

**SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**  
**XXVI CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**

**ELECTRÓLISIS DEL AGUA HACIA EL HIDRÓGENO VERDE (H2V):  
GESTIÓN DE AGUAS E INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA ASOCIADA**

**GERALDINE ALVAREZ M.<sup>1</sup>**  
**PAMELA MUÑOZ V.<sup>2</sup>**

**RESUMEN**

El calentamiento global se encuentra en un punto crítico impactando enormemente a los recursos hídricos en cuanto a su disponibilidad y generación de lluvias extremas. En este contexto existen diversos acuerdos con metas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial. Para suplir las necesidades energéticas, el hidrógeno verde (H2V) tiene un gran potencial, ya que su utilización es limpia, donde uno de los procesos más utilizados es el de electrólisis, donde al agua se le introduce corriente (proveniente de energías renovables) logrando separar la molécula de hidrógeno y oxígeno. Actualmente existen varios proyectos de hidrógeno verde en Chile y se cuenta con una estrategia nacional de H2V cuya ambición es generar una industria que permita su exportación (y derivados), lo que requiere proyectos de gran escala.

El agua es uno de los insumos que ingresa al proceso de electrólisis, por lo tanto, es relevante entender y analizar las perspectivas del recurso hídrico en cantidad y calidad. El agua requerida es de alta pureza, por lo tanto, en Chile se está priorizando el uso de agua desalinizada, donde la región de Antofagasta ya es pionera y por otro lado la región de Magallanes si bien cuenta con mayor abundancia de recursos hídricos, de igual forma se requerirán tratamientos de osmosis inversa. Por otro lado, los proyectos de hidrógeno verde conllevan una inversión relevante en cuanto a obras civiles (carreteras, viviendas, etc.), infraestructura portuaria y sistemas de tuberías, lo que conlleva a una serie de estudios de hidráulica fluvial, hidráulica sanitaria, transporte de fluidos e hidráulica marítima.

Dentro de los aspectos más concluyentes es que el proceso de producción de H2V no comprometería el uso de recursos hídricos nacionales, ya que su requerimiento de agua es bajo comparado con otras industrias.

---

<sup>1</sup> Ingeniero de Proyecto, Arcadis – email: geraldine.alvarez@arcadis.com

<sup>2</sup> Jefe Especialidad Hidráulica, Arcadis – email: pamelamunoz@arcadis.com

## **1. INTRODUCCIÓN**

La evaluación de consumo mundial de energía realizada por (ZÜTTEL, 2010), establece que, en el último siglo, la población mundial tuvo un incremento de 6 veces, donde la demanda energética aumentó 80 veces, evidenciando que el desarrollo económico conlleva un mayor aumento de consumo de energía. Se estima que el consumo medio diario per cápita es de 60 kWh/persona/día, y esta energía es abastecida en un 80% mediante el uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) (SADIGOV, 2022 e EA, 2021).

La actividad antrópica y sus emisiones de CO<sub>2</sub> contribuyen al cambio climático, impactando en el ciclo del agua generando sequías y/o inundaciones. Esto interfiere a la infraestructura urbana existente y levanta la necesidad de generar nuevas estrategias de diseño para futuros proyectos, tales como abastecimiento y aseguramiento de agua potable para la población, obras de protección fluvial, entre otros.

En cuanto a la generación de energía eléctrica en Chile, las centrales hidroeléctricas han visto mermados sus niveles de agua en embalses producto de la megasequía. Por otro lado, las centrales termoeléctricas utilizan combustibles fósiles para la generación de energía, lo que conlleva un aumento constante de emisiones de CO<sub>2</sub>. Actualmente, para disminuir el creciente impacto ambiental provocado por la producción de energía y el incremento del consumo de energía por crecimiento demográfico y conflictos en Europa, se debe acelerar el progreso de generación de energía limpia, y plantear abastecimientos con combustibles alternativos, como la utilización de hidrógeno verde (H2V).

El presente trabajo entrega perspectivas de cómo se está abordando la estrategia de implementación del H2V en Chile en el contexto de los recursos hídricos nacionales en términos de cantidad, calidad, gestión de aguas e infraestructura hidráulica que conlleva.

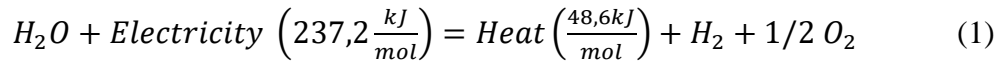
## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1. ¿Qué es el Hidrógeno Verde y la Electrólisis del Agua?**

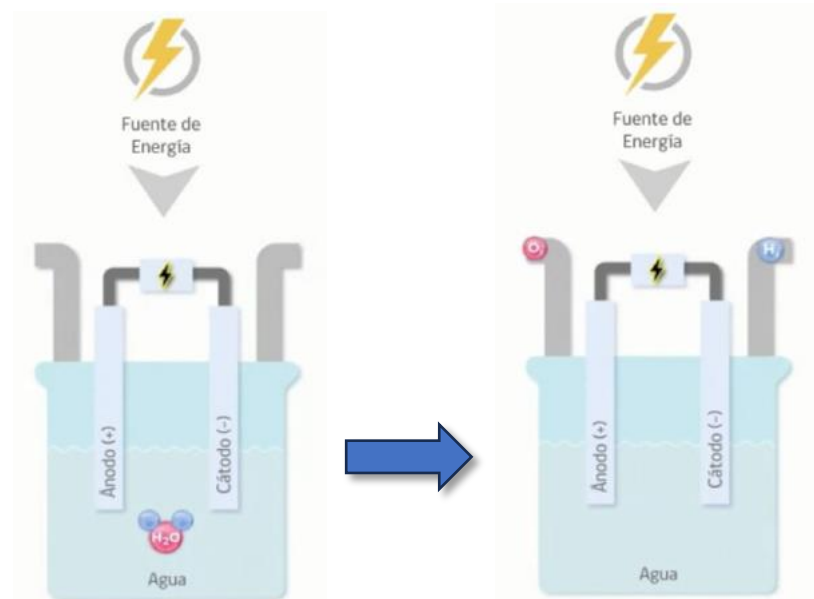
El hidrógeno es el elemento más ligero, simple y abundante del universo. En condiciones normales de temperatura y presión (0°C y 1 atmósfera), se encuentra en estado gaseoso y es inodoro, incoloro e insípido, lo cual dificulta su detección en caso de fuga. Su obtención, es mediante la descomposición de compuestos, generalmente agua e hidrocarburos, ya que no se encuentra en forma gaseosa de manera natural, por ende, no es considerado como una fuente de energía primaria, sino como un vector energético, es decir, un medio para almacenar y transportar energía según las definiciones de la ISO 13600 – Technical energy systems, 1997.

Dado que el hidrógeno no se encuentra libre como gas en la naturaleza, se requiere de un proceso químico para su obtención o generación. Según el proceso y materia prima de origen, al hidrógeno se le asocian colores: gris, azul y verde, siendo este último el que se obtiene a partir de la utilización de fuentes de energía renovable y agua. Su obtención es a partir de una energía primaria de fuentes de energía renovable, ya sea biomasa, solar, eólica, hídrica,

geotérmica, marina, etc., que posteriormente pasan a una fuente de energía secundaria, que puede ser calor y/o electricidad, utilizada para la generación de electrólisis en el agua, la cual se transforma y produce hidrógeno verde mediante estas energías de conversión (GIZ, 2018). El contenido energético utilizado en el proceso se indica en la ecuación 1 (Simoes S.et al, 2021).



El proceso de electrólisis consiste en que, a partir de agua purificada, se aplica corriente eléctrica proveniente de fuentes renovables con la finalidad de que la molécula de agua se rompa, generando hidrógeno y oxígeno en forma gaseosa (Figura 1). El equipo industrial donde se lleva a cabo la electrólisis del agua se le denomina electrolizador. Cabe señalar que existen equipos que permiten realizar el proceso inverso a la ecuación (1), denominadas celdas de combustible. Estos equipos se alimentan con hidrógeno gaseoso y junto al oxígeno del aire permiten generar energía eléctrica y vapor de agua como residuo del proceso.



**Figura 1:** Separación de la molécula de agua en el proceso de Electrólisis (Corfo, 2021)

## 2.2. Desarrollo de Hidrógeno Verde a nivel mundial

El desarrollo del hidrógeno verde a nivel mundial está en constante crecimiento y evolución, produciendo avances significativos año a año. En general, Europa, Asia y Norteamérica han mostrado un fuerte interés en la producción de hidrógeno verde con la finalidad de reducir las emisiones de carbono y promover energías limpias. De acuerdo con informes publicados por la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), se indica que las consecuencias geopolíticas y socioeconómicas de una nueva era energética serán tan profundas como las que estuvieron presentes en el cambio de biomasa hacia los combustibles fósiles hace dos siglos.

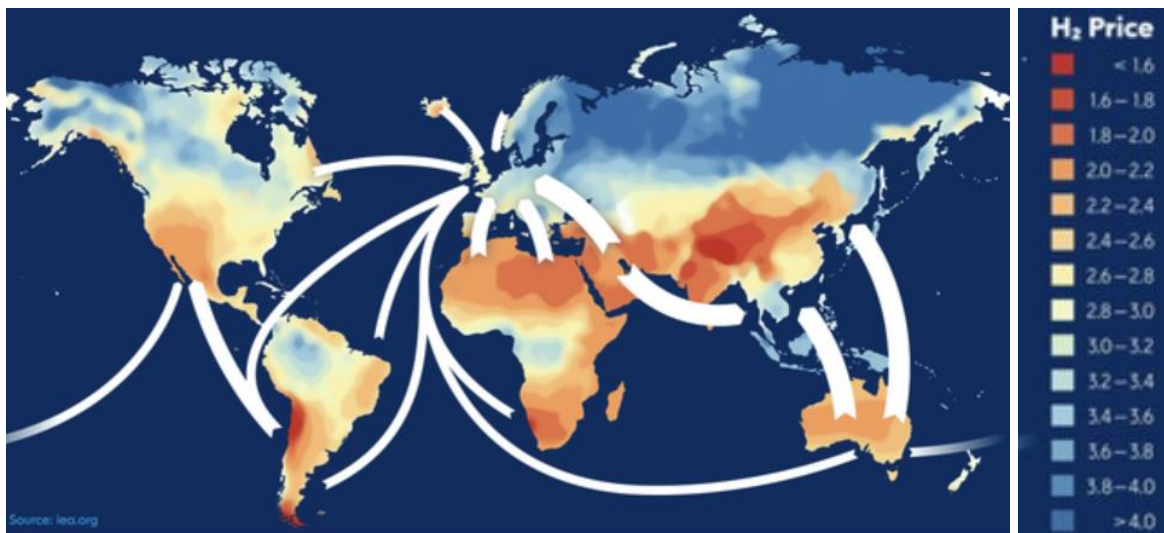
La Unión Europea, a partir del 2020 adoptó un Plan Estratégico de Hidrógeno, en el cual estableció una ruta para la producción, distribución y consumo de hidrógeno limpio, destinando fondos significativos para el desarrollo de esta fuente de energía. Por otro lado, Asia ha sido líder del desarrollo de tecnología para la producción de este producto, creando mercados para su uso como el transporte, industria y generación de energía. Finalmente, América del Norte, está en fase de exploración del potencial de hidrógeno verde, realizando numerosos proyectos y planes de desarrollo (IEA 2021, IRENA 2018).

### 3. HIDRÓGENO VERDE EN CHILE

#### 3.1. ¿Por qué el Hidrógeno Verde es potencial energético para Chile?

Chile, cuenta con un potencial energético importante. El desierto de Atacama posee la radiación solar más alta del planeta, y, por otro lado, la Patagonia cuenta con vientos fuertes y constantes. El país tiene un potencial energético de 1.800 GW renovable, que equivalen a 70 veces la demanda nacional según lo indicado por el Ministerio de Energía en la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, 2020. Adicionalmente, el país tiene amplias áreas disponibles para la instalación de proyectos de energía renovable, cuenta con fuentes de agua y 6.435 km de costa marítima, permitiendo así su exportación.

Esta abundante energía renovable permitirá ser el productor más barato de hidrógeno verde en el mundo (Figura 2), siendo una oportunidad de negocio nacional con la exportación de hidrógeno verde y sus derivados, como amoniaco verde, metanol y combustibles sintéticos, permitiendo la impulsión de una descarbonización profunda en el país y el mundo.



**Figura 2:** Potencial H<sub>2</sub>V y sus costos de producción en USD /kg H<sub>2</sub>V, junto a las rutas de transporte marítimo (iea.org 2023)

### **3.2. Políticas y Planes de Acción**

Chile se comprometió a ser carbono-neutral al año 2050, siendo el único país en vías de desarrollo en hacerlo y uno de los pocos países con una Ley Marco de Cambio Climático, donde se requerirán acciones transformadoras en la sociedad, y economía (Ministerio de Energía, 2020). Se plantea promover el uso de hidrógeno verde en territorio nacional, desplazando el consumo de combustibles fósiles. Un ejemplo concreto, sería convertirse en el productor principal de cobre verde a nivel mundial.

La “Estrategia de Hidrógeno Verde” propone 25 GW por electrólisis para el año 2030, es decir, implica la generación de es un proyecto país con metas muy ambiciosas, para ello se debe asegurar la demanda para lograr los financiamientos, lograr la licencia social y toda la infraestructura que conlleva su implementación.

En Chile, la compañía HIF Global ha desarrollado Haru Oni (2022), la primera planta integrada en funcionamiento de producción de e-Combustibles, ubicada en la Región de Magallanes. Distintos avances concretos se están realizando, en 2023 las empresas Walmart y Engie han inaugurado una planta de H2V en Quilicura para el suministro de hidrógeno para su flota de montacargas. Por otro lado, CORFO está promoviendo el financiamiento en este tipo de proyectos, junto con la difusión de sus estudios y el sector minero ya ha introducido camiones mineros en base a H2V junto a su interés por la utilización amoniaco verde para el uso de explosivos.

## **4. GESTIÓN DE AGUAS PARA EL DESARROLLO DEL HIDROGENO VERDE**

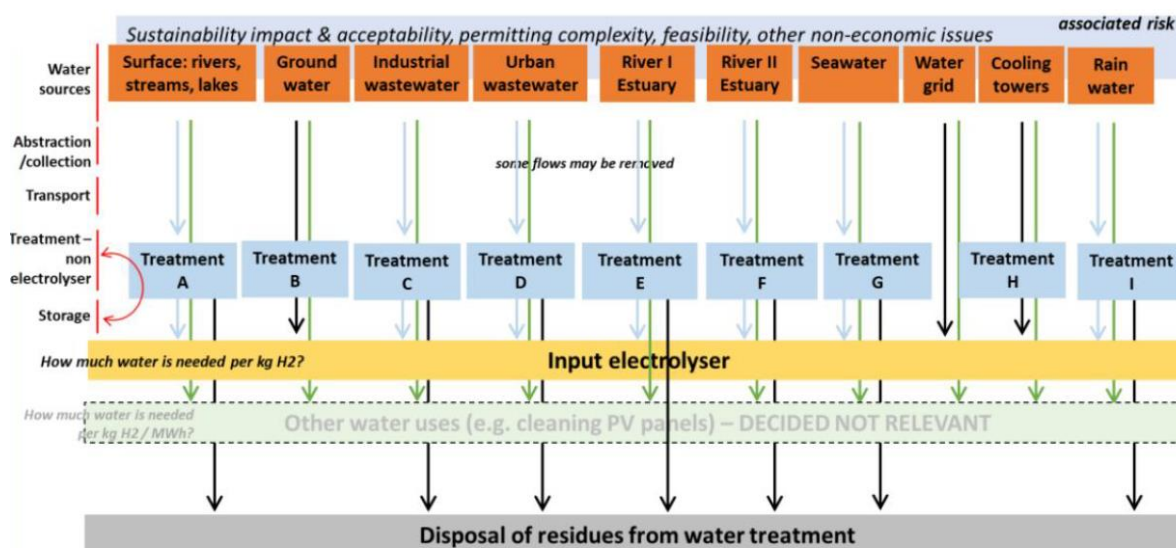
### **4.1. Cantidad de agua requerida**

En general, para producir 1 tonelada de hidrógeno se utilizan aproximadamente 10 toneladas de agua de alta calidad y se producen aproximadamente 8 toneladas de oxígeno (GIZ, 2018). Por lo tanto, considerando La Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde de lograr la producción de 1 millón de toneladas de hidrógeno/año, se requeriría del orden de 10 hm<sup>3</sup> al año, que llevado a un caudal de operación constante serían del orden de 300 l/s de agua de alta calidad. De esta manera, el insumo de agua para este tipo de proceso productivo es bastante inferior respecto al consumo de agua en riego, agua potable o industrias.

De acuerdo con estudio realizado por Becker *et. al* 2023, un tanque de almacenamiento de un vehículo eléctrico requiere del orden de 5 kg de hidrógeno y por ende 45 kg de agua, que en términos de energía equivalen a 166 kWh<sub>HHV</sub> aproximadamente. En comparativa, con métodos de generación de energía tradicional, una termoeléctrica para producir 1 kWh requiere 5 kg de agua dulce. Hay que tener en cuenta además que en el refinado del petróleo importado también se emplea agua, por cada litro de combustible final, se utiliza 0,7 litros de agua, teniendo en cuenta que 1 kg de hidrógeno equivale energéticamente a unos 3,5 litros de diésel. De esta manera es posible concluir que el reemplazo de la energía en base a combustibles fósiles por H2V conducirían a una reducción neta del consumo de agua en sector energético.

## 4.2. Requisitos de calidad de agua

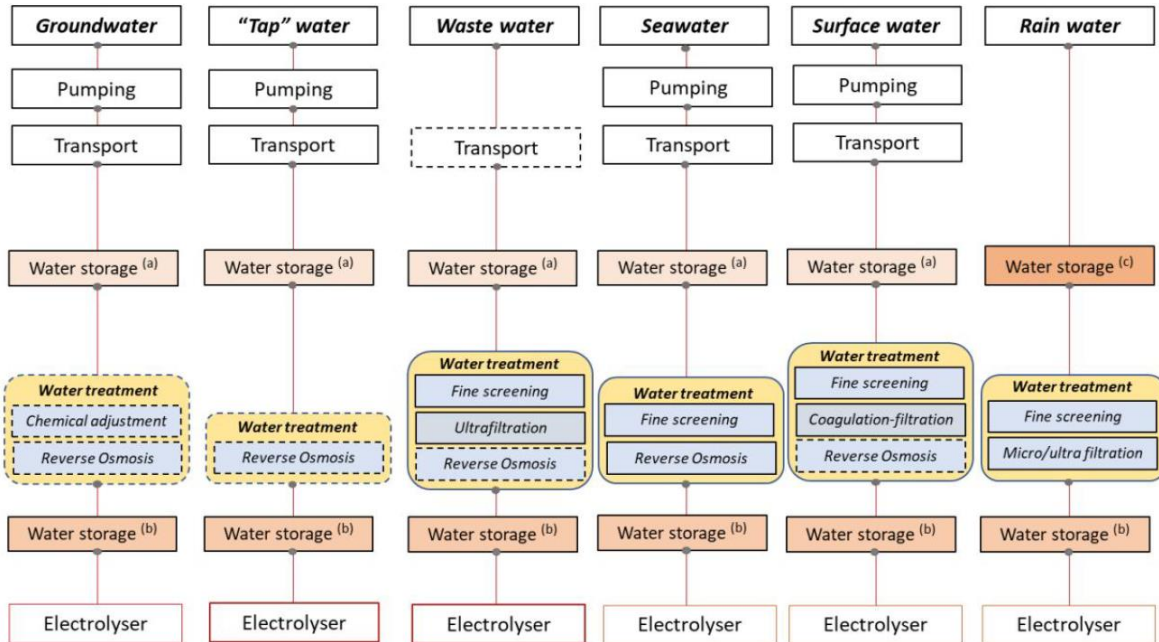
Simoe *et. al* (2021) identifica nueve fuentes potenciales de agua para la generación de hidrógeno verde en Portugal: agua de mar, agua de estuarios (con diferentes concentraciones salinidad), agua superficial, agua subterránea, agua de lluvia, agua de la red pública, aguas residuales urbanas, aguas residuales industriales y agua de torres de refrigeración, como se indica a continuación:



**Figura 3:** Potenciales fuentes de agua para el proceso de electrólisis (Simoes S.et al, 2021)

Cada una de estas fuentes tiene asociada diferentes pasos según su calidad de agua y tipo de tratamiento que requieren de acuerdo con las especificaciones técnicas de los electroólitizadores a utilizar (calidad alta de agua), lo cual implica costos diferentes. Para el caso de la utilización de agua de la red pública, tiene el beneficio de que ya se cuenta con infraestructura de captación y transporte, sin embargo, para todas las demás fuentes se requiere la construcción de una infraestructura completa para extraer, transportar, almacenar y tratar el agua.

En la Figura 4 se muestra los tipos de tratamiento que se requiere realizar al agua, dependiendo de su tipo de fuente, donde se observa que casi todas las fuentes requieren del proceso de osmosis inversa para su acondicionamiento previo a la electrólisis. Finalmente, en este estudio se determinó mediante un análisis cualitativo que la potencial fuente de agua más favorable para la generación de hidrógeno verde es el agua proveniente de la red de agua potable, seguido por las aguas residuales urbanas tratadas. Por otro lado, se indica que el agua de mar es la menos favorable en aquellos casos donde las instalaciones de las plantas de hidrogeno verde estén muy alejadas de la costa.



**Figura 4:** Transporte y tratamiento de aguas según la fuente de agua (Simoes S. et al, 2021)

Becker et al (2023) indica que el principal desafío con respecto a la generación de hidrógeno en base a agua es su calidad. El agua suministrada al electrolyzador debe ser de alta pureza con características mínimas requeridas en términos de conductividad  $<1 \text{ mS cm}^{-1}$  ( $>1 \text{ MU cm}$ ). En la investigación usualmente se utiliza agua muy pura ASTM D1193-06 (resistividad  $18.2 \text{ MU cm @ } 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\text{TOC} < 50 \text{ mg L}^{-1}$ ). Este tipo de calidad de agua, generalmente se alcanza cuando el agua es sometida a un subproceso de osmosis inversa, el que podría relacionarse a proyectos de plantas desalinizadoras.

### 4.3. ¿Agua desalinizada o continental?

La elección entre el uso de agua continental o agua desalinizada depende de varios factores y consideraciones específicas de la ubicación del proyecto. Ambas opciones tienen ventajas y desventajas que deben ser evaluadas previo a la toma de decisiones.

Respecto al agua continental, esta puede ser más accesible en lugares como la región de Magallanes, implicando una infraestructura menor para su captación y suministro. A su vez se debe considerar que es alta la probabilidad de instalación de numerosas plantas de H<sub>2</sub>V a menor escala, donde el requerimiento individual debe ser analizado y evaluar posibles sinergias en las fuentes de suministro, de tal forma de minimizar impactos y desequilibrio en los recursos hídricos locales. A su vez se debe evaluar la posibilidad de usar aguas residuales aplicando así conceptos de economía circular, donde los residuos o subproductos de determinados procesos pueden llegar a convertirse en nuevos recursos.

Por otro lado, el agua desalinizada, ofrece una fuente confiable y segura de agua independientemente de las condiciones climáticas y de los recursos hídricos disponibles, no compitiendo con otros usuarios del agua continental, caso que es aplicable a la región de Antofagasta. Sin embargo, el uso de agua de mar implica la instalación de plantas

desalinizadoras, con un proceso energético intensivo, lo cual podría generar un aumento en los costos de producción de hidrógeno verde. A su vez existe una percepción de las comunidades respecto a la salmuera generada por el proceso y su impacto local en el entorno marino.

Cabe agregar que en el subproceso de osmosis inversa se debe contabilizar el agua total que ingresa al sistema incluida el agua de rechazo. Según estudios de la Universidad de Magallanes se están evaluando las tecnologías actuales para el tratamiento de la salmuera en un sistema de 'descarga cero de líquidos', el cual la cristaliza y la transforma en sal industrial. Esto permite la transición de las desalinizadoras hacia la economía circular, porque recupera sales que pueden utilizarse para el deshielo de calles y carreteras, así como también para la supresión del polvo en caminos sin pavimentar, sobre todo en ciudades como Punta Arenas (Litoralpress, 2023).

En Chile en general, se está priorizando el uso de agua desalinizada, principalmente porque el agua que requiere el electrolizador requiere un nivel de calidad tal, que evite la deposición de minerales y el consiguiente deterioro de los elementos de las celdas electrolíticas, por ende, debe ser purificada. En particular en la región de Antofagasta, ya existen varias plantas desalinizadoras ya operando, y se están realizando diversos estudios para evaluar la ubicación estratégica de la planta de electrólisis: ya sea cercano a la generación de energía solar y con transporte de H<sub>2</sub>V o bien cerca de la zona costera, donde ocurre la desalinización y embarque portuario para poder exportar el hidrógeno generado.

Cabe agregar que el costo de desalinizar es del orden del 2% del costo total de producción de hidrógeno (0,01 – 0,02 USD/kg-H<sub>2</sub>) según IEA, 2019. Sin embargo, se debe adicionar el costo de la impulsión y distribución, que en el caso de Chile los costos operacionales dependerán de las distancias y desniveles de transporte de agua al destino. De esta manera, en el caso de proyectos de gran envergadura, existirán costos de inversión capex asociados a las plantas de osmosis inversa y costos de operación (opex) asociados al tratamiento, impulsión y distribución del agua desalinizada. Mientras que en el caso de proyectos menores es más probable que exista compra a terceros, por lo tanto los costos relevantes relacionados al insumo de agua serían relacionados al opex (valor de compra por m<sup>3</sup> de agua ya acondicionada).

#### **4.4. Permisos y Legislación**

Si bien el agua es uno de los insumos para el proceso de H<sub>2</sub>V, se estaría viendo como un elemento más bien aislado dentro de la cadena de valor según la “Descripción integrada de proyectos para la generación de hidrógeno verde en el SEIA (2023)”, donde se indica:

*“... se entenderá como principal **subproceso** asociado a la cadena de valor, el suministro del agua y previo tratamiento para la generación de H<sub>2</sub>V, toda vez que este forma parte al ser un insumo requerido para la electrólisis del agua en la producción del H<sub>2</sub>V, pero en su origen, responde a un proceso independiente”.*

La industria de generación de H<sub>2</sub>V no se enmarca, por si sola, en el catálogo de tipologías de ingreso al Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental establecidas en el artículo 10 de la



Ley N°19.300 complementado por el artículo 3° del D.S. N°40/2012, del Ministerio del Medio Ambiente, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (RSEIA o Reglamento del SEIA). No obstante lo anterior, y tal como es descrito en el citado Criterio de Evaluación SEA “Descripción integrada de proyectos para la generación de hidrógeno verde en el SEIA (2023)” el desarrollo de dicha industria no solo contempla la generación del H2V *“sino que más bien se compone por distintas tipologías de proyectos que describen de manera conjunta los procesos y subprocesos involucrados en la producción del H2V, conformando la “cadena de valor del H2V”*”. Razón por la cual las iniciativas asociadas al hidrógeno verde deberán ser evaluadas en el sistema de evaluación de impacto ambiental cuando alguna de sus partes, obras, acciones e insumos, se enmarquen en algunas de las tipologías de ingreso regladas en los artículos señalados anteriormente, como pueden ser proyectos de suministro energético, suministro de agua, producción, disposición, reutilización o almacenamiento de sustancias químicas, entre otros.

En la Tabla 1 se resume la interacción del uso del agua para la producción de H2V y trámites asociados en cuanto a permisos y legislación aplicable.

**Tabla 1:** Legislación aplicable a los procesos del uso del agua en la electrólisis

<b>Interacción del agua en el proceso de electrólisis</b>	<b>Legislación aplicable</b>
Fuentes de agua continental	Código de Aguas, solicitud de derechos consuntivos, traslado de derechos.
Compra de agua a terceros	Transacción comercial privada
Plantas desaladoras	Evaluación ambiental (Permisos Ambientales Sectoriales de los Artículos 115, 119, 139 del RSEIA) Ley de desalinización (en tramitación)
Cruces de quebrada por tuberías	Evaluación ambiental (Permiso Ambiental Sectorial Mixto del Artículo 156 del RSEIA) Permisos sectoriales DGA de modificación de cauce (art 41 y 171 CA)
Obras de desvío o protección fluvial de las plantas de electrólisis	Evaluación ambiental (Permiso Ambiental Sectorial Mixto del Artículo 156 y eventualmente el del Artículo 155 del RSEIA) Permisos sectoriales DGA de modificación de cauce (art 41 y 171 CA) o poco probable permiso de ciertas obras hidráulicas (art 294 CA)
Agua residual del proceso de electrólisis se inyecta al proceso	No aplica

\*Nota: no se considera el uso de aguas en zonas de restricción ambiental

Es importante destacar que los proyectos de hidrógeno verde deben garantizar un marco regulatorio estable con plazos acotados para toda la cadena de valor incluidos los aspectos relacionados al agua. En este sentido es fundamental, proyecto de ley de permisología que ingresará a tramitación durante el 2023, el cual pretenderá disminuir los tiempos de aprobación de los proyectos por parte del Estado.

## **5. INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA ASOCIADA**

### **5.1. Suministro de agua desalinizada**

Para el desarrollo de proyectos orientados a la producción de hidrógeno verde, se requiere una participación multidisciplinaria de diferentes áreas de la ingeniería, donde la ingeniería hidráulica cumple un rol fundamental en la distribución del agua. Esto conlleva a evaluar y determinar el diseño y optimización de sistemas de suministro de agua hacia la planta de producción, determinando un sistema de tuberías, almacenamiento y bombeo óptimo para suministrar el caudal hacia los electrolizadores.

Debido a los bajos caudales no se consideran grandes sistemas de impulsión, sin embargo, es importante tener una visión integrada de los proyectos, priorizando ejecutar plantas desalinizadoras multipropósito con una matriz de tubería en común. Las conducciones requerirán cruces de quebradas, que deben ser estudiadas para poder minimizar su impacto.

### **5.2. Saneamiento aguas lluvia, agua potable y alcantarillado**

Para materializar los proyectos de hidrógeno verde se requiere de una inversión importante en obras civiles, generado por la necesidad de transporte de equipos y por el impacto demográfico por la migración masiva durante el proceso de construcción.

En este sentido es relevante internalizar el concepto de infraestructura compartida o la consideración de los efectos sinérgicos (SEA, 2023), que en el caso de infraestructura hidráulica o sanitaria se puede listar lo siguiente:

- Ampliación de rutas de acceso para el transporte de gran equipamiento (por ejemplo, aspas eólicas), drenaje de aguas lluvia de plataformas y obras de arte para cruces de quebrada.
- Incremento de población en ciudades, por ejemplo, en la región de Magallanes se estima un incremento de un 36% producto de la actividad asociada al hidrógeno verde, lo que debe ser visualizado en rubro sanitario para el abastecimiento de agua potable, red de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas servidas, el cual debería ser incluido en sus planes de desarrollo.
- Revisión de los planes maestros de aguas lluvia y los planes reguladores para evaluar las capacidades actuales de los sistemas con el incremento de zonas urbanas.
- Obras de protección o desvío de aguas lluvias para las plantas de H2V.

### **5.3. Obras portuarias**

La exportación de H2V debe ser por medio de derivados como amoniaco o ecombustibles, ya que actualmente no se cuenta con transporte marítimo comercial (gaseoso o líquido). Su embarque, así como la importación de equipamiento requerido para el sistema eléctrico y de insumos para el proceso es fundamental dentro de la cadena de valor. Para ello se debe evaluar la infraestructura portuaria existente o proyectada, la cual podrá tener múltiples propósitos.

Según señaló el Coordinador de la Unidad de Desarrollo Portuario del MTT (2023), *“el hidrógeno es la excusa para el desarrollo que queremos seguir impulsando de manera general para todas las cargas, que es esa mejora de nuestro sistema de política, regulación y planificación del desarrollo portuario integral de todo el sistema portuario en Chile, haciendo las adaptaciones que sean requeridas, construyendo desde lo que tengamos ya fortalecido y probando”*.

En Chile ya se están estudiando los puertos de Mejillones y algunos puertos de ENAP en la región de Magallanes como posibles nodos de embarque para la exportación de hidrógeno (como amoníaco o ecombustible). Por otro lado, como puertos receptores ya existirían acuerdos de Chile con los Países Bajos en el puerto de Rotterdam (2022), así como también en Alemania en el puerto de Hamburgo (2023).

## **6. CONCLUSIONES**

El hidrógeno verde tiene un gran potencial de desarrollo como vector energético, donde Chile se postula a estar dentro de unos de los 3 principales exportadores de hidrógeno al mundo, las metas son ambiciosas, las iniciativas de proyectos nacionales son recientes y para ello se requiere ser disruptivo en diversos aspectos tales como: obtener la licencia social para operar, capital humano, asegurar la demanda energética para poder concretar la inversión de los proyectos, seguridad, entre otros.

La producción de hidrógeno verde ofrece oportunidades a las empresas del sector del agua e infraestructura hidráulica asociada. El agua y energía juegan un papel único en la economía del hidrógeno, en este sentido, la región de Antofagasta y la región de Magallanes cuentan con realidades muy distintas en cuanto a la disponibilidad del recurso hídrico, pese a ello, se estaría priorizando el uso de agua desalinizada, debido a poder minimizar los riesgos de suministro y porque la calidad de agua requerida para el proceso de electrólisis es tal que independiente de la fuente se estaría requiriendo un acondicionamiento mediante osmosis inversa para no impactar en la vida útil de los equipos. Sin embargo, se debe estudiar caso a caso y no descartar, por ejemplo, el acondicionamiento sobre aguas residuales o agua continental de tal forma de minimizar la infraestructura y los gastos operacionales.

Todo lo que conlleva la inversión en hidrógeno verde requiere de un marco regulatorio en el cual las estrategias de implementación por parte del Ministerio de Energía, Corfo, SEA, Gobernanzas Regional, Academia y sector privado han tomado gran relevancia. En el caso específico de temas de agua, será beneficioso por acotar los tiempos de tramitación el cual podría verse mejorado mediante la promulgación de la Ley de Permisos en el corto plazo.

Por último, como conclusión es necesario desmitificar que la producción de hidrógeno va a requerir grandes volúmenes de agua que puedan agravar la situación de escasez hídrica, todo lo contrario, poder migrar desde el uso de agua para los procesos de termoeléctricas o generación de combustibles, deberían reducir el total neto del consumo de agua.

## AGRADECIMIENTOS

A ARCADIS por su visión de sustentabilidad y desarrollar proyectos de vanguardia en el mundo, en particular a *Jorge Rivera* por sus lineamientos para el desarrollo de este trabajo. Especial dedicación a mis hijas *Estela* y *Celine*, para que junto a las nuevas generaciones puedan ver materializada la transición energética.

## REFERENCIAS

Becker H et al (2023), Impact of impurities on water electrolysis: a review. Sustainable Energy Fuels.

BESWICK, R. R.; OLIVEIRA, A. M. YAN, Y. Does the Green Hydrogen Economy Have a Water Problem? 2021. Disponible em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acseenergylett.1c01375>

COMERC ENERGIA, 2021. Entenda a Importância do Hidrogênio Verde para o processo de descarbonização no Brasil Disponible em: <https://panorama.comerc.com.br/hidrogenio-verde>

CORFO, 2021. Curso Hidrógeno Verde: Oportunidades y Aplicaciones.

IEA, World Energy Balances: Overview, Paris. 2021. Disponible em: [www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview](http://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview)

IRENA (2018): Innovation insights Brief, 2019, World Energy Council Hydrogen from Renewable Power,

Governo do Ceará. Valor Econômico. 21/01/21. Disponible em: <https://valor.globo.com/patrocinado/governo-do-ceara/noticia/2021/10/21/parcerias-internacionais-colocam-o-ceara-na-dianteira-do-hidrogenio-verde.ghtml>

Litoralpress,2023[https://www.litoralpress.cl/paginaconsultas/Servicios\\_NClipSitio/Get\\_Imagen\\_Pagina.aspx?LPKey=BFBAKQGTWHZDEDLDBJZNRPYJD6NWESSN4AUTRHOPDIASGOZ66SBQ](https://www.litoralpress.cl/paginaconsultas/Servicios_NClipSitio/Get_Imagen_Pagina.aspx?LPKey=BFBAKQGTWHZDEDLDBJZNRPYJD6NWESSN4AUTRHOPDIASGOZ66SBQ)

Ministerio de Energía, 2020: Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, Chile.

NASAb: Global Climate Change Disponible em: <https://climate.nasa.gov/images-of-change?id=686#686-chiles-lake-aculeo-dries-up>

SADIGOV, R. (2022): Rapid Growth of the World Population and Its Socioeconomic Result. Disponible em: [www.hindawi.com/journals/tswj/2022/8110229](http://www.hindawi.com/journals/tswj/2022/8110229)

SEIA, 2023: Descripción integrada de proyectos para la generación de hidrógeno verde en el SEIA.

Simoes S, Catarino J., Picado A., Lopes T., Berardino S, Amorim F., Gírio F, Rangel C., Ponce de Leão T. (2021) Assessing water availability and usage solutions for electrolysis in hydrogen production.

ZÜTTEL, A. et al. (2010) Hydrogen: the future energy carrier. The Royal Society. Disponible em: [royalsocietypublishing.org](http://royalsocietypublishing.org).