

Criterio de evaluación en el SEIA: Introducción a proyectos de hidrógeno verde

Santiago, enero 2022

Palabras Clave: hidrógeno verde, electrólisis, energía, agua.

1. Introducción

El hidrógeno (H) es el elemento químico de estructura más simple de la tabla periódica y el más abundante del universo. En nuestro planeta solo se encuentra de forma combinada con otros elementos, como es el caso del agua y el metano. Su forma molecular H_2 se encuentra normalmente en forma de gas incoloro, inodoro, reactivo e inflamable.

Por otra parte, el hidrógeno gaseoso (en adelante, hidrógeno) no se encuentra en su estado molecular en la naturaleza, por lo tanto, no puede ser considerado como una fuente de energía primaria. Por esta razón, se le conoce como un portador o vector energético, que tiene la ventaja de ser almacenable para ser utilizado cuando sea necesario, es decir, es energía que puede ser utilizada en otro momento o lugar distinto al producido.

Empleando la popularización del uso de colores, es posible identificar el hidrógeno gris¹, azul² y verde³. A continuación, se presenta en la Figura 1 las distintas fuentes energéticas y métodos a través de los cuales se puede producir hidrógeno.

Figura 1: Fuentes y métodos de obtención de hidrógeno.



Fuente: Manual del Hidrógeno Verde, AH_{2v}BioBío-Alianza Hidrógeno Verde, 2020⁴.

En el último tiempo el **hidrógeno verde** ha generado mucho interés como una alternativa promisoría para reducir los gases de efecto invernadero, esto debido a la posibilidad de producirse mediante procesos de electrólisis, permitiendo a través de este método separar la molécula de agua, en hidrógeno y oxígeno, como se muestra en la Figura 2, utilizando electricidad procedente de energías renovables (especialmente la energía eólica y fotovoltaica), ya sea en forma directa o indirecta.

¹ El “hidrógeno gris”, se refiere al hidrógeno producido a partir de combustibles fósiles, principalmente gas natural. Su producción se asocia a emisiones de dióxido de carbono (CO₂).

² El “hidrógeno azul”, se define como el que es producido a partir de combustibles fósiles. Sin embargo, se realiza la gestión de las emisiones de CO₂ mediante el uso de tecnologías de captura/secuestro u otras formas, para evitar su emisión a la atmósfera.

³ El “hidrógeno verde” se define como aquel producido a partir de agua mediante procesos de electrólisis, empleando electricidad proveniente 100% de energías renovables, ya sea en forma directa o indirecta. No se generan emisiones de CO₂.

⁴ Disponible en la AH_{2v}BioBío - Alianza Hidrógeno Verde, sección hidrógeno verde, en su sitio [web www.ah2vbiobio.cl/](http://www.ah2vbiobio.cl/).

De acuerdo con la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde⁵, del Ministerio de Energía, “se deben focalizar los esfuerzos en el despliegue de las tecnologías del hidrógeno verde, que utiliza energía eléctrica 100% renovable y sin emisiones directas de dióxido de carbono (CO₂)”⁶, al emplearse agua en lugar de combustibles fósiles como materia prima.

Este documento aborda los criterios técnicos que se deben presentar por parte de titulares de proyecto en la descripción de proyectos de producción y almacenamiento de hidrógeno verde, en el marco de los proyectos sometidos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), considerando las actuales políticas públicas que ha impulsado el Ministerio de Energía.

Se hace presente, que este documento materializa la atribución del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) expresada en el artículo 81 letra d) de la Ley N°19.300, en torno a uniformar criterios, requisitos, condiciones, antecedentes, certificados, trámites, exigencias técnicas, en particular respecto al procedimiento de evaluación ambiental, a través de guías y otros instrumentos.

2. Proceso de producción de hidrógeno verde

Los métodos mayormente utilizados en la producción de hidrógeno verde se pueden clasificar en los siguientes procesos:

- Termoquímicos: usan calor y reacciones químicas para obtener el hidrógeno de combustibles convencionales o biomasa.
- **Electrolíticos: el agua (H₂O) se disocia en hidrógeno (H₂) y oxígeno (O₂) usando electricidad.**
- Biológicos: microorganismos, tales como bacterias y algas pueden generar hidrógeno por medio de procesos biológicos propios.
- Otros procesos: como la descomposición foto catalítica y biológica del agua.

En el presente documento se aborda el proceso electrolítico de producción de hidrógeno verde, más conocido como **electrólisis del agua**. Proceso que mediante la utilización de electricidad permite dividir la molécula de agua, en hidrógeno (H₂) y oxígeno (O₂). La transformación química se describe a continuación:



Como se visualiza en la Figura 2, los proyectos de producción de hidrógeno verde requieren como parte del proceso, de agua como materia prima⁷, la cual independiente de la fuente de procedencia debe ser tratada previamente, generalmente por un proceso de osmosis inversa y desionizada para

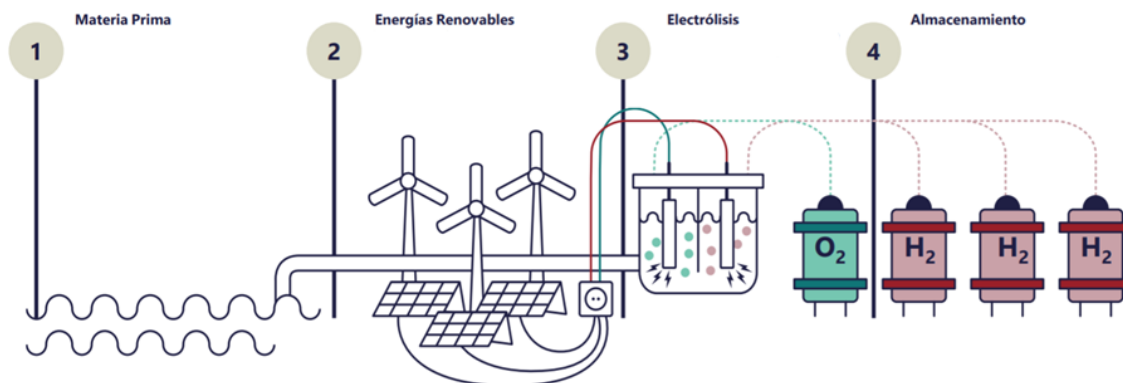
⁵ Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, Ministerio de Energía, 2020.

⁶ “El uso directo de hidrógeno verde, así como de sus derivados como el metanol, el amoníaco y los combustibles sintéticos, en sectores como en el transporte terrestre, marítimo y aéreo, minería, industrias y en el sector eléctrico, será necesario para que Chile experimente la transición desde los combustibles fósiles”. Ref. Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, Ministerio de Energía, 2020.

⁷ “Cabe destacar que, si bien el agua no es la principal fuente de producción de hidrógeno, por el momento se posiciona como la única alternativa para la producción de hidrógeno “verde” o renovable a gran escala”. Ref. Tecnologías del hidrógeno y perspectivas para Chile, Ministerio de Energía - GIZ, 2019.

posteriormente ser transportada al electrolizador, donde se producirá la electrólisis del agua mediante el uso de energías renovables.

Figura 2: Proceso de producción de hidrógeno verde.

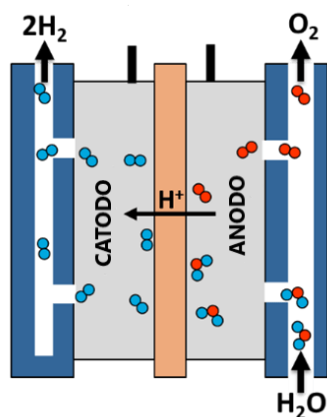


Fuente: ECN - Presentación Estrategia Nacional Hidrógeno Verde, Ministerio de Energía, 2020.

El equipo donde se lleva a cabo la electrólisis se denomina electrolizador, las principales tecnologías para la generación de hidrógeno mediante electrólisis corresponden a:

- Electrolizador de membrana de intercambio de protones (*Proton Exchange Membrane* -PEM-, por su sigla en inglés): el agua reacciona en el ánodo para formar oxígeno e iones de hidrógeno cargados positivamente (protones). Los electrones fluyen a través de un circuito externo y los iones de hidrógeno se mueven selectivamente a través de una membrana polimérica conductora de protones (H^+) como electrolito hasta el cátodo. En el cátodo, los iones de hidrógeno se combinan con los electrones del circuito externo para formar gas hidrógeno. El proceso se puede visualizar en la Figura 3.

Figura 3: Proceso de electrólisis con electrolizador PEM.



Fuente: U.S Department of Energy⁸.

⁸ Disponible en la Office of Energy efficiency & Renewable energy /transportation/hydrogen/hydrogen production/electrolysis, del U.S Department of Energy, en su sitio web www.energy.gov.

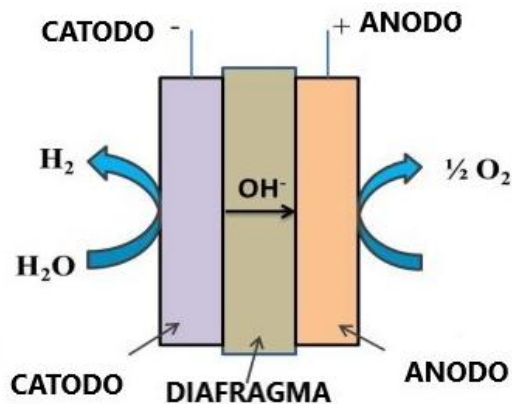
Las reacciones que ocurren en el proceso son las siguientes:



El proceso se lleva a cabo a presiones de 30-80 bar y temperaturas de 50-80 °C⁹.

- Electrolizadores alcalinos: transportan iones de hidróxido (OH⁻) a través de su electrolito alcalino desde el cátodo hasta el ánodo. En el lado del cátodo se reducen dos moléculas de la solución alcalina a una molécula de hidrógeno (H₂) y se producen dos iones hidroxilo (OH⁻), como se representa en la Figura 4.

Figura 4: Electrolizador alcalino.



Fuente: S. Shiva Kumar, V. Himabindu, 2019.

Las reacciones que ocurren en el proceso son las siguientes:



El proceso se lleva a cabo a presiones de 1-30 bar y temperaturas de 60-80 °C¹⁰.

⁹ Ref. Identificación de aspectos ambientales, sectoriales y territoriales para el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde en toda su cadena de valor, Ministerio de Energía - GIZ, 2020.

¹⁰ Ref. Identificación de aspectos ambientales, sectoriales y territoriales para el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde en toda su cadena de valor, Ministerio de Energía - GIZ, 2020.

2.1. Subproductos del hidrógeno verde:

El hidrógeno verde producido a partir de la electrólisis del agua se proyecta como materia prima para la producción de otros derivados. En este contexto, la industria química podrá utilizar el hidrógeno verde para la refinación de combustibles derivados del petróleo y para la producción de amoníaco y metanol verde, cuyos procesos se describen brevemente a continuación:

- Amoníaco¹¹ verde: el diseño básico de la síntesis de amoníaco verde consiste en utilizar un electrolizador para producir hidrógeno a partir de agua y una unidad de separación de aire para obtener nitrógeno del aire, produciendo oxígeno como residuo.

Finalmente, el hidrógeno y el nitrógeno se combinan en un reactor para la producción del amoníaco a través de un proceso de Haber-Bosch. En este último, el hidrógeno de alta pureza (99,99%) y el nitrógeno, suelen reaccionar juntos a una temperatura de entre 350 y 550 °C a presiones de entre 100 y 250 bar, en presencia de un material catalítico.

- Metanol¹² verde: el metanol¹³ es generado a partir de la reacción de hidrógeno verde y dióxido de carbono. Este último puede ser obtenido de un proceso adyacente a través de sistemas de captura de aire (*Direct Air Capture* - DAC -, por su sigla en inglés) o bien de una industria relacionada que capture sus emisiones de dióxido de carbono que, de otro modo, sería liberado a la atmósfera.

Tras una adecuada compresión, el gas de síntesis que contiene hidrógeno generado por la electrólisis del agua y el dióxido de carbono se hace reaccionar catalíticamente para convertirlo en metanol crudo, cuyo contenido de agua se elimina por destilación en el último módulo del proceso.

3. Análisis de ingreso al SEIA

El SEIA, consiste en un procedimiento administrativo especial y reglado que tiene por finalidad determinar si el impacto ambiental que genera el proyecto o actividad se ajusta o no a la normativa vigente. Por consiguiente, el SEIA corresponde a un instrumento de gestión ambiental de carácter preventivo, que tiene por finalidad describir, examinar y valorar los impactos ambientales que se ocasionarán por un determinado proyecto o actividad, de forma previa a su ejecución.

Corresponde al titular de un proyecto o actividad analizar y determinar si este se encuentra en el listado de tipologías susceptibles de generar impacto ambiental, en cualquiera de sus fases, que

¹¹ N° ONU 1005; Clase 2 (gases), División 2.3 (gases tóxicos); Peligro secundario: Clase 8 (sustancias corrosivas). Ref. NCh382:2021.

¹² N° ONU 1230; Clase 3 (líquidos inflamables); Peligro secundario: Clase 6 (sustancias tóxicas y sustancias infecciosas), División 6.1 (sustancias tóxicas). Ref. NCh382:2021.

¹³ Se debe tener presente que, a partir de metanol, se pueden producir otros combustibles sintéticos como: keroseno, gasolina y dimetil éter.

deben presentarse al SEIA, según lo establecido en el artículo 10 de la Ley N°19.300 y en el artículo 3° del Decreto Supremo N°40, de 2012, que aprueba el Reglamento del SEIA.

Determinado el ingreso obligatorio del proyecto o actividad al SEIA, es responsabilidad del titular definir la modalidad de ingreso, ya sea a través de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) o una Declaración de Impacto Ambiental (DIA). Para ello, corresponde analizar el artículo 11 de la Ley N°19.300, donde se establece que los proyectos que se presentan al SEIA requieren la elaboración de un EIA si generan o presentan a lo menos uno de los Efectos, Características o Circunstancias (ECC).

Ahora bien, entre los contenidos mínimos de los EIA y las DIA establecidos en los artículos 18 y 19 del Reglamento del SEIA, respectivamente- se encuentra la indicación de *“la tipología del proyecto o actividad, y de sus partes u obras, si corresponde”*.

De la revisión del listado de tipologías establecido en el artículo 10 de la Ley N°19.300 y el artículo 3° del Reglamento del SEIA, se advierte que **no existe una tipología específica para proyectos de producción, almacenamiento o transporte de hidrógeno verde**. En consecuencia, estos proyectos ingresarán al SEIA cuando alguna de sus partes u obras se enmarquen en las tipologías de ingreso existentes.

A continuación, se identifican algunas de estas tipologías que pudiesen ser aplicables a las partes u obras de estos proyectos:

- Literal a), en consideración al uso de agua en estos proyectos (suministro básico), en especial, respecto de obras vinculadas con el transporte o almacenamiento de agua (acueductos, embalses/presas).
- Literal b), cuando se contemplen líneas de transmisión de alto voltaje y sus subestaciones.
- Literal c), cuando se consideren centrales de generación de energía mayores a 3 MW. Esto principalmente es para el abastecimiento de la energía eléctrica limpia y renovable para este tipo de proyectos como: fotovoltaica, eólica u otras.
- Literal ñ.1), cuando se considere la producción, disposición o reutilización de sustancias tóxicas¹⁴ (metanol, peligro secundario, división 6.1 (sustancias tóxicas) de la NCh382:2021)¹⁵, que se realice en un semestre o más, en una cantidad igual o superior a 10.000 kg/día. Si el proyecto considera una capacidad de almacenamiento de sustancias tóxicas en una cantidad igual o superior a 30.000 kg.
- Literal ñ.3), cuando se considere la producción, disposición o reutilización de sustancias inflamables¹⁶ (hidrógeno comprimido¹⁷, clase 2, división 2.1 de la NCh382:2021; hidrógeno

¹⁴ Se entenderá por sustancias tóxicas en general, aquellas señaladas en la Clase 6, División 6.1 de la NCh 382. Of 2004, o aquella que la reemplace. Ref. Reglamento del SEIA.

¹⁵ Respecto al amoníaco, si bien está categorizado en la NCh382:2021 en la clase 2 (gases), división 2.3 (gases tóxicos), el Reglamento del SEIA define a las sustancias tóxicas en general, como aquellas pertenecientes a la clase 6, división 6.1 de la NCh 382. Por lo tanto, el amoníaco quedaría fuera del alcance del presente literal.

¹⁶ Se entenderá por sustancias inflamables en general, aquellas señaladas en la Clase 2, División 2.1, 3 y 4 de la NCh 382. Of 2004, o aquella que la reemplace. Ref. Reglamento SEIA.

¹⁷ N° ONU 1049, Clase 2 (gases), División 2.1 (gases inflamables). Ref. NCh382:2021.

líquido refrigerado¹⁸, clase 2, división 2.1, de la NCh382:2021 o metanol¹⁹, clase 3 de la NCh382:2021), durante un semestre o más y con una periodicidad mensual o mayor, en una cantidad igual o superior a los 80.000 kg/día. Si el proyecto considera una capacidad de almacenamiento de sustancias inflamables en una cantidad igual o superior 80.000 kg.

- Literal ñ.4), cuando se considere la producción, disposición o reutilización de sustancias corrosivas²⁰ (amoníaco, peligro secundario, clase 8 (sustancias corrosivas), de la NCh382:2021) o reactivas²¹ (oxígeno²², clase 5, división 5.1, de la NCh382:2021) que se realice durante un semestre o más, y con una periodicidad mensual o mayor, en una cantidad igual o superior a 120.000 kg/día. Si el proyecto considera una capacidad de almacenamiento de sustancias reactivas en una cantidad igual o superior a 120.000 kg.
- Literal ñ.5), cuando se considere el transporte por medios terrestres de sustancias tóxicas, explosivas, inflamables, corrosivas o reactivas que se realice durante un semestre o más, en una cantidad igual o superior a cuatrocientas toneladas diarias (400 t/día).
- Literal o.6), cuando se considere emisarios submarinos, por ejemplo asociado a la descarga de salmuera de una planta desaladora que abastezca con agua al proyecto.
- Letra p), cuando se contemple ejecutar obras, programas o actividades en un área colocada bajo protección oficial.
- Literal s), cuando se contemple ejecutar obras o actividades que alteren física o químicamente un humedal emplazado total o parcialmente dentro de los límites urbanos, en los términos indicados en la norma.

Por otra parte, de realizar partes, obras, acciones o medidas tendientes a intervenir o complementar un proyecto o actividad, el titular igualmente deberá analizar y determinar si estas modificaciones constituyen “cambios de consideración”, conforme a lo dispuesto en la literal g) del artículo 2° del Reglamento del SEIA. En el evento que así fuere, dicha modificación de proyecto o actividad deberá ingresar al SEIA.

Siendo importante tener presente que, en caso de modificarse un proyecto o actividad, la calificación ambiental recaerá sobre dicha modificación y no sobre el proyecto o actividad existente. De todas formas, en la evaluación de impacto ambiental se debe considerar la suma de los impactos provocados por la modificación y el proyecto o actividad existente, para todos los fines legales pertinentes (acorde a lo señalado en el artículo 11 ter de la Ley N°19.300 y artículo 12 inciso 2° del Reglamento del SEIA).

¹⁸ N° ONU 1966, clase 2 (gases), división 2.1 (gases inflamables). Ref. NCh382:2021.

¹⁹ N° ONU 1230; clase 3 (líquidos inflamables). Ref. NCh382:2021.

²⁰ Se entenderá por sustancias corrosivas, aquellas señaladas en la Clase 8 de la NCh 382. Of 2004, o aquella que la reemplace. Ref. Reglamento SEIA.

²¹ Se entenderá por sustancias reactivas, aquellas señaladas en la Clase 5 de la NCh 382. Of 2004, o aquella que la reemplace. Ref. Reglamento SEIA.

²² N° ONU 1072; Clase 2 (gases), División 2.2 (gases no inflamables, no tóxicos); Peligro secundario: Clase 5 (sustancias comburentes y peróxidos orgánicos), División 5.1 (sustancias comburentes). Ref. NCh382:2021.

Finalmente, sin perjuicio de lo anteriormente señalado, el titular puede someter voluntariamente el proyecto al SEIA, según lo señalado en el artículo 9° de la Ley N°19.300 y en el artículo 164 del Reglamento del SEIA.

3.1. Herramientas del SEA para afrontar los proyectos de hidrógeno

El SEIA es un instrumento de gestión ambiental que busca el desarrollo sustentable a través de la inclusión de variables de índole ambiental en los proyectos que ingresan a evaluación.

Se trata de un instrumento de tercer orden que requiere para su debida operación de otros instrumentos superiores, tales como las políticas públicas (primer orden) y las normas de calidad, emisión, planes de prevención y descontaminación, instrumentos de planificación territorial, programas, entre otros (segundo orden).

Por su parte, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 81, letra d), de la Ley N°19.300, se le ha conferido al SEA la facultad de uniformar criterios, requisitos, condiciones, antecedentes, certificados, trámites, exigencias técnicas y procedimientos de carácter ambiental que establezcan los Ministerios y demás organismos del Estado competentes, mediante el establecimiento, entre otros, de guías trámite.

Es así como en materia de energía se han desarrollado diferentes documentos que tienen alta incidencia en los proyectos sometidos a evaluación. De esta forma, se releva la importancia de observar las guías de evaluación de impacto ambiental²³, instructivos para la evaluación de impacto ambiental²⁴ y los criterios de evaluación en el SEIA²⁵, todos disponibles en el Centro de Documentación del SEA en su página web www.sea.gob.cl.

²³ Disponible en Centro de Documentación, sección Guías para la Evaluación de Impacto Ambiental, en su sitio web, www.sea.gob.cl.

²⁴ Disponible en Centro de Documentación, sección Instructivos para la Evaluación del Impacto Ambiental, en su sitio web, www.sea.gob.cl.

²⁵ Disponible en Centro de Documentación, sección Criterio de Evaluación en el SEIA, en su sitio web, www.sea.gob.cl.

4. Descripción de proyectos de producción de hidrógeno verde

La importancia del capítulo de descripción del proyecto es evidente, debido a que los factores que determinan la mayor parte de los impactos ambientales son descritos en él; esto es:

- El emplazamiento o localización de las partes y obras del proyecto.
- Las acciones o actividades que interactúan con los componentes ambientales del lugar que son objeto de protección para efectos del SEIA.
- La temporalidad en la que se realizan las acciones y permanecen las obras.
- El tipo, cantidad y receptor de las emisiones, efluentes y residuos.
- Los requerimientos de extracción, explotación, uso o intervención de recursos naturales renovables.
- Los requerimientos para la ejecución del proyecto, tales como cantidad y origen de la mano de obra o servicios, suministros e insumos, y transporte.
- Los productos o servicios del proyecto.

Por otra parte, sobre la base del capítulo de descripción del proyecto se identifica gran parte de la normativa y los Permisos Ambientales Sectoriales (PAS) que le son aplicables, así como las situaciones de riesgo o contingencia. De todo lo anterior se desprende la necesidad de que el capítulo de descripción del proyecto se refiera y profundice en las materias indicadas, ya que es información indispensable para realizar la posterior evaluación de impacto ambiental.

Asimismo, una descripción adecuada de las partes, obras y acciones de un proyecto debe considerar las vinculaciones existentes entre ellas de manera de poder entender el proyecto y verificar la coherencia, consistencia y completitud de la descripción presentada, todo lo cual es información relevante para la evaluación. Teniendo en consideración que en todo proyecto o actividad presentado al SEIA se deben describir los factores generadores de impactos ambientales tales como: partes; obras; acciones; emisiones; efluentes; residuos; explotación, extracción, uso o intervención de recursos naturales; mano de obra; suministros o insumos básicos; y productos y servicios generados.

En síntesis, lo fundamental es que el capítulo de descripción del proyecto tenga el suficiente nivel de desagregación y detalle que permita al lector, tanto a evaluadores como a la ciudadanía en general, comprender globalmente el proyecto e identificar sus potenciales impactos ambientales.

4.1. Principales suministros básicos

A continuación, se presentan los principales suministros relacionados a proyectos que producen hidrógeno verde, independiente de que en los proyectos ingresados al SEIA se deban identificar y describir todos los insumos asociados a las partes obras y acciones del proyecto.

4.1.1. Agua

Para producir hidrógeno verde a través del proceso de electrólisis, se requiere de agua²⁶ con un nivel de calidad tal, que evite la deposición de minerales y el consiguiente deterioro de los elementos de las celdas electrolíticas.

El agua utilizada requerirá de un sistema de acondicionamiento que tenga por objeto obtener las características antes descritas, por lo que generalmente es tratada mediante procesos de osmosis inversa y desionización.

Para la provisión de agua se debe considerar, a lo menos lo siguiente:

- Cantidad requerida por unidad de tiempo (l/día, l/mes, m³/día, m³/año, entre otros).
- Fuente de abastecimiento, indicando:
 - Tipo: red pública, río, lago, humedal, vertiente, agua subterránea, estuario, mar u otro.
 - Ubicación georreferenciada (formato *shp, kml o kmz*) del punto de captación de agua, en el caso de corresponder, por ejemplo, ubicación de pozos.
 - Modo de provisión: propio o tercero.
- Destino: indicar las actividades en que se utilizará el agua, por ejemplo, la electrólisis.
- Tipo de transporte para carga y descarga del agua (red de agua potable, camión aljibe, ducto, entre otros).
- Si hubiese población cercana que utiliza la misma fuente de agua para su consumo, indicar el volumen de consumo (l/día, l/mes, m³/día, m³/año, entre otros) y la ubicación georreferenciada (formato *shp, kml o kmz*) del punto de captación de agua²⁷.

En el caso, que el proyecto considere estanques de acumulación y provisión de agua, se deben describir las instalaciones a utilizar, a lo menos, con lo siguiente:

- Indicar todas las unidades que componen el sistema de provisión y almacenamiento (por ejemplo, estanques, filtros, ductos, mangueras, otros), indicando sus características principales.
- Cantidad de estanques (n°).
- Dimensiones de los estanques, indicando su capacidad de almacenamiento (m³).
- Destino o uso del agua.
- *Layout* de la ubicación de los estanques junto a los otros equipos.
- Se deberá señalar aquellos casos en que se reutilice el efluente de alguna de las plantas de tratamiento de aguas servidas que considere el proyecto para estos fines, en caso de corresponder, indicando la cantidad y su calidad acorde a la normativa de referencia que corresponda.

²⁶ En general, para producir 1 tonelada de hidrógeno se utilizan aproximadamente 10 toneladas de agua y se producen aproximadamente 8 toneladas de oxígeno. Ref. Identificación de aspectos ambientales, sectoriales y territoriales para el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde en toda su cadena de valor, Ministerio de Energía - GIZ, 2020.

²⁷ Esta información permite descartar la generación de impactos significativos.

4.1.2. Energía eléctrica

La producción de hidrógeno verde, mediante el proceso de electrólisis, requiere de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables (por ejemplo, fotovoltaica, eólica, o una combinación de fuentes renovables y baterías de almacenamiento). El insumo de energía eléctrica debe describirse de acuerdo con lo siguiente:

- Cantidad requerida (kWh).
- Forma de provisión: señalar el tipo de conexión a la fuente de energía renovable o red eléctrica²⁸:
 - Tipo: líneas de transmisión eléctrica, parque fotovoltaico, parque eólico u otro.
 - Ubicación georreferenciada (formato *shp*, *kml* o *kmz*) del punto de conexión a la red eléctrica, en caso de corresponder.
 - Modo de provisión²⁹: propio o tercero.
- En caso de requerir equipos electrógenos, se deberá detallar la potencia (kW, kVA) requerida de cada equipo, tipo de combustible y régimen de operación (respaldo o emergencia, continuo, entre otros), si corresponde.
- Destino: indicar la o las actividades en que se utiliza la energía.

5. Almacenamiento y transporte de hidrógeno verde

El almacenamiento de hidrógeno verde representa grandes desafíos en términos de infraestructura, ya que, al tener una baja densidad de energía volumétrica, requiere depósitos de mayor volumen y a altas presiones. Actualmente, el almacenamiento de hidrógeno se puede realizar como gas comprimido en cilindros de alta presión (350-700 bar) o como líquido criogénico (10 bar, -252°C) en tanques aislados especialmente diseñados.

La clasificación del hidrógeno verde se realiza a partir de su número de las Naciones Unidas (N° ONU) y clasificación de peligro, de acuerdo con la información contenida en la Norma Chilena de Seguridad NCh382:2021, o aquella que la reemplace. El hidrógeno verde está asociado a los números ONU 1049 (gas comprimido) y 1966 (líquido criogénico), dependiendo de sus condiciones de almacenamiento. De acuerdo con la NCh382:2021, corresponden a la clase 2 (gases), división 2.1 (gases inflamables), tanto para el hidrógeno comprimido, como para el hidrógeno líquido refrigerado.

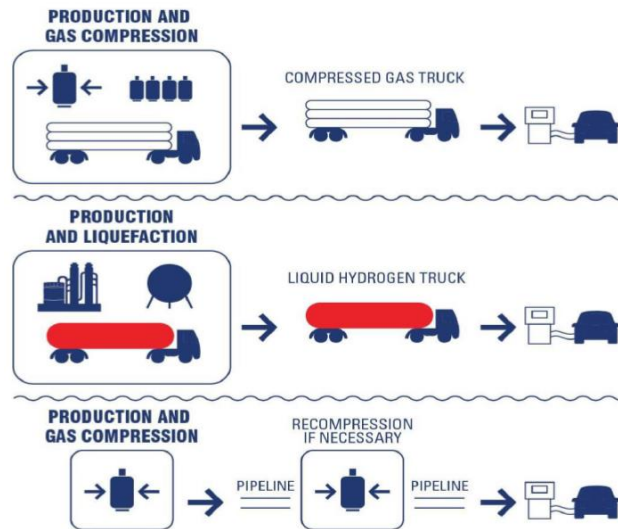
²⁸ Un proyecto de hidrógeno verde puede abastecerse de electricidad desde el Sistema Eléctrico Nacional (SEN), desde el Sistema Eléctrico de Aysén o al Sistema Eléctrico de Magallanes, desde un proyecto de energía renovable mediante una línea de conexión dedicada, o bien, una combinación de ambas soluciones.

²⁹ En el caso que, la provisión de energía corresponda a partes u obras del proyecto, se deberá describir considerando las guías de descripción de proyectos disponibles en Centro de Documentación, en su sitio [web](http://www.sea.gob.cl), www.sea.gob.cl, acorde a cada tipología, según corresponda:

- Guía para la Descripción de Centrales Eólicas de Generación de Energía Eléctrica en el SEIA, 2020.

- Guía para la Descripción de Proyectos de Centrales Solares de Generación de Energía Eléctrica en el SEIA, 2017.

Figura 5: Almacenamiento de hidrógeno verde.



Fuente: Curso Hidrógeno Verde para Ministerio de Energía, Escuela de Ingeniería UC. 2020.

Como se puede observar en la Figura 5, en relación al transporte de hidrógeno verde, ya sea como gas comprimido o líquido criogénico, este suele realizarse principalmente por vía terrestre³⁰ (camiones, ferrocarril, u otra) o por vía marítima (barco) hasta sus puntos de distribución. Sin embargo, el proyecto pudiese requerir para su transporte y distribución de la construcción de un ducto (gasoducto) o el empleo de redes de gas existente, incluso mediante mezclas con otros combustibles.

6. Bibliografía

- Instituto Nacional de Normalización (INN). 2021. NCh382:2021 Mercancías Peligrosas - Clasificación. Disponible en el sitio [web www.inn.cl](http://www.inn.cl).
- Ministerio de Energía. 2020. Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde. Disponible en el sitio [web www.energia.gob.cl](http://www.energia.gob.cl).
- Ministerio de Energía - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. 2020a. Proyecto Descarbonización del Sector Energía en Chile: Proposición de Estrategia Regulatoria del Hidrógeno para Chile. Disponible en el sitio [web www.energia.gob.cl](http://www.energia.gob.cl).
- Ministerio de Energía - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. 2020b. Proyecto Descarbonización del Sector Energía en Chile: Identificación de aspectos ambientales, sectoriales y territoriales para el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde en toda su cadena de valor. Disponible en el sitio [web www.energia.gob.cl](http://www.energia.gob.cl).

³⁰ Mayores detalles en Guía para la Descripción de la Acción del Transporte Terrestre en el SEIA, Servicio de Evaluación Ambiental, 2017. Disponible en Centro de Documentación, sección Guías para la Evaluación de Impacto Ambiental, en su sitio [web, www.sea.gob.cl](http://www.sea.gob.cl).

- Ministerio de Energía – Educación Profesional de la Escuela de Ingeniería UC. 2020. Curso Hidrógeno Verde para Ministerio de Energía.
- Ministerio de Energía - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. 2019 (segunda edición). Proyecto “Fomento de la Energía Solar”: Tecnologías del Hidrógeno y perspectivas para Chile. Disponible en el sitio *web* www.energia.gob.cl.
- Ministerio de Energía. 2018 – 2022. Ruta de energética. Liderando la modernización con sello ciudadano. Disponible en el sitio *web* www.energia.gob.cl.
- Ministerio de Energía. 2015. Política Energética de Chile. Energía 2050. Disponible en el sitio *web* www.energia.gob.cl.
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia. 1994. Ley N°19.300, Aprueba Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Disponible en el centro de documentación de la Biblioteca del Congreso Nacional de su sitio *web*, www.bcn.cl.
- Ministerio del Medio Ambiente. 2012. Aprueba Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Disponible en el centro de documentación de la Biblioteca del Congreso Nacional de su sitio *web*, www.bcn.cl.
- S. Shiva Kumar, V. Himabindu. 2019. Hydrogen production by PEM water electrolysis - A review, Materials Science for Energy Technologies. Disponible en Science Direct, en su sitio *web*, www.sciencedirect.com.