercaderías Peligrosas en los Recintos Portuarios» del Ministerio de Defensa Nacional (DS 618/1970).
- Actualización de la Resolución 96 de 1997 que Actualiza y Modifica Reglamento de Manipulación de Cargas Peligrosas en Recintos Portuarios del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (Res. 96/1997).

Posteriormente, el Ministerio de Energía anunció la Estrategia el 3 de noviembre de 2020. Sin embargo, ¿tenía el Ministerio atribuciones para regular el H₂?

2.6. ¿Cuál es la naturaleza jurídica del H₂V?

El DS 43/2016, que regula el almacenamiento de sustancias peligrosas, excluye expresamente en su artículo 3 a «los combustibles líquidos y gaseosos, utilizados como recursos energéticos, regulados por los decretos respectivos del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción». Entonces, el hidrógeno molecular estaba catalogada como una sustancia peligrosa no combustible por dicho reglamento, sujeto a la potestad del Ministerio de Salud.

Sin embargo, la afirmación anterior, que era válida para sus usos tradicionales, no lo era para sus nuevos usos ligados al transporte, industria pesada y distribución en las redes de gas. En los hechos, estos usos novedosos convertían al hidrógeno en un *combustible*, tal como lo define el *Diccionario de la lengua española*: «Leña, carbón, petróleo, etcétera,

que se usa en las cocinas, hornos, fraguas y máquinas cuyo agente es el fuego».⁴⁴ Entonces, el hidrógeno molecular es un combustible, pues las cosas son lo que son y no como se las denomina.

Lamentablemente, la aseveración anterior no era suficiente, pues de conformidad al artículo 20 del Código Civil, las definiciones legales priman por sobre el sentido natural y obvio de las palabras. El *Diccionario de la lengua española* define al *hidrógeno* como «elemento químico de núm. átom. 1, el más ligero de todos y el más abundante en el universo, que, combinado con el oxígeno, forma el agua, y se utiliza como combustible y en la industria química».⁴⁵ Dicha definición señala que el hidrógeno molecular es un combustible e insumo químico a la vez. Lamentablemente, el DS 43/2016 negaba su calidad de combustible, lo que generó un problema cuando se comenzó a explotar dicho uso. ¿Podría entonces regularlo el Ministerio de Energía?

Como el hidrógeno molecular era considerado una sustancia peligrosa, por un motivo de salubridad pública estaba bajo la potestad del Ministerio de Salud. Por sus nuevas aplicaciones, la agenda regulatoria del gobierno estaría liderada por el Ministerio de Energía. Sin embargo, el antiguo artículo 3 del DL 2.224 no incluía expresamente la reglamentación del hidrógeno verde como parte de su competencia. El Ministerio de Energía podía regular combustibles, pero no sustancias calificadas como no combustibles, lo que estancaba la posibilidad de desarrollar la industria del hidrógeno verde.

2.7. El hito de la Ley 21.305 sobre Eficiencia Energética

Dentro del plan de acción del eje de normativa, seguridad y pilotajes descrito en la Estrategia, una de las medidas concretas para lograr sus metas estaba «modificar el Decreto con Fuerza de Ley 1 de 1979 y el Decreto Ley 2.224 para incluir al hidrógeno como energético y así dar potestad reglamentaria al Ministerio de Energía».⁴⁶ Con la dictación de la Ley 21.305, el Legislador definió al hidrógeno verde como combustible, y señaló expresamente en su artículo 7 que estaba bajo el imperio del Ministerio de Energía. Por su parte, el artículo 9 de la Ley 21.305 modifica el DFL 1/1979, agregando dentro de dicho registro las actividades relacionadas «con el hidrógeno y combustibles a partir de hidrógeno». Gracias a estos dos artículos, se reconoce expresamente al hidrógeno verde como un combustible regulado por el Ministerio de Energía y la SEC, lo que permitía al Ministerio llevar adelante su agenda regulatoria.

⁴⁴ RAE, *Diccionario de la lengua española*, s. v. «combustible», <https://dle.rae.es/combustible>.

⁴⁵ RAE, *Diccionario de la lengua española*, s. v. «hidrógeno», <https://dle.rae.es/hidrógeno>.

⁴⁶ «Estrategia...» (versión final), 29.

Sin embargo, la lentitud del desarrollo regulatorio en comparación con el desarrollo tecnológico presentó el desafío de compatibilizar la necesidad de regular en torno a la seguridad de las personas con la necesidad de acelerar el desarrollo económico y el cumplimiento de metas de carbono-neutralidad.

2.8. Modificación a la LGSE para permitir la participación del hidrógeno verde como sistema de almacenamiento

Como señalamos en el capítulo 1.5 de esta Investigación, la Estrategia busca, dentro de la arista de la Normativa, permitir la participación de tecnologías de hidrógeno verde en el sistema eléctrico.

Lo anterior se logró mediante la dictación de la Ley 21.505, que Promueve el Almacenamiento de Energía Eléctrica y la Electromovilidad, la que modificó la Ley General de Servicios Eléctricos (LGSE) y permitió la participación de los sistemas de almacenamiento en el sistema eléctrico, en donde la participación del hidrógeno verde es clave para almacenar los excedentes de energía eléctrica que las energías renovables no convencionales produzcan estacionariamente y luego suplir los momentos de déficit. Ahora, la LGSE reconoce a los sistemas de almacenamiento como un actor que debe someterse al Coordinador Independiente del Sistema Eléctrico Nacional (artículo 72-2); señala la obligatoriedad de que los nuevos sistemas de almacenamiento que se interconecten al sistema eléctrico presenten una solicitud a la Comisión Nacional de Energía para que sea declarada en construcción (artículo 72-17); y en el mismo artículo señala en su inciso final el derecho que le asiste a los sistemas de almacenamiento de participar de las transferencias de potencias, regulado en el artículo 149, que regula el retiro, modificación y desconexión de los sistemas de almacenamiento (artículo 72-18) y permite a los sistemas de almacenamiento participar en la transferencia de potencias entre empresas no sujetas al sistema de fijación de precios (artículo 149).

Por último, el nuevo artículo 225 letra f) define los sistemas de generación-consumo como

infraestructura productiva destinada a fines tales como la producción de hidrógeno o la desalinización del agua, con capacidad de generación propia, mediante medios de generación renovables, que se conecta al sistema eléctrico a través de un único punto de conexión y que puede retirar energía del sistema eléctrico a través de un suministrador o inyectarle sus excedentes.

Es útil tener presente que el sistema generación-consumo está destinada tanto a la producción del hidrógeno verde como a la desalinización del agua, dos actividades íntimamente relacionadas, pues se espera utilizar como materia prima de la producción de hidrógeno verde agua desalada de mar.⁴⁷

2.9. Guías especiales: Forma de suplir la falta de regulación chilena en torno a la seguridad del hidrógeno verde

Uno de los enfoques de la Estrategia es el establecimiento de «un equipo operativo para acompañar la tramitación de permisos y el desarrollo de pilotajes de H₂V y sus derivados».⁴⁸ Para lograrlo, la Estrategia señalaba como plan de acción «difundir sobre el proceso de solicitud de autorización de proyectos especiales de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, así como sobre los procedimientos y condiciones para realizar pilotajes de diversas aplicaciones».⁴⁹

Dada la falta de regulación estatal, se estimó conveniente acudir a normas técnicas internacionales para acreditar la seguridad de la industria y así facilitar la obtención de permisos. Esta técnica ya se utilizaba en varios reglamentos chilenos, los que señalan que, a falta de regulación estatal, se puede acudir a regulación extranjera o bien a normas internacionales de normalización.

Un ejemplo es el artículo 7 del Decreto Supremo 66 de 2007, que aprueba el Reglamento de Instalaciones Interiores y Medidores de Gas, dictado por el Ministerio de Economía:

En caso de uso de tecnologías diferentes a las usadas en el presente reglamento, la Superintendencia podrá aceptar la inscripción de proyectos que las incorporen, siempre que se mantenga el nivel mínimo de seguridad de este, como asimismo de instrumentación distinta a la señalada en el presente reglamento, siempre que presente características técnicas similares o superiores.

Con el propósito de avalar la seguridad de dichos proyectos, los mismos deberán estar técnicamente respaldados en normas extranjeras pertinentes, internacionalmente reconocidas, entre otras, AGA, ANSI, API, ASME, ASTM, AWS, AWWA, BS, CGA, DIN, EN, ISO, JIS, NF, NFPA, UL, UNE, UNI o por estudios específicos o técnicos.

⁴⁷ «Hidrógeno y sociedad», Misión Cavendish, <https://misioncavendish.com/ciudadania/>.

⁴⁸ «Estrategia...» (versión final), 26.

⁴⁹ «Estrategia...» (versión final), 29.

Otro ejemplo es el artículo 29 del Reglamento de Seguridad Minera:

Las empresas mineras, para la ejecución de sus trabajos, deberán registrarse primeramente por las normas técnicas especificadas en este Reglamento, luego por las aprobadas por los competentes organismos nacionales y en subsidio, por aquellas normas técnicas internacionalmente aceptadas.

Siguiendo la misma técnica antes descrita, se comenzaron a dictar guías especiales para facilitar la obtención de permisos de proyectos piloto de hidrógeno verde en Chile, en la medida que se utilizaran normas de seguridad internacionales.

La primera fue la Guía de Apoyo para Solicitud de Autorización de Proyectos Especiales de Hidrógeno (Guía SEC), anunciado por el sitio web oficial del Ministerio de Energía el 10 de mayo de 2021. Su espíritu es facilitar la tramitación y aprobación de los proyectos de hidrógeno molecular que se presenten ante la SEC,⁵⁰ y estará vigente hasta que el Ministerio dicte el Reglamento de Seguridad para las Instalaciones de Hidrógeno, el que a la fecha de esta investigación fue retirado del trámite de toma de razón. La Guía SEC permite importar estándares de seguridad dictados por institutos de normalización extranjeros como ANSI, IEC, EIGA, European Standards, CSA GROUP, NFPA, SAE International y ASME.⁵¹ Dado que el Reglamento General de Instalaciones de Hidrógeno había sido elaborado en base a la NFPA-2,⁵² en opinión de la autora, sería adecuado que las empresas privilegiaran el uso de las normas de la NFPA por sobre las demás para alinearse más fácilmente con la futura regulación de dicho Reglamento. Cabe recalcar que la Guía SEC describe aspectos netamente procedimentales en la obtención de los permisos, sin crear normativa nueva, ciñéndose estrictamente a su afán de facilitar la utilización de normas internacionales de seguridad ya vigentes.

Más tarde, ante la necesidad de utilizar hidrógeno verde en reemplazo del diésel para la minería, el Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin) lanzó el 21 de octubre de 2021 la Guía de Implementación de Pilotos y Validación de Tecnologías que Utilizan

⁵⁰ «Ministerio de Energía y SEC publican la primera guía para apoyar solicitudes de proyectos de hidrógeno verde», Ministerio de Energía, 10 de mayo de 2021, <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/ministerio-de-energia-y-sec-publican-la-primera-guia-para-apoyar-solicitudes-de-proyectos-de-hidrogeno-verde>.

⁵¹ Ministerio de Energía y SEC, *Guía de apoyo para solicitud de autorización de proyectos especiales de hidrógeno* (Santiago: Ministerio de Energía, 2021), anexo 1.

⁵² María de los Ángeles Valenzuela, «El desafío regulatorio para el hidrógeno como energético: Diagnóstico y plan de acción», *Electricidad*, 14 de julio 2020, <https://www.revistaei.cl/reportajes/el-desafio-regulatorio-para-el-hidrogeno-como-energetico-diagnostico-y-plan-de-accion/>.

Hidrógeno como Combustible en Minería (Guía Sernageomin). Su objetivo es definir los requerimientos para la implementación de proyectos pilotos en que se produzca, acondicione, transporta, distribuya o se utilice hidrógeno verde como combustible en las faenas mineras, así como estandarizar dentro de Sernageomin los criterios de evaluación de dichos proyectos, reduciendo así la posibilidad de accidentes.⁵³ Por último, al igual que en el caso anterior, la Guía da ejemplos de normas técnicas de organismos internacionales que pueden utilizarse en cada etapa de la cadena de valor.

Estas guías estarán vigentes hasta que se dicten los reglamentos ministeriales respectivos, a saber: el Reglamento General de Seguridad en las Instalaciones de Hidrógeno y el Reglamento de Sistemas de Hidrógeno para la Minería. Dado que estos reglamentos todavía no existen, consideramos crucial el rol de las guías especiales para acelerar el desarrollo de la industria mientras se elaboran estas regulaciones.

2.10. Instrumentos internacionales de colaboración

El 14 de octubre de 2020, los entonces canciller Andrés Allamand y ministro de Energía Juan Carlos Jobet dieron a conocer la «diplomacia del hidrógeno verde», cuyo fin es posicionar a Chile como líder en el desarrollo de la industria del hidrógeno verde y convertirse en un centro mundial de su investigación, desarrollo, producción y exportación a través de un proceso de colaboración e inversión extranjera.⁵⁴ Gracias a esta diplomacia, el Ministerio de Relaciones Exteriores movilizará recursos de la Cancillería para su difusión y trabajará con el Ministerio de Energía y Corfo en diversos aspectos para su avance, como la definición de marcos regulatorios adecuados, facilidades para las inversiones como la reserva de terrenos fiscales para proyectos de hidrógeno verde, articulación de instancias de colaboración científica, formulación de propuestas de financiamiento, trabajo en la armonización de los procesos de certificación y regulaciones para la fabricación y exportación del hidrógeno verde.⁵⁵

Esta diplomacia se ha materializado con la celebración de distintos memorandos de entendimiento con otros Estados. El primero fue el entre Chile y Singapur el 15 de febrero de

⁵³ Servicio Nacional de Geología y Minería, *Guía de implementación de pilotos y validación de tecnologías que utilizan hidrógeno como combustible en minería* (Santiago: Sernageomin, 2021), p. 6.

⁵⁴ «Canciller impulsa la “diplomacia del hidrógeno verde para avanzar hacia una economía limpia y asegurar la carbono neutralidad al 2050”», Ministerio de Relaciones Exteriores, 14 de octubre de 2020, <https://www.minrel.gob.cl/minrel/noticias-antiores/canciller-impulsa-la-diplomacia-del-hidrogeno-verde-para-avanzar-hacia>.

⁵⁵ «Canciller...».

2021.⁵⁶ Las oportunidades de colaboración entre ambas naciones incluyen el intercambio de información y políticas en la administración y desarrollo de tecnología relacionada al hidrógeno verde, su escalamiento de la economía doméstica en ambos países, el establecimiento de cadenas de suministro y de derivados, y el fortalecimiento de redes de contacto y consorcio.⁵⁷ Tal como señaló el entonces biministro Juan Carlos Jobet, el objetivo de este memorando de entendimiento es facilitar la concreción de la meta de producir el hidrógeno verde más barato del mundo.⁵⁸

Posteriormente, el 17 de marzo de 2021 el Estado de Chile firmó con el Puerto de Rotterdam el primer memorando de entendimiento para exportar e importar hidrógeno verde, el que permitirá a Europa cumplir con sus metas de carbono-neutralidad y a Chile apalancar su segunda etapa de la Estrategia Nacional, que es su exportación.⁵⁹ El Ministerio de Relaciones Exteriores afirmó que «a través de este acuerdo se buscará establecer una cadena de suministro internacional para el hidrógeno verde chileno, además de estudiar conjuntamente temas regulatorios, comerciales, tecnológicos y de fuerza laboral, entre otros».⁶⁰

Por su parte, el 19 de junio de 2021, Chile y Alemania firmaron un acuerdo y anunciaron la creación de un grupo de trabajo en el marco de la Asociación Chileno-alemana de Energía, que busca avanzar en el desarrollo de sistemas de certificación y favorecer el cumplimiento de la estrategia alemana en sus metas de importación de hidrógeno verde.⁶¹

⁵⁶ «Chile y Singapur suscriben un memorándum de entendimiento (MdE) para facilitar la cooperación en materia de hidrógeno verde», Ministerio de Relaciones Exteriores, 15 de febrero de 2021, <https://www.minrel.gob.cl/noticias-anteriores/chile-y-singapur-suscriben-un-memorandum-de-entendimiento-md-e-para>; «Compensación de emisiones», Ministerio del Medio Ambiente (canal de Youtube), 26 de julio de 2022, <https://youtu.be/cLnLhBzmWlo>.

⁵⁷ «Singapore and Chile Sign Memorandum of Understanding for Collaboration on Low-Carbon Hydrogen Technologies», Ministry of Trade and Industry Singapore, 15 de febrero de 2021, <https://www.mti.gov.sg/Newsroom/Press-Releases/2021/02/Singapore-and-Chile-sign-MOU-for-Collaboration-on-Low-Carbon-Hydrogen-Technologies>.

⁵⁸ Juan Carlos Jobet, «Forum: MOU Will Help Chile Produce Cheapest Green Hydrogen by 2030», *The Straits Times*, 25 de febrero de 2021, <https://www.straitstimes.com/opinion/forum/forum-mou-will-help-chile-produce-cheapest-green-hydrogen-by-2030>.

⁵⁹ «Chile firma memorándum de entendimiento con el puerto más grande del Europa para exportar H₂V», Ministerio de Energía, 17 de marzo de 2021, <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/chile-firma-memorandum-de-entendimiento-con-el-puerto-mas-grande-de-europa-para-exportar-hidrogeno-verde>.

⁶⁰ «Chile firma...».

⁶¹ «Chile y Alemania firman acuerdo para impulsar el hidrógeno verde», Ministerio de Energía, 29 de junio de 2021, <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/chile-y-alemania-firman-acuerdo-para-impulsar-el-hidrogeno-verde>.

Posteriormente, en noviembre de 2021 Chile firmó un memorando de entendimiento con los puertos belgas de Amberes, el primero el mayor puerto de Europa en tamaño y actividades relacionadas al clúster químico; y de Zeebrugge, el más importante centro de gas natural licuado y de energía eólica, de modo de fortalecer sus relaciones con Bélgica⁶² Además, firmó otro memorando con Corea del Sur.⁶³

El fin perseguido con todos estos memorandos de entendimiento firmados durante el gobierno del entonces presidente Sebastián Piñera era, en definitiva, fortalecer la imagen de nuestro país como un lugar serio para la inversión, permitiendo que la Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde trascendiera el Gobierno de turno.⁶⁴

Durante el gobierno del actual presidente Gabriel Boric, Chile firmó un memorando de entendimiento con el puerto de Hamburgo en octubre de 2022.⁶⁵ Los objetivos de la celebración de dicho memorando son, en palabras de Marcelo Villagrán, agregado comercial de la embajada de Chile en Países Bajos:

Promover negocios y estudiar iniciativas en conjunto con países que se posicionen como importadores de hidrógeno, intercambiar experiencias y formular iniciativas para colaborar y promover proyectos de hidrógeno verde en Chile mediante acuerdos bilaterales y multilaterales, y establecer un sistema de certificación internacional de origen y huella de carbono del hidrógeno.⁶⁶

⁶² «Chile firma MOU con dos puertos estratégicos de Europa para fomentar la producción de hidrógeno verde», Ministerio de Energía, 9 de noviembre de 2021, <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/chile-firma-mou-con-dos-puertos-estrategicos-de-europa-para-fomentar-la-produccion-de-hidrogeno-verde>.

⁶³ «Chile y Corea del Sur firman memorándum de entendimiento para el desarrollo del hidrógeno verde», Ministerio de Energía, 16 de noviembre de 2021, <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/chile-y-corea-firman-memorandum-de-entendimiento-para-el-desarrollo-de-hidrogeno-verde>.

⁶⁴ Jobet, «Forum».

⁶⁵ «Chile firma acuerdo con el puerto más grande de Alemania para exportar hidrógeno verde», ProChile, 25 de agosto de 2022, <https://www.prochile.gob.cl/noticias/detalle-noticia/2022/08/25/chile-firma-acuerdo-con-el-puerto-más-grande-de-alemania-para-exportar-hidrogeno-verde>.

⁶⁶ «Chile y Europa sientan las bases para la exportación de hidrógeno verde», Bnamericas, 11 de octubre de 2022, <https://www.bnamericas.com/es/entrevistas/chile-y-europa-sientan-bases-para-exportaciones-de-hidrogeno-verde>.

2.II. Proyectos de ley en tramitación

Como el hidrógeno verde era un *boom*, el senador Manuel José Ossandón impulsó el primer proyecto de ley relacionado, el Boletín 14044-12, «Declara el hidrógeno verde como bien nacional de uso público», que ingresó al Senado el 2 de marzo de 2021. Su artículo único reza: «Se declara al hidrógeno verde como bien nacional de uso público». Si bien su espíritu era facilitar el desarrollo económico chileno,⁶⁷ el proyecto fue fuertemente cuestionado, pues, como señaló Augusto Quintana: «¿Quién incurriría en el gasto de elaborar hidrógeno verde para que, luego, pase a ser un bien nacional de uso público?».⁶⁸ Además, el proyecto de ley adolece de un vicio de inconstitucionalidad, pues apenas se elaborara una molécula de hidrógeno verde por agentes privados esta se convertiría en un bien nacional de uso público, lo que equivaldría a una expropiación de dicho producto sin compensación económica.⁶⁹ Finalmente, no se continuó la tramitación de dicho Boletín y que tampoco formaba parte de la Estrategia Nacional.

Dejando de lado este proyecto de ley aislado, recordemos que el eje de normativa de la Estrategia tenía como enfoque revisar la regulación y la infraestructura del gas natural para promover la introducción de cuotas de hidrógeno verde,⁷⁰ y que su plan de acción era actualizar la normativa del mercado eléctrico para permitir la participación de las tecnologías de hidrógeno verde para proveedores de distintos servicios, como energía, capacidad y servicios complementarios.⁷¹

Respecto a la promoción de la introducción de cuotas de hidrógeno verde en la infraestructura del gas natural, el Proyecto de Ley «Que Impulsa la Producción y Uso de Hidrógeno Verde», Boletín 14756-08, establece formas específicas de favorecer la industria del hidrógeno verde en su uso como combustible para calefacción, permitiendo mezclarlo con gas natural en los gasoductos de distribución. El artículo 2 de dicho Boletín señala: «El gas natural que distribuya anualmente cada Concesionaria en sus redes de distribución concesionadas deberá contener una participación, medida en volumen, de hidrógeno verde». Por su parte, el artículo 4 del Proyecto de Ley señala que

⁶⁷ Mensaje del Proyecto de Ley que Declara al Hidrógeno Verde como Bien Nacional de Uso Público, Boletín 14044-12.

⁶⁸ Augusto Quintana, «¿Es razonable declarar el hidrógeno verde como bien nacional de uso público?», *Electricidad*, 8 de febrero de 2021, <https://www.revistaei.cl/columnas/es-razonable-declarar-el-hidrogeno-verde-como-un-bien-nacional-de-uso-publico>.

⁶⁹ Quintana, «¿Es razonable...?».

⁷⁰ «Estrategia...» (versión final), 26.

⁷¹ «Estrategia...» (versión final), 29.

las nuevas instalaciones, así como los artefactos, tanto de propiedad de la concesionaria como de sus clientes y consumidores, que las concesionarias incorporen en las redes mediante las cuales presten el servicio público de distribución de gas de red, deberán ser compatibles con una participación de hidrógeno verde mínima de un 20%.

El artículo anterior establece una meta específica basándose tanto en consideraciones técnicas como económicas, pues se estima que la inyección de hidrógeno verde de entre 10% a 20% no implicaría grandes inversiones a mediano plazo.⁷²

El Boletín 14756-08 establece no solo las metas que se deben alcanzar, sino también las obligaciones específicas a las concesionarias para lograr cumplir dichas metas. En efecto, el inciso primero del artículo 5 señala como obligación adaptar a las nuevas condiciones, por su cuenta y costo, las instalaciones interiores y artefactos a gas que estuvieren utilizando sus consumidores y clientes para hacer uso del suministro de gas, prohibiéndoles a las concesionarias facturar a sus consumidores cargos como consecuencia de dichas obligaciones, sin perjuicio de que los gastos en que incurran las concesionarias por estas adaptaciones podrán ser considerados en el chequeo anual de rentabilidad o en el decreto tarifario de las concesionarias sujetas a fijación de precios. Dichas obligaciones son de resultados, pues se debe cumplir la meta específica de construir redes de distribución de gas natural que permitan una participación mínima de 20% de hidrógeno verde y, al mismo tiempo, mantener los estándares de calidad y de seguridad de la distribución del gas natural (artículo 3).

Por último, el artículo 13 del Boletín modifica el artículo 2 bis de la Ley 9.618, que Crea la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP), permitiéndole «producir, acondicionar, almacenar, transportar, vender y, en general, comercializar hidrógeno y combustibles elaborados a partir de hidrógeno, así como desarrollar cualquier otra actividad industrial que tenga relación con hidrógeno y combustibles a partir de hidrógeno», de modo de ampliar la competencia de ENAP para participar de la industria del hidrógeno verde.

Como se puede observar, las metas y lineamientos de la Estrategia se encuentran contemplados en normativa ya vigente (Ley 21.305, Ley 21.505, Guía SEC y Guía Sernageomin), normativa en desarrollo (Proyectos de Ley del Boletín 14755-08 —que se analizará en el acápite 3.2.2— y Boletín 14756-08, ya revisado) y normativa planificada para su desarrollo futuro (restante agenda regulatoria del Ministerio de Energía), sin perjuicio de posibles modificaciones futuras a la Estrategia.

⁷² Juan Ramón Morante y otros, *Hidrógeno, vector energético de una economía descarbonizada* (Madrid: Fundación Naturgy, 2020), 32.

3. DESAFÍOS EN TORNO A LA REGULACIÓN DEL HIDRÓGENO VERDE Y PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

3.1. Panorama de los desafíos existentes

Las estrategias que los distintos países han implementado suelen enfatizar la necesidad de establecer políticas regulatorias que promuevan el hidrógeno verde. Por ejemplo, España señala la necesidad de que las regulaciones fiscales y financieras impulsen su implementación con reglas claras y modificar las pautas de protección ambiental, con un marco regulatorio de certificación a nivel europeo para probar la huella medioambiental del hidrógeno verde a largo plazo y así demostrar su ventaja respecto del hidrógeno gris.⁷³

Esta investigación tratará los desafíos ya diagnosticados en otras latitudes, como las regulaciones fiscales, financieras y de certificación, junto con los desafíos propios de la realidad jurídica chilena, como la regulación del ámbito de competencia de los órganos del Estado, las consideraciones territoriales y el régimen de responsabilidad.

3.2. Reglas de certificación del hidrógeno verde

La certificación permite a los consumidores confiar en que el producto que están adquiriendo cuenta con los estándares de calidad deseados. Existen dos dimensiones a certificar: la primera, certificación de características técnicas del hidrógeno verde; y la segunda, certificación de estándares de sostenibilidad.⁷⁴ A su vez, debe contarse con un estatuto para la certificación de productos comercializados internamente en el país, como también para productos de exportación.

3.2.1. Certificación técnica

Respecto del aspecto técnico, el Decreto 298/2006 del Ministerio de Economía, que «Aprueba reglamento para la certificación de productos eléctricos y combustibles, y deroga decreto que indica», señala como regla general que los productos que se comercialicen dentro del país deben contar con una certificación previa practicada por la SEC (artículo 6).

⁷³ Antonio Serrano Rodríguez, «Hidrógeno verde y transición energética», *Papeles de Relaciones Ecosociales y Cambio Global* 153 (2021): 88.

⁷⁴ Michelle Hallack, Federico Goldenberg y Cecilia Correa, «Estándares, garantías de origen y certificación para el desarrollo del mercado de hidrógeno», blog *Energía para el Futuro*, Banco Interamericano de Desarrollo, 14 de julio de 2021, <https://blogs.iadb.org/energia/es/desarrollo-del-mercado-de-hidrogeno/>.

Con todo, el artículo 9 de dicho Reglamento contempla que, en caso de que no exista un organismo de certificación autorizado, la SEC podrá autorizar, mediante resolución fundada, la comercialización de dicho producto, siempre que se deje constancia de las normas o especificaciones técnicas utilizadas para su fabricación, manual de uso, mantenimiento e instalación, según corresponda, y antecedentes que demuestren que cuenta con un control de calidad en el proceso de fabricación, que debe ser efectuado por un organismo de certificación de sistemas de calidad acreditado. Luego, evaluados los antecedentes, y cuando corresponda, la SEC dictará una resolución por la cual se autoriza la comercialización del producto nacional solicitado.

Por su parte, la Resolución Exenta 681/2011 del Ministerio de Energía, «Modifica Resolución 431 Exenta, de 2010, y establece productos de combustibles que deben contar con un certificado de aprobación para su comercialización en el país», cuenta con regulación específica que debe cumplir la certificación de materiales y equipos involucrados en la venta de hidrógeno verde, como pueden ser los materiales de instalación, envases a presión, artefactos que utilicen combustibles gaseosos o líquidos, entre otros. La obligación de certificación será exigible una vez que se encuentren en vigencia los protocolos respectivos y que existan organismos de certificación y laboratorios de ensayos autorizados para ello.

La SEC y la entidad certificadora juegan un rol distinto en los sistemas de certificación. Respecto de la regulación de las entidades certificadoras, contamos con el Decreto 1092/2006 del Ministerio de Economía, que «Establece requisitos generales para el personal de los organismos de certificación, organismos de inspección y laboratorios de ensayos de productos eléctricos y de combustibles»; la Resolución 1/1993 Ministerio de Economía, que «Declara normas oficiales de la República las que indica, aprobadas por el Instituto Nacional de Normalización», que son la NCh 2403, «Criterios generales concernientes a los organismos de acreditación de laboratorios», NCh 2411, «Criterios generales concernientes a los organismos de certificación que efectúan la certificación de productos», NCh 2412, «Criterios generales para organismos de certificación que efectúan la certificación del sistema de calidad», y NCh 2413, «Criterios generales relativos a los organismos de certificación que efectúan la acreditación del personal»; la Resolución 31213/2020 del Ministerio de Energía, que «Establece requisitos para el personal de las entidades de evaluación de la conformidad autorizadas por la superintendencia de electricidad y combustibles»; y la Resolución 31208/2020 del Ministerio de Energía, que «Establece requisitos para la autorización de las entidades de evaluación de la conformidad de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles». Todos estos cuerpos regulan, en definitiva, la acreditación de las entidades que juegan el rol de certificar los aspectos técnicos del hidrógeno verde y otros materiales.

Respecto de los requisitos técnicos del hidrógeno verde que se exporte, la certificación y la calidad de los productos se regulará según la normativa del país importador. La Ley 19.545, que crea un sistema de certificación oficial de conformidad de exportaciones, señala en

su artículo 1 que «los exportadores y productores chilenos podrán certificar libremente o en la forma que convengan con el importador o comprador extranjero, la conformidad de sus exportaciones. No obstante, solo tendrá carácter oficial la certificación que se efectúe en conformidad a las normas de esta ley». De lo anterior, se deduce que prima la voluntad de las partes, sin perjuicio de la existencia de un sistema de acreditación oficial, que es la emanada de un certificador acreditado por el Estado de Chile (artículo 2), y dicha certificación puede referirse tanto a los productos como a sistemas de aseguramiento de calidad (artículo 4). De acuerdo al artículo 6, la certificación de conformidad oficial solo procederá cuando así lo exija la legislación del país de destino, o bien si Chile ha celebrado con el Gobierno del país de destino un convenio internacional que haga procedente la certificación oficial. Por último, la Ley exige acreditación de la entidad certificadora para emitir certificados oficiales (artículo 8) y que esta corresponderá al esquema de certificación por un tercero independiente (artículo 20).

En esta materia, existe el Decreto 1140/2018 del Ministerio de Hacienda, que Aprueba Reglamento para la Certificación de Operador Económico Autorizado (OEA), que Establece las Actividades Susceptibles de ser Certificadas y los Requisitos, las Condiciones, Prerrogativas y Obligaciones de las Personas que Accedan a la Certificación. Dicho Reglamento establece las características y requisitos que debe cumplir un OEA para certificar actividades portuarias, de exportación, de importación, de despacho de mercancía por agentes de aduana, entre otros, siempre que se desarrollen dentro del territorio nacional, formen parte de la cadena logística de comercio exterior y se haya desarrollado e implementado un Programa OEA para su certificación (artículo 2). Como se ve, el mercado de exportación del hidrógeno verde podría cumplir con los requisitos ya señalados para que pueda implementarse un sistema de certificación por OEA. El Servicio Nacional de Aduanas, a través de resolución de su director, establecerá el Programa OEA que corresponda (artículo 3).

Como se puede observar, no existe un sistema específico de certificación de la calidad del hidrógeno verde, pero sí una institucionalidad y normas generales que se pueden aplicar supletoriamente. Como desafío, se necesita que a nivel internacional exista consenso en torno a la calidad y los procedimientos de certificación, algo que se busca lograr con los memorandos de entendimiento que Chile ha firmado con Estados y puertos del resto del mundo.

El aspecto clave a certificar es la seguridad; en opinión de la autora, los sistemas de certificación de seguridad debieran desarrollarse por etapas a medida que se vaya implementando la Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde, a saber: a corto plazo, elaborar sistemas de certificación de hidrógeno verde gaseoso; y, a largo plazo, del hidrógeno verde líquido, puesto que se explotará el primero antes. Además, sería necesario implementar la certificación de seguridad del hidrógeno verde para el transporte de pasajeros y de carga de larga distancia junto con la primera oleada de la Estrategia a corto plazo; implementar la certificación de seguridad en minería y de las redes de gasoducto durante la segunda

oleada de la Estrategia a mediano plazo; y, finalmente, la certificación de seguridad del transporte aéreo y marítimo en la implementación de la tercera oleada de la Estrategia a largo plazo.

3.2.2. *Certificación de sostenibilidad*

La certificación de sostenibilidad permite a los compradores asegurarse de que están adquiriendo hidrógeno verde y no hidrógeno gris, además de determinar hasta qué punto el hidrógeno verde producido se alinea con los objetivos de descarbonización de los países importadores.⁷⁵

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) señala los atributos que han de certificarse para calificar al hidrógeno como «verde», como el origen de los insumos, la huella de carbono, la tecnología utilizada para producirlo y la renovabilidad de la energía.⁷⁶ Sin perjuicio de ello, el mismo BID también plantea las siguientes interrogantes: ¿qué grado de renovabilidad deben cumplir la energía eléctrica utilizada para la producción de hidrógeno verde?, ¿cómo se estructurarán los mecanismos de garantía de origen?, ¿cómo se aplican los criterios de adicionalidad?⁷⁷ y ¿cómo se controlará el cumplimiento de requisitos sociales y ecológicos para la sustentabilidad en la producción de hidrógeno verde?⁷⁸

Algún grado de avance se ve en la materia en el Proyecto de Ley que «Impulsa las Energías Renovables», Boletín 14755-08, pues permitirá el establecimiento de un sistema de trazabilidad del carácter renovable de la energía, lo que sería un aporte para certificar que la electricidad utilizada para la electrólisis sea de carácter renovable.

En opinión de la autora, sería deseable la implementación de certificaciones de sostenibilidad por etapas, certificándose, en el corto plazo, la carbono-neutralidad de la energía eléctrica utilizada para la electrólisis; en el mediano plazo, la carbono-neutralidad de los equipos utilizados para la generación, almacenamiento, transporte y distribución del hidrógeno verde; y en un largo plazo, incluir otros indicadores de sostenibilidad de

⁷⁵ Hallack, Goldenberg y Correa, «Estándares...».

⁷⁶ Michelle Hallack, Federico Goldenberg y Cecilia Correa, «La sostenibilidad del hidrógeno más allá de los colores: El proceso de certificación», blog *Energía para el Futuro*, Banco Interamericano de Desarrollo, 17 de diciembre de 2021, <https://blogs.iadb.org/energia/es/la-sostenibilidad-del-hidrogeno-mas-alla-de-los-colores-el-proceso-de-certificacion/>.

⁷⁷ Hallack, Goldenberg y Correa, «La sostenibilidad...».

⁷⁸ Hallack, Goldenberg y Correa, «Estándares...».

interés, como reducción de la pobreza energética. La inclusión de ese parámetro se justifica porque el desarrollo del hidrógeno verde se enmarca dentro de la transición energética justa, que es el cambio de una matriz energética en base a combustibles fósiles a una economía basada en las energías renovables mientras se mitigan los impactos negativos de las pérdidas de empleo que supone el cierre de antiguas industrias energéticas⁷⁹ y que busca en términos generales la sustentabilidad social.

3.3. ¿Bajo qué régimen de responsabilidad debe sujetarse la industria del hidrógeno verde?

El mayor riesgo del hidrógeno verde es su inflamabilidad. Difícilmente se provocará un incendio en ambientes abiertos, pues por su liviano peso, el hidrógeno molecular asciende por sobre la atmósfera en caso de fugas; con todo, el problema se genera cuando se manipula en ambientes cerrados, donde la acumulación aumenta la posibilidad de combustión.⁸⁰ Dado que el hidrógeno molecular es inodoro y la combustión que produce es invisible al ojo humano con luz de día (de noche se ve una tenue llama blanca),⁸¹ los usuarios finales son muy vulnerables ante un accidente ligado al mal manejo. Por ello, vale la pena preguntarse sobre el régimen de responsabilidad a que deba estar sujeta esta industria.

En el estatuto de responsabilidad extracontractual, doctrinariamente se suelen describir los regímenes de responsabilidad subjetiva y objetiva. El primero tiene como fundamento la culpa, esto es, la negligencia del que produjo el menoscabo en la víctima. En cambio, el régimen de responsabilidad objetiva prescinde de la culpa para el resarcimiento del daño: provocado este, se indemniza a la víctima,⁸² como ocurre en el caso de la energía nuclear en la Ley 18.302⁸³ y del derrame de hidrocarburos en el mar en el artículo 142 del Decreto Ley 2.222 de 1978.⁸⁴

⁷⁹ Antonio Martínez Rodríguez, «El potencial del hidrógeno verde», *Cuadernos de Energía* 64 (2020): 39.

⁸⁰ Hans Kulenkampff, «Seguridad en las instalaciones de hidrógeno» (webinar presentado en el evento Misión Cavendish Tercera Jornada, 12 de mayo de 2020), https://youtu.be/PKrtVnsr_IY.

⁸¹ Kulenkampff, «Seguridad...».

⁸² Regina Ingrid Díaz Tolosa, «Responsabilidad objetiva en el ordenamiento jurídico chileno», *Revista de Derecho (Universidad Católica del Norte)* 14, n.º 1 (2007): 84.

⁸³ El artículo 49 de la Ley 18.302, Ley de Seguridad Nuclear, dice: «La responsabilidad civil por daños nucleares será objetiva y estará limitada en la forma que establece esta ley», expresa que el operador responde por caso fortuito, salvo guerra exterior (artículo 56) y señala el monto máximo de indemnización.

⁸⁴ Este artículo obliga al propietario a hacerse responsable de todo daño por contaminación, incluso en caso de fuerza mayor, y las únicas razones para eximir responsabilidad son actos de guerra o similares y la acción dolosa de un tercero extraño al dueño. Por su parte, también establece un monto máximo de indemnización (artículo 154).

El artículo 3 del Proyecto de Ley que Impulsa la Producción y Uso de Hidrógeno Verde señala que las concesionarias deberán mantener las condiciones de seguridad necesarias para evitar peligros para las personas o cosas, establecidas por el Ministerio de Energía o la SEC, según corresponda, mientras que el artículo 12 señala que la SEC fiscalizará su cumplimiento.

El Reglamento General de Instalaciones de Hidrógeno trataba sobre las responsabilidades de los propietarios y operadores de las instalaciones de hidrógeno verde en el cumplimiento de las disposiciones generales y específicas establecidas en dicho Reglamento (artículos 9 y siguientes), sobre la obligación de comunicar y realizar informes en caso de accidentes e incidentes (artículos 67 y siguientes), y la fiscalización y sanciones de dichas instalaciones en caso de infracción a las normas contenidas en el Reglamento (artículos 72 y siguientes). Sin embargo, el borrador fue retirado del trámite de toma de razón, sin que el Ministerio haya ingresado otro a la fecha de la aceptación de este trabajo.

Mientras no entren en vigor estos cuerpos normativos, en caso de accidente, ¿cómo debe responder el operario? Hay que distinguir entre la responsabilidad sancionatoria, la responsabilidad laboral y la responsabilidad civil.

Respecto de la responsabilidad sancionatoria, dado que el hidrógeno verde no tiene régimen sancionatorio especial, ha de someterse a las reglas generales de todas las industrias que son fiscalizadas por la SEC. El artículo 15 de la Ley 18.410 señala que, en caso de infracción, la SEC impondrá una sanción según la gravedad de la conducta, con tres niveles de gravedad: infracciones gravísimas, graves y leves. La gravedad de la conducta estará determinada en gran medida por sus consecuencias: por ejemplo, son infracciones gravísimas aquellas que hayan resultado en la muerte o en lesiones graves a las personas (inciso quinto), graves las que hayan causado lesiones menos graves (inciso undécimo) y son leves las que no constituyan infracciones gravísimas o graves, esto es, las que no hayan causado las consecuencias perniciosas descritas en esos artículos.

De ese artículo se deduce que la responsabilidad sancionatoria está dada por la infracción a la norma, siendo el nivel de daño agravantes de la conducta. Estas reglas de los agravantes en razón del resultado son excepcionales al régimen general de responsabilidad sancionatoria, pues dentro de los principios generales está el principio de culpabilidad, en el que el reproche está dado en el grado de culpa o dolo con el que actuó el infractor y no en la consecuencia imprevista de sus acciones.⁸⁵ Si bien, aplicando la regla general, las

⁸⁵ Eduardo Cordero Quinzacara, «Los principios que rigen la potestad sancionatoria de la Administración en el derecho chileno», *Revista de Derecho (Pontificia de la Universidad Católica de Valparaíso)* 42 (2014): 420-421.

infracciones leves podrían estar regidas por el principio de culpabilidad, las infracciones gravísimas y graves están regidas por una especie de responsabilidad objetiva, pues lo que se sanciona es el resultado de la infracción, no la negligencia del causante.

En cuanto a la responsabilidad por accidentes del trabajo, no existe tampoco normativa especial que regule la materia respecto de la industria del hidrógeno verde. Entonces, hemos de deducir que se somete a las reglas generales del Código del Trabajo y de la Ley 16.744, existiendo en este asunto una tendencia jurisprudencial a objetivizar la responsabilidad del empleador.⁸⁶

Vale recalcar, sin embargo, que no existe disposición respecto del régimen de responsabilidad extracontractual en materia civil. Entonces, ¿los propietarios y operadores deberían responder a todo evento, o solo cuando hayan actuado negligentemente?

Dado que la regla general es el régimen de responsabilidad subjetiva, se podría deducir que, a falta de norma expresa en contrario, el régimen de responsabilidad de los manipuladores sería también subjetiva. Con todo, esto deja en desprotección a las víctimas ante eventuales daños, lo que disminuiría la aceptación social del hidrógeno verde.

Existe una tercera vertiente doctrinaria, que es la de culpa infraccional o culpa contra la legalidad. Esta constituye un régimen de responsabilidad subjetivo, en el que se constituye la culpa por la falta de cumplimiento de las leyes que regulan una materia. En palabras de Enrique Barros: «Si se ha incurrido en infracción a una norma legal o reglamentaria, el acto es tenido por culpable sin que sea necesario entrar en otras calificaciones».⁸⁷ Esto se debe a que la ley se presume conocida por todos en virtud del artículo 8 del Código Civil, por lo que su inobservancia constituye culpa,⁸⁸ advirtiéndose que, de acuerdo al artículo 47 inciso final del mismo Código, las presunciones de derecho no admiten prueba en contrario.

Consideramos que este régimen es adecuado para precaver tanto los intereses de las personas como de las empresas que operen en la industria del hidrógeno verde. En efecto, corrige el desequilibrio que existe entre las partes, pues facilita a las víctimas la prueba de la culpa como elemento de imputación de responsabilidad, ya que es más fácil acreditar la

⁸⁶ José Luis Diez Schwerter, «La culpa del empresario por accidentes del trabajo: Modernas tendencias jurisprudenciales», en *La responsabilidad por accidentes del trabajo*, ed. por Jorge Baraona González y Pedro Zelaya Etchegaray (Santiago: Universidad de los Andes, 2005), 97.

⁸⁷ Enrique Barros Bourie, «La culpa en la responsabilidad civil», *Ensayos Jurídicos Universidad Alberto Hurtado* 1 (2005): 12.

⁸⁸ Barros Bourie, «La culpa...», 13.

violación a normas de seguridad expresamente establecidas que probar una negligencia cuya apreciación queda a discreción del juez. Por su parte, no obliga a las empresas a que respondan por todo daño, como el producido por caso fortuito, lo que no encarece en demasía los costos de operación.

Sin embargo, actualmente el hidrógeno verde se regiría por responsabilidad subjetiva a falta de norma expresa que lo señale, pues no existe objetivación de la responsabilidad por analogía, debiéndose explicitarlo legalmente en cada caso.⁸⁹ Entonces, si bien no existe todavía debate jurídico en torno al régimen de responsabilidad al que debería sujetarse sus operadores, merece problematizar este aspecto, sometiéndolo a discusión pública para elevar el estándar de responsabilidad de la industria del hidrógeno verde.

Si bien hemos tratado principalmente el caso de las combustiones, cabe señalar que también debería existir un régimen de responsabilidad por liberaciones de hidrógeno verde. Las fugas no están exentas de riesgo, pues el hidrógeno molecular asciende hasta llegar a la capa de ozono (formada por tres átomos de oxígeno, O₃). Allí, el H₂ reacciona con el O₃ para formar H₂O, lo que trae como consecuencia la destrucción de la capa de ozono, con el consecuente aumento de radiación ultravioleta en la Tierra y un efecto de enfriamiento global por el aumento de agua en la atmósfera.⁹⁰ Este potencial del hidrógeno molecular para modificar la capa de ozono está reconocido en el Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono, vigente en Chile desde el 8 de marzo de 1990. Entonces, se requeriría establecer un régimen de culpa infraccional por las liberaciones de hidrógeno verde a la atmósfera, como también señalar la importancia de que los Estados adopten el compromiso de prevenir y sancionar las fugas en sus respectivas jurisdicciones, so pena de acarrear su responsabilidad internacional.

3.4. ¿La Ley 21.305 deroga el DS 43/2016?

El DS 43/2016 expresa en su artículo 2 que regula el almacenamiento de sustancias peligrosas, como los gases inflamables. Por su parte, señala en su artículo 3 las materias que no regula, como los combustibles cuya regulación sea de competencia del Ministerio de Energía. El DS 43/2016 regula expresamente el hidrógeno molecular en sus artículos 153 y 154 sobre gases inflamables, confirmándose que, para la autoridad sanitaria, esta es una sustancia peligrosa.

⁸⁹ Díaz Tolosa, «Responsabilidad...», 88.

⁹⁰ Tracey K. Tromp y otros, «Potential Environmental Impact of a Hydrogen Economy on the Stratosphere», *Science* 3 (2003): 1.740.

Posteriormente, la Ley 21.305 establece en su artículo 9 que el hidrógeno molecular es un combustible y, como tal, se encontrará regido por el DFL 1/1979. Queda abierta la pregunta sobre si, en el caso, se produce derogación tácita de las disposiciones que regulan el hidrógeno molecular en el DS 43/2016.

De conformidad al artículo 52 del Código Civil, la derogación tácita consiste en que una ley contenga disposiciones incompatibles con la ley anterior. Entonces, cabe preguntarse si el reconocimiento de la naturaleza jurídica del hidrógeno molecular como combustible a raíz de la dictación de la Ley 21.305 es incompatible con su reconocimiento como sustancia peligrosa de la categoría gas inflamable efectuada por el DS 43/2016. También vale la pena preguntarse si se derogaría la competencia del Ministerio de Salud para regular la seguridad del hidrógeno verde.

Ya explicamos anteriormente que el hidrógeno verde puede ser considerado tanto una sustancia peligrosa como un combustible. No repugna al derecho que una misma cosa tenga dos naturalezas jurídicas distintas según la situación en la que se encuentre. En la definición de *hidrógeno* del *Diccionario de la lengua española* se le reconoce tanto su naturaleza de insumo químico (sustancia peligrosa) como su naturaleza de combustible.

Sin embargo, como ya señalamos, la definición legal prima por sobre el uso natural y obvio de las palabras. La Ley 21.305 la declara combustible, mientras que el DS 43/2016 la declara sustancia peligrosa no combustible. ¿Cuál definición normativa prima sobre la otra? A la fecha del envío de este trabajo, las autoridades no han formulado una declaración oficial al respecto. Sin embargo, en opinión de la autora, la definición de la Ley 21.305 prima por sobre la definición del DS 43/2016, pues en la jerarquía de las normas jurídicas, las leyes están por sobre los reglamentos, y los reglamentos deben adecuarse a la ley por la consagración del principio de legalidad de los actos de la Administración del Estado contenidos en los artículos 6 y 7 de la Constitución Política de la República.

Por su parte, es un principio del derecho que la regulación especial prima por sobre la regulación general. Los combustibles son una categoría especial dentro de las sustancias peligrosas, existiendo una relación de género y especie: todos los combustibles son peligrosos, pero no todas las sustancias peligrosas son combustibles.

Por lo expuesto, debe necesariamente entenderse que el Ministerio de Salud dejaría de tener competencia en la regulación del hidrógeno verde. Nos encontramos entonces con un caso de incompetencia sobreviniente, manteniéndose la validez de los actos ejecutados por el Ministerio de Salud antes de la dictación de la Ley 21.305, pero cuyas actuaciones posteriores degenerarían en nulas. Pese a estas conclusiones doctrinales, sería conveniente que las autoridades derogaran expresamente los artículos 153 y 154 del DS 43/2016 en lo que atañe al hidrógeno verde, en pos de la certeza jurídica.

3.5. Beneficios tributarios

No hay regulación vigente que incentive específicamente la producción y comercialización de hidrógeno verde en Chile. Con todo, existen normas generales que pueden ser de utilidad, como:

1. Depreciación acelerada de tres años para vehículos eléctricos o híbridos o calificados como cero emisiones, como los autos que funcionen con celda de combustible de H₂V, establecida en el artículo 8 de la Ley 21.305.
2. Los beneficios establecidos en la Ley 20.241 (Ley I+D).
3. El llamado *impuesto verde*, que se trata de un impuesto anual a beneficio fiscal que gravará las emisiones al aire de CO₂ y otras sustancias contaminantes, producidas por establecimientos cuyas fuentes fijas, conformadas por calderas o turbinas, individualmente o en su conjunto sumen, una potencia térmica mayor o igual a 50 megavatios térmicos. En el caso del dióxido de carbono, este impuesto grava con USD 5 por cada tonelada emitida de CO₂, de conformidad con el artículo 8 de la Ley 20.780.
4. El Reglamento de Compensaciones para el Impuesto Verde a las Fuentes Fijas, el que estuvo en proceso de consulta pública⁹¹ y todavía está elaborándose a la fecha de la aceptación de este trabajo.
5. Beneficios tributarios para el desarrollo económico en las zonas extremas del país:
 - Ley Arica y Parinacota (Ley 19.420), que favorecen el desarrollo industrial de dichas comunas.
 - Ley Tocopilla (Ley 19.709), que favorecen el desarrollo industrial de Tocopilla.
 - Ley Austral (Ley 19.606), que beneficia a las regiones de Aysén y de Magallanes y la Antártica Chilena, así como también a la comuna de Palena.
 - Ley Navarino (Ley 19.853), que beneficia a las industrias ubicadas desde la ribera sur del estrecho de Magallanes hasta el Polo Sur.
 - Ley 19.149, que establece un régimen preferencial aduanero y tributario para las comunas de Porvenir y Primavera, de la región de Magallanes y la Antártica Chilena.

Como desafío para el desarrollo de esta industria, es necesario crear nuevos beneficios tributarios de orden territorial para la producción de hidrógeno verde. Las leyes con beneficios tributarios para zonas extremas, tanto del norte de Chile como del extremo sur,

⁹¹ «Compensación de emisiones», canal de Youtube del Ministerio del Medio Ambiente, 26 de julio de 2022, <https://youtu.be/cLnLhBzmWlo>.

son insuficientes para explotar todo el potencial para la generación. En efecto, no existe ningún beneficio tributario en el desierto de Atacama, clave para la generación de energía solar para la producción de hidrógeno verde y un lugar donde el Ministerio de Bienes Nacionales dispondrá de 11.986 hectáreas. Por su parte, no está contemplado en dichas leyes el potencial de la zona centro, por lo que es necesario estudiar y dictar las leyes que permitan aprovechar estas regiones.

También se requiere de más mecanismos tributarios que encarezcan la producción de fuentes energéticas con huella de carbono y que, a su vez, abaraten el valor del hidrógeno verde respecto del hidrógeno gris.⁹² En este sentido, la actual ministra de Medio Ambiente, Maisa Rojas, señaló que ha existido un exceso de incentivos positivos con acuerdos voluntarios para favorecer las energías renovables no convencionales, y que hace falta aumentar el impuesto verde de USD 5 por tonelada de CO₂ a USD 35.⁹³ En opinión de la autora, el equilibrio entre los incentivos positivos para la transición energética y las sanciones a las emisiones de gases de efecto invernadero permitirá acelerar el desarrollo de la industria del hidrógeno verde.

3.6. Oportunidades en la planificación territorial

Las consideraciones geográficas son claves para el éxito de esta industria. Existe una tendencia internacional en fomentar el uso de hidrógeno verde en islas y otros lugares con difícil acceso a la energía, especialmente en lugares turísticos que buscan lograr la carbono-neutralidad.⁹⁴ Un ejemplo de esto es el proyecto Green Hysland, que busca desplegar un ecosistema de hidrógeno verde aplicada a toda la cadena de valor de la isla de Mallorca para convertirla en el primer clúster de hidrógeno del mundo, esto es, la primera isla autosuficiente energéticamente. Este proyecto busca adaptar este modelo a otras islas alrededor del planeta, como, por ejemplo, Chiloé.⁹⁵

Respecto del territorio continental, el 13 de octubre de 2020 el Ministerio de Bienes Nacionales, Corfo y el Ministerio de Energía firmaron un convenio de colaboración para

⁹² Marta Maroño Buján, «La apuesta por el hidrógeno verde», *Ambienta* 126 (2020): 20.

⁹³ «Chile prepara un nuevo impuesto al carbono como parte de paquete de reformas», *Bname-ricas*, 5 de mayo de 2022, <https://www.bnamericas.com/es/noticias/chile-prepara-nuevo-impuesto-al-carbono-como-parte-de-paquete-de-reformas>.

⁹⁴ Isabel Giménez Zuriaga, «Retos del hidrógeno verde», *Economía Aragonesa* 73 (2021): 108.

⁹⁵ «Acerca del proyecto Green Hysland», *Green Hysland*, <https://greenhysland.eu/acerca-de-green-hysland/>.

impulsar proyectos de hidrógeno verde en terrenos fiscales.⁹⁶ En este acuerdo, el Ministerio de Bienes Nacionales se comprometió a reservar 11.986 hectáreas en Diego de Almagro, Atacama, para el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde. En línea con el fomento de la industria, los Ministerios de Energía y Bienes Nacionales anunciaron la apertura del proceso «Ventana al Futuro», el que dispondrá terrenos fiscales a través de concesiones onerosas para la instalación de plantas que produzcan hidrógeno verde.⁹⁷

Dado que la industria debe ubicarse en un terreno físico, está regida por toda la normativa urbanística y usos de suelos vigente en el país. El artículo 4.14.2 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) señala cuatro clasificaciones de establecimientos: peligrosos, contaminantes, molestos e inofensivos, los que serán calificados por la Seremi respectiva del Ministerio de Salud. El volumen de almacenamiento de hidrógeno verde determinará la clasificación de los proyectos en estas cuatro categorías.⁹⁸ De lo anterior dependerá el sector geográfico donde se podrá ubicar la industria según el instrumento de planificación territorial (IPT) de la región o comuna del proyecto.

Debe considerarse, también, que dentro del plan de acción de la Estrategia, el pilar de desarrollo social y territorial señala que se evaluará las oportunidades y desafíos del hidrógeno verde en las políticas, ordenamientos y planes territoriales.⁹⁹ Una medida concreta para lograr lo anterior incluye «revisar la normativa de uso de suelos aplicable a los procesos del hidrógeno y sus permisos asociados para identificar y reducir potenciales barreras al desarrollo de esta»¹⁰⁰ y «analizar, reservar y entregar en concesión terrenos fiscales de buenas condiciones para el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde y derivados».¹⁰¹ Entonces, se necesita que los instrumentos de planificación territorial de los lugares donde se ubiquen las industrias cuenten con espacios específicos destinados al hidrógeno verde.

⁹⁶ «Corfo, Bienes Nacionales y Energía firman convenio de colaboración para impulsar en terrenos fiscales proyectos de hidrógeno verde», Corfo, 13 de octubre de 2020, https://www.corfo.cl/sites/cpp/sala_de_prensa/nacional/13_10_2020_corfo_bienes_nacionales_y_energia_proyectos_h2verde.

⁹⁷ «Gobierno concesionará terrenos fiscales para la producción de hidrógeno verde», Ministerio de Bienes Nacionales, 26 de noviembre de 2021, <https://licitaciones.bienes.cl/gobierno-concesionara-terrenos-fiscales-para-la-produccion-de-hidrogeno-verde/>.

⁹⁸ Benjamín Maluenda Philippi y Fernanda Stegmaier, «Hidrógeno verde», *Revista Técnica del Servicio de Evaluación Ambiental* 4 (2021): 20-27.

⁹⁹ «Estrategia» (versión final), 28.

¹⁰⁰ «Estrategia» (versión final), 29.

¹⁰¹ «Estrategia» (versión final), 29.

Por su parte, el Ministerio de Bienes Nacional resolvió el 23 de noviembre de 2021, a través de Resolución Exenta 998 de 2021, luego modificado por Resolución Exenta 827 de 2022, la aprobación del Plan Nacional de Fomento a la Producción de Hidrógeno Verde en Territorio Fiscal. Su objetivo es:

Impulsar en Chile la tecnología de H₂V en una etapa temprana, mediante la apertura de una ventana única de tiempo para que particulares interesados en el desarrollo de esta industria puedan ingresar solicitudes de asignación directa de concesiones de uso oneroso sobre terrenos fiscales para la generación de energía y su consecuente producción de H₂V (artículo único).

Esta Resolución indica los criterios y requisitos para la asignación de dichas concesiones onerosas para favorecer la instalación de instalaciones para la producción de hidrógeno verde. Los hitos descritos en dicho plan, desde el anuncio de la licitación pública hasta el análisis de solicitudes, ya se encuentran cumplidos a la fecha de envío de este artículo, quedando pendiente: i) la tramitación de concesión onerosa y decreto; elaboración de plano, enrolamiento, tasación interna, tasación externa, Comisión Especial de Enajenaciones, decreto autorizatorio, publicación en el *Diario Oficial* y elaboración de contrato (entre octubre y diciembre de 2022); ii) firma del contrato (entre diciembre de 2022 y marzo de 2023); iii) decreto aprobatorio del contrato (entre marzo y abril de 2023).

Como propuesta de mejora para el aprovechamiento del territorio, se sugiere adaptar los IPT para el desarrollo de la industria en territorio insular. En efecto, los clústers de hidrógeno verde permite la autonomía energética de las islas y reduce los costos que el Gobierno central debe subsidiar. Tal como se pretende replicar el proyecto Green Hysland en Chiloé, sería necesario estudiar incentivos territoriales para implementarlo en más islas, como Rapa Nui o el archipiélago Juan Fernández.

Además, se pueden modificar los Planes Reguladores Intercomunales del Borde Costero (PRIBC) tanto para permitir la adecuación y creación de infraestructura a nivel nacional que permita la creación de un ecosistema del hidrógeno verde, como también para favorecer su exportación a través de puertos nacionales.

Además de la necesidad de IPT para la ubicación de establecimientos fijos de hidrógeno verde, se requiere contar con las redes de distribución de gas natural con hidrógeno verde. En ese sentido, el artículo 2.1.29 inciso segundo de la OGUC señala que las redes de distribución se entenderán siempre admitidos y se sujetarán a las disposiciones que establezcan los organismos competentes. Por su parte, el inciso cuarto del mismo artículo señala que el IPT respectivo definirá en las áreas al interior del límite urbano las normas urbanísticas que regulen el emplazamiento de las instalaciones o edificaciones necesarias

para este tipo de uso, que no formen parte de la red; y que en el área rural de los planes reguladores intercomunales o metropolitanos, dichas instalaciones o edificaciones estarán siempre admitidas, sin perjuicio de la obligación de cumplir la normativa ambiental. Estas normas facilitan la aprobación de modificaciones a los IPT para permitir el trazado de nuevas redes de hidrógeno verde en caso de ser necesario.

El hidrógeno verde podrá utilizarse en infraestructura que se construya especialmente para este efecto o en infraestructura ya existente, como los gasoductos construidos a nivel nacional,¹⁰² o bien reacondicionando industrias, como la conversión de las centrales a carbón en centrales productoras de hidrógeno verde.¹⁰³ En el caso del reacondicionamiento de industrias, es necesario analizar caso a caso si estas cambian de categoría —por ejemplo, de industria contaminante a industria molesta—, para determinar las remodelaciones viables según la normativa urbanística y la modificación de las distancias que deben cumplir respecto de edificaciones como hospitales, establecimientos educacionales y otros.

Por último, sería interesante estudiar la factibilidad técnica de transportar hidrógeno verde por gasoductos hacia los puertos. En dicho caso, sería necesario, además de adecuar los PRIBC, redactar una guía especial para la obtención de un permiso otorgado por el capitán para el traslado y manejo de hidrógeno verde en recintos portuarios especiales, de conformidad a los artículos 5 y 7 del DS 618/1970, los que señalan las reglas generales para la obtención del permiso y también la posibilidad de tener las excepciones a tales exigencias si el capitán de puerto estima que se mantendría la seguridad del puerto.

4. CONTINUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRATEGIA BAJO EL MANDATO DEL ACTUAL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA, GABRIEL BORIC

La Estrategia fue planificada para que trascendiera el mandato del expresidente Sebastián Piñera, lo que se logró mediante la celebración de distintos memorandos de entendimiento alrededor del mundo, pues Chile no puede invocar su derecho interno para incumplir sus compromisos adquiridos.¹⁰⁴ Por su parte, el actual presidente Gabriel Boric ha profundizado la «diplomacia del hidrógeno verde» al firmar un memorando con el puerto de Hamburgo.

¹⁰² Juan Carlos Giménez, «La hora del hidrógeno verde», *Gas Actual* 153 (2019): 28.

¹⁰³ Juan Carlos Olmedo, «Perspectivas del retiro de unidades a carbón en el SEN» (webinar Tecnologías de Reconversión de Termoeléctricas, 12 de noviembre de 2020).

¹⁰⁴ Artículo 27 de la Convención de Viena sobre Derecho de los Tratados: «Una parte no podrá invocar las disposiciones de su derecho interno como justificación del incumplimiento de un tratado».

En cuanto a la política interna, durante el actual Gobierno se han celebrado tres sesiones del Consejo, en cuya primera sesión se reconoció la Estrategia como base para las políticas energéticas en torno al hidrógeno verde;¹⁰⁵ y en la segunda sesión, el ministro de Hacienda, Mario Marcel, enfatizó la necesidad de tener un marco que permita predecir las regulaciones ambientales y de otra índole para dar certidumbre a los inversionistas y permitir el crecimiento económico; mientras que la ministra del Medio Ambiente, Maisa Rojas, enfatizó la necesidad de realizar una evaluación ambiental estratégica.¹⁰⁶ Por último, como ya se mencionó, existe la intención gubernamental de aumentar el impuesto verde de USD 5 a USD 35 por tonelada de CO₂ emitido.

En conclusión, el Gobierno del presidente Boric busca concretar las metas establecidas en la Estrategia y acentuar su aspecto socioambiental, por lo que se esperan avances regulatorios en ese sentido.

5. CONCLUSIONES

Tradicionalmente, el hidrógeno molecular era regulado en Chile como una sustancia peligrosa por el DS 43/2016 hasta que se inventó el hidrógeno verde, explotándose su potencial como combustible.

El Ministerio de Energía diagnosticó que faltaba regulación en torno a la seguridad del hidrógeno verde, por lo que planificó una agenda regulatoria al respecto.

Para lograr las metas de carbono-neutralidad, el Estado de Chile lanzó la Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde, trazando una hoja de ruta en materia regulatoria para facilitar la creación de la industria del hidrógeno verde mientras se resguardan aspectos ambientales y de seguridad.

Existen distintos aspectos de la industria del hidrógeno verde a ser regulados a lo largo de toda la cadena de valor, como aspectos de seguridad, medioambientales, beneficios tributarios, etcétera.

¹⁰⁵ «Ministro de Energía preside Consejo Interministerial del Comité de Desarrollo de Hidrógeno Verde», Ministerio de Energía, 5 de julio de 2022, <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/ministro-de-energia-preside-consejo-interministerial-del-comite-de-desarrollo-de-hidrogeno-verde>.

¹⁰⁶ «Comité Interministerial de Hidrógeno Verde busca acelerar esta industria con foco en el desarrollo local de los territorios», Ministerio de Energía, 9 de agosto de 2022, <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/comite-interministerial-de-hidrogeno-verde-busca-acelerar-esta-industria-con-foco-en-el-desarrollo-local-de-los-territorios>.

La Ley 21.305 permitió que el Ministerio de Energía reglamentara el hidrógeno verde y pudiera llevar a cabo su agenda regulatoria de aspectos de seguridad.

Mientras no existan reglamentos estatales, las guías especiales facilitan la obtención de permisos para proyectos piloto en la medida que se usen normas técnicas de institutos de normalización extranjeros.

El Ministerio de Salud dejó de tener competencia para regular la seguridad del hidrógeno verde por la dictación de la Ley 21.305, sin perjuicio de que convendría expresarlo en la ley. Dados los riesgos de la actividad económica en torno al hidrógeno verde, sería conveniente elevar el estándar del régimen de responsabilidad de los manipuladores a una hipótesis de responsabilidad por culpa infraccional.

Se necesita revisar los instrumentos de planificación territorial y los beneficios tributarios para explotar el potencial de crecimiento económico del hidrógeno verde.

La celebración de memorandos de entendimiento permitió que la Estrategia trascendiera al Gobierno de turno y que el actual presidente de la República continuara profundizándola.

La definición de los atributos de calidad y sostenibilidad a certificarse deben alinearse con la implementación de la Estrategia, las metas de carbono-neutralidad y la transición energética justa. ■

BIBLIOGRAFÍA

- Barros Bourie, Enrique. «La culpa en la responsabilidad civil». *Ensayos Jurídicos Universidad Alberto Hurtado* 1 (2005): 1-23.
- Centro de Energía UC (Patricio Lillo, Juan de Dios Rivera y Rodrigo Caro). *Proposición de estrategia regulatoria del hidrógeno para Chile*. Santiago: GIZ, 2020.
- Cordero Quinzacara, Eduardo. «Los principios que rigen la potestad sancionatoria de la Administración en el derecho chileno». *Revista de Derecho (Pontificia Universidad Católica de Valparaíso)* 42 (2014): 399-439. doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-68512014000100012>
- Díaz Tolosa, Regina Ingrid. «Responsabilidad objetiva en el ordenamiento jurídico chileno». *Revista de Derecho (Universidad Católica del Norte)* 14, n.º 1 (2007): 79-112. doi: <https://doi.org/10.22199/S07189753.2007.0001.00004>
- Diez Schwerter, José Luis. «La culpa del empresario por accidentes del trabajo: Modernas tendencias jurisprudenciales». En *La responsabilidad por accidentes del trabajo*, editado por Jorge Baraona González y Pedro Zelaya Etcheagaray (pp. 73-98). Santiago: Universidad de los Andes, 2005.
- Giménez, Juan Carlos. «La hora del hidrógeno verde». *Gas Actual* 153 (2019): 24-35. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7337483>
- Giménez Zuriaga, Isabel. «Retos del hidrógeno verde». *Economía Aragonesa* 73 (2021): 103-129. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8017764>
- Inodú (Jorge Moreno, Donny Holaschutz, Héctor Moreno y Tomás Meyer). *Identificación de aspectos ambientales, sectoriales y territoriales para el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde en toda su cadena de valor*. Santiago: GIZ, 2020.
- Maluenda Philippi, Benjamín y Fernanda Stegmaier. «Hidrógeno verde». *Revista Técnica del Servicio de Evaluación Ambiental* 4 (2021): 20-27. https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2021/06/30/revista_4.pdf
- Maroño Buján, Marta. «La apuesta por el hidrógeno verde». *Ambienta* 126 (2020): 14-25. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8066238>

- Martínez Rodríguez, Antonio. «El potencial del hidrógeno verde». *Cuadernos de Energía* 64 (2020): 39-41. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7825478>
- Ministerio de Energía y, SEC, Superintendencia de Electricidad y Combustible. *Guía de apoyo para solicitud de autorización de proyectos especiales de hidrógeno*. Santiago: Ministerio de Energía, 2021.
- Morante, Juan Ramón, Teresa Andreu, Gotzon García, Jordi Guilera, Albert Tarancón y Marc Torell. *Hidrógeno, vector energético de una economía descarbonizada*. Madrid: Fundación Naturgy, 2020.
- Serrano Rodríguez, Antonio. «Hidrógeno verde y transición energética». *Papeles de Relaciones Ecosociales y Cambio Global* 153 (2021): 83-92. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7947437>
- Servicio Nacional de Geología y Minería. *Guía de implementación de pilotos y validación de tecnologías que utilizan hidrógeno como combustible en minería*. Santiago: Sernageomin, 2021.
- Tromp, Tracey K., Run-Lie Shia, Mark Allen, John M. Eller e Y. L. Yung. «Potential Environmental Impact of a Hydrogen Economy on the Stratosphere». *Science* 3 (2003): 1.740-1.742. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1085169>