

La industria de hidrógeno verde en Antofagasta: Oportunidades y desafíos para el desarrollo regional

The green hydrogen industry in Antofagasta: Opportunities and challenges for regional development

Sören Scholvin¹ 

RESUMEN

La industria de hidrógeno verde está marcada por una dinámica sin precedentes, lo que implica oportunidades para unos países del Sur global, incluyendo Chile. Considerando los bajos costos de la energía fotovoltaica, la región de Antofagasta podría convertirse en un nodo de la nueva industria. El artículo analiza si la futura producción de hidrógeno verde es una oportunidad para el desarrollo regional. Empleando el marco conceptual de "linkages", se estudian los encadenamientos productivos, los vínculos entre distintos sectores, las dinámicas del consumo local y los efectos fiscales. Con base en 19 entrevistas semi-estructuradas e información de fuentes secundarias, el autor explica que si bien existen oportunidades, también hay barreras para el desarrollo regional. Aunque la industria de hidrógeno verde en Antofagasta puede beneficiarse de vínculos horizontales con la minería, los encadenamientos productivos no son ciertos. Es dudoso que tenga un impacto significativo en la creación de empleo a largo plazo. Los ingresos adicionales por impuestos se van a compartir con las otras regiones del país. El autor destaca que el procesamiento de hidrógeno, tanto como la integración de proveedores de servicios a las nuevas cadenas productivas, son clave para que haya resultados positivos a nivel de la región.

Palabras clave: Antofagasta; desarrollo regional; hidrógeno verde; industria extractiva; linkage

SUMMARY

The green hydrogen industry enjoys unprecedented momentum, which implies opportunities for some countries in the Global South, including Chile. Given the low costs of solar energy, the region of Antofagasta could become a node of the new industry. The article analyses whether the future production of green hydrogen is an opportunity for regional development. The conceptual framework of 'linkages' is applied, taking forward and backward production linkages, ties between different sectors, dynamics of local consumption and fiscal effects into consideration. Against the backdrop of 19 semi-structured interviews and information from secondary sources, the author explains that there are prospects, but regional development also faces barriers. Whereas the green hydrogen industry in Antofagasta will benefit from horizontal linkages with the mining sector, backward and forward linkages are not guaranteed. It is doubtful that many jobs will be created in the long run. Additional tax income will be shared with the other regions of the country. The author stresses that processing of hydrogen and the integration of service providers into the new value chains are decisive for achieving positive results at the regional level.

Keywords: Antofagasta; extractive industry; green hydrogen; linkage; regional development

¹ Institución: Universidad Católica del Norte; Correo electrónico: soren.scholvin@ucn.cl

Introducción

El hidrógeno verde generará una contribución esencial a la descarbonización de la economía global, como explica la Agencia Internacional de la Energía (2022). Es un insumo clave para la industria química y puede sustituir a las energías fósiles en sectores que han sido, hasta ahora, difíciles de descarbonizar, especialmente la producción de acero y cemento. Hay ideas de usar el hidrógeno verde como combustible en la aeronáutica y navegación, el transporte de carga pesada y a larga distancia, así como en sistemas de calefacción de edificios. Sin embargo, estas aplicaciones son aún hipotéticas.

La cadena productiva del hidrógeno verde empieza con la generación de energía eólica o solar. Esta energía se utiliza para la desalación de agua y, luego, para separar las moléculas del agua en hidrógeno y oxígeno mediante un proceso llamado electrólisis. Dado que el 70 por ciento de los costos de la producción de hidrógeno verde resultan de la electrólisis, la disponibilidad de energía barata es decisiva. El hidrógeno se puede usar directamente en aplicaciones industriales, si estas se llevan a cabo en el mismo lugar. Para transportarlo desde los futuros lugares de producción hacia los probables centros de consumo en Asia oriental y Europa, conviene la conversión en amoníaco o metanol.

Esta nueva industria está marcada por una dinámica sin precedentes, lo que implica oportunidades para países en el Sur global que se benefician de condiciones naturales particularmente atractivas para la generación de energía eólica y fotovoltaica. Esos países, incluyendo Chile, tienen el potencial para convertirse en exportadores de hidrógeno verde y sus derivados, lo que podría contribuir a su industrialización (Banco Mundial, 2020; Lema & Rabellotti, 2023). En Chile, las regiones de Antofagasta, en el extremo norte, y Magallanes, en el extremo sur, podrían convertirse en ubicaciones clave para la industria de hidrógeno verde.

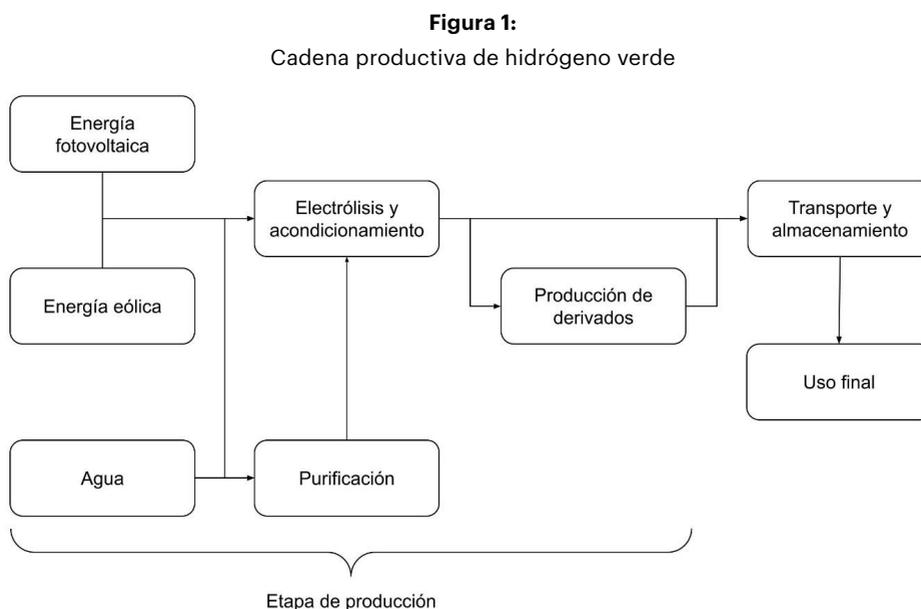
No obstante, aún no es claro cuáles serán los efectos de esta industria sobre el desarrollo regional. A menudo, la posibilidad de participar en nuevas cadenas productivas genera altas expectativas en los países en vías de desarrollo – expectativas que con frecuencia no se cumplen. ¿Los territorios periféricos con buenas condiciones para la producción de hidrógeno verde van a exportar únicamente la materia prima? Esto podría resultar en un desarrollo de enclave y una alta vulnerabilidad ante choques externos. ¿O se van a especializar, con empresas locales formando parte de las cadenas productivas del sector no solo como proveedores genéricos, sino también con tareas más complejas y de mayor valor agregado?

Este artículo se centra en el caso de Antofagasta y busca responder a estas cuestiones, considerando también otros efectos de la industria de hidrógeno verde sobre la economía regional. De esta manera, se evalúan las perspectivas de un nuevo sector que, según el discurso público, tiene el potencial de transformar un territorio periférico enfocado en la exportación de materia prima en una región industrializada con mayor participación en actividades de alta captura de valor. El análisis está basado en un marco conceptual desarrollado por Morris et al. (2012), cuyo mensaje es que la integración a las cadenas productivas globales siempre crea oportunidades y algunos efectos positivos para los territorios ricos en recursos naturales debido a cuatro tipos de “linkages” —o vínculos, en castellano— que se presentarán más adelante.

A continuación, primero, se explica el marco conceptual, enfocando no solo los linkages, sino también dos tipos ideales de regiones integradas a las cadenas productivas de industrias extractivas. Seguido, se resume la metodología y, en tercer lugar, se presenta el caso empírico. Finalmente, se discuten los efectos de la industria de hidrógeno verde sobre Antofagasta.

Marco conceptual: las cadenas productivas y el desarrollo regional

La literatura sobre el desarrollo con base en linkages distingue cuatro tipos de efectos de la integración a las cadenas productivas globales (Morris et al., 2012; véase también: *Resources Policy*, vol. 37, n° 4). Primero, hay encadenamientos productivos —“production linkages”, en inglés— que se distinguen en dos: hacia adelante y hacia atrás. En el caso del hidrógeno verde, los encadenamientos hacia atrás son la generación de electricidad por parques eólicos y fotovoltaicos, así como el suministro de agua por desaladoras. Los encadenamientos hacia adelante son la producción de derivados como amoníaco y metanol. De estos vínculos directos resultan varios enlaces indirectos, incluyendo la fabricación de insumos industriales para las plantas y la conversión de amoníaco y metanol en otros productos como combustibles, explosivos y fertilizantes.² La Figura 1 presenta esta cadena productiva:



Fuente: Elaboración propia.

² Un estudio de la GIZ (2020) presenta una lista comprehensiva de todos los insumos industriales, con los estándares internacionales correspondientes, que se necesitan en la industria de hidrógeno verde.

Observación: El acondicionamiento es el procesamiento de hidrógeno después de la electrólisis. Consiste en un cambio físico o químico para almacenar, transportar o usarlo.

Segundo, los vínculos horizontales o “horizontal linkages” reflejan las habilidades adquiridas por empresas locales en el sector A que les permiten expandirse hacia el sector B — lo que se conoce como upgrading de una cadena productiva a otra en la terminología introducida por Humphrey y Schmitz (2002). Por ejemplo, la industria química está relativamente cerca de la producción de hidrógeno verde, sugiriendo que hay oportunidades para la diversificación empresarial correspondiente. Bidaurratzaga Aurre y Colom Jaén (2019) añaden que los vínculos horizontales incluyen, además, externalidades positivas. Las carreteras y los puertos construidos para la industria de hidrógeno verde pueden ser usados por compañías de rubros distintos, mejorando la competitividad general de la región bajo investigación.

Tercero, la integración a nuevas cadenas productivas suele tener efectos sobre el consumo local. Estos “consumption linkages” son consecuencia de la demanda general de productos y servicios, más aparentemente a través del aumento del poder adquisitivo. Son particularmente importantes en las industrias extractivas y los sectores relacionados a ellas, ya que se caracterizan por salarios por encima del promedio de regiones periféricas como Antofagasta. En otras palabras, si una nueva industria como la de hidrógeno verde crea empleo bien remunerado, se espera un aumento del gasto local en actividades de ocio, comida, ropa, entre otros. Es probable que las personas que trabajan en la nueva industria también gasten más en alojamiento, incluyendo la compra y construcción de viviendas. Todos estos gastos tienen un impacto positivo sobre la economía regional.

Cuarto, los impuestos sobre la renta empresarial y privada son la base de vínculos fiscales o “fiscal linkages”. La incorporación a cadenas productivas globales implica ingresos públicos adicionales que pueden utilizarse para facilitar el desarrollo de otros sectores y/o mejorar el bienestar de la población a través del gasto público social. Estos asuntos se encuentran en el centro del debate actual sobre el royalty minero y la descentralización del sector público chileno, como se explicará más adelante.

Los encadenamientos son particularmente importantes porque pueden impulsar la transformación estructural de una economía regional. En este caso, las empresas locales pasan de la provisión de productos y servicios genéricos a tareas más complejas y de mayor valor agregado. Surgen clusters dedicados a cadenas productivas específicas, lo que a veces permite la internacionalización de proveedores locales. Kaplinsky y Morris (2001), así como Morris y Farooki (2019), sugieren que este resultado es probable debido a la tendencia de las corporaciones transnacionales en subcontratar proveedores cercanos a la implementación de los proyectos. Por lo tanto, Kaplinsky y Morris (2016) enfatizan que desarrollarse en las cadenas productivas de industrias extractivas significa atraer actividades adicionales a la extracción.

Los encadenamientos van más allá del suministro de insumos industriales y procesamiento de materia prima. Fernández y Atienza (2011) asocian la transformación de un campamento minero en una ciudad minera con la concentración de servicios prestados a empresas de este sector. Kaplan (2012) explica cómo se ha desarrollado un cluster de equipamiento y servicios especializados en Sudáfrica con base en la minería local. En un estudio sobre la industria petrolera en

Noruega, Solheim y Tveterås (2017) subrayan las dinámicas en cuanto a insumos con un alto componente de conocimiento, tanto como servicios corporativos. Scholvin (2019, 2021) explica que las oportunidades y limitaciones para Argentina y Namibia de beneficiarse de la extracción de petróleo y gas dependen de la conversión de proveedores locales de servicios genéricos en proveedores de servicios especializados.

No es cierto que la integración de una región periférica a las cadenas productivas globales genere los cuatro tipos de linkages de manera significativa y, por ende, tenga un impacto positivo en su desarrollo. La investigación sobre la minería en Antofagasta demuestra que el potencial de crear encadenamientos es muy bajo, ya que los inversionistas de afuera escasamente se conectan con la economía de la región (Arias et al., 2014; Atienza et al., 2021). Los proveedores subcontratados enfrentan dificultades para mejorar sus habilidades, luchando para evitar la quiebra (Atienza et al., 2016). No solo las actividades mineras, sino también nuevos sectores, como la astronomía, han generado enlaces no locales, reforzando de esta manera la captura del valor fuera de Antofagasta (Morales & Atienza, 2022).

En una publicación reciente, Nilsen et al. (2023) distinguen cuatro tipos de territorios periféricos según sus perspectivas económicas y resiliencia a choques externos. Dos son relevantes para el análisis presente: territorios especializados y territorios vulnerables. Como se resume en la Tabla 1, ambos se caracterizan por abundantes recursos naturales. La participación en cadenas productivas queda limitada a las etapas iniciales, lo que significa que la economía regional se centra en la extracción de recursos o, en el caso del hidrógeno verde, en la generación de materia prima. Estos territorios quedan atrapados en redes controladas por corporaciones transnacionales. Sufren del capital humano inflexible y gastos hundidos en infraestructura industrial. Todos los problemas recién mencionados son más pronunciados en los territorios vulnerables.

Tabla 1:
Territorios especializados y territorios vulnerables

	Territorios vulnerables	Territorios especializados
Base de la economía	Extracción de materia prima	Extracción de materia prima
Infraestructura	Gastos hundidos en el sector extractivo	Gastos hundidos en el sector extractivo
Capital humano	Inflexible	Inflexible
Mercado laboral	Polarizado (profesionales calificados de afuera)	Mix de habilidades
Participación en cadenas productivas	Etapas iniciales	Etapas iniciales
Rol de empresas locales	Tareas de bajo valor agregado (productos y servicios genéricos)	Tareas de mayor valor agregado (productos y servicios más complejos)
Mercado para empresas locales	Solo local	Local y no local (“campeones ocultos”)
Concentración de poder	Corporaciones transnacionales externas	Corporaciones transnacionales externas
Dependencia de actores externos	Dependencia de empresas líderes externas	Redes locales diversificadas complementan lazos con clientes y socios externos

Fuente: Elaboración propia con base en Nilsen et al. (2023).

En los territorios vulnerables, el mercado laboral está fuertemente polarizado: por un lado, profesionales altamente calificados de afuera y mano de obra local poco calificada, por el otro. Las empresas locales dependen en gran medida de compañías líderes externas y, lo que es aún más problemático, su trabajo se limita a tareas de bajo valor agregado (véase también: MacKinnon, 2011). Unos pocos proveedores atienden las necesidades locales en términos de productos y servicios genéricos. No llegan a otros mercados. Los territorios especializados, al contrario, avanzan hacia tareas de mayor complejidad y mayor valor agregado. El mercado laboral se caracteriza por un mix de habilidades, en lugar de una polarización. Compañías locales se convierten en “campeones ocultos”, profundamente arraigados en redes locales diversificadas y beneficiándose de fuertes lazos con clientes y socios no locales.

En otras palabras, para ser exitosas, las regiones periféricas que se integran a las cadenas productivas de industrias extractivas deben transformarse de territorios vulnerables en territorios especializados. El marco conceptual de linkages sirve para estudiar esta transformación, pero va más allá de ella, abordando, además, los efectos sobre el consumo local y los vínculos fiscales. Antes de analizar si hay perspectivas de una transformación de Antofagasta en un territorio especializado, los próximos apartados presentan la metodología y contextualizan el caso bajo investigación.

Metodología

La industria de hidrógeno verde, tanto en Antofagasta como en el resto del mundo, se encuentra en una etapa muy inicial. Todavía no existen plantas de producción a gran escala, pero sí hay proyectos piloto y planes muy ambiciosos — a veces basados en expectativas poco realistas. Sin embargo, es dudoso que todos los planes se concreten porque los 20 proyectos más grandes a nivel global ya indican una producción excedente (Investing in Green Hydrogen, 2023). Además, hay una escasez de personal calificado e insumos industriales, especialmente electrolizadores (Ansari et al., 2022; Odenweller et al., 2022). Los detalles técnicos del suministro de electricidad y transporte en barco quedan por resolver (Safety4Sea, 2022). Para muchas aplicaciones, como, por ejemplo, la calefacción de viviendas, hay soluciones sostenibles más competitivas (Recharge, 2021).

El estado actual de la industria tiene implicaciones para la investigación empírica de efectos sobre el desarrollo regional. No se pueden medir con datos y métodos cuantitativos. Escenarios y proyecciones serían altamente especulativos. Por este motivo, se realizaron 19 entrevistas semi-estructuradas con actores clave (para detalles, véase: Tabla 2), con el objetivo de entender mejor las perspectivas basadas en linkages para Antofagasta. Todos los entrevistados compartieron sus opiniones personales. No hablaron en nombre de ninguna empresa u organización.

En marzo de 2023, el autor participó en la primera reunión del comité regional de hidrógeno verde de Antofagasta, donde se discutieron las debilidades y fortalezas de la región para desarrollar la nueva industria. Durante este evento y con el apoyo de una funcionaria del gobierno regional, el autor estableció contacto con distintos actores que luego fueron entrevistados. Estos actores reflejan la diversidad de participación en la industria de hidrógeno verde. Incluyen funcionarios de ministerios y otras organizaciones públicas a nivel municipal, nacional y regional. Estas personas aportaron una perspectiva amplia sobre el tema. Se realizaron también entrevistas con

asociaciones industriales, emprendimientos y empresas medianas que esperan participar en la nueva industria. El autor habló, además, con personas de las compañías líderes. Estas entrevistas enfocaron las dinámicas en el mercado laboral, los encadenamientos productivos y los vínculos horizontales.

Dada la diversidad de los entrevistados, se obtuvieron todas las perspectivas importantes para responder a las preguntas guías del artículo. Aunque cada entrevista generó nuevas informaciones, se notó cierta saturación en las últimas entrevistas, tanto con los empresarios como con los funcionarios públicos. Para la recopilación de datos cualitativos a través de entrevistas semi-estructuradas, la repetición de información sugiere que no es necesario entrevistar a más actores.

La mayoría de las entrevistas fueron grabadas. En algunos casos, solo se tomaron notas para no incomodar a los entrevistados. Luego, las grabaciones y notas se convirtieron en protocolos de síntesis con una categorización deductiva por los cuatro tipos de linkages. Las observaciones basadas en las entrevistas se triangularon, en la medida de lo posible, con otras fuentes de información: artículos en diarios locales y nacionales, informes de consultorías y organizaciones como la Corporación de Fomento de la Producción (Corfo) y la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ, por el acrónimo en alemán), la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde (Ministerio de Energía, 2020), así como literatura científica sobre temas relacionados a las preguntas guías.

Tabla 2:
 Lista de entrevistados

N°	Descripción	Fecha
1	Ejecutivos de CICITEM	16/3/23
2	Funcionario de la gobernación marítima	29/3/23
3	Ejecutivo de una asociación nacional de hidrógeno verde	29/3/23
4	Director ejecutivo de una empresa mediana de energía solar	29/3/23
5	Socio gerente de un emprendimiento que enfoca la tecnología vinculada al hidrógeno verde	31/3/23
6	Ejecutivo de una empresa grande de energía solar	31/3/23
7	Directora ejecutiva de una empresa mediana de energía solar	3/4/23
8	Funcionario retirado de la GIZ	4/4/23
9	Ejecutiva de una compañía de ingeniería para energías renovables	4/4/23
10	Funcionario de un municipio en la región de Antofagasta	4/4/23
11	Funcionarias de Corfo	4/4/23
12	Ejecutivos de un consorcio internacional	5/4/23
13	Ejecutivo de una empresa internacional de química	5/4/23
14	Gerente general de una asociación de industriales de Mejillones	18/4/23
15	Funcionaria del comité nacional de hidrógeno verde	3/5/23
16	Funcionario de InvestChile	25/5/23
17	Funcionaria de la Secretaría Regional Ministerial de Energía	29/5/23
18	Ejecutivo de una empresa internacional de explosivos	30/5/23
19	Funcionario del Ministerio de Economía	2/6/23

Fuente: Elaboración propia.

Contexto del caso: la industria de hidrógeno verde en Chile

La Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, preparada durante el gobierno centro-derecha de Sebastián Piñera y publicada por el Ministerio de Energía (2020), establece un marco para el desarrollo del sector. Incluye objetivos claros y plazos para la expansión de la producción. Se basa en un informe más extenso realizado por la consultoría McKinsey (2020). Ambos documentos destacan las condiciones naturales favorables de Chile como ventaja competitiva: la alta insolación en el norte y los fuertes vientos en el sur.

Aprovechando los bajos costos de las energías renovables, Chile pretende convertirse en el productor de hidrógeno verde más económico del mundo para el año 2030. Además, esta industria se ve reforzada por las políticas nacionales de mitigación del cambio climático, es decir la descarbonización de la economía chilena. Esto incluye, entre otras medidas, el uso de hidrógeno verde como fuente de energía para la minería (El Mercurio de Antofagasta, 2023a). En 2023, el gobierno actual de Gabriel Boric inició un proceso participativo para desarrollar un Plan de Acción que ahora complementa y concreta la Estrategia Nacional. El Plan presenta una lista impresionante de 81 acciones a tomar en los próximos años. Identifica los actores responsables para cada acción y especifica el tiempo de implementación, sirviendo así como hoja de ruta (Ministerio de Energía, 2024).

Como se resume en la Tabla 3, la Estrategia Nacional propone una expansión significativa de la industria de hidrógeno verde, tanto para satisfacer la demanda doméstica como para la exportación. Se espera que las exportaciones hacia Europa, Corea del Sur y Japón comiencen a principios de la próxima década. Antes de eso, se prevé sustituir en el mercado nacional el hidrógeno producido a partir de fuentes fósiles. En lugar de importar amoníaco convencional, se va a producir amoníaco verde en Chile (véase también: CDT & In-Data, 2019). Hacia finales de esta década, el transporte terrestre podría empezar a consumir hidrógeno verde. Para el transporte aéreo y marítimo, se esperan oportunidades a principios y mediados de la década de 2030, aunque, como se señaló anteriormente, no todas las aplicaciones técnicamente posibles son competitivas.

Tabla 3:

Expansión proyectada de la producción de hidrógeno verde en Chile

	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Demanda nacional (en USD)	1 mil millones	2 mil millones	5 mil millones	7 mil millones	8 mil millones	9 mil millones
Exportaciones (en USD)	-	3 mil millones	11 mil millones	16 mil millones	19 mil millones	24 mil millones
Generación de electricidad (en gigavatios)	5 a 8	40	145	200	250	300

Fuente: Elaboración propia con base en Ministerio de Energía (2020).

Un estudio de consultoría para Corfo propone cuatro áreas de acción para dinamizar la industria de hidrógeno verde. Primero, se destaca la importancia de establecer un marco institucional

que permita la articulación de nuevos proyectos y la difusión de información sobre los mercados potenciales. Segundo, se enfatiza la necesidad de desarrollar proyectos piloto, así como un marco regulatorio adecuado que incluya impuestos sobre la emisión de dióxido de carbono. Tercero, es importante preparar el capital humano a través de las universidades y nuevos centros técnicos. Por último, se reconoce que la creación de condiciones habilitantes depende de diversas fuentes de financiamiento y mecanismos de incentivos (CDT & In-Data, 2019).

De hecho, en 2023, el gobierno presentó un fondo de USD 1 mil millones para el desarrollo de la industria de hidrógeno verde. El objetivo es catalizar inversiones privadas en proyectos de demanda y producción, disminuyendo costos y mitigando riesgos. Cuenta con aportes del Banco Interamericano de Desarrollo, Banco Mundial, Banco de Desarrollo de Alemania y la Unión Europea. La iniciativa busca apalancar inversiones por USD 12,5 mil millones (Diario Financiero, 2023).

Los proyectos que se están discutiendo son diversos. El proyecto Highly Innovative Fuels en Magallanes se enfoca en la producción de combustibles verdes para la venta a Europa. En Valparaíso, se está considerando un proyecto para reemplazar el hidrógeno producido con energías fósiles en una refinería de petróleo. Una iniciativa en la región de Biobío se vincula a la producción de acero. En Antofagasta, hay 22 proyectos catastrados que están, en su mayoría, en las etapas de prefactibilidad y factibilidad. Juntos, llegan a una capacidad de electrólisis de 10 gigavatios (El Mercurio de Antofagasta, 2023b).

El proyecto más importante se llama Antofagasta Mining Energy Renewable (AMER). Es impulsado por Air Liquide, Copec, EDF Renewables, el productor de metanol Proman, así como la empresa de energía eólica y solar Sowitec. AMER tiene como objetivo abastecer a la minería de la región con combustibles verdes. Otro proyecto a gran escala es HyEx, en el que cooperan la empresa de energía Engie y el productor de explosivos Enaex para producir nitrato de amonio, insumo clave de la producción de explosivos para el sector minero.

A nivel subregional, tres comunas son potenciales hubs de hidrógeno verde: Mejillones, ubicada aproximadamente 50 kilómetros al norte de la ciudad de Antofagasta, Taltal en el sur de la región y Tocopilla en el norte. Teniendo en cuenta los avances de los proyectos, las capacidades locales (capital humano y proveedores de servicios), la demanda doméstica, la infraestructura existente (gasoductos, líneas de ferrocarril, puertos, redes de electricidad, etc.), las oportunidades de escalamiento y sinergias, se observa que Mejillones parece ser la ubicación más competitiva, seguida por Tocopilla (LBST, 2022).

Análisis empírico: hidrógeno verde y linkages en Antofagasta

En este apartado, se analizan los cuatro vínculos que van a resultar de la integración de Antofagasta a las cadenas productivas de la industria de hidrógeno verde. El apartado empieza con los vínculos horizontales que aparentemente sirven como base de la industria. A continuación, se investigan los encadenamientos productivos, las dinámicas del consumo local y los efectos fiscales.

Vínculos horizontales

El vínculo horizontal clave de la industria de hidrógeno verde en Antofagasta es con la minería. En primer lugar, el sector minero es importante como futuro consumidor de hidrógeno y sus derivados, contribuyendo al atractivo de la región para las inversiones en la producción correspondiente (entrevista 18). Las empresas mineras más importantes, Anglo American, Antofagasta Minerals, BHP Billiton y Codelco, han señalado gran interés en el hidrógeno verde (Diario Financiero, 2021, 2022a; La Tercera, 2021a, b). Con la producción en la región, se puede descarbonizar la minería de cobre, garantizando su competitividad a nivel global (entrevista 14), especialmente si los Estados Unidos y la Unión Europea introducen aranceles al cobre extraído y procesado con energías fósiles.

Mientras que la compra de hidrógeno verde forma parte de los encadenamientos productivos que se analizarán en el próximo subapartado, Antofagasta cuenta con una infraestructura adecuada para sostener una industria a gran escala debido al sector minero. Como se destacó en la primera reunión del comité regional, hay varios puertos especializados en el transporte minero, los cuales podrían adaptarse para embarcar amoníaco y metanol. Estos puertos, al igual que las carreteras y líneas de ferrocarril que los conectan con el interior de la región, ya se usan para la importación de componentes de parques fotovoltaicos. La red eléctrica regional es de alta capacidad y tiene el potencial de satisfacer las necesidades de la industria de hidrógeno verde, al menos para los primeros proyectos.

Al respecto, un entrevistado que dirige un proyecto grande y relativamente avanzado concordó. Señaló que la infraestructura, especialmente para el transporte de amoníaco, es una ventaja competitiva de la región (entrevista 18). Los entrevistados de un consorcio internacional explicaron que tomaron la decisión de enfocarse en Antofagasta —en lugar de la región de Magallanes— debido a la infraestructura habilitante (entrevista 12).

Mientras que en la literatura resumida anteriormente, los vínculos horizontales se presentan como oportunidades de diversificar de las cadenas productivas bajo investigación hacia otras, el caso estudiado en este artículo es diferente. Las empresas locales que van a proveer servicios a la industria de hidrógeno verde se beneficiarán de su experiencia en el sector minero. Como ya cumplen con los altos estándares de este sector, tienen el potencial de jugar un rol en la producción de hidrógeno verde y sus derivados. En otras palabras, existe una base industrial a nivel regional —por ejemplo, el conocimiento para el montaje de piezas metalmecánicas. La integración a las cadenas productivas mineras explica por qué las empresas antofagastinas pueden hacer una contribución a una industria emergente (entrevista 1, 3, 7, 8, 11, 16; véase también: LBST, 2022).

La experiencia de la región en proyectos fotovoltaicos constituye otro vínculo horizontal e implica competitividad por la misma razón (entrevista 7). Muchas compañías locales que proveen servicios a la minería ya ofrecen servicios casi idénticos a los operadores de parques fotovoltaicos (entrevista 10). La existencia de industrias similares también sugiere que se podrá contar con personal técnico en la región para la construcción y el mantenimiento de las plantas de la nueva industria (entrevista 18), aunque existen desafíos, como se explicará a continuación.

Los altos salarios que caracterizan a Antofagasta debido a la minería podrían convertirse en una barrera para la contratación de proveedores locales. En la experiencia de un funcionario

retirado de la GIZ, los operadores de parques fotovoltaicos a menudo contratan a proveedores extranjeros para la mantención porque ofrecen el mismo servicio a costos menores que las empresas locales (entrevista 8).

Otro desafío es que “los proveedores [antofagastinos] ven la industria [...] como muy lejano. Hay mucho desconocimiento [sobre cómo funciona]” (entrevista 7). Este problema también se destacó en la primera reunión del comité regional. En otras palabras, las empresas locales aún no muestran mucho interés en el sector o, tal vez más correcto, están a la espera de una mayor certidumbre. Falta un mapeo de sus ventajas competitivas y los nichos correspondientes en las cadenas productivas. Al respecto, dos entrevistadas de Corfo argumentaron que “hoy solo es teoría y nadie quiere [...] arriesgarse [...] para comprar, por ejemplo, una micro que sea piloto de hidrógeno verde”. Para superar a esta barrera, Corfo presta créditos a corporaciones grandes, esperando que demuestren la viabilidad de ciertas aplicaciones de hidrógeno verde, a fin de brindar mayor confianza a las empresas locales en cuanto a las perspectivas del sector (entrevista 11; véase también: Diario Financiero, 2022b).

Además, Corfo y otras organizaciones ofrecen apoyo directo para las empresas locales. El Centro de Investigación Científico y Tecnológico de la Región de Antofagasta (CICITEM) lleva a cabo un proyecto de capacitación con 107 proveedores locales que tienen experiencia en la minería. Este proyecto no se limita a cuestiones legales y técnicas, sino que sirve también para poner los proveedores locales en contacto con los inversionistas que ya tienen proyectos de hidrógeno verde en Antofagasta y especialmente con las compañías que desarrollan la tecnología para estos proyectos. Según entrevistados de CICITEM, en el escenario ideal, las empresas locales van a implementar al menos partes de los proyectos, conociendo las nuevas tecnologías. Con base en un tal aumento de sus habilidades, luego podrán exportar sus servicios (entrevista 1).

Encadenamientos productivos

Como se puede concluir del segundo apartado del presente artículo, el objetivo para la política de desarrollo regional es crear condiciones adecuadas para que las compañías locales se integren a las cadenas productivas globales. Una entrevistada e integrante del comité nacional de hidrógeno verde preguntó de manera retórica “¿qué es lo que queremos como país? ¿Queremos una gran planta y luego el hidrógeno se exporta [...], generando muy poco empleo local y dejando todos los impactos ambientales acá? ¿O queremos una industria con encadenamiento productivo que genere empleo de calidad, conocimiento y se vaya creando una masa crítica [de empresas chilenas que participen en la industria]?” (entrevista 15).

La entrevistada mencionó el acero verde y el cobre verde como potenciales encadenamientos hacia adelante. Recientemente, la principal siderúrgica chilena, CAP, anunció que va a desarrollar una planta piloto de hidrógeno verde (BNamericas, 2023a). Más allá de la producción de combustibles derivados de hidrógeno verde, que se utilizarían principalmente para descarbonizar la minería, hay que desarrollar nuevos tipos de camiones para ese sector. Considerando la alta demanda en Chile, los productores podrían invertir en la fabricación en el país (entrevista 1, 19), en el caso ideal en Antofagasta, donde se necesitarán estos nuevos camiones.

El hidrógeno verde está vinculado, además, a la industria química. En Antofagasta, debido a la actividad minera, existe un mercado importante de explosivos (entrevista 1). Tres entrevistados

sugirieron que se podría desarrollar un polo químico en Mejillones o Tocopilla (entrevista 4, 14, 17), ambas ciudades portuarias. Para Tocopilla — la ubicación de las plantas termoeléctricas que, hace más de cien años, generan electricidad para la minería en el interior de la región — el hidrógeno verde es clave para una transición energética justa (El Mercurio de Antofagasta, 2023a; Reporte Sostenible, 2022b). Mejillones ya ha firmado un acuerdo de cooperación con el puerto de Rotterdam, Países Bajos, reflejando el enfoque de este socio europeo en la importación de hidrógeno verde y sus derivados (Reporte Sostenible, 2022a).

Lo interesante de estos encadenamientos hacia adelante es que indican que Antofagasta puede superar a un problema característico de los territorios ricos en materia prima. Mientras que ambas regiones ideales descritas por Nilsen et al. (2023) se limitan a las primeras etapas de las cadenas productivas, es decir la extracción de recursos naturales, la industria de hidrógeno verde en Antofagasta probablemente incluirá varios pasos de procesamiento.

Los encadenamientos hacia atrás presentan oportunidades menos claras, con la excepción de las desaladoras que, por razones técnicas, se ubicarán cerca de las plantas de hidrógeno verde. Considerando la alta demanda de electrolizadores a nivel global y los largos tiempos de entrega en Chile, la entrevistada del comité nacional subrayó que la fabricación doméstica es una opción. Según ella, importantes productores están dispuestos a invertir en el país bajo la condición de que exista una demanda mínima. Lo mismo aplica a la fabricación de torres eólicas (entrevista 15). Más allá de la contribución a la producción industrial en Chile, inversiones de este tipo mejorarían las condiciones de la industria de hidrógeno verde, superando cuellos de botellas. En ambos casos, se podría pensar también en el ensamblaje en Chile porque tanto los electrolizadores, como las torres eólicas, son voluminosos (BNamericas, 2023b). Esto generaría otros encadenamientos, especialmente con los proveedores de insumos metalmecánicos.

Sin embargo, un funcionario de una asociación nacional que representa las empresas más grandes con intereses en la producción de hidrógeno verde enfatizó que ya existen productores establecidos de electrolizadores en el extranjero. La producción de los componentes de parques eólicos y fotovoltaicos es muy barata en China. Por ende, el entrevistado no vio buenas oportunidades de producir estos insumos en Chile (entrevista 3). La ejecutiva de una empresa chilena de energía solar compartió esta opinión, haciendo hincapié en la falta de ventajas de escala en el país (entrevista 7).

Viendo los obstáculos de los encadenamientos hacia atrás, los entrevistados de CICITEM subrayaron la relevancia de los servicios de mantención e insumos relativamente simples, argumentando que “siempre [...] hay ese miedo: Se va a instalar acá [la industria de hidrógeno verde], pero, ¿quién va a hacer la mantención? ¿Quién va a proveer no los equipos grandes, pero sí de piezas pequeñas?” (entrevista 1).

Desde la perspectiva de un entrevistado de InvestChile, los inversionistas extranjeros tienen que vincularse con compañías chilenas o proveedores extranjeros con presencia en Antofagasta por necesidades prácticas. Con el crecimiento de la industria, se puede esperar la capacitación de estos proveedores — tanto para la construcción, como para la operación y el mantenimiento de todas las instalaciones. En las palabras del entrevistado, “[los inversionistas] quieren ser lo más eficientes [...] y para eso reconocen que una empresa local tiene mucho que aportar”. Por ende, el

apoyo prestado por el Estado y organizaciones como InvestChile se centran en la vinculación de los inversionistas extranjeros, es decir corporaciones transnacionales, con socios locales, incluyendo empresas chilenas y firmas extranjeras con presencia en el país (entrevista 16).

Siendo realista, al menos en una primera etapa, el rol de las empresas antofagastinas se va a limitar a la provisión de insumos y servicios genéricos. Eso implica un bajo valor agregado y es característico de los territorios ricos en materia prima que no consiguen especializarse, como se destacó anteriormente. Las entrevistadas de Corfo explicaron que las empresas locales no tienen la tecnología necesaria para desempeñar otros roles (entrevista 11). Otra entrevistada añadió que “en Antofagasta, para proyectos grandes, tenemos una tremenda brecha de proveedores [especializados]” (entrevista 7). Por ejemplo, la construcción de una planta de hidrógeno verde es una tarea compleja y nueva que queda lejos de las habilidades de las empresas locales (entrevista 11, 18).

Lo que hay en Antofagasta son proveedores de servicios conexos que se caracterizan por una dedicación no exclusiva al hidrógeno verde: almacenamiento y transporte, servicios eléctricos, así como suministro de cemento y equipos industriales de carácter genérico como compresores. Consultoras locales a menudo llevan a cabo los estudios de impacto ambiental (entrevista 3, 4, 6, 9, 12, 18). Insumos relativamente simples — tanques que cumplen con los estándares de la nueva industria, por ejemplo — se podrían fabricar en la región (entrevista 5).

Otros servicios que “no están en el core del negocio” se consiguen en Antofagasta, como el suministro de alimentación y servicios de lavandería (entrevista 6). Los servicios más complejos, en particular la consultoría e ingeniería para las plantas, se contratarán a nivel internacional o en Santiago. Lo mismo aplica a los insumos industriales con una cierta especialización, que probablemente se obtendrán de proveedores internacionales con presencia en Antofagasta (entrevista 4, 9, 18).

Varios entrevistados señalaron que se contratarán empresas locales para servicios de mantenimiento, beneficiándose de capacitaciones por los operadores (entrevista 8, 13, 18). No obstante, parece que, a principios, compañías de Santiago desempeñarán este rol porque están certificadas (entrevista 6). La capacitación de proveedores locales es un proceso que va a tomar tiempo (entrevista 5, 13). Un funcionario del Ministerio de Economía añadió que no es cierto que los servicios muy genéricos sean prestados por empresas locales: “Hay [servicios] más tradicionales, para decirlo así, que tienen que ver con un menor componente tecnológico [...]: alojamiento, transporte, comida, los servicios de salud [...] ¿De que estos proveedores vayan a ser nacionales? No hay duda. ¿Pero de que vayan a ser [cien por ciento] locales? Eso no me parece tan evidente”, ya que todos los insumos podrían ser traídos desde Santiago (entrevista 19).

Hay también diferencias considerables entre la ciudad de Antofagasta, por un lado, y las comunas periféricas como Taltal y Tocopilla, por el otro. En estas últimas, el perfil de las empresas está claramente limitado a los servicios como alimentación y aseo (entrevista 10), implicando que la capacitación de proveedores locales para tareas más complejas probablemente va a contribuir al sesgo entre la capital y la periferia de la región.

Lo que preocupa es que un entrevistado se quejó, diciendo que “los precios de estos proveedores tendrían que ser atractivos y pasa que [...] no son atractivos y, por otra parte, también

[hace] falta la capacidad de integración de tecnología [por las empresas locales]”. Durante la primera reunión del comité regional, se destacó esta debilidad de Antofagasta en cuanto a la investigación y el desarrollo tecnológico vinculado al hidrógeno verde. En este contexto, no hay que descuidar el hecho de que los inversionistas tienen redes armadas en el extranjero. Las empresas proveedoras de confianza a menudo están allá (entrevista 5).

Dinámicas del consumo local

Como se señaló, no todo el capital humano para la producción de hidrógeno verde está disponible en Antofagasta. Es evidente que muchos de los trabajadores que serán contratados para el montaje de los parques eólicos y fotovoltaicos, así como para la construcción de plantas de amoníaco, hidrógeno y metanol verde, no tienen un perfil especializado. Sin embargo, para la operación de estas instalaciones se requieren perfiles altamente especializados, lo que implica la búsqueda a nivel internacional (entrevista 7, 12).

Lamentablemente, todavía no hay un mapeo de las necesidades en cuanto al capital humano en Antofagasta. No se sabe con certeza cuáles son las brechas correspondientes, como revelaron las discusiones durante la primera reunión del comité regional. Lo positivo, desde la perspectiva de la política de desarrollo regional, es que faltan varios años hasta que la industria se instale a gran escala. Esto brinda tiempo suficiente para capacitar la mano de obra, garantizando una oferta suficiente (entrevista 1). Un funcionario público subrayó que, con este trasfondo, es importante que los liceos técnicos y las universidades ofrezcan cursos que todavía no existen (entrevista 10).

El gran obstáculo en cuanto a los efectos de la industria de hidrógeno verde sobre la economía regional por el consumo privado es que es intensiva en capital, pero requiere muy poca mano de obra cuando las plantas y la infraestructura asociada estén construidas (entrevista 7, 8, 10, 13, 18, 19). Según un estudio realizado por la GIZ (2021), se estima que la industria generará alrededor de 36.000 puestos de trabajo en el país hasta 2030, 104.000 hasta 2040 y 325.000 hasta 2050. No obstante, solo un 10 por ciento van a ser en la operación y el mantenimiento, mientras que la construcción va a absorber un 40 por ciento. Es importante tener precaución al interpretar estas proyecciones, ya que presuponen una expansión considerable de la producción de hidrógeno verde, pero queda claro que los puestos de trabajo permanentes van a ser pocos en comparación a los temporales.³

Las entrevistas llevadas a cabo por el presente artículo soportan esta conclusión. Las funcionarias de Corfo presumieron que una planta de hidrógeno verde construida por 500 personas requerirá solamente 50 para la operación (entrevista 11). En un proyecto concreto con una capacidad de electrólisis de 0,25 gigavatios, se prevé que durante la operación serán necesarios 50 empleados, mientras que se requerirán 1.200 para la construcción (entrevista 12). La construcción de un parque fotovoltaico con una planta de hidrógeno asociada en las afueras de Mejillones va a tener un peak de empleo con 1.200 empleados entre los 18 a 24 meses de la construcción, pero este número se reducirá a 80 o 60 para la fase de operación (entrevista 6).

³ La GIZ incluyó en el estudio el empleo indirecto, con una contribución aún más alta que la construcción. Ciertos trabajos en la categoría de servicios serán temporales y probablemente se van a concentrar en Santiago.

Aparentemente, la infraestructura para el hidrógeno verde tampoco generará mucho empleo. En los terminales en Mejillones que se podrían usar para embarcar amoníaco verde, no trabajan más que 15 personas por terminal (entrevista 2). Tal vez aún más problemático, como el perfil del empleado para la construcción no se adapta al perfil del empleado para la operación y el mantenimiento, existe el riesgo de altas tasas de desocupación una vez termine el boom de la construcción (entrevista 11).

Aunque aún no se cuenta con información precisa, entrevistados de una empresa química y del Ministerio de Economía especularon sobre un impacto significativo en la generación de empleo por la producción de amoníaco y metanol (entrevista 13, 19). El gerente general de una asociación de industriales de Mejillones y una funcionaria de la Secretaría Regional Ministerial de Energía coincidieron en que, más allá de los efectos en términos de contratación de mano de obra durante la etapa de construcción, se espera que las plantas de derivados tengan un impacto mayor sobre el mercado laboral en la región. Añadieron que la industria de hidrógeno verde podría contribuir a la creación de nuevos puestos de trabajo en la minería debido a su efecto positivo sobre la competitividad de este sector (entrevista 14, 17). Parece también probable que los servicios genéricos desempeñen un papel relevante, especialmente en comunas con poca población (entrevista 19).

Además de la incerteza con respecto al impacto en el mercado laboral por la cantidad de empleo, no todas las tareas necesarias para la producción de hidrógeno verde tienen que ejecutarse en Antofagasta. Como se explicó, la ingeniería de las plantas se concentrará en Santiago o fuera del país. Lo mismo aplica a la gerencia de las empresas y tareas no vinculadas directamente a la operación (entrevista 4, 6, 9, 13, 18). Usando las palabras de un socio de un emprendimiento, “[en Santiago] se hacen todas las actividades [estratégicas] porque está el gobierno, están las corporaciones [y] hay que tener acceso a este grupo de actores” (entrevista 5).

En relación al empleo generado en Antofagasta, es importante considerar el fenómeno de la conmutación. El entrevistado de la GIZ enfatizó que Antofagasta tiene problemas generales para atraer y retener profesionales calificados (entrevista 8; véase también: Scholvin, 2024). Rodrigo y Atienza (2014) descubrieron a través de encuestas con egresados universitarios que la región sufre de una muy mala reputación como lugar para vivir. A principios de este siglo, Antofagasta generó la mitad de la conmutación a larga distancia en Chile, lo que correspondía a un poco más del 10 por ciento de la fuerza laboral regional (Aroca & Atienza, 2008). Esta cifra aumentó al 20 por ciento durante la década pasada, llegando a un total de 60.500 personas que trabajaban en Antofagasta y vivían fuera de la región antes de la pandemia de Covid-19 (Atienza et al., 2020).

Las plantas de hidrógeno verde, así como las de los derivados, van a operar sin interrupción. Por lo tanto, debería haber un régimen de turno (entrevista 1, 3, 4, 6). Obviamente, esto va a facilitar la conmutación entre Antofagasta y ciudades más atractivas para vivir, disminuyendo los efectos de la industria de hidrógeno verde sobre el consumo local, ya que el consumo privado tiende a concentrarse donde la gente vive, no donde trabaja.⁴ Además, la conmutación es pro-

⁴ Conviene tener cuidado con lo que supuestamente se pierde por la conmutación laboral. Los autores de las publicaciones recién mencionadas a menudo asumen que las personas que viven fuera de Antofagasta no gastan nada en la región. Sin embargo, es obvio que necesitan alojamiento y comida durante los turnos. Incluso si las empresas se encargan de estos costos, hay efectos sobre la economía de la región.

bablemente el caso más extremo de la polarización del mercado laboral en los territorios dependientes de industrias extractivas porque los profesionales calificados no pasan su tiempo libre en dichos territorios.

Otro problema de esta polarización es la disparidad en el poder adquisitivo. Los entrevistados de CICITEM observaron que “[las] grandes inversiones [en las industrias extractivas en Antofagasta] han generado importantes puestos de trabajo, muy bien remunerados, [...] en general con personas que no viven en la región [...]. Pero resulta que la economía de la región se ve afectada en tanto el kilo de tomates empieza a tener otro precio, el kilo de pan, los arriendos, los valores de las casas. Se empieza a presentar una dinámica especulativa [...] que afecta a todos [los] que no trabajan en estas industrias” (entrevista 1).

Efectos fiscales

El sistema tributario en Chile refleja la alta centralización del país. La recaudación de impuestos es una tarea nacional. Los impuestos pueden fijarse por ley de iniciativa exclusiva del presidente. El congreso es el órgano co-legislador, encargado de discutir y modificar el contenido de cada proyecto tributario. Las regiones reciben financiamiento proveniente del presupuesto nacional. Los municipios recaudan los impuestos territoriales a través de la tesorería nacional, es decir los tributos sobre la ocupación de bienes inmuebles que dependen de la ubicación y el tipo de propiedad. Los municipios tienen acceso a otros ingresos, como los permisos de circulación y las patentes comerciales, pero no tienen plena autonomía en la determinación de los montos.

Como consecuencia de la marcada concentración del patrimonio en Chile, solo unas pocas comunas logran financiarse a través de sus ingresos propios, por lo que el fondo común municipal es un importante mecanismo de redistribución. En pocas palabras, los municipios más ricos, principalmente ubicados en la región metropolitana de Santiago, son contribuyentes netos, mientras que el resto de los municipios dependen, en gran medida, del fondo. La distribución de estos recursos toma en consideración las tasas locales de pobreza. El municipio de Antofagasta es un contribuyente neto (con pagos muy menores en comparación con Las Condes, Santiago, Providencia y Vitacura). Las otras comunas de la región son receptores netos (Asesoría Técnica Parlamentaria, 2020).

Considerando la conmutación laboral y los pocos puestos de trabajo a largo plazo, la industria de hidrógeno verde no va a generar impuestos privados considerables en Antofagasta. Con respecto a los vínculos fiscales por los tributos corporativos, este sistema implica que no se sabe si van a ser relevantes a nivel regional. Como la recaudación y subsecuente distribución de los impuestos están centralizadas, ninguna región (o comuna) con inversiones en industrias extractivas se puede beneficiar directamente de los tributos pagados por las corporaciones grandes. Los impuestos resultantes de la producción de hidrógeno verde en Antofagasta se distribuirán en todo el país, reflejando las prioridades del gobierno nacional y la división de estos recursos entre todas las regiones y comunas chilenas.

Es importante mencionar el royalty minero que se introdujo el año pasado para la minería de cobre y litio. Establece un mecanismo de distribución de USD 450 millones cada año a nivel subnacional que se divide en tres fondos, accesibles especialmente para las regiones mineras. Prime-

ro, hay un fondo para la productividad y el desarrollo, destinado al financiamiento de inversiones que tengan por objeto el fomento de las actividades productivas y el desarrollo regional, así como la promoción de la investigación. Segundo, un fondo de comunas mineras sirve para compensar las externalidades negativas en los territorios con actividad minera. Tercero, un fondo de apoyo para la equidad territorial busca avanzar en el cierre de brechas de ingreso de carácter territorial, por lo que prioriza a las comunas con poca capacidad para generar ingresos propios (Gobierno de Chile, 2023). En cuanto al hidrógeno verde, no existe ningún proyecto similar.

Lo que será relevante para la industria del hidrógeno verde es un impuesto recientemente introducido de 1 por ciento sobre los bienes de capital de cada proyecto de inversión que supere los 10 millones de dólares. Solo el monto por encima de este umbral está sujeto a impuestos. Un tercio de los ingresos resultantes va a un fondo nacional del cual todas las regiones pueden beneficiarse, independientemente del lugar de los proyectos de inversión. Dos tercios están disponibles para las regiones que acogen los proyectos y hasta la mitad de este dinero se distribuye a las comunidades donde se ubican los proyectos (Asesoría Técnica Parlamentaria, 2023). Dada la magnitud de las futuras inversiones en la producción de hidrógeno verde, este nuevo impuesto tendrá un impacto significativo, en particular en los municipios donde se desarrollarán los proyectos, como Mejillones y Tocopilla.

Conclusiones

El artículo analizó las perspectivas del desarrollo en Antofagasta con base en la industria de hidrógeno verde, aplicando el concepto de linkages. En cuanto a los vínculos horizontales, hay que destacar que la nueva industria se va a beneficiar de la minería. Debido a las grandes empresas mineras, existen varias infraestructuras que pueden ser empleadas para la producción y el transporte de hidrógeno verde. Los proveedores locales con experiencia en la minería tienen el potencial de expandirse hacia el nuevo sector, aunque aún persiste incertidumbre respecto a los varios proyectos en discusión.

Los encadenamientos hacia adelante se van a concentrar en la industria química, con la posibilidad de establecer polos en la región. La producción de cobre verde es también relevante para Antofagasta. A nivel nacional, se suma el acero verde. En cuanto a los encadenamientos hacia atrás, se incluye la fabricación de insumos industriales, especialmente electrolizadores, así como varios servicios. No obstante, existen ciertas dudas con respecto a la fabricación de insumos industriales porque se podrían importar. Los proveedores antofagastinos se enfocarán, al menos en un principio, en tareas genéricas, mientras que los servicios especializados y de alto valor agregado se van a contratar fuera del país o en Santiago.

Los efectos sobre el consumo local son inciertos, ya que la nueva industria va a generar mucho empleo temporal durante la construcción, pero muy poco para la operación y el mantenimiento. A eso se suma el problema de la conmutación laboral. Los efectos fiscales probablemente van a ser poco relevantes debido a la centralización de la recaudación de impuestos a nivel nacional. Como el royalty minero no aplica al hidrógeno verde, los tributos generados por el sector se dividirán entre todas las comunas y regiones del país, independientemente de si tienen producción de hidró-

geno o no. La única excepción es el nuevo impuesto sobre grandes proyectos de inversión. Parece probable que especialmente los municipios con producción de hidrógeno verde se beneficiarán.

En cuanto a los tipos ideales de territorios periféricos con abundantes recursos naturales descritos por Nilsen et al. (2023), estas conclusiones implican que antes de pensar en la transformación de una región vulnerable en una región especializada, Antofagasta tiene que lograr su incorporación a las cadenas productivas de hidrógeno verde. Limitarse a servicios genéricos de bajo valor agregado sería un problema, pero puede ser que no haya casi ninguna participación de empresas antofagastinas. Es aún más difícil que surjan campeones ocultos y redes locales diversificadas. No se sabe si la industria de hidrógeno verde, incluyendo la producción de derivados, tendrá un impacto fuerte en términos de empleo. Un mercado laboral polarizado tendría consecuencias indeseables. De hecho, ya existe por la minería.

Mientras que el presente artículo trató del desarrollo regional, asumiendo que una serie de proyectos se implementarán, es importante señalar que la implementación de los proyectos en Antofagasta no es cierto. Chile compite con otros países que también se benefician de condiciones naturales favorables para las energías renovables. Para ser exitoso, se requiere de “una coordinación del sector público gigantesca” y lo mismo aplica a la colaboración entre compañías privadas (entrevista 16; véase también: CDT & In-Data, 2019). A nivel de la región, ayudaría tener “un equipo [disponible las] veinticuatro [horas por los] siete [días de la semana]”, dado que “lo más complejo es la coordinación de [los actores antofagastinos y de afuera] y que estén informados sobre [...] temas políticos, de infraestructura técnica, de importación [y] exportación [tanto como el] consumo” (entrevista 1).

La necesidad de un marco institucional adecuado se evidencia en el hecho de que todavía no queda claro dónde exactamente están los terrenos disponibles para la instalación de plantas de hidrógeno verde y parques fotovoltaicos. Existe una falta del ordenamiento territorial correspondiente (entrevista 8, 10, 19). A nivel nacional, la tramitación de permisos lleva demasiado tiempo y, en comparación con otros países, se requieren muchos permisos en Chile. Estas demoras ponen el desarrollo de la industria en riesgo (entrevista 19). Por lo tanto, estudios de seguimiento tendrían que analizar el marco institucional y regulatorio, proponiendo mejoras.

Otro aspecto clave es que no hay compromisos de comprar hidrógeno verde a gran escala. Sin estos compromisos, ninguna inversión más allá de plantas piloto se hará (entrevista 2, 7, 9, 11, 15, 16). Un entrevistado señaló que “es un misterio que va a pasar con el mercado” (entrevista 18). En otras palabras, conviene tener cuidado con el optimismo que marca los debates públicos sobre el hidrógeno verde. Independientemente de potenciales efectos sobre el desarrollo regional, no sabemos si la industria se implementará en Antofagasta.

Referencias bibliográficas

AGENCIA INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA. Global hydrogen review 2022. 2022, disponible en Internet: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/c5bc75b1-9e4d-460d-9056-6e8e626a11c4/GlobalHydrogenReview2022.pdf>

ANSARI, D., GRINSCHGL, J., & PEPE, J. M. Electrolysers for the hydrogen revolution. 2022, disponible en Internet: https://www.swp-berlin.org/publications/products/comments/2022C57_Electrolysers_HydrogenRevolution.pdf

ARIAS, M., ATIENZA, M., & CADEMARTORI, J. Large mining enterprises and regional development in Chile: between the enclave and cluster. *Journal of Economic Geography*, 2014, Vol. 14, N° 1, p. 73-95. <https://doi.org/10.1093/jeg/lbt007>

AROCA, P. & ATIENZA, M. La conmutación regional en Chile y su impacto en la región de Antofagasta. *Eure*, 2008, N° 102, p. 97-120. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612008000200006>

ASESORÍA TÉCNICA PARLAMENTARIA. Fondo común municipal (FCM): composición y criterios de distribución. 2020, disponible en Internet: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/28638/1/BCN_FCM_ingresos_y_distribucion_GD_def.pdf

ASESORÍA TÉCNICA PARLAMENTARIA. Régimen tributario del hidrógeno verde en Chile. 2023, disponible en Internet: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/35369/2/Regimen_tributario_del_Hidrogeno_verde_en_Chile_ed_rr_hct_2_EDPA.pdf

ATIENZA, M., AROCA, P., STIMSON, R., & STOUGH, R. Are vertical linkages promoting the creation of a mining cluster in Chile?: an analysis of the SMEs' practices along the supply chain. *Environment and Planning C*, 2016, Vol. 34, N° 1, p. 171-187. <https://doi.org/10.1177/0263774X15614708>

ATIENZA, M., ARIAS LOYOLA, M., & LUFIN, M. Building a case for regional local content policy: the hollowing out of mining regions in Chile. *Extractive Industries and Society*, 2020, Vol. 7, N° 2, p. 292-301. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2019.11.006>

ATIENZA, M., LUFIN, M., & SOTO, J. Mining linkages in the Chilean copper supply network and regional economic development. *Resources Policy*, 2021, N° 70, 101154. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.02.013>

BANCO MUNDIAL. Green hydrogen in developing countries. 2020, disponible en Internet: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/953571597951239276/pdf/Green-Hydrogen-in-Developing-Countries.pdf>

BIDAURRATZAGA AURRE, E. & COLOM JAÉN, A. Mozambique's mega-project based economic model: still struggling with uneven development?. En: SCHOLVIN, S., BLACK, A., REVILLA DIEZ, J., & TUROK, I. (coord.), *Value chains in sub-Saharan Africa: challenges of integration into the global economy*. 2019, p. 95-113. Springer.

BNAMERICAS. Chilena CAP apuesta por el hidrógeno verde para producir acero carbononeutral. 2023a, disponible en Internet: <https://www.bnamericas.com/es/noticias/chilena-cap-apuesta-por-el-hidrogeno-verde-para-producir-acero-carbononeutral>

BNAMERICAS. Plan de producción de electrolizadores en Chile podría traer doble beneficio. 2023b, disponible en Internet: <https://www.bnamericas.com/es/noticias/plan-de-produccion-de-electrolizadores-en-chile-podria-traer-doble-beneficio>

CDT & IN-DATA. Construcción de una estrategia para el desarrollo del mercado de hidrógeno verde en Chile a través de acuerdos público-privados. 2019, disponible en Internet: <http://www.in-data.cl/wp-content/uploads/2019/08/HidrogenoVerde.pdf>

DIARIO FINANCIERO. Minera del Grupo Luksic se convierte en la primera del país en ingresar a la Asociación Chilena de Hidrógeno. 2021, disponible en Internet: <https://www.df.cl/empresas/mineria/minera-del-grupo-luksic-se-convierte-en-la-primera-del-pais-en-ingresar>

DIARIO FINANCIERO. Engie obtiene aprobación ambiental para piloto industrial de hidrógeno verde en Antofagasta. 2022a, disponible en Internet: <https://www.df.cl/engie-obtiene-aprobacion-ambiental-para-piloto-industrial-de-hidrogeno>

DIARIO FINANCIERO. Corfo firma acuerdos para cofinanciar los primeros proyectos industriales de hidrógeno verde en Chile. 2022b, disponible en Internet: <https://www.df.cl/empresas/energia/corfo-firma-acuerdos-para-cofinanciar-los-primeros-proyectos>

DIARIO FINANCIERO. Gobierno anuncia fondo de US\$ 1.000 millones para impulsar hidrógeno verde. 2023, disponible en Internet: <https://www.df.cl/df-lab/innovacion-y-startups/gobierno-anuncia-fondo-de-us-1-000-millones-para-impulsar-hidrogeno-verde>

EL MERCURIO DE ANTOFAGASTA. Electrocorredor, terrenos para vivienda y desarrollo de hidrógeno verde entre los principales anuncios para la región. 2023a, disponible en Internet: <https://www.mercurioantofagasta.cl/imprensa/2023/06/02/full/cuerpo-principal/4>

EL MERCURIO DE ANTOFAGASTA. "Tenemos catastrados 22 proyectos de hidrógeno verde con una capacidad de electrólisis de 10 GW". 2023b, disponible en Internet: <https://www.mercurioantofagasta.cl/imprensa/2023/06/02/full/cuerpo-principal/8>

FERNÁNDEZ, I. & ATIENZA, M. Increasing returns, comparative advantage, and history: the formation of the mining city of Antofagasta. *Urban Geography*, 2011, Vol. 32, N° 5, p. 641-661. <https://doi.org/10.2747/0272-3638.32.5.641>

GIZ. Hidrógeno: cadenas de valor y legislación internacional. 2020, disponible en Internet: <https://4echile.cl/wp-content/uploads/2022/01/Cadena-de-valor-H2-y-regulacion-internacional.pdf>

GIZ. Cuantificación del encadenamiento laboral para el desarrollo del hidrógeno en Chile bajo un escenario de exportación. 2021, disponible en Internet: <https://4echile.cl/wp-content/uploads/2021/09/Estudio-empleos-H2-verde-con-exportacion.pdf>

GOBIERNO DE CHILE. Royalty minero es ley: conozca los ingresos que recibirán las regiones con el proyecto aprobado en el congreso. 2023, disponible en Internet: <https://www.gob.cl/noticias/conozca-los-ingresos-que-recibira-cada-region-con-el-royalty-minero-aprobado-en-el-congreso>

HUMPHREY, J. & SCHMITZ, H. How does insertion in global value chains affect upgrading in industrial clusters?. *Regional Studies*, 2002, Vol. 36, N° 9, p. 1017-1027. <https://doi.org/10.1080/0034340022000022198>

INVESTING IN GREEN HYDROGEN. The world's 20 largest green hydrogen projects. 2023, disponible en Internet: <https://www.investinginhydrogen.com/whitepaper-2023-20-largest-gh2-projects>

KAPLAN, D. South African mining equipment and specialist services: technological capacity, export performance and policy. *Resources Policy*, 2012, Vol. 37, N° 4, p. 425-433. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2012.06.001>

KAPLINSKY, R. & MORRIS, M. A handbook for value chain research. 2001, disponible en Internet: <https://www.ids.ac.uk/ids/global/pdfs/VchNov01.pdf>

KAPLINSKY, R. & MORRIS, M. Thinning and thickening: productive sector policies in the era of global value chains. *European Journal of Development Research*, 2016, Vol., 28, N° 4, p. 625-645. <https://doi.org/10.1057/ejdr.2015.29>

LA TERCERA. Minera de los Luksic mira desarrollo de hidrógeno verde para reducción de emisiones. 2021a, disponible en Internet: <https://www.latercera.com/pulso/noticia/minera-de-los-luksic-mira-desarrollo-de-hidrogeno-verde-para-reduccion-de-emisiones/4L5YYGWJ2FBFFH-V74RIAHPVH7Y>

LA TERCERA. Las grandes mineras que operan en Chile comienzan a tomar en serio al hidrógeno verde. 2021b, disponible en Internet: <https://www.latercera.com/pulso/noticia/las-grandes-mineras-que-operan-en-chile-comienzan-a-tomar-en-serio-al-hidrogeno-verde/SEQ6T5GG3VEEPEGL-CW5HZKVSQ>

LBST. Development pathways for "hydrogen hubs" in Chile. 2022, disponible en Internet: https://energia.gob.cl/sites/default/files/final_report_v1-1_2022-04-14.pdf

LEMA, R. & RABELLOTTI, R. Green windows of opportunity in the Global South. 2023, disponible en Internet: https://unctad.org/system/files/non-official-document/tir2023_background2_en.pdf

MACKINNON, D. Beyond strategic coupling: reassessing the firm—region nexus in global production networks. *Journal of Economic Geography*, 2011, Vol. 12, N° 1, p. 227-245. <https://doi.org/10.1093/jeg/lbr009>

MCKINSEY. Chilean hydrogen pathway: final report. 2020, disponible en Internet: https://energia.gob.cl/sites/default/files/estudio_base_para_la_elaboracion_de_la_estrategia_nacional_para_el_desarrollo_de_hidrogeno_verde_en_chile.pdf

MINISTERIO DE ENERGÍA. Estrategia nacional de hidrógeno verde: Chile, fuente energética para un planeta cero emisiones. 2020, disponible en Internet: https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_nacional_de_hidrogeno_verde_-_chile.pdf

MINISTERIO DE ENERGÍA. Plan de acción: hidrógeno verde 2022-2023. 2024, disponible en Internet: https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/plan_de_accion_hidrogeno_verde_2023-2030.pdf

MORALES, H. & ATIENZA, M. New path capture: insights from the diversification process in mining regions. *Extractive Industries and Society*, 2022, N° 11, 101091. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101091>

MORRIS, M. & FAROOKI, M. Understanding commodities, linkages, and industrial development in Africa: developing a conceptual framework. En: HUURDEMAN, A. & ROZHKOVA, A. (coord.), *Balancing petroleum policy: toward value, sustainability, and security*. 2019, p. 183-197. World Bank.

MORRIS, M., KAPLINSKY, R., & KAPLAN, D. One thing leads to another: promoting industrialisation by making the most of the commodity boom in sub-Saharan Africa. 2012, Lulu.

NILSEN, T., GRILLITSCH, M., & HAUGE, A. Varieties of periphery and local agency in regional development. *Regional Studies*, 2023, Vol. 53, N° 4, p. 749-762. <https://doi.org/10.1080/00343404.2022.2106364>

ODENWELLER, A., UECKERDT, F., NEMET, G. F., JENSTERLE, M., & LUDERER, G. Probabilistic feasibility space of scaling up green hydrogen supply. *Nature Energy*, 2022, Vol. 7, N° 9, p. 854-865. <https://doi.org/10.1038/s41560-022-01097-4>

RECHARGE. Liebreich: 'oil sector is lobbying for inefficient hydrogen cars because it wants to delay electrification'. 2021, disponible en Internet: <https://www.rechargenews.com/energy-transition/liebreich-oil-sector-is-lobbying-for-inefficient-hydrogen-cars-because-it-wants-to-delay-electrification-/2-1-1033226>

REPORTE SOSTENIBLE. Mejillones atrae a la industria del hidrógeno verde para realizar embarques a través de su puerto. 2022a, disponible en Internet: <https://reportesostenible.cl/blog/mejillones-atrae-a-la-industria-del-hidrgeno-verde-para-realizar-embarques-a-travs-de-su-puerto>

REPORTE SOSTENIBLE. Presidente Boric en Engie Tocopilla: "hoy cierra la última unidad de la central termoeléctrica Tocopilla, pero además se abre un futuro para esta ciudad puerto". 2022b, disponible en Internet: <https://reportesostenible.cl/blog/presidente-boric-en-engie-tocopilla-hoy-cierra-la-ultima-unidad-de-la-central-termoelectrica-tocopilla-pero-ademas-se-abre-un-futuro-para-esta-ciudad-puerto>

RODRIGO, L. M. & ATIENZA, M. Migración y representaciones regionales: discursos sobre la región de Antofagasta. *Eure*, 2014, N° 120, p. 159-181.

SAFETY4SEA. Key challenges and opportunities of hydrogen in shipping's decarbonization transition. 2022, disponible en Internet: <https://safety4sea.com/what-are-the-challenges-and-opportunities-of-hydrogen-in-shippings-decarbonization-transition>

SCHOLVIN, S. Vaca Muerta: perspectivas del desarrollo industrial en las redes globales de producción. *Boletín Geográfico*, 2019, Vol. 41, N° 2, p. 81-96. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612014000200008>

SCHOLVIN, S. Prospects and pitfalls of Namibia's oil and gas sector. *Resources Policy*, 2021, N° 70, 101925. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101925>

SCHOLVIN, S. Place branding in resource peripheries: attracting the knowledge elite to Antofagasta, Chile. *Urban Geography*, 2024, disponible en Internet: <https://doi.org/10.1080/02723638.2024.2333216>

SOLHEIM, M. C. & TVETERÅS, R. Benefitting from co-location?: evidence from the upstream oil and gas industry. *Extractive Industries and Society*, 2017, Vol. 4, N° 4, p. 904-914. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2017.09.001>

Conflicto de interés

El autor declara que no tiene conflicto de interés.

