



Evaluación e implementación de incentivos y medidas habilitantes para el impulso de la industria del hidrógeno verde y sus derivados en Chile

Parte II – Análisis de condiciones habilitantes y propuestas de política pública para incentivar las inversiones en proyectos de hidrógeno y derivados

Edición:
Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 40
53113 Bonn • Alemania

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

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

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

Responsable:
George Cristodorescu

Registro de Propiedad Intelectual Inscripción:
ISBN: 978-956-8066-76-5. Primera edición digital: Octubre 2025
Cita:

Título: Evaluación e implementación de incentivos y medidas habilitantes para el impulso de la industria del hidrógeno verde y sus derivados en Chile

Autor(es): GIZ; Francisco López, Rafael Valdivieso; Ramón Delpiano.

Revisión y modificación: GIZ; Francisco López, Rafael Valdivieso; Ramón Delpiano.

Edición: Patricio Bastias.

Santiago de Chile, 2024.

21 Páginas

Hidrógeno – Incentivos tributarios - Economía – Política fiscal



Aclaración:

Esta publicación ha sido preparada por encargo del Proyecto “Team Europe para el Desarrollo del Hidrógeno Renovable en Chile”, el cual es cofinanciado por la Unión Europea y el Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima de Alemania (BMWK). La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH es una de las agencias implementadoras de la presente iniciativa y el Ministerio de Energía de Chile es la institución contraparte. Sin perjuicio de lo anterior, las conclusiones y opiniones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile, GIZ, la Unión Europea o el BMWK. Además, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar en ningún caso constituye una recomendación por parte del Gobierno de Chile, GIZ, la Unión Europea o el BMWK.
Santiago de Chile, 10 de octubre de 2025.

1	Recomendaciones de política pública	4
1.1	Convenios de estabilidad normativa	4
1.1.1	Antecedentes	4
1.1.2	Análisis	5
1.2	Propuesta de invariabilidad	7
2	Evolución de costos y análisis de condiciones habilitantes	9
2.1	Impacto de los impuestos en el LCOH, costo fiscal y decisión de inversión	9
2.1.1	Evolución esperada del LCOH	10
2.2	Condiciones habilitantes 1: Desarrollo de infraestructura compartida para la industria del hidrógeno verde	12
2.2.1	Complejidades regulatorias y operativas	14
2.3	Condiciones habilitantes 2: Disponibilidad de agua	16
2.3.1	Curva de Costos de Capital (CAPEX)	16
2.3.2	Curva de Costos de Operación (OPEX)	17
3	Anexo	18

1 Recomendaciones de política pública

1.1 Convenios de estabilidad normativa

Como se ha señalado, son diversos los países que están impulsando y promoviendo el desarrollo de la industria de hidrógeno verde y para esto se buscan crear entornos favorables para el desarrollo de esta industria. Los incentivos de carácter económicos o fiscales juegan un rol preponderante, al igual que otros elementos que resultan ser cruciales a la hora de considerar una inversión, tales como contar con un entorno regulatorio adecuado, y una institucionalidad robusta que permita dar certezas y garantías de que el estado de derecho será respetado y aplicado, sin que existan discriminación o arbitrariedades.

Los Estados, dentro de sus potestades y como parte de la estrategia para fomentar el desarrollo de determinadas industrial o áreas geográficas, usualmente establecen subsidios, o reglas especiales aplicables a una determinada industria o zona geográfica, y también, en ocasiones otorgan garantías de que una determinada normativa, generalmente vinculada a los impuestos, no será alterada o modificada por un determinado espacio de tiempo o que no existirá discriminación o tratamientos arbitrarios para quienes participan o invierten en los ámbitos económicos que se pretenden desarrollar o impulsar.

El contar con un esquema que entregue las garantías adecuadas, particularmente de carácter tributario, puede ser un factor relevante y determinante para atraer las inversiones que el país necesita para el desarrollo de la industria del hidrógeno verde, tal como lo fue para el desarrollo de la industria minera en el país, el estatuto de la inversión extranjera.

1.1.1 Antecedentes

A nivel comparado, son diversos los países que utilizan o promueven convenios de estabilidad jurídica para incentivar el desarrollo de inversiones en sus territorios, es así como Perú, Colombia, Argentina, México, Ecuador o Paraguay han promovido para al menos algunas áreas de su economía la suscripción de este tipo de convenios, los cuales pueden calificarse como instrumentos promotores de inversión que se materializan mediante la suscripción de contratos entre las empresas y los Estados, y que buscan estabilizar las garantías o condiciones aplicables a los inversionistas, por un determinado periodo de tiempo. Estos convenios tienen la particularidad de reducir los riesgos asociados a la incertidumbre de desarrollar grandes proyectos a largo plazo, mejorando las condiciones de financiamiento y de predictibilidad para los inversionistas¹.

Dentro de los convenios de estabilidad jurídica se encuentran los convenios de estabilidad tributaria, mediante los cuales se acuerdan pactos de invariabilidad tributaria. Este tipo de contratos pueden ser considerados una suerte de incentivo o beneficio tributario, entendiendo como estos a “todas las medidas que proveen un tratamiento más favorable a ciertas actividades o sectores, en comparación con la carga tributaria impuesta sobre la industria en general”².

La invariabilidad tributaria funcionaria como un importante incentivo a la inversión extranjera y “consiste en que el Estado, a través de contratos-ley suscritos con los inversionistas, se compromete a mantener una tasa impositiva sin variaciones durante un período determinado, orientado a entregar certeza jurídica a las inversiones de capitales extranjeros”³.

La suscripción de un contrato de estabilidad jurídica no implica que el inversionista quede impositivamente en una mejor situación que otras industrias, sino que las normas o tasas exigibles por el Estado, durante el periodo de tiempo acordado, debe limitarse a las normas que se aplican al tiempo de la celebración del acuerdo, sin que el inversionista se vea afectado por sus modificaciones posteriores. En otras palabras, se

1 Pro Inversión Perú - Agencia de Promoción de la Inversión Privada. Disponible en: <https://www.investinperu.pe/es/invertir/detalle-noticia/peru-ofrece-convenios-de-estabilidad-juridica-a-i>

2 KLEMM ALEXANDER (2009): Causes, Benefits, and Risk of business tax incentives, *International Monetary Fund Working paper*. Disponible en: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2016/12/31/Causes-Benefits-and-Risks-of-Business-Tax-Incentives-22628> . Fecha de consulta: 15 de Julio 2024

3 MINERÍA CHILENA (2021): Consejo Minero elabora plataforma para acceder a información tributaria de sus empresas socias. Disponible en: <https://www.mch.cl/negocios-industria/consejo-minero-elabora-plataforma-para-acceder-a-informacion-tributaria-de-sus-empresas-socias/#:~:text=En%20ese%20contexto%2C%20se%20destaca,jur%C3%ADdica%20a%20las%20inversiones%20de> . Fecha de consulta: 5 de julio de 2023

garantiza la confianza al inversionista bajo el supuesto de que se respetará la ley, pues es esta después de todo la que permitió en primera instancia que se suscribiera este tipo de contrato⁴.

A continuación, analizaremos cuáles son los fundamentos que justificarían, en nuestra opinión, la existencia de un régimen especial, como fue la experiencia del país en la aplicación del DL 600, en especial para el desarrollo de la industria minera y cuales debería ser el contenido o las materias que un régimen especial para el desarrollo del hidrógeno verde debería considerar.

1.1.2 Análisis

1.1.2.1 Fundamentos de la incorporación de la invariabilidad

Según la teoría de Pranab Bardhan sobre los problemas de compromiso creíble en la interacción política-económica, la implementación de contratos de estabilidad jurídica o invariabilidad tributaria se basan en la idea de que un inversionista que espera desarrollar cierto negocio en el territorio nacional por un periodo de tiempo, lo desarrollara sólo si el Estado no realiza modificaciones en forma adversa a las normas de carácter tributario que hayan sido identificadas como determinantes de la inversiones. Como el Estado desea que el inversionista aumente el nivel de inversión en el país, se compromete a no modificar las condiciones establecidas en el contrato de estabilidad jurídica. En este contexto, el Estado busca aumentar los niveles de inversión dentro del país y los inversionistas desean estabilidad en las normas que los rigen para así poder garantizar el retorno sobre la inversión realizada en un escenario de largo plazo. Entonces, reduciendo la incertidumbre sobre los retornos de la inversión, se incrementa la inversión realizada⁵.

Con la implementación de estos contratos se logra un escenario más eficiente que el equilibrio que se genera sin estos instrumentos. Así, los inversionistas, bajo un régimen estable, tendrán incentivos para elevar el nivel de inversión, y el Estado, por su lado, logra aumentar la inversión y aumentar la recaudación a futuro por medio de la incorporación de nuevos inversionistas recaudando más tributos sobre los ingresos gravables de estos proyectos.⁶

Otro de los propósitos que tiene la incorporación de estos contratos es disminuir la incertidumbre en las decisiones de inversión y por lo mismo reducen la percepción de riesgo país, esto es, el índice que mide la inseguridad que contiene un país para las inversiones extranjeras⁷.

Los contratos con cláusulas de invariabilidad tienden a darse en países en vías de desarrollo que son susceptibles a crisis políticas y económicas, debido a esa inestabilidad es que se busca proteger las inversiones sobre medidas gubernamentales que pueden afectar la viabilidad del desarrollo del proyecto⁸.

Estas cláusulas se incorporan generalmente en los contratos de proyectos en que hay una gran inyección de capital, como son los de minería, petróleo, energía, transporte, etc. Este tipo de proyectos requieren grandes inversiones de capital que se vuelven rentables a lo largo del tiempo, por lo mismo, con estas cláusulas se busca mitigar el riesgo de estas inversiones. En definitiva, este tipo de proyectos buscan garantías o condiciones que no perjudiquen el equilibrio costo – beneficio de la inversión⁹.

⁴ GARCÍA-GIRALDO JUAN (2015): “Los contratos de estabilidad jurídica en una economía global, un análisis de derecho comparado para el caso de Colombia, Perú y Chile”, *Revista Jurídicas*, N° 12, pp. 78-95.

⁵ AZUERO, Francisco, GUZMÁN, Alexander y TRUJILLO, María (2017): “Contratos de estabilidad jurídica en Colombia: Un análisis desde la economía de la información y la economía política”, *Innovar*, Vol. 27, N° 63, pp: 125-140.

⁶ AZUERO, Francisco, GUZMÁN, Alexander y TRUJILLO, María (2017): “ Contratos de estabilidad jurídica en Colombia: Un análisis desde la economía de la información y la economía política”, *Innovar*, Vol. 27, N° 63, pp: 125-140.

⁷ García Marcial (2005): “Convenios de estabilidad tributaria y consideraciones sobre el riesgo país: el caso peruano”, *Ius et veritas*, N° 15, pp: 278-291.

⁸ Jarrod Wong y Abdallah Abueifutuh Ali: “The legislative stabilization clause”, *International law and politics*, Vol. 55, N°67: pp. 67 – 123. Disponible: <https://www.nyujilp.org/wp-content/uploads/2023/03/Article2.pdf>. Fecha de consulta: 5 de Agosto de 2024.

⁹ Gehne Katja y Brillo Romulo (2017): “Stabilization Clauses in International Investment Law: Beyond Balancing and Fair and Equitable Treatment”, *Transnational Economic Law Research Center*. Disponible en: https://icsid.worldbank.org/sites/default/files/parties_publications/C6106/2021.01.08%20Parties%27%20Post%20Hearing%20Briefs/Claimants%27%20Post%20Hearing%20Submission/Legal%20Authorities/CL-0281.pdf. Fecha de consulta: 8 de Agosto de 2024

Algunos argumentos que se han esgrimido en contra de la existencia de este tipo de regímenes se sustentan en que en opinión de ellos se atentaría contra el principio de igualdad, otorgando un privilegio a un determinado sector económico o área geográfica, que conllevarían una disminución en la recaudación fiscal (pues supone que la inversión igual se habría materializado pese a no existir un régimen especial) o que podrían generar rigidez tributaria al no poder modificarse las normas por el período garantizado.

Los aspectos antes indicados, son claramente debatibles, y los Estados pueden establecer en el ejercicio de su soberanía reglas diferentes, no arbitrarias, que están disponibles para todos quieran participar, lo anterior en el marco de la implementación de sus políticas naciones de desarrollo.

1.1.2.2 Situación Chilena

El régimen de invariabilidad se incorpora en Chile mediante la suscripción de contratos ley con el Estado. Esto ocurre en la década de los setenta en un contexto nacional en el que se buscaba recuperar los equilibrios macroeconómicos e incentivar el comercio exterior. Para lo anterior, en 1978 se promulga el Decreto Ley N° 600 que configura el Estatuto de Inversiones Extranjeras¹⁰. Es decir, se busca pasar de un modelo que incentiva el desarrollo de las industrias nacionales y del intercambio entre países latinoamericanos a la promoción de la inversión extranjera.

El Decreto Ley 600 no se limita a ciertos sectores económicos estratégicos, sino que busca permitir la inversión en cualquier actividad económica, sobre el entendido que se orientara automáticamente hacia los sectores productivos¹¹. Para generar relaciones con inversionistas extranjeros se busca favorecer la apertura del libre mercado, y es “la instalación de este estatuto la que permite la apertura al mercado frente a países con grandes capitales”¹².

El DL 600 efectivamente tuvo como consecuencia el efecto de incentivar la inversión en el país y en especial tuvo un rol relevante para el gran impulso que tuvo la gran minería en Chile a partir de la década de los noventa en adelante. Este estatuto vino a dar garantías en aspectos esenciales para atraer la inversión, como lo era la no discriminación entre inversionistas nacionales o extranjeros (artículos noveno y décimo del Decreto Ley 600), el acceso al mercado cambiario formal de divisas para remesar las utilidades y capital al exterior, el derecho a remesar al exterior las utilidades y capital, el derecho a exportar libremente los bienes producidos y la invariabilidad de las normas tributarias (incluyendo las interpretaciones efectuadas por el SII a través de Circulares y oficios) y aplicación de un umbral máximo de tributación total en el país y otros aspectos.

Actualmente la norma no está vigente dado que en 2016 el DL 600 fue derogado por la ley N°20.780 y en consecuencia no se siguen celebrando contratos de Inversión Extranjera con el Estado en virtud de esta norma.

Dentro de los argumentos para justificar su derogación se planteó que debido a la estabilidad institucional del país, en esa época, ya no se justificaba, y que al ser Chile un país miembro de la OCDE, el DL 600 podía ser derogado y transitar hacia una nueva normativa¹³.

1.1.2.3 Posturas críticas

La existencia de regímenes especiales también tiene posturas críticas, o posiciones que establecer condiciones para su establecimiento, ejemplo de ello fueron los argumentos entregados por distintos actores y que constan en el informe de la Comisión Asesora Transversal para la Nueva Institucionalidad en Inversión extranjera, al momento de discutir sobre la mantención del régimen de invariabilidad tributaria¹⁴.

¹⁰ WILHELMY, Manfred y DURÁN, Roberto (2003): “Los principales rasgos de la Política Exterior Chilena entre 1973 y el 2003”, *Revista de ciencia política, Volumen XXIII, N°2*, PP. 237 – 286, p. 275

¹¹ ORTIZ MORALES, Ximena (2019): “La inversión extranjera y minería privada en contexto dictatorial: el decreto ley 600 y la desnacionalización del cobre. Chile 1974 – 1977”, *Revista Tiempo Histórico*, N°19: p. 146

¹² Ximena Ortiz Morales (2019): La inversión extranjera y minería privada en contexto dictatorial: el decreto ley 600 y la desnacionalización del cobre. Chile 1974 – 1977, *Revista Tiempo Histórico*, N°19: p. 148

¹³ BIBLIOTECA NACIONAL DEL CONGRESO DE CHILE: Historia de la ley N° 20.848. Disponible en: <https://www.bcn.cl/historiadelaley/historia-de-la-ley/vista-expandida/4027/>. Fecha de consulta: 15 de Julio 2024

¹⁴ COMISIÓN DE INVERSIONES EXTRANJERAS (2015): “Informe Comisión Asesora Transversal para la nueva institucionalidad en Inversión Extranjera”. Disponible en: <https://www.economia.gob.cl/wp-content/uploads/2015/01/INFORME-INV-EXTRANJERA.pdf>. Fecha de consulta: 15 de Julio de 2024

En primer lugar, se sostuvo que en Chile se habían consolidado sólidos fundamentos institucionales y económicos que hacían innecesario otorgar invariabilidad tributaria, considerando que además con ese régimen se estaba renunciando también a la posibilidad de modificar impuestos a futuro.

En segundo lugar, se propuso un esquema de invariabilidad tributaria con plazos determinados, debidamente garantizado mediante la suscripción de un contrato ley, pero limitado a ciertos sectores y/o tipos de proyectos que Chile priorice de acuerdo con su política de desarrollo económico.

Finalmente, también fueron presentadas como propuesta, además de las anteriores, por parte de la Confederación de la Producción y del Comercio en el “Acuerdo por el crecimiento económico y la eficiencia del gasto público”¹⁵, la implementación de regímenes de invariabilidad tributaria para todo tipo de proyectos pagando un premio adicional. Se entiende que de esta forma se otorgaría certeza jurídica y tributaria a los proyectos de inversión con horizontes temporales largos.

1.1.2.4 Legislación comparada

Se vuelve relevante analizar cómo se ha buscado garantizar la inversión extranjera en países cercanos a Chile, y de esa forma determinar si se genera una desventaja comparativa a nuestro país por prescindir de un régimen de invariabilidad tributaria.

A nivel comparado, es usual ver el régimen de invariabilidad tributaria implementado por medio de la suscripción de contratos o convenios de estabilidad jurídica. Así se ha consolidado en países como Perú, Colombia o Paraguay, entre otros.

Por ejemplo, en Perú se instala en la década de los noventa la política de suscripción de convenios de estabilidad jurídica, con lo que se busca asegurar a los potenciales inversores que no se verán afectados por cambio en el régimen tributario durante cierto periodo de tiempo. Se ha sostenido que existe una relación directa entre el establecimiento de esta política y el auge económico¹⁶.

En Paraguay en 2015 por medio de la ley N°5542 denominada “Ley de Garantía para las inversiones y Seguridad jurídicas” se establece un marco normativo orientado a garantizar, un régimen de invariabilidad tributaria del impuesto a la renta, exenciones de la tasa adicional del Impuesto a la Renta en caso de distribución de utilidades y la reducción de retenciones impositivas en los casos de remesas de utilidades al exterior y una garantía de no apropiación o confiscación de los bienes de la inversión y respecto de la propiedad privada, mediante la celebración de un contrato con el Estado, todo ello por un plazo entre diez hasta veinte años, dependiendo el monto de inversión¹⁷.

Creemos que, con motivo del desarrollo de políticas para el desarrollo de la industria del hidrógeno verde, es factible que nuevos regímenes de estabilidad tributaria o de inversión puedan ser consagrados por los distintos países.

1.2 Propuesta de invariabilidad

En los proyectos de largo plazo es necesaria la existencia de seguridad jurídica, esto permite reducir la incertidumbre del inversionista al momento de desarrollar un proyecto de mediano o largo plazo en que la normativa aplicable, en especial la tributaria puede variar sustantivamente.

Al momento de evaluar el desarrollo de un proyecto de largo plazo, como los de hidrógeno verde, se debe analizar su viabilidad económica, es decir cuál será la rentabilidad que obtendrán a futuro. Dentro de las

¹⁵ CONFEDERACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DEL COMERCIO (2023): “Acuerdo por el crecimiento económico y la eficiencia del gasto público”. Disponible en: <https://www.cpc.cl/wp-content/uploads/2023/07/Acuerdo-por-el-crecimiento-econ%C3%B3mico-y-la-eficiencia-del-gasto-p%C3%BAblico-27-de-julio-de-2023-FINAL1.pdf>. Fecha de consulta: 15 de Julio de 2024

¹⁶ BYRNE SANTIA MARÍA, Mónica y JOO GARFÍAS, Eduardo (2009): “Apuntes sobre los Convenios de Estabilidad Jurídica y su interrelación con los Acuerdos Internacionales suscritos por el Perú”, *Revista De Derecho Administrativo*, Vol. 7: pp. 297-316. Disponible en: <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoadministrativo/article/view/14029>. Fecha de consulta: 10 de Julio 2024.

¹⁷ BORDA, Dionisio y CABALLERO, Manuel (2017): “Desempeño e institucionalidad tributaria en Paraguay, Población y desarrollo, vol. 23, N° 44: pp. 60–71. Disponible en: http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2076-054X2017004400060&lng=es&nrm=iso&tlng=es. Fecha de Consulta: 10 de Julio 2024

variables que inciden en estos cálculos, se deben considerar los impuestos del país en que se instalará la empresa, es por esto que los contratos de invariabilidad jurídica reducen el riesgo en el desarrollo de negocios¹⁸.

Considerando que uno de los factores que motivan la inversión es tener claras las reglas del juego, la estabilidad de las normas se vuelve un factor primordial para la toma de decisiones de inversión, en especial la tributaria. Es por esto, que resulta aconsejable, en opinión de los consultores, el establecimiento de un marco normativo estable que garantice la no modificación de las normas tributarias consideradas en la evaluación de la inversión o que, si el legislador lo estima necesario, se consagren incentivos tributarios para que tal inversión pueda materializarse.

La necesidad de entregar certezas en la materia, se ve reforzada por el hecho de que Chile en los últimos quince años ha tenido más de diez reformas de su sistema impositivo, con cambios profundos y relevantes no solo de sus tasas de impuestos, sino que también creando nuevos impuestos (royalty a la actividad minera, sobretasa de impuesto a los bienes raíces, impuesto a los bienes de lujo (autos, aviones y helicópteros), impuestos a las emisiones o fuentes fijas, etc.), modificando las estructuras básicas del sistema impositivo al cambiar desde un régimen integrado de impuesto a uno semi-integrado, pasando por la creación de un régimen de renta atribuida, luego derogado. Todos los gobiernos, independientes de su orientación política han implementados cambios sustantivos en nuestro sistema impositivo.

Considerando la oportunidad y múltiples desafíos técnicos y de mercado que representa el desarrollo de esta nueva industria para Chile, los grandes montos de inversión requeridos, los largos plazos considerados para obtener retornos, la importante competencia internacional por atraer inversiones y teniendo en consideración la imposibilidad de igualar los incentivos fiscales que otros países han establecido, y que han sido revisados en el informe, el equipo consultor considera aconsejable evaluar para el desarrollo del hidrógeno verde, el establecimiento de un régimen especial que pueda dar seguridad jurídica a los inversionistas.

De avanzar en la propuesta, este régimen especial, debiese contener o consagrar los siguientes derechos y garantías los inversionistas:

- a. La invariabilidad de las normas tributarias vigentes por un período de tiempo, incluyendo las interpretaciones sobre la materia emitidas por el SII en Circulares u oficios;
- b. Incentivos tributarios especiales, dependiendo del monto y ubicación del proyecto, ya sea como créditos tributarios o rebajas de la tasa del impuesto;
- c. La no discriminación con otros proyectos de inversión, nacionales o extranjeros;
- d. Un monto máximo de carga impositiva total a que estará sujeto a pagar el inversionista, considerando cualquier tipo de impuesto a la renta, derechos, tasas, patentes, concesiones u otros;
- e. La no imposición de nuevos impuestos, por ejemplo, por el uso de un área geográfica de terreno nacional, uso de vientos o radiación solar;
- f. El derecho a exportar la totalidad de la producción;
- g. Liberación de aranceles a la internación de los bienes o componentes extranjeros asociados al proyecto y del IVA sobre los mismos;
- h. Certeza jurídica de los permisos y autorizaciones otorgados por los organismos competentes del Estado.

Los derechos y garantías que el legislador determine otorgar deberán ser objeto de una legislación especial, la cual debería establecer que el otorgamiento de este régimen preferencial, cumplido los requisitos, debería quedar plasmados por medio de contratos celebrados entre el inversionista y el Estado de Chile (Ministerio de Energía u Hacienda), que tengan la fuerza de un “contrato-ley” (no podrán ser modificados sin el consentimiento de ambas partes, el Estado y el inversionista).

Se propone que a este régimen especial puedan acogerse tanto inversiones extranjeras como aquellas de origen nacional, gozando ambas con igual forma de los beneficios y garantías que consagre el legislador.

¹⁸ García Marcial (2005): “Convenios de estabilidad tributaria y consideraciones sobre el riesgo país: el caso peruano”, *Ius et veritas*, N° 15, pp: 278-291.

2 Evolución de costos y análisis de condiciones habilitantes

2.1 Impacto de los impuestos en el LCOH, costo fiscal y decisión de inversión

Los resultados del estudio “EVALUACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE INCENTIVOS Y MEDIDAS HABILITANTES PARA EL IMPULSO DE LA INDUSTRIA DEL HIDRÓGENO VERDE Y SUS DERIVADOS EN CHILE” indican que el efecto de los impuestos en el LOCH es de un orden de magnitud muy menor. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. y ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** mu estran claramente lo anterior. Si tomamos el caso de Chile-Antofagasta, el LCOH es cercano a USD 4/kg. Por sobre eso los impuestos imponen una carga adicional de \$ 0.07 usd/kg por concepto de impuesto a la renta.

Para el caso del IVA, éste significa un mayor LCOH de 0.15 USD/kg y 0.03 USD/kg para proyectos que operen en el mercado doméstico o externo, respectivamente. De manera adicional, los resultados indican que el esfuerzo fiscal de apoyar vía impuestos o subsidios el LCOH parece excesivo dado el impacto limitado en el costo nivelizado. Disminuir en \$1 USD el LCOH de una planta de producción de 1.000 MW vía exenciones o subsidios equivale a un gasto fiscal de \$1.219 MM USD.

Al margen del impacto fiscal, es necesario dilucidar si estas eventuales exenciones tributarias sobre la renta y el IVA generan cambios en la estructura de costos tales que modifiquen la decisión final de inversión.

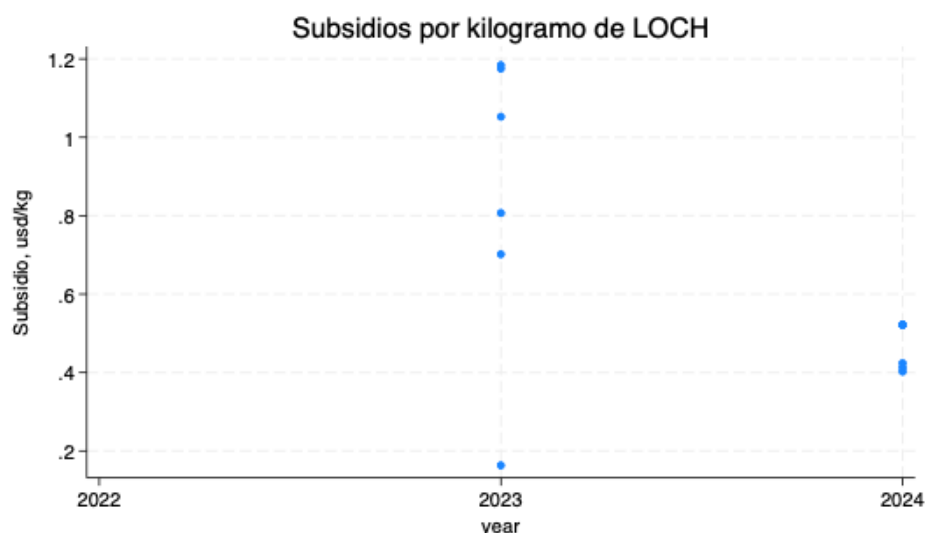


Figura 1: Subsidios a la producción entregados en el mercado de la Unión Europea.

La Figura 1 muestra todos los subsidios a la producción entregados (que han sido reportados) en el mercado de la Unión Europea. El monto de subsidio entregado por kg va desde \$0.4 USD/kg a \$1.18 USD/kg, con una media de 0.65 USD/kg. Desde el punto de vista de las condiciones para el desarrollo de la industria la pregunta relevante es si una exención de impuestos es suficiente para llevar el LCOH a un nivel menor o igual de la disposición a pago que se observa en el mercado y por tanto ser *binding*.

Si bien dicha disposición a pago no es observable, el monto de los subsidios entregados en Europa responden a licitaciones abiertas y competitivas, por lo que los precios (subsidios) que de ella se derivan pueden ser considerados como precios de mercado. En ese orden de cosas, se sabe que para que exista el mercado del H2V es necesario que la disposición a pago sea mayor o igual que el LCOH y que cualquier diferencia debe ser cubierta por el subsidio.

$$DP_t = LCOH_t - Subsidio_t$$

Vale decir, el subsidio alcanza a cubrir la diferencia entre costos y disposición a pago para el mercado relevante de cada proyecto. Luego, si se considera que el efecto de los impuestos en el LCOH para el caso de producción en Chile-Antofagasta es de un mínimo de 0.1 USD/kg y un máximo de 0.22 USD/kg, ambos valores por debajo del mínimo subsidio entregado, se deriva que por la vía tributaria no sería posible incidir

en la decisión de inversión, por cuanto el subsidio no basta para complementar la disposición a pago ($DP_t < LCOH_t - Subsidio_t$).

2.1.1 Evolución esperada del LCOH

El estado actual de la industria del H2V depende de manera crítica de la evolución del costo nivelizado de la energía. La Figura 2 muestra la evolución del LCOE para una muestra de plantas solares y eólicas de EEUU.

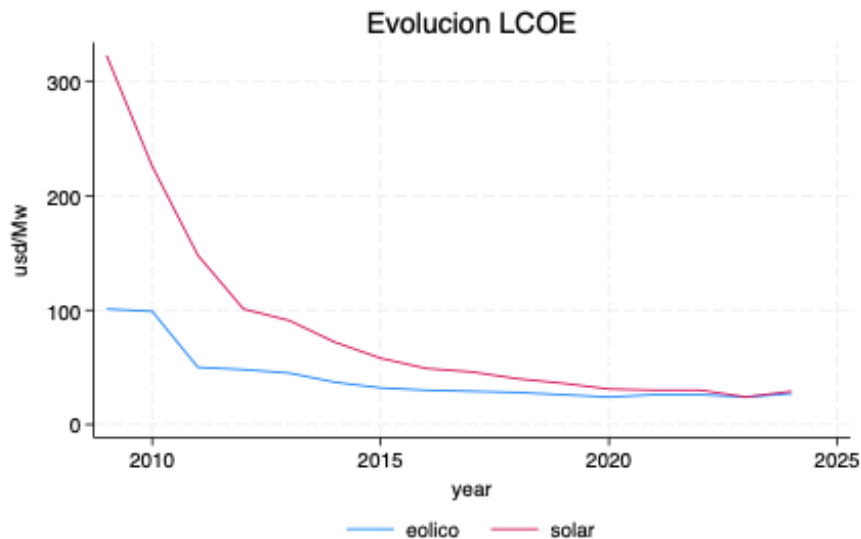
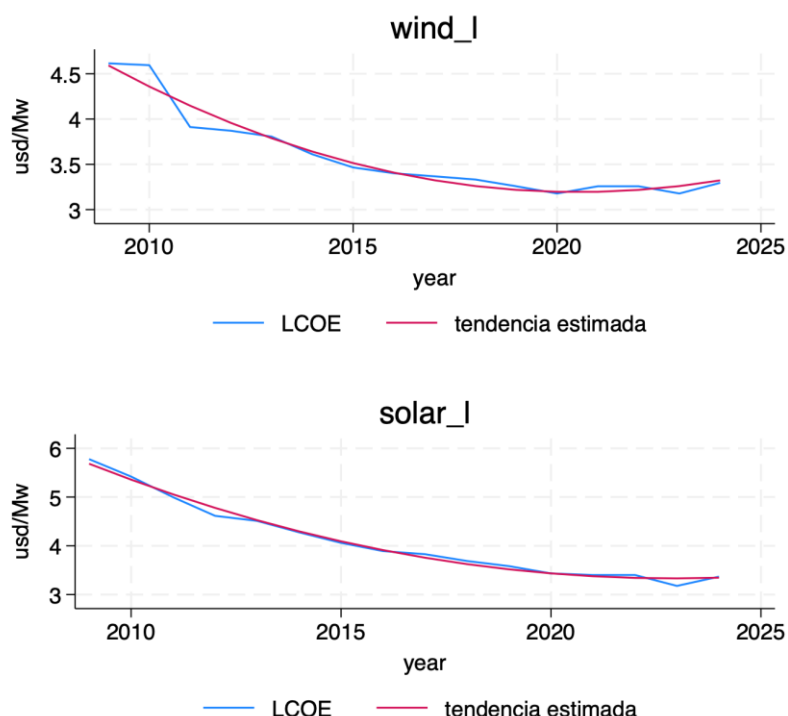


Figura 2: Evolución del LCOE para una muestra de plantas solares y eólicas de EEUU.

Como se observa, los costos promedio para las fuentes baratas de cada tecnología bajaron desde los 300 USD/MW y 100 USD/MW a cerca de 30 USD/MW. Ahora bien, al hacer el análisis de sus tendencias, todo indica que al menos en el corto plazo se observa un agotamiento en las caídas del LCOE. Para corroborar lo anterior se utiliza un modelo de tendencia logarítmica $\ln(LCOE)_{i,t} = \alpha + \beta_1 T + \beta_2 T^2 + e_{i,t}$.

Evolucion y tendencia, escala logaritmica



Los resultados indican que para ambas tecnologías el término cuadrático es positivo y estadísticamente significativo, lo que indica que los costos y los rendimientos son decrecientes (caen los costos, pero cada vez menos). Luego, en términos de la tendencia estimada, en ambos casos queda poco margen (o bien ya fue agotado) para la reducción de costos¹⁹.

El segundo elemento a considerar para el LCOH es el costo y eficiencia de los electrolizadores y CAPEX. A este respecto, en la literatura existen diversos análisis de sensibilidad en las proyecciones del LCOH. De acuerdo a la IEA, distintos escenarios de costo de CAPEX y costo de energía entregan un costo levelizado que, en el mejor de los casos, se mueve en el rango de [2 – 2.5] USD/kg.

Ahora, más allá del LCOH mínimo al que se pueda llegar, la pregunta relevante desde el punto de vista de la política pública es en cuanto tiempo se llegaría. Como primera medida de aproximación al problema resulta útil proyectar la caída en el LCOH de acuerdo a la evolución del LCOE. Para la muestra 2009 – 2024 la caída en el LCOE ha sido en promedio de 8,4% para las fuentes eólicas y de 15,5% para fuentes solares. Si se usan esas tasas de caída de costos el plazo para llegar a un LCOH entre [2 – 2.5] USD/kg serían aproximadamente entre 5 a 10 años, en línea con lo que se observa en la literatura.

El análisis expuesto indica que:

1. Incentivos tributarios no generan cambio en la decisión final de inversión.
2. El costo fiscal de esos incentivos, o de eventuales subsidios, es grande si se considera el punto 1.
3. Aún queda un plazo de entre 5 a 10 años para que la tecnología disponible sea competitiva en términos de costo.

En vista de lo anterior y dada la historia institucional de Chile en el tratamiento de industrias específicas, **a opinión del equipo consultor no parece plausible que Chile entregue subsidios monetarios a los proyectos de H2V adicionales adicionales a los que ya existen; más aún si en el futuro dichos**

¹⁹ Esto ya que la derivada parcial con el tiempo de la tendencia es cercana a cero.

subsidios no serían necesarios y que, a la fecha, sin existencia de dichos subsidios, ya existen proyectos anunciados y en proceso de autorización.

2.2 Condiciones habilitantes 1: Desarrollo de infraestructura compartida para la industria del hidrógeno verde

El desarrollo de proyectos de hidrógeno verde o sus derivados involucra el desarrollo de diversas infraestructuras, las cuales pueden variar dependiendo de la integración de los proyectos con proveedores o suministradores, la ubicación geográfica, o el producto final, entre otras variables.

Sin embargo, y debido al importante número de proyectos que se encuentra en diversas fases de desarrollo en Chile, los cuales se encuentran concentrados en un número limitado de regiones y dentro de estas en zonas geográficas específicas (particularmente Antofagasta y Magallanes), se ha vislumbrado la necesidad de realizar determinadas infraestructuras que puedan ser utilizadas por diversos proyectos, teniendo el carácter de compartidas.

La infraestructura que comúnmente puede ser considerada como de uso común, para un proyecto de Power-to-X²⁰, incluye aquella destinada a la provisión o producción de agua desalinizada, gasoductos (o „hidrogenoductos“), líneas de transmisión eléctrica, infraestructura portuaria, terminales de almacenamiento o exportación y caminos, entre otros.

El desarrollo de infraestructura compartida crecientemente se ha convertido en un elemento de discusión preponderante en aquellos lugares con gran potencial de desarrollo de hidrógeno verde, es así como por ejemplo en Europa se está avanzando en la realización de una red europea de ductos de hidrógeno („European Hydrogen Backbone²¹“). Esta iniciativa compuesta por treinta y tres operadores de infraestructura energética promueve el desarrollo de una red basada en gasoductos nuevos y existentes que permitan el desarrollo de un mercado competitivo y fomentar la competencia y seguridad de suministro.

En otro caso a destacar, Namibia, país africano con un gran potencial de irradiación solar, óptimas condiciones para la generación en base eólica y relativa buena conectividad con los mercados europeos y asiáticos, se encuentra trabajando en la creación de tres valles de hidrógeno, a efectos de crear un ecosistema propicio para el desarrollo de hidrógeno verde. Para estos efectos el Namibia Green Hydrogen Council y la Namibia Green Hydrogen Association (NamGHA) se encuentran trabajando para dar forma a estos valles, lo que involucra un ordenamiento territorial y creación de proyectos e infraestructura complementaria que va desde las minas de hierro hasta las fuentes de generación de energía, instalaciones para los trabajadores, puertos, plantas de electrólisis y de desalación. Este trabajo es parte de la estrategia de hidrógeno verde y sus derivados de Namibia, y está escalonada para realizarse hacia el año 2050²².

²⁰ ²⁰ Proyectos Power-to-X (P2X o PtX) es un término que se refiere a tecnologías que convierten electricidad en otros tipos de energía o productos útiles, aprovechando especialmente la energía renovable. La "X" en "Power-to-X" es una variable que representa diferentes opciones de conversión tales como gas, liquid, heat o chemicals.

²¹ The European Hydrogen Backbone (EHB) initiative. <https://ehb.eu/>

²² Namibia. Green Hydrogen and Derivatives Strategy, Ministry of Mines and Energy Namibia, November 2022. https://www.ensafrica.com/uploads/newsarticles/0_namibia-gh2-strategy-rev2.pdf

Vision for Namibia's three green valleys

Illustrative

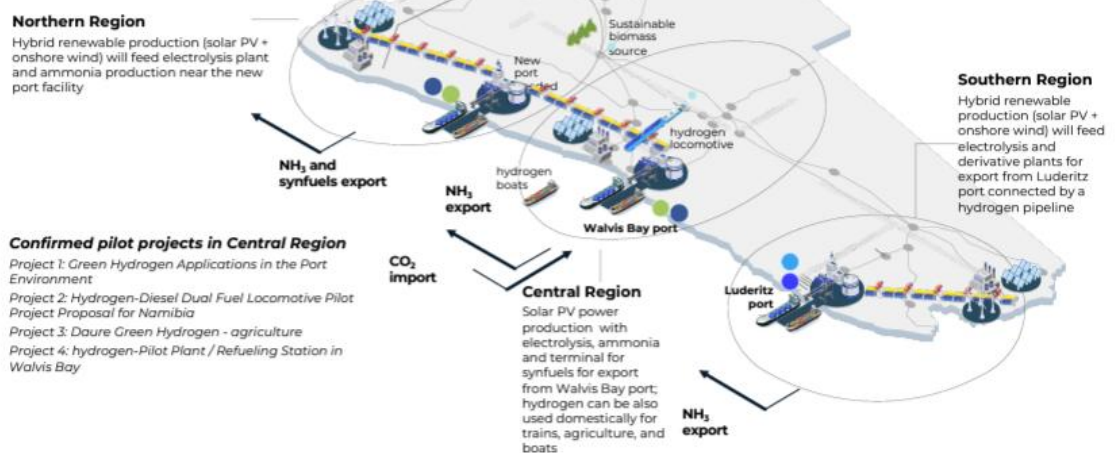


Figura 3: Demanda final de hidrogeno por region en un escenario de emisiones netas cero.

Fuente: Estrategia de hidrógeno verde y derivados de Namibia.

La posibilidad y forma de desarrollar infraestructura compartida está vinculada con la regulación y forma de gobierno de cada país, siendo más sencillo estructurarla, al menos conceptualmente, en aquellos lugares donde la intervención estatal en la planificación y provisión de la infraestructura es más fuerte, o donde los regímenes de gobierno son propensos a tomar definiciones respecto tanto de las áreas de desarrollo de empresas públicas y privadas, localización e incluso regulación.

En países como Chile, donde existen estrictas normas respecto de las áreas en las que las instituciones públicas pueden participar, y donde existe un fuerte arraigo al principio de legalidad o de clausura del derecho público, el cual supone que las autoridades públicas deben sujetar su actuar de conformidad a lo dispuesto en la Constitución y las leyes vigentes, hace difícil pensar en un involucramiento directo del Estado en la definición del uso de los espacios e infraestructura, particularmente de aquella de carácter privado, con el objeto de disponer el uso de espacios y activos para un uso conjunto por parte de empresas, sin que medie la voluntad de estas.

Sin embargo, y dentro del ámbito de acción que le compete, y que la normativa lo permite, el Estado Chileno (particularmente los Ministerios de Energía y de Bienes Nacionales) ha impulsado el desarrollo de infraestructura compartida centrada en la producción de hidrógeno verde. Es así como el Plan de Acción de Hidrógeno Verde establece una línea de acción dedicada al desarrollo de infraestructura habilitante, y diversas acciones donde señala de manera expresa la necesidad de la infraestructura compartida.

La línea de acción 6.9 denominada “Desarrollo de infraestructura habilitante”, resalta la necesidad de la coordinación y cooperación de los actores públicos y privados para el uso eficiente y sustentable de la infraestructura. Asimismo, se plantea que el Estado transite desde un rol articulador y facilitador hacia uno de carácter ejecutor de determinadas inversiones necesarias, en cooperación y/o complemento de las iniciativas privadas. En este sentido como medida concreta se propone como acción directa la realización de un estudio de planificación integrada de infraestructura de hidrógeno verde y sus derivados.

Las acciones 39 a la 42 se refieren al desarrollo de infraestructura habilitante, desde los ámbitos de coordinación intersectorial, planificación del desarrollo de infraestructura, desarrollo de inversiones habilitantes de la industria de hidrógeno verde y sus derivados y la licitación de terrenos fiscales para el desarrollo de infraestructura de la cadena de valor de esta industria. Adicionalmente, la acción 38 se refiere

al desarrollo de planes maestros de áreas industriales donde se concentrarán los proyectos de hidrógeno verde y su cadena de valor.

Adicionalmente, en la región de Magallanes, la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP) ha propiciado acuerdos²³ con empresas privadas²⁴ (HIF Chile, HNH Energy y TOTAL EREN) que se encuentran desarrollando proyectos de hidrógeno verde en la región para desarrollar un polo de desarrollo de hidrógeno verde. Dichos acuerdos, entre otros aspectos, permiten que privados puedan hacer uso de la infraestructura existente que pertenece a ENAP, destacando el terminal portuario e infraestructura logística. Según se ha señalado, *“El objetivo es reconfigurar la Terminal Laredo, construido por ENAP en los años 70 para la elaboración de plataformas marinas, para adaptarla a los requerimientos necesarios para el desarrollo de una solución portuaria óptima para la carga y descarga de equipamiento industrial en la construcción de proyectos asociados al hidrógeno verde y derivados en Magallanes”*.²⁵

Cabe destacar que la GIZ en el marco del programa Team Europe para el Desarrollo del Hidrógeno Renovable en Chile (RH2), ha destacado dentro del área de trabajo de apoyo al desarrollo tecnológico para fortalecer el ecosistema de innovación chileno en el campo del hidrógeno renovable, una acción enfocada en el establecimiento de mecanismos que permitan desarrollar infraestructura compartida para los proyectos cercanos a nivel nacional.²⁶

Desarrollar hubs de hidrógenos o infraestructura compartida trae consigo una serie de beneficios de carácter económicos, ambientales y operativos, entre los cuales, según Hinicio, es posible destacar²⁷:

1. Reducción de los impactos ambientales, sociales y de contaminación visual debido a que los proyectos compartirían elementos estructurales para producir, transportar y almacenar hidrógeno.
2. Reducción en los procedimientos y estudios relacionados con el desarrollo e implementación de proyectos de hidrógeno.
3. Optimización en las operaciones de los proyectos.
4. Facilitar el desarrollo de nuevos proyectos reduciendo las barreras de entrada.

Adicionalmente se puede agregar:

5. Optimización y uso de infraestructura existente.
6. Especialización en la operación de determinados procesos.
7. Potencial disminución en proceso de autorizaciones y licenciamiento social.
8. Potencial disminución en el costo de los proyectos (CAPEX).
9. Incorporación de mecanismos e instrumentos para el desarrollo de infraestructura pública.

Cabe señalar que el desarrollo de infraestructura compartida puede tener una importancia aún más relevante en aquellas infraestructuras específicas donde se requieren conocimientos altamente especializados debido a la complejidad y peligrosidad de las materias que se manejan, como por ejemplo en áreas químicas, y en particular del amoníaco.

2.2.1 Complejidades regulatorias y operativas

No obstante todo lo señalado, el desarrollo de infraestructura compartida para proyectos de hidrógeno verde o HUBs de H2V en Chile adolece de una serie de complejidades regulatorias y operativas, dentro de las cuales se profundizarán 3 aspectos:

²³ Ver información en <https://www.enap.cl/sala-de-prensa/enap-y-hif-global-firman-acuerdo-que-permitira-acelerar-puesta-en-marcha-de-combustibles-sinteticos-en-chile>

²⁴ Ver información en <https://www.pv-magazine-latam.com/2023/04/17/acuerdo-entre-la-petrolera-estatal-de-chile-y-empresas-privadas-para-desarrollar-hidrogeno-verde/>

²⁵ Ibid

²⁶ Ver información en: <https://4echile.cl/proyectos/proyecto-team-europe-para-el-desarrollo-del-hidrogeno-renovable-en-chile/>

²⁷ <https://hinicio.com/es/tercer-congreso-hidrogeno-colombia-hubs-hidrogeno/>

a) Falta de incentivos

No obstante la existencia de beneficios que conlleva la asociación para el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde, existe una serie de elementos que inhiben el desarrollo de estos, particularmente aquellos en los cuales se pueden contraponer el incentivo individual o colectivo, debido a que el asociarse o incluso entablar conversaciones exploratorias para alcanzar acuerdos podría ser considerado como perjudicial para los intereses individuales ya que implica dar a conocer información relevante de la empresa o el proyecto, la cual podría beneficiar a otro actor. Asimismo, en aquellos casos en que los proyectos son propietarios de infraestructura de relevancia para los proyectos, disponibilizarlas para otros actores, también podría ser considerado contrario a los intereses individuales, por lo que podría ser más conveniente para una compañía realizar todas las inversiones requeridas, aún cuando esto no sea lo más eficiente u óptimo, pero de esta forma no se viabiliza el desarrollo de otras iniciativas.

A esta complejidad, Hinicio²⁸ la ha asimilado al dilema del prisionero²⁹, debido a que teóricamente si las empresas colaboran de manera mutua, esto permitirá compartir el costo y beneficio de la infraestructura, con los beneficios que esto conlleva; en el caso que ninguna quiera desarrollar o participar de infraestructura compartida, se mantiene el status quo, se presenta un escenario subóptimo y no se toma la oportunidad de los beneficios a largo plazo, en tanto que si sólo uno participa, una de estas debería soportar los costos, mientras que la otra eventualmente podría sumarse de manera posterior y obtener a lo menos parte de los beneficios.

La falta de incentivos claros incrementa este escenario, los cuales podrían ser aminorados mediante la existencia de regulación, incentivos o exenciones tributarios, participación del estado en la provisión de determinada infraestructura, beneficios asociados a la evaluación ambiental y autorizaciones en general, entre otros. Una de las medidas que ha sido anunciada por el Gobierno, es aquella incluida en el Plan de Acción de Hidrógeno Verde 2023-2030 referida a la licitación de terrenos fiscales para infraestructura compartida.

b) Rol del Estado

Como se mencionó anteriormente, las normas y principios constitucionales y legales son bastante estrictas y claras respecto del rol y acciones que el Estado puede llevar a cabo, por lo que no es factible pensar en que el Estado cumpla un rol de determinar o instruir a las empresas a realizar un determinado proyecto, o bien que las mandate a actuar de manera conjunta.

El caso de ENAP en Magallanes es diferente ya que el rol articulador que está cumpliendo, podría coincidir con su rol y mandato legal, además de contar con activos que le permiten ser parte de proyectos de hidrógeno verde. Sin embargo, para los otros potenciales valles o hub de hidrógeno no se vislumbra que el Estado o alguna de sus empresas pueda cumplir un rol similar. En ese sentido, es dable explorar que Corfo u algún otro actor público relevante facilite las conversaciones y espacios donde las empresas puedan sentar las bases de acuerdos para el desarrollo de infraestructura común.

Adicionalmente, existen algunos instrumentos o normativas que permitirían, de manera conjunta con el sector privado, la realización de determinadas infraestructuras que apunten a consolidar proyectos y así propiciar el desarrollo de hubs. En este sentido, la utilización de la ley de concesiones de infraestructura del Ministerio de Obras Públicas es una herramienta que debe ser considerada para proyectos que coincidan con el rol y ámbito de acción que establece el artículo 87°³⁰ del DFL 850 del Ministerio de Obras Públicas que fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la ley n° 15.840, de 1964 y del dfl. n° 206, de 1960.

²⁸ Ibid.

²⁹ Problema básico de la teoría de juegos que demuestra que dos personas pueden no cooperar pese a que si lo hicieran el resultado obtenido sería mejor para las dos partes.

³⁰ Artículo 87°.- Las obras públicas fiscales podrán ejecutarse, asimismo, mediante contrato adjudicado en licitación pública nacional o internacional, siempre que esta última no afecte la seguridad nacional, a cambio de la concesión temporal de su explotación o la de los bienes nacionales de uso público o fiscales destinados a desarrollar las áreas de servicios que se convengan. Las concesiones tendrán la duración que determine el decreto supremo de adjudicación, que deberá llevar, además, la firma del Ministro de Hacienda, sin que en caso alguno puedan ser superiores a 50 años.

La reparación, o mantención de obras públicas fiscales podrá ser objeto de contrato de concesión conforme a lo dispuesto en este artículo.

Asimismo, podrán otorgarse concesiones para la explotación, que incluyan reparación, ampliación, conservación o mantenimiento, según corresponda, de obras ya existentes, o de terrenos u obras comprendidos en las fajas de los

A mayor abundamiento, la ley contempla un mecanismo mediante el cual los particulares pueden presentar proyectos al Ministerio, mediante el Consejo de Concesiones con el propósito que estas sean evaluadas y eventualmente licitadas utilizando el sistema de Concesiones. Este mecanismo es de sumo interés, ya que permite que los desarrolladores de manera individual o conjunta puedan promover y desarrollar infraestructura conjunta de hidrógeno verde. Es necesario evaluar en detalle si la actual normativa que regula las concesiones, es suficiente o bien se debe realizar alguna modificación que lo permita.

Una tercera medida dice relación con reconocer en el proceso de evaluación ambiental, no sólo la importancia estratégica para el cumplimiento de las metas ambientales y desarrollo del país de la industria del hidrógeno verde, agilizando los plazos de las evaluaciones, sino que el beneficio que conlleva la unificación de infraestructura que beneficie a diversos proyectos. A modo de ejemplo, el desarrollo de una línea de transmisión, un gasoducto o una planta desaladora de mayor tamaño debiese tener menores impactos que la construcción de varios de estos proyectos paralelos para suplir la misma capacidad.

c) Incertezas regulatorias

En línea con lo señalado anteriormente, no existe claridad respecto a la suficiencia de la regulación actual en el sentido de permitir la interacción y coordinación de privados en la concreción de infraestructura conjunta. Nada obsta a que un tercero pueda desarrollar de manera independiente la totalidad o parte de las inversiones requeridas, pero cuando el diseño óptimo involucra la incorporación o concurso de varias empresas, surgen dudas respecto de potenciales conflictos con leyes de protección a la libre competencia, suficiencia del ámbito de acción de la ley de concesiones de obra pública, atribuciones para que entidades públicas participen o ser parte del diseño, además de potenciales conflictos, y otras materias de carácter más específico como regulación y acceso a gasoductos, regulaciones para ampliación de redes de transmisión, entre otras.

2.3 Condiciones habilitantes 2: Disponibilidad de agua

Un elemento importante dentro de la cadena de valor del H2V, que parece no haber recibido la atención necesaria, son las fuentes de agua requeridas para su producción. Para el caso del Norte de Chile y la producción de H2V en base a energía solar, las fuentes continentales de agua están agotadas, y tanto la demanda domiciliaria (sanitaria), industrial y minera han debido recurrir a la desalación de agua para abastecerse. Así, para parte importante del futuro de la industria del H2V en Chile, se estima que la industria de desalación de agua será totalmente necesaria y complementaria.

A la fecha de desarrollo del presente estudio, en Chile no existe normativa específica respecto a la instalación de plantas de desalación ni de la infraestructura necesaria para su transporte. Asimismo, el desarrollo de la desalación en Chile se ha hecho de manera atomizada, sin una planificación de redes o estaciones que permita explotar las economías de escala que existen en la industria.

Lo anterior lleva a preguntarse la pertinencia de evaluar desde el punto de vista técnico y económico la existencia de un sistema integrado de agua desalada en el norte de Chile - eventualmente ampliable a la zona central - así como identificar los desafíos jurídicos, normativos y de gobernanza que implica un sistema de esa naturaleza, proponiendo líneas concretas de acción con miras al desarrollo del H2V.

Desde el punto de vista técnico-económico existen importantes economías de escala en todos los segmentos que intervienen en la industria de desalación de agua: producción, conducción y distribución. Dichas economías de escala existen tanto a nivel de inversión -CAPEX- como a nivel de operación -OPEX-.

2.3.1 Curva de Costos de Capital (CAPEX)

Los costos de inversión (CAPEX) de la infraestructura de un sistema integrado de abastecimiento hídrico agua aumentan con el caudal de diseño Q (m^3/s), longitud de la línea de abastecimiento L (km) y elevación H (m) o desnivel entre la fuente y el punto de consumo. Estos aumentos no son en general lineales o proporcionales. Asimismo, la forma de la curva de costo de inversión es distinta según el tipo de infraestructura.

camino público, con la finalidad de obtener fondos para la construcción de otras obras nuevas que se convengan, respecto de las cuales no exista interés privado para realizarlas conforme a las normas relativas al sistema de concesiones, regulado por el Decreto con Fuerza de Ley N° 900, de 1996, del Ministerio de Obras Públicas.

De acuerdo a las características generales descritas de las curvas de costos de inversión, existen potenciales beneficios económicos a evaluar en un sistema integrado de abastecimiento hídrico.

En primer lugar, la longitud total de la red de conducción requerida en un sistema integrado es inferior a la suma de las longitudes de conducción de sistemas separados. Esto es, en un diseño optimizado, la longitud de líneas de abastecimiento por cliente, se reduce significativamente el aumento del número de clientes.

En segundo lugar, el tamaño de la infraestructura hídrica requerida para la impulsión y conducción aumenta decrecientemente con el caudal de diseño. El costo variable aumenta en 2 veces con un aumento del caudal de diseño en 4 veces. Por lo tanto, los costos de inversión en infraestructura hídrica por unidad de caudal se reducen significativamente con el aumento del caudal de diseño.

Asimismo, existen economías de escala con el aumento del caudal de diseño en el resto de los componentes del sistema (plantas desaladoras e infraestructura eléctrica), pero menos relevantes.

Por último, los estanques de almacenamiento y regulación en un sistema integrado producen beneficios adicionales al almacenamiento por separado: Aumenta la disponibilidad del sistema, reduce el riesgo de falla de abastecimiento, reduciendo también la infraestructura redundante de respaldo operacional. Estos beneficios pueden redundar en un menor requerimiento de capacidad hídrica y capacidad eléctrica instalada.

2.3.2 Curva de Costos de Operación (OPEX)

Los costos de operación (OPEX) del sistema integrado de abastecimiento hídrico dependen fundamentalmente del caudal de diseño Q y elevación H ; y en menor medida de la longitud de la línea de abastecimiento L . En el caso de las líneas de conducción y la infraestructura de almacenamiento los costos de operación son poco significativos.

Las características descritas indican que existen potenciales reducciones relevantes en los costos de operación en un sistema integrado respecto de sistemas separados. La componente principal del OPEX es el consumo de energía eléctrica requerida para la elevación y conducción del agua. El ahorro de energía de un sistema integrado proviene de la menor energía requerida por unidad de caudal, producto de la mayor eficiencia de la conducción (menores pérdidas de energía por unidad de caudal).

Un segundo elemento que genera reducción de OPEX es la incorporación de volumen de almacenamiento en un sistema integrado. Por una parte, el volumen de almacenamiento permite mayor proporción de uso de energías de generación variable como las fuentes eólicas y solares. El volumen de almacenamiento permite acumular la generación excedente y suplir en caso de déficit.

En caso de un sistema integrado de abastecimiento hídrico conectado a la red eléctrica, el volumen de almacenamiento integrado igualmente genera beneficios a la operación. En particular, permite una mejor gestión frente a la variabilidad operacional de la demanda, permitiendo una operación más estable del bombeo en su punto de funcionamiento óptimo. Esto, desde el punto de vista de la seguridad del sistema, es esencial.

3 Anexo

Energy		
Financials		Source
Lifespan	30	National Renewable Energy Laboratory. "Annual Technology Baseline." NREL ATB. Accessed July 24, 2024.
Real WACC	7%	Assumption based on National Renewable Energy Laboratory. "Annual Technology Baseline." NREL ATB. Accessed July 24, 2024.
CRF	7.7%	National Renewable Energy Laboratory. "Annual Technology Baseline." NREL ATB. Accessed July 24, 2024.
Lifespan	30	National Renewable Energy Laboratory. "Annual Technology Baseline." NREL ATB. Accessed July 24, 2024.
Real WACC	5%	National Renewable Energy Laboratory. "Annual Technology Baseline." NREL ATB. Accessed July 24, 2024.
CRF	6.1%	National Renewable Energy Laboratory. "Annual Technology Baseline." NREL ATB. Accessed July 24, 2024.

	CAPEX MUSD/MW	OPEX (% of CAPEX)	Source
Developed Economies			
Wind	1.2	2%	Assumption based on National Renewable Energy Laboratory. "Annual Technology Baseline." NREL ATB. Accessed July 24, 2024.
Solar	1	2%	Assumption based on National Renewable Energy Laboratory. "Annual Technology Baseline." NREL ATB. Accessed July 24, 2024.
Developing Economies			
Wind	1.80	2%	National Renewable Energy Laboratory. "Annual Technology Baseline." NREL ATB. Accessed July 24, 2024.
Solar	1.60	2%	National Renewable Energy Laboratory. "Annual Technology Baseline." NREL ATB. Accessed July 24, 2024.

Location	Solar CF	Wind CF	Latitud	Longitud
Costa Rica, La Cruz	20.4%	29.7%	110.053	-856.699
Uruguay	22.2%	31.0%	(34.2)	(54.4)
Chile Magallanes	13.2%	60.0%	(52.5)	-699.853
Chile Antofagasta	33.6%	15.0%	(22.4)	-696.332
California, LA	26.7%	21.2%	34.8	(118.0)
Germany	16.4%	30.2%	538.484	121.965
Japan	16.3%	25.3%	37.671	1.407.335
Spain	20.6%	33.5%	362.902	-59.055
Egypt	28.8%	50.8%	280.481	331.496
Australia	21.7%	41.9%	-251.592	1.141.908
Source	Wind: Renewables Ninja. (2019). Data set: MERRA 2 Global, Vestas model 100m height Solar: Renewables Ninja. (2019). Data set: MERRA 2 Global Note: Locations were selected considering top countries for renewables and proximity to the sea.			

BESS			
Batt CAPEX	200	USD/kWh	Assumption based on National Renewable Energy Laboratory. "Annual Technology Baseline."
OPEX	3%	% of CAPEX	Assumption based on National Renewable Energy Laboratory. "Annual Technology Baseline."
Life span	4000	cycles	Assumption based on National Renewable Energy Laboratory. "Annual Technology Baseline."

Hydrogen			
H2 Plant	1	MUSD/MW	Assumption based on "Electrolysis Primer: An Old Technology Adapts for New Uses"
Electrolyzer Eff	0.050	MWh/kg	Assumption based on "Electrolysis Primer: An Old Technology Adapts for New Uses - Full Report" from BloombergNEF
Opex - H2 (%-year)	3%		Includes O&M and Stack replacement costs. Based on BloombergNEF. (2024). Electrolyzer Price Survey 2024: Rising Costs, Glitchy Tech - Full Report.
EPC/total	30%		Assumption based on "Electrolysis Primer: An Old Technology Adapts for New Uses - Full Report" from BloombergNEF



Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Registered offices
Bonn and Eschborn, Germany

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

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

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

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