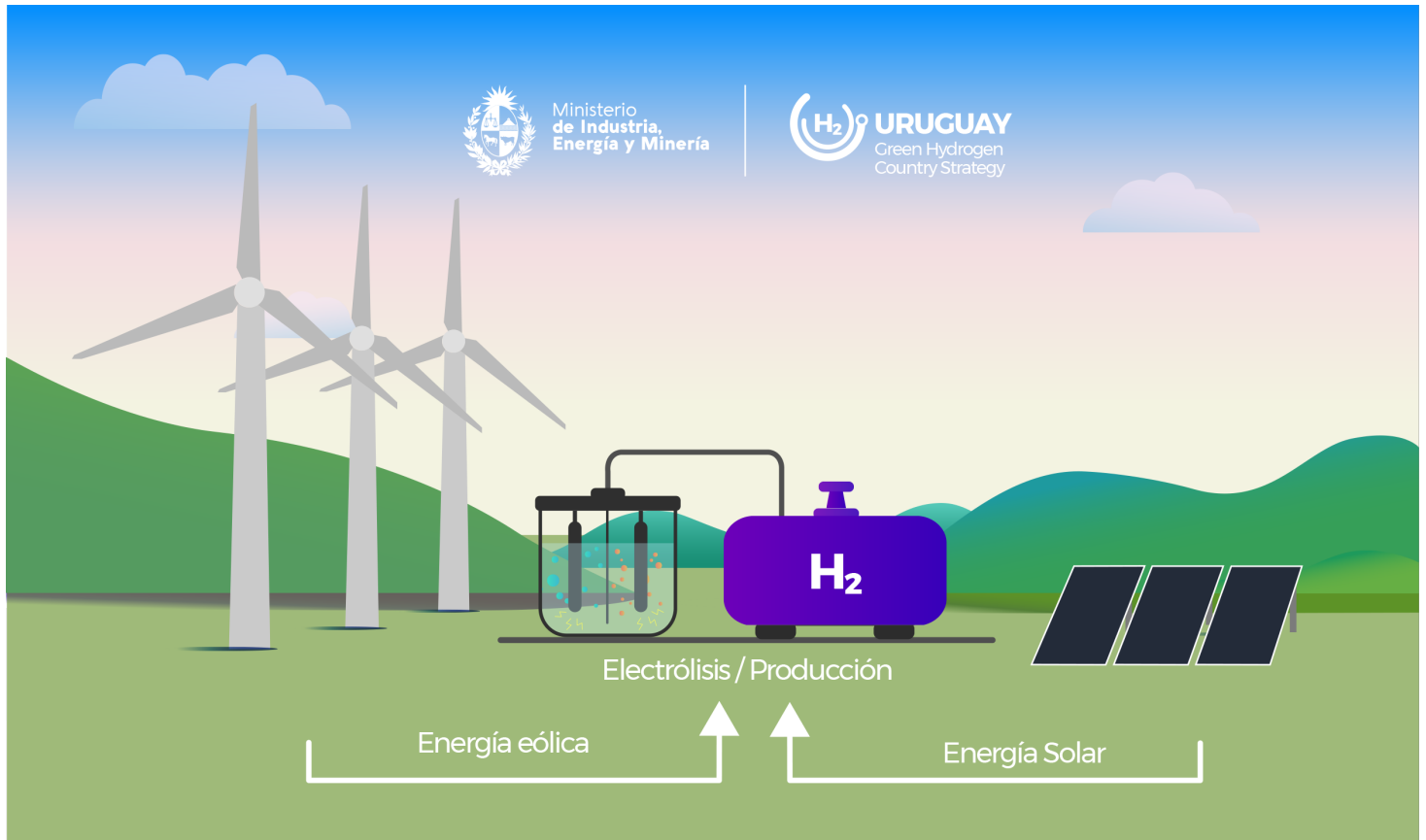


# Preguntas frecuentes sobre hidrógeno verde y sus derivados



## Autor

Hidrógeno MIEM

## Fecha de creación

27/11/2023

## Tipo de publicación

Materiales didácticos

# Resumen

Información relevante sobre el hidrógeno verde y sus derivados

## ¿Qué son el hidrógeno verde y sus derivados?

Son una de las principales soluciones que aparecen frente al desafío del calentamiento global. El hidrógeno verde y sus derivados se destacan como una sólida alternativa a los combustibles fósiles permitiendo aportar a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en sectores donde es más desafiante alcanzarlo.

Al producirse en base a fuentes de energía eléctrica renovables, el hidrógeno verde y sus derivados evitan las emisiones contaminantes asociadas a los combustibles tradicionales. Al reemplazar estos combustibles y materias primas en diversas aplicaciones, desde transporte hasta procesos industriales, se reduce significativamente los efectos del cambio climático asociado a estas actividades.

Además, el hidrógeno verde puede usarse como una forma de almacenar energía de fuentes renovables, contribuyendo a lograr un suministro constante. Adoptar esta alternativa no sólo disminuye nuestra dependencia de los combustibles fósiles, sino que también abre la puerta a un futuro de la energía y productos más sostenible así como a la innovación en tecnologías limpias.

## ¿Qué son los derivados del H<sub>2</sub>?

A partir del H<sub>2</sub> es posible producir nuevos productos combinándolo con otras moléculas. Por ejemplo, si combinamos H<sub>2</sub> con nitrógeno que se toma de la atmósfera, puedo producir amoníaco. Si combinamos H<sub>2</sub> con CO<sub>2</sub>, podemos producir alcohol y combustible. A su vez estos insumos pueden ser utilizados en múltiples procesos para obtener un gran número de productos (fertilizantes, alimentos, acero, etc.). A los productos obtenidos en base a hidrógeno y en combinación con otras moléculas, los llamamos "derivados del H<sub>2</sub>".

## ¿Para qué se pueden utilizar el H2 y sus derivados?

El H2 y sus derivados tienen numerosos usos y aplicaciones. Algunas de ellas son:

- **Materia prima en procesos productivos:** para producir alimentos, amoníaco, fertilizantes, alcoholes, plásticos, acero o refinación de petróleo, etc.
- **Combustible para transporte:** puede ser utilizado como combustible, directamente como H2 o como un derivado de éste. Por ejemplo, puedo usar el H2 para producir energía eléctrica en un vehículo eléctrico (mediante una celda de combustible) que será usada luego como fuente de energía en su motor (en vez de enchufarlo). O puedo usar un derivado del hidrógeno como combustible a ser usado directamente en un motor tradicional (a combustión).

## **¿Se puede utilizar cualquier tipo de agua en la producción de hidrógeno, independientemente de su origen?**

Para la producción de hidrógeno se puede utilizar cualquier tipo de agua. Las fuentes de agua pueden ser superficiales o subterráneas, dulces o saladas.

Independientemente de la fuente utilizada, es necesario contar con una planta de purificación de aguas para eliminar impurezas que puedan interferir en el proceso de electrólisis.

## ¿Cuánta agua se necesita para producir hidrógeno?

El agua necesaria para la producción de hidrógeno verde será utilizada en los electrolizadores y como insumo general del proceso. Una vez tomado el recurso agua de la fuente correspondiente, cualquiera sea su origen, debe ser acondicionada para obtener la calidad requerida para su uso posterior.

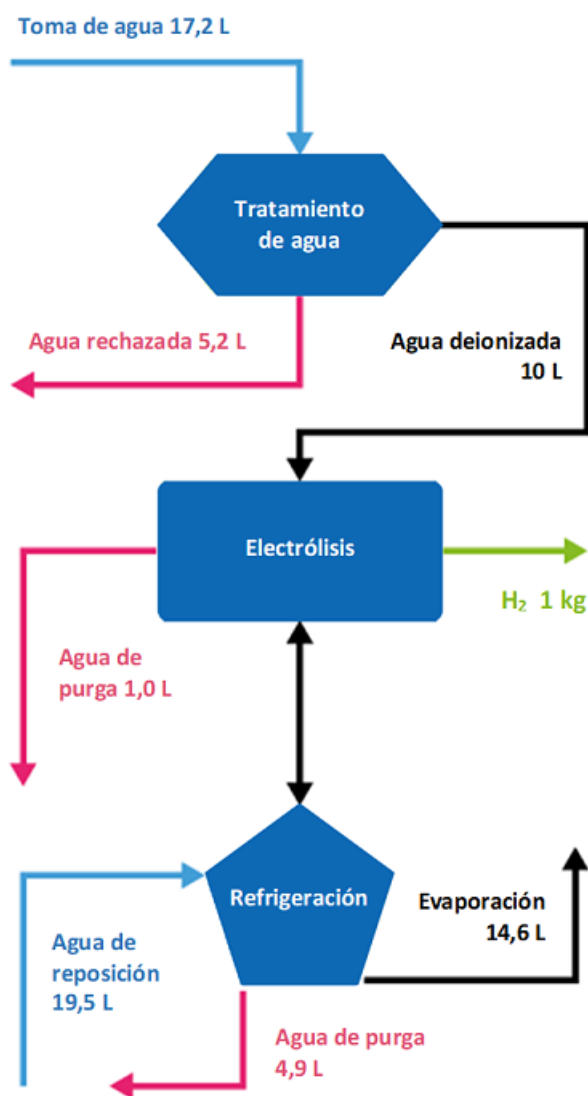
El volumen de agua depende del acondicionamiento necesario para su uso en el proceso de electrólisis. Por lo tanto, dependerá de la fuente de agua y de la tecnología que se utilice.

Por otra parte, durante el proceso de electrólisis se genera calor y es necesario utilizar agua para su enfriamiento. Esta es recirculada en el mismo proceso, y se debe reponer periódicamente una fracción menor de la cantidad total.

Por lo tanto, la cantidad de agua necesaria para producir un kilogramo de hidrógeno se estima entre 27 y 48 litros, dependiendo de la fuente y de la tecnología utilizada. (\*) Se toma como referencia un valor de 37 litros considerando la toma de agua superficial o subterránea y el uso de electrólisis alcalina.

Esquema de extracción y consumo de agua en litros para producir 1 kilogramo de hidrógeno con toma de agua superficial o subterránea y electrólisis alcalina.

Fuente: IRENA, 2023



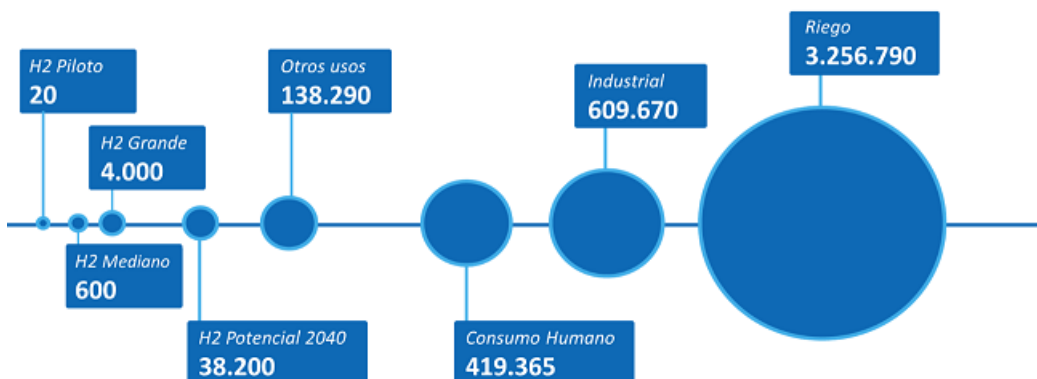
\* Fuente: IRENA and Bluerisk (2023), Water for hydrogen production. International Renewable Energy Agency (IRENA), Bluerisk, Abu Dhabi, United Arab Emirates. ISBN: 978-92-9260-526-1. Documento disponible en: <https://www.irena.org/Publications/2023/Dec/Water-for-hydrogen-production>)

## ¿Cuánta agua se necesita para los proyectos de hidrógeno en Uruguay?

El agua en el país se utiliza en distintas actividades, que van desde el consumo humano a la producción de alimentos para consumo nacional y exportación, hasta los procesos industriales y la producción de energía.

En el siguiente gráfico puede observarse que el consumo potencial de agua identificado para la producción de hidrógeno de todos los proyectos considerados en [Hoja de Ruta de hidrógeno verde y derivados](#) a 2040 representa aproximadamente un 1% del agua habilitada para uso de riego en el sector agropecuario, y un 6% del agua habilitada para consumo industrial en el año 2022. Estos valores representan el total de las autorizaciones otorgadas por DINAGUA, incluyendo tomas de aguas superficiales, subterráneas y embalses.

Consumos de agua asociados a permisos otorgados por DINAGUA en Uruguay;  
comparación con producción de H2 para proyectos y potencial de la Hoja de Ruta (miles de m3/año)  
Fuente: Observatorio Hidrológico DINAGUA – Datos 2022



Un proyecto de escala grande de producción de hidrógeno verde que tomará agua del río Uruguay y consumirá alrededor de 130 l/s de agua, tendría un consumo que representaría un 0,002% del caudal promedio medido en la estación hidrográfica ubicada en Salto. En los meses de menor caudal (enero, por ejemplo), representaría el 0,025%. Para este caudal, en el caso que la toma sea de aguas subterráneas, requeriría de una evaluación de impacto ambiental y la autorización dependerá de las características de acuífero y de los usos existentes.

Los proyectos de Hidrógeno Verde que se presenten deberán ser analizados y contemplados en una escala espacial y temporal para asegurar una armonía con los otros usos ya instalados en la cuenca y con las proyecciones de desarrollo que se tengan para una determinada región del país.



## ¿Por qué el hidrógeno se clasifica en colores?

La clasificación por colores del Hidrógeno se vincula a la forma de obtenerlo. Actualmente se distinguen diferentes colores, pero los tres principales son el gris, el azul y el verde.

- **Hidrógeno gris:** se obtiene a través de la técnica de reformado de vapor, al hacer pasar el gas natural por vapor de agua. Este sistema de producción es el más utilizado en la actualidad.
- **Hidrógeno azul:** al igual que el hidrógeno gris, se obtiene a partir de un proceso químico llamado “reformado” del gas natural (el gas natural se encuentra bajo tierra o bajo el lecho marino y se extrae de allí). Durante este proceso se obtiene hidrógeno y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que es capturado y almacenado por ser un gas vinculado al cambio climático. De esta forma se reduce la emisión al ambiente de gases contaminantes.
- **Hidrógeno verde:** se obtiene a través de un proceso que utiliza agua y energía eléctrica de origen renovable como insumos para producirlo. El método para su producción se denomina electrólisis.

## **¿Qué tipo de energía se puede utilizar para producir hidrógeno verde?**

Para que el hidrógeno sea considerado verde, se necesita energía eléctrica de origen renovable. Esta energía puede provenir del sol, del viento, del agua —a través de las represas— o de la biomasa, es decir residuos de cáscara de arroz, restos de maderas u otros, mediante un proceso de combustión.

Para producir un kg de hidrógeno, se necesitan aproximadamente de 50 a 60 kWh de energía.

## ¿Por qué hablamos hoy del hidrógeno verde?

Actualmente, la producción y uso de los combustibles fósiles son unos de los principales causantes del cambio climático (a través de la emisión del gas CO<sub>2</sub>, producto de su combustión). Los combustibles fósiles se utilizan hoy para transporte, para generación de energía eléctrica y como materia prima de otros procesos productivos, entre otros ejemplos.

En el transporte de larga distancia, por ejemplo, para generar menos gases de efecto invernadero, es necesario introducir un combustible renovable. Con el hidrógeno verde y sus derivados, es posible hacerlo.

El hidrógeno fue sintetizado por primera vez a partir de electrólisis del agua en 1789. Sin embargo, en las últimas décadas se ha priorizado su obtención a partir de fuentes fósiles (petróleo, gas natural, carbón), por ser la forma más económica de conseguirlo pero a la vez más contaminante. Hoy en día, la producción de energía renovable proveniente del sol y del viento ha disminuido mucho sus costos, por lo que la producción de hidrógeno mediante electrólisis se ha vuelto más factible. Pero la motivación principal es que puede ser usado para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), responsables del cambio climático.

El CO<sub>2</sub> es uno de los principales gases de efecto invernadero. Al reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, se está actuando para reducir los impactos del cambio climático (como sequías, inundaciones, temperaturas extremas), tanto en los ecosistemas como los directos en la población.

## ¿Cómo se relaciona la producción de combustibles con el hidrógeno verde?

Es posible producir combustibles sintéticos derivados del hidrógeno verde y considerarlos de origen renovable (se denominan combustibles renovables). Estos combustibles derivados del hidrógeno tienen la misma composición que los combustibles tradicionales. La diferencia es que no provienen de fuentes consideradas contaminantes, como el petróleo.

Los combustibles renovables, así como los combustibles fósiles tradicionales, son hidrocarburos compuestos de carbono e hidrógeno. Para la producción de combustibles renovables requiere una fuente de carbono que no sea de origen fósil (petróleo). Para lograr esto, se utiliza CO<sub>2</sub> de fuentes no fósiles y se lo combina con el H<sub>2</sub> verde, obteniendo la composición química de los combustibles tradicionales pero sin el impacto que genera su uso.

Estos combustibles derivados del H<sub>2</sub>, pueden ser utilizados para aviación (queroseno verde), para barcos (metanol o amoníaco verde) y para el transporte carretero (gasolina o diésel renovable). Algunos de ellos se denominan también como e-metanol, e-gasolina o e-queroseno, entre otros, cuando su origen proviene de la energía eléctrica.

## **¿De dónde proviene el CO<sub>2</sub> utilizado para producir combustibles renovables derivados del hidrógeno verde?**

El CO<sub>2</sub> es un gas que se encuentra presente tanto en la atmósfera, de forma natural, como en las emisiones de gases de procesos industriales y del transporte.

Para producir combustibles renovables derivados del hidrógeno verde, el CO<sub>2</sub> debe provenir de las emisiones de industrias que utilizan material vegetal en su proceso o ser tomado directamente del aire, ya que de esta forma es considerado neutro en emisiones de gases de efecto invernadero.

Por ejemplo, en la producción de arroz se generan residuos de origen vegetal (cáscara de arroz), que luego son utilizados para producir energía, emitiendo CO<sub>2</sub> considerado de origen vegetal. Estos gases pueden ser captados para producir combustibles renovables, junto con el hidrógeno verde.

## ¿Por qué el CO<sub>2</sub> de origen vegetal es considerado neutro en emisiones de gases de efecto invernadero?

Durante el crecimiento de material vegetal, se capta CO<sub>2</sub> de la atmósfera vinculado al proceso de fotosíntesis. Luego, ese material vegetal (biomasa), es utilizado en otro proceso productivo (por ejemplo producción de pulpa de celulosa, producción de energía eléctrica o biocombustibles), donde este dióxido de carbono es emitido nuevamente a la atmósfera.

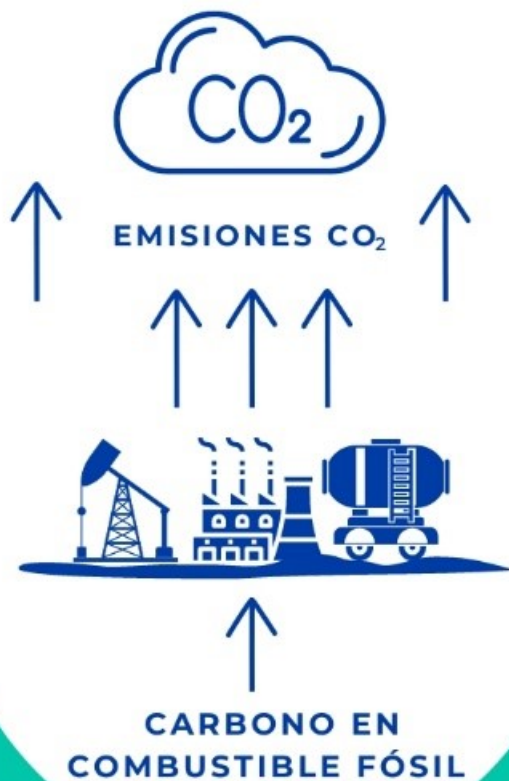


### CICLO DEL CARBONO

#### COMBUSTIBLES FÓSILES

VS.

#### BIOMASA



Por lo tanto, este CO<sub>2</sub> viene de la atmósfera y vuelve a ella, en un balance natural del ciclo del carbono. Bajo estas condiciones, se tiene una condición de carbononeutralidad durante el ciclo de vida del producto.

Cuando utilizamos petróleo, estamos tomando carbono que está almacenado bajo tierra, formado durante millones de años. Al liberarlo estamos aumentando la cantidad de carbono en la atmósfera y por esto no es considerado carbono neutral.

## ¿El hidrógeno es un producto peligroso?

El hidrógeno, como cualquier otro combustible, presenta riesgos de seguridad, por lo que se debe realizar un manejo apropiado de este e implementar las medidas de control y seguimiento adecuadas. Cada combustible líquido o gaseoso exhibe riesgos distintos y las medidas a tomar dependen de las características de peligrosidad de cada uno de ellos. El H<sub>2</sub> se utiliza a nivel industrial desde hace mucho tiempo, por lo que se ha desarrollado la infraestructura y tecnología necesarias para producir, almacenar, transportar y utilizar hidrógeno de forma segura.

## **¿Por qué producir hidrógeno verde y derivados puede ser una oportunidad para el Uruguay?**

Uruguay se destaca a nivel mundial por haber logrado que más del 90% de su generación de energía eléctrica sea de origen renovable (agua, biomasa, viento y sol). Pero aún nos queda sustituir los combustibles fósiles en el transporte y la industria. Para el transporte de corta distancia, en ciudades, las alternativas son el transporte colectivo, la bicicleta y las caminatas (movilidad activa), así como los vehículos eléctricos a batería. Para el transporte carretero de carga pesada y de pasajeros de larga distancia, la producción y utilización del hidrógeno verde y/o derivados es una de las soluciones en desarrollo a nivel global, y podría implementarse a nivel nacional.

El mundo está buscando desarrollar la economía del hidrógeno verde para disminuir el calentamiento global, y en ese marco se identifican países exportadores e importadores de energía, productos y materias primas verdes. En general, los países de nuestra región tienen buenas condiciones para ser productores y exportadores de hidrógeno verde y derivados. Uruguay tiene ventajas comparativas para producir, en particular, derivados del hidrógeno, como combustibles para barcos y aviones, fertilizantes o materias primas verdes para procesos industriales.

En la medida que el H<sub>2</sub> verde y sus derivados son un sustituto del petróleo, que en Uruguay se importa, su producción implicaría la generación de fuentes de energía autóctona, habilitando un mayor desarrollo económico. Podría asimismo habilitar la creación de nuevas industrias vinculadas a la producción de los productos derivados del H<sub>2</sub>.

Esta oportunidad coloca a Uruguay en la frontera de innovación en energías limpias posicionando al país con un nuevo rol en el escenario mundial y nos permite explorar formas de apropiación del conocimiento y la riqueza. Es una oportunidad de crecimiento sobre la base de la disponibilidad de recursos abundantes y renovables, asegurando los criterios de sostenibilidad general y en cumplimiento de elevados estándares de protección ambiental. La clave es lograr una adecuada gestión de todos los recursos disponibles.



## **¿Cuáles son las ventajas de Uruguay para producir hidrógeno verde, en particular de derivados como los combustibles renovables?**

Uruguay presenta ventajas competitivas para poder ser un país productor de hidrógeno verde y derivados, como los combustibles renovables. Estas son las siguientes:

1. Un gran potencial para instalar nueva capacidad de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, principalmente eólica y solar fotovoltaica, sin afectar el abastecimiento de la demanda de energía doméstica. El país cuenta con un muy buen recurso combinado eólico y solar, tanto por su complementariedad diaria (más viento de noche y más sol de día) como a lo largo del año (mejores vientos en primavera). Lo anterior permite que los electrolizadores funcionen por más horas al año contribuyendo a mejorar los costos de producción de hidrógeno.
2. Disponibilidad de agua y CO<sub>2</sub> de origen vegetal (biogénico), asociado a instalaciones industriales que utilizan residuos de biomasa (plantas de energía eléctrica y biocombustibles o industria de la pulpa de celulosa), en la proximidad de zonas de buena disponibilidad de recursos de energía renovables.
3. Acceso al océano Atlántico, lo que permite la exportación de combustibles renovables a Europa, con distancias de envío que no impactan significativamente en el valor del producto final. El puerto de Montevideo y las rutas y vías férreas y fluviales tienen buenas condiciones para el desarrollo de la exportación de los derivados de hidrógeno, como los combustibles.
4. Una fuerte institucionalidad y respeto a las reglas de derecho. Eso lo convierte en un destino confiable para hacer negocios. Cuenta con una buena estabilidad sociopolítica y se encuentra entre las principales economías del mundo con reconocimiento internacional de su calidad de gobernanza, factores sociales y ambientales.

## ¿Cuál es el aporte de estos proyectos al país?

Los proyectos de hidrógeno verde y sus derivados podrán generar los siguientes aportes a nivel nacional:

- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel nacional permitiendo continuar con la transición energética y descarbonizar otros sectores de la economía. Se estima una reducción aproximada de 7 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> al 2040, del orden de las emisiones del sector energético actuales del país.
- Desarrollo de industrias de mayor valor agregado, diversificando nuestra matriz productiva.
- Desarrollo de la investigación e innovación en temas relacionados.
- Creación de empleo de calidad, vinculado a un nuevo rubro industrial. Empleo en el interior del país, aportando a la descentralización. Se estima que podrían generarse aproximadamente 30.000 puestos de trabajo directos en caso de desarrollarse la Hoja de Ruta al 2040.
- Generación de un nuevo producto de exportación y servicios, que implica ingresos a la balanza comercial del país, divisas para dinamizar la actividad económica y mejoras en el nivel de ingresos de la población. Se estima que el potencial de facturación según lo propuesto en la Hoja de Ruta al 2040 sería de aproximadamente 2.000 millones de USD al año, lo que representa un 2% del PBI proyectado a dicha fecha.
- Posicionamiento de empresas nacionales de ingeniería y construcción para brindar servicios en la región.
- Oportunidades de cooperación internacional.

# ¿Qué marcos regulatorios están definidos en Uruguay para la gestión sostenible de los recursos?

Tanto para los proyectos de hidrógeno como para cualquier desarrollo nuevo que requiera del uso de recursos naturales, es necesaria una gestión responsable y sostenible bajo un marco institucional y normativo sólido.

El artículo 47 de la Constitución declara que la protección del medio ambiente es de interés general y que la gestión integrada de los recursos hídricos requiere de procesos participativos. Con ese mandato se plantean por ley los principios rectores de la Política Nacional de Aguas (ley 18.610 del año 2009). Asimismo, el país cuenta con normativa ambiental desde hace muchos años, con un Código de Aguas desde el año 1978, así como con un proceso de evaluación para la autorización ambiental de los nuevos emprendimientos desde 1994. En Uruguay el acceso al agua potable es considerado un derecho humano fundamental. Las fuentes de agua son públicas, por lo tanto, no se cobra por su uso (riego, industria, abrevadero de animales, etc.), si bien está previsto en el código de agua. Los lineamientos de la gestión integrada del agua se establecen en el Plan Nacional de Aguas, en donde se establecen objetivos y programas y proyectos, con metas a corto, mediano y largo plazo, que constituyen líneas de trabajo en desarrollo desde variadas instituciones y que están en continua promoción. Los planes de cuenca siguen los lineamientos.

Las obras de aprovechamientos de agua como embalses, tanques, tomas, pozos, entre otras, deben poseer un derecho de uso registrado y autorizado por la Dirección Nacional de Aguas del Ministerio de Ambiente (Dinagua). Se cuenta con procesos y criterios de autorizaciones de otorgamiento de derechos de uso de agua, considerando la disponibilidad en la cuenca y los otros derechos de usos de agua otorgados previamente, de forma de preservar el régimen hidrológico y acotar riesgos de fallos por la variabilidad. Por mayor información ver Plan Nacional de Aguas y sitio web del Ministerio de Ambiente.

La extracción de agua que supere los 500 l/s, los embalses que almacenen volúmenes de agua mayores a 2.000.000 m<sup>3</sup> o que su espejo supere las 100 ha, los pozos que extraigan más de 50 l/s deberán ser sometidos a una evaluación de impacto ambiental y requieren Autorización Ambiental Previa (AAP) por parte de la Dirección Nacional de Calidad y Evaluación Ambiental (Dinacea) del Ministerio de Ambiente.

Uruguay cuenta con una Ley de Protección del Ambiente desde el año 2000 y, en ese marco, existe una serie de normas de efluentes, residuos y de contaminación del aire, evaluación de impacto ambiental, entre otros, así como varios planes y políticas nacionales.

Adicionalmente, en 2008 se aprobó la Ley de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible, que regula y ordena el uso del suelo, instrumento que localmente aplican los gobiernos departamentales y municipios. En tanto, en 2020 se creó el Ministerio de Ambiente priorizando la temática ambiental en la agenda de la política pública.

La complejidad del tema ambiental necesita de consensos y acuerdos interinstitucionales, sobre la base de estudios multidisciplinarios e información sólida.

A la vez que se planifica y articula, se está avanzando en la generación de experiencias que permitan generar aprendizajes en el marco de un desarrollo sostenible, de manera escalonada y controlada.

## ¿Qué acciones se están realizando para promover una gestión ordenada y planificada de las actividades asociadas?

El desarrollo de esta oportunidad para el país debe ser planificado y gradual. Es por ello que se propone una [Hoja de Ruta de hidrógeno verde y derivados](#), que pasó por un proceso de consulta de varios meses. Fue presentada a los distintos actores de todos los partidos políticos, así como a los gobiernos departamentales, instituciones públicas, sector privado, academia y sociedad civil.

Este documento propone un desarrollo en etapas, con fases que van desde proyectos pilotos hasta proyectos de escala mediana, incluyendo su escalamiento futuro. Con este marco, se trabaja con un grupo interinstitucional conformado por ocho ministerios, diversas agencias del Estado, empresas públicas y el Consejo Nacional de Innovación, Ciencia y Tecnología (CONICYT).

A través de la aprobación de la Resolución Presidencial n.º 294/022, se conforma el Programa H2U, coordinado por el MIEM. A través de este programa, se están generando los estudios y regulaciones que permiten implementar la hoja de ruta que cumpla con los tres pilares considerados imprescindibles: la sostenibilidad ambiental, la social y la económica.

Más información en [www.hidrogenoverde.uy](http://www.hidrogenoverde.uy). Consultas ña través de [hidrogeno@miem.gub.uy](mailto:hidrogeno@miem.gub.uy).

## Links de interés para profundizar

<https://www.hydrogen.energy.gov/>

<https://www.irena.org/How-we-work/Collaborative-frameworks/Green-Hydrogen>

<https://www.iea.org/energy-system/low-emission-fuels/hydrogen>

<https://www.pwccn.com/en/industries/energy-utilities-and-mining/publications/wec-hydrogen-series-2021.html>

<https://www.nasa.gov/topics/technology/hydrogen/index.html>

<https://www.nrel.gov/hydrogen/renewable-electrolysis.html>

<https://hydrogencouncil.com/en/>

[https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen_en)

<https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Hidrogeno-verde-y-el-potencial-para-Uruguay-insumos-para-la-elaboracion-de-la-Hoja-de-Ruta-de-Hidrogeno-Verde-de-Uruguay.pdf>