

HIDRÓGENO VERDE: LOS DESAFÍOS DE UN PROYECTO “EN VERDE”

- A nivel mundial, el uso del hidrógeno verde como combustible ha ido acaparando creciente importancia en la lucha contra el cambio climático. Hay estudios que posicionan a nuestro país como un potencial productor con enormes ventajas comparativas en este mercado, capaz de transformarse en uno de los principales productores y exportadores a nivel mundial. En este contexto, el Ministerio de Energía está impulsando una Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde para desarrollar este mercado a gran escala en los próximos años.
- Sin perjuicio de las enormes ventajas que objetivamente traería a nuestro país el desarrollo de este mercado, también se observan importantes desafíos en distintos elementos del proceso que pueden dificultar, o incluso, anular estas ventajas.
- Frente a estos desafíos, aun cuando ya no existe plena neutralidad tecnológica frente al uso de fuentes alternativas de energía, dadas las políticas energéticas para mitigar los efectos del cambio climático, lo que sí se ha mantenido en Chile -y conviene mantener- es la neutralidad frente a las diversas fuentes que contribuyen de igual forma a lograr los objetivos buscados, permitiendo que compitan en igualdad de condiciones, respetando sus ventajas comparativas reales de largo plazo y no aquellas generadas por distorsiones de una política pública en particular.

El hidrógeno es el elemento más abundante de la naturaleza y recientemente ha ido acaparando la atención a nivel mundial por su rol potencial en la lucha contra el cambio climático debido a su capacidad para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en los sectores de la economía que son más difíciles de mitigar, dado que su combustión produce vapor de agua y no CO₂. Su importancia radica en que se estima que al 2050 el HV podría satisfacer en torno al 20% de la demanda mundial por energía.

En Chile, el Ministerio de Energía está liderando la elaboración de una estrategia de desarrollo de un mercado de hidrógeno verde (HV) como una nueva fuente energética y producto de exportación en la cual tendríamos marcadas ventajas comparativas. El ministro Jobet convocó a un Consejo Asesor¹ para elaborar la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde. Esta estrategia tiene cuatro ejes:

¹ Conformado por: Ricardo Lagos, Vivianne Blanlot, Marcelo Mena, Gonzalo Muñoz, Klaus Schmidt-Hebbel y Jeannette Von Wolfersdorff.

- i) desarrollar regulación para su uso y producción;
- ii) analizar planes y políticas del combustible a nivel internacional, particularmente de los países líderes en HV: Alemania, Austria, Australia, Estados Unidos (California), Japón y el Reino Unido;
- iii) elaborar un plan de acción;
- iv) identificar proyectos que estén desarrollando privados para analizar opciones de cofinanciamiento.

Esta estrategia está bien orientada en la medida que avance en reducir barreras discriminatorias al máximo posible, permitiendo una verdadera “neutralidad” en que todas las formas de generación de energía igualmente beneficiosas puedan competir en igualdad de condiciones.

DESAFÍOS EN EL DESARROLLO DE ESTE MERCADO²

El hidrógeno es el elemento más abundante de la naturaleza: en cada molécula de agua hay dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Puede obtenerse de diversas maneras, algunas más eficientes que otras, siendo actualmente las tecnologías más eficientes, y más usadas en base a hidrocarburos (hidrógeno gris). Sin embargo, una condición importante para que el hidrógeno se ajuste a un modelo de energía limpia es que el ciclo completo de su elaboración sea libre de emisiones de carbono (hidrógeno verde).

Este gas actualmente se usa a nivel mundial como insumo en la industria petroquímica y en refinerías de petróleo, pero está empezando a ser usado en forma directa en el transporte de carga para la minería e industria, transporte de pasajeros de larga distancia, automóviles, buques y a futuro en aviones, así como mezclado en pequeñas proporciones con gas natural en redes de distribución de este energético. En forma indirecta se puede usar el hidrógeno a través de la producción “verde” de amoníaco, metanol u otros combustibles sintéticos que podrían reemplazar en forma creciente combustibles fósiles en instalaciones industriales que requieren calor y también en vehículos de transporte.

A nivel global, el hidrógeno es principalmente producido a través de procesos químicos que emiten CO₂ (hidrógeno “gris”), pero la baja de costos de la electricidad está permitiendo producir en forma cada vez más económica el hidrógeno “verde”

² Para mayor detalle de esta sección ver Jiménez, Fredy (2020). Evaluación Técnica y Económica del uso de Hidrógeno Verde en Aplicaciones para la Industria y Desplazamiento de Combustible Fósil. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Eléctrico. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Chile.

(HV) a través del proceso de electrólisis, el cual separa la molécula de agua en sus componentes de oxígeno e hidrógeno, sin emisión de CO₂.

El interés que muestra el Ministerio de Energía por el desarrollo del HV se fundamenta en los resultados de algunos estudios³ que muestran que Chile podría presentar ventajas competitivas relevantes en la producción de este combustible en el mediano plazo, e incluso convertirse un uno de los principales exportadores a nivel mundial. Sin perjuicio de nuestras potenciales ventajas, también se vislumbran varios desafíos, los cuales serán fundamentales para alcanzar las metas propuestas por el Ministerio. Entre los principales desafíos están:

Producción: Entre 50% y 80% del costo del hidrógeno verde corresponde al suministro eléctrico. Es justamente en este punto donde Chile podría presentar enormes ventajas comparativas al presentar un bajo costo de producción con ERNC⁴: en el norte, por el campo ilimitado de irradiación solar y en Magallanes, por los vientos fuertes y constantes.

El costo actual de producción de HV en nuestro país se ubica entre US\$5 y US\$ 6 el kilo, sin embargo, para ser competitivos a nivel mundial, este costo debe ubicarse entre US\$ 1 y UD\$ 1,5. Para alcanzar estos niveles se requieren muy bajos costos de generación de electricidad y baja en los costos de las plantas de electrólisis, así como una logística de transporte muy eficiente. Sin una reducción importante de este costo, difícilmente podremos competir con los combustibles fósiles.

Desalación: para la producción de HV se requiere de agua dulce. Por tanto, en caso de utilizar agua salada, especialmente considerando la escasez hídrica que enfrentamos, será necesario desalarla, aumentando los costos.

Regulatorio: Chile actualmente no cuenta con regulación del hidrógeno como combustible. Por tanto, el diseño adecuado de una regulación para su producción, almacenamiento y transporte es fundamental, de forma que permita la producción del HV, así como de sus derivados. Ésta debe reducir la incertidumbre en el mercado, entregando señales claras y transparentes, y minimizar la burocracia para el desarrollo de nuevos proyectos.

Estrategia de política: las políticas globales (que Chile comparte) para mitigar los efectos del cambio climático están buscando reducir el uso de combustibles

³ Mckinsey (2020). Chilean Hydrogen Pathway. Final Report. Diciembre.

⁴ El potencial de energía renovable con que cuenta Chile es 70 veces la capacidad de generación eléctrica que tenemos hoy.

fósiles, y los gobiernos o los propios consumidores han desarrollado herramientas o incentivos para este propósito: preferencia de la demanda por energía “verde”, impuestos al carbono, mecanismos de *cap&trade*⁵, o bien, cumplimiento de metas específicas sobre emisiones de gases de efecto invernadero. En este sentido apuntan una serie de iniciativas contenidas en la estrategia nacional de carbono neutralidad impulsada por el gobierno. Ya no existe plena neutralidad tecnológica frente al uso de fuentes alternativas de energía, pero lo que sí se ha mantenido -y conviene mantener- es la neutralidad frente a las diversas fuentes que contribuyen de igual forma a lograr los objetivos buscados. Se debe avanzar en reducir barreras discriminatorias al máximo posible permitiendo una verdadera “neutralidad” en que todas las formas de generación de energía igualmente beneficiosas puedan competir en igualdad de condiciones. Sin embargo, mantener la “neutralidad” como política energética se presenta como un gran desafío cuando se observa que países equivalentes al 70% del PIB mundial tienen estrategias de desarrollo del HV.

Capital humano: para desarrollar esta industria en la escala que la autoridad espera, se requiere de un gran contingente de capital humano especializado, en distintos niveles, con el cual actualmente no contamos.

Almacenamiento: debido a la baja densidad del HV en estado gaseoso se requieren tanques de gran volumen para su almacenamiento, pudiéndose acopiar una menor cantidad de masa en comparación a gases más densos, lo que requeriría grandes extensiones. Por esto, es deseable aplicar un proceso adicional que permita comprimirlo (licuarlo) y así almacenar una mayor cantidad de hidrógeno en el mismo volumen. Sin embargo, este proceso de licuefacción requiere de un alto gasto energético elevando los costos.

Transporte: dada la baja densidad del HV, el transporte representa una complejidad adicional dado que con los transportes tradicionales se logra mover cantidades reducidas de hidrógeno, aumentando en forma importante su costo. Es por esto que se requieren perfeccionar los mecanismos de transporte eficientes, y pareciera que ello consistiría en generar el HV en un lugar cercano a donde es demandado. Esta solución no opera para el caso de exportar el HV. La estrategia diseñada para el HV busca en su etapa inicial desarrollar mercados internos para este producto, y luego de alcanzar

⁵ *Cap and trade* se refiere a los programas regulatorios impulsados por los gobiernos, diseñado para limitar el nivel total de emisiones de carbono generado por la actividad industrial. Estos programas se diseñan como alternativa o complemento al impuesto al carbono con el objeto de reducir el daño ambiental sin causar dificultades económicas indebidas a la industria.

determinados niveles de producción y de experiencia en esta industria, exportarlo. Ciertamente, a nivel de uso en Chile, el HV podría ser utilizado en transporte en la minería y eventualmente en producción de calor en instalaciones mineras ubicadas en el norte, donde se ubicarían las centrales solares FV y plantas de electrólisis que lo producirían, pero no está claro cuál sería el modo de transporte desde el norte hasta la región central del país, donde tendría teóricamente un mercado de cierta importancia: transporte terrestre, refinерías, calor industrial y mezcla con gas natural. El transporte de HV comprimido no es económico a larga distancia y la licuefacción de hidrógeno hoy es excesivamente cara para transporte marítimo o terrestre. Por su parte, transportar la electricidad generada en el norte hasta plantas de electrólisis ubicadas en el centro no parece posible dadas las restricciones actuales del sistema de transmisión eléctrico nacional, ya que se requeriría conectar las actuales centrales de energía renovable no convencionales -que se encuentran donde está el recurso- a la línea de transmisión. Consecuentemente, se perciben serios desafíos para el desarrollo inicial de un mercado nacional.

La exportación se haría, hasta donde se conoce, transformando el HV en amoníaco para su transporte en buque, pero la escala de producción debe ser de gran magnitud y la logística de transporte muy eficiente para enfrentar la competencia de países como Australia y Arabia Saudita, que estarían mejor ubicados respecto de buena parte de los mercados mundiales de consumo.

BENEFICIOS DEL HIDRÓGENO

Entre los argumentos expuestos a favor de este desarrollo a gran escala están:

- i) Es una energía almacenable y transportable, reduciendo drásticamente los riesgos asociados a energías intermitentes y no almacenables.
- ii) Podría reducir drásticamente nuestra dependencia de combustibles fósiles.
- iii) No emite gases de efecto invernadero en su uso ya que su subproducto es solo vapor de agua. Esto, unido a su generación a través de ERNC, lo transforma en una pieza fundamental para la lucha mundial contra el cambio climático al reemplazar el uso de otros tipos de hidrógenos (gris⁶ ⁷)

⁶ Obtenido del metano y para hacerlo se emiten muchos gases de efecto invernadero y se usa en algunos procesos industriales.

⁷ El 96% de la producción de hidrógeno mundial se realiza con combustibles fósiles (hidrógeno gris).

- u otros combustibles fósiles (diésel)⁸ en los sectores minero, transporte y agrícola
- iv) Es un eslabón fundamental de nuestro objetivo de ser carbono neutral al 2050, representando entre el 20 y 25% de la reducción contenida en el plan.
 - v) Diversifica nuestra matriz productiva al generar nuevas industrias de desarrollo local de grandes proporciones (similar en importancia al sector minero).
 - vi) Diversifica nuestras exportaciones, más aún considerando los demandados subproductos del HV. Su versatilidad lo posiciona como un producto altamente demandado a nivel mundial.
 - vii) Nos posiciona como líderes en exportaciones verdes y nos diferencia de otros exportadores de combustibles contaminantes frente a usuarios finales cada vez más exigentes frente al cambio climático.
 - viii) Incluir energías limpias en nuestros procesos productivos domésticos es coherente con las exigencias crecientes de los inversionistas.
 - ix) Presenta un poder calorífico más de tres veces mayor que el diésel y el gas natural⁹ y una mayor densidad energética que las baterías de litio¹⁰.

CONCLUSIÓN

El desarrollo del mercado de hidrógeno verde a gran escala trae aparejado muchos beneficios, pero también enormes desafíos. Es importante que las evaluaciones de las inversiones realizadas por los privados enfrenten los costos y beneficios reales de largo plazo de estos proyectos para que las decisiones sean las más adecuadas, tanto para el sector público como el privado, y no distorsionadas por políticas públicas particulares.

Actualmente Chile no es competitivo a nivel mundial en la producción de HV, pero podría serlo dada sus condiciones para generar energía renovable de bajo costo. Para esto se requieren de un marco regulatorio bien fundamentado y estable, desarrollo tecnológico y de la logística de almacenamiento y transporte, así como establecimiento de estrategias eficientes de producción y comercialización del HV inicialmente en Chile y luego hacia el exterior.

⁸ Con el hidrógeno verde, por ejemplo, se puede fabricar metano de manera sintética, capturando el CO₂ de la atmósfera (el metano, CH₄ tiene cuatro átomos de hidrógeno y uno de carbono). Este «metano verde» se puede instalar en una celda de combustible y hacer que un vehículo se mueva de la misma manera que se mueve con el petróleo.

⁹ El poder calorífico del H₂ es 33,3 kWh por kilo, mientras que el diésel es 10,2 kWh por litro y el gas natural es 9,6 kWh por metro cúbico.

¹⁰ Por cada unidad de peso el HV tiene mucha más energía que las baterías de litio.