

# Preguntas frecuentes sobre el uso de agua en la producción de hidrógeno verde



**Fecha de creación**

20/11/2025

**Tipo de publicación**

Materiales didácticos

# Resumen

Información relevante sobre el uso de agua para la producción de hidrógeno verde y derivados.

## ¿Cuál es el papel del agua en la producción de hidrógeno verde?

El agua cumple dos funciones en la producción de hidrógeno verde: es la materia prima fundamental, de donde se obtiene el hidrógeno y actúa como medio de refrigeración de los equipos utilizados.

En el proceso de electrólisis del agua, la energía eléctrica renovable se utiliza para dividir la molécula de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) en hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) y oxígeno ( $\text{O}_2$ ). El hidrógeno obtenido se almacena como gas y puede emplearse como portador de energía.

Durante la electrólisis, una parte de la energía eléctrica se transforma en calor, lo que eleva la temperatura del electrolizador. Para evitar el sobrecalentamiento y garantizar un funcionamiento eficiente, es necesario enfriar los equipos mediante sistemas de refrigeración, que utilizan agua como fluido térmico por su alta capacidad para absorber y disipar calor.

## ¿Cuánta agua se utiliza en la producción de hidrógeno verde?

Para producir 1 kilogramo de hidrógeno verde, se requieren 9 litros de agua ultrapura. Sin embargo, para alcanzar este nivel de pureza y para llevar a cabo la electrólisis, el volumen total que debe extraerse de la fuente, es mayor y corresponde a:

- **Tratamientos previos:** Antes de ingresar al electrolizador o al sistema de refrigeración, el agua debe someterse a procesos de purificación. Durante este tratamiento, una parte del agua se rechaza o se descarta para eliminar impurezas.
- **Ineficiencias del proceso:** Una pequeña fracción del agua no llega a transformarse en hidrógeno debido a ineficiencias del electrolizador.
- **Refrigeración:** El agua que se utiliza para mantener la temperatura de operación de los electrolizadores representa la mayor parte del requerimiento total de agua en la producción de hidrógeno verde.

Este volumen adicional, principalmente asociado a procesos auxiliares, retorna al ambiente de forma relativamente inmediata, ya sea como vapor de agua o como efluente que requiere tratamiento previo a su descarga. Asimismo, cuando el hidrógeno verde o sus derivados se utilizan, el proceso genera nuevamente agua en forma de vapor, que se reincorpora al ciclo natural.

La cantidad total de agua requerida en esta producción, depende de varios factores: la fuente de agua, la tecnología de electrólisis empleada y el sistema de refrigeración utilizado.

Se calcula que para producir 1 kg de hidrógeno verde, se necesitan entre 25 y 35 L de agua dulce.

## **¿Qué tipo de agua se necesita para la producción de hidrógeno verde?**

La producción de hidrógeno verde requiere agua de distintas calidades para asegurar la eficiencia del proceso y el buen funcionamiento de los equipos. Como materia prima para la electrólisis, se necesita agua ultrapura, la cual debe tener una conductividad eléctrica muy baja y mínimas concentraciones de sólidos disueltos y carbono orgánico.

Además del agua para la reacción química, se requiere agua limpia y tratada para el sistema de refrigeración de los electrolizadores. El objetivo de este tratamiento es evitar problemas comunes como la corrosión, el crecimiento de microorganismos o la formación de incrustaciones, que reducirían significativamente la eficiencia de la refrigeración.

## **¿Cómo se consigue el agua de calidad "ultrapura" para producir hidrógeno verde?**

El proceso de electrólisis requiere de un agua de calidad "ultrapura", es decir, con baja conductividad, mínimo carbono orgánico y baja concentración de sólidos disueltos. Dependiendo de la tecnología de electrólisis que se emplee, la calidad final requerida.

El tratamiento necesario para alcanzar esta calidad de agua depende de la fuente y de sus características, pero en general el proceso se desarrolla en dos etapas clave: un tratamiento primario y un pulido. La primera etapa busca acondicionar el agua bruta (por ejemplo, mediante filtración y desalinización) hasta alcanzar una calidad adecuada. Luego, la etapa de pulido se enfoca en eliminar las impurezas residuales para cumplir con parámetros muy estrictos. Para lograr esta pureza extrema, se utilizan tecnologías como la ósmosis inversa y la desmineralización (intercambio iónico).

## **¿Cuál es el impacto de usar diferentes tecnologías de electrólisis en la cantidad total de agua requerida?**

La tecnología utilizada en la electrólisis influye directamente en la eficiencia del uso del agua. En general, los electrolizadores de membrana de intercambio de protones (PEM) son más eficientes que los de electrólisis alcalina (AWE), ya que aprovechan mejor el agua empleada en el proceso y generan menos pérdidas durante la conversión.

## ¿El agua se pierde durante el proceso?

El agua utilizada en la producción de hidrógeno verde no se pierde, sino que retorna al ambiente en distintas etapas del proceso. Por cada kg de hidrógeno verde se transforman 9 L de agua.

Durante el tratamiento previo al proceso de electrólisis y refrigeración, una pequeña fracción del agua se descarta para eliminar impurezas y vuelve al ambiente como efluente que deberá ser acondicionado previo a la descarga. De igual forma, el agua utilizada en la refrigeración y aquella que no se transforma en hidrógeno dentro del electrolizador se reincorporan al ciclo del agua de inmediato, ya sea como vapor o como efluente tratado.

En el caso de la producción de derivados, como el metanol o el combustible sostenible de aviación, el proceso incluso genera agua como subproducto, que podría ser reutilizada internamente y reducir hasta en un 10 % el consumo desde fuentes naturales.

Más adelante, cuando el hidrógeno verde o sus derivados se utilizan, se genera nuevamente agua en forma de vapor, que también se reincorpora al ciclo natural.

## **¿Cuánta agua adicional se extrae para la producción de derivados de hidrógeno verde?**

Una vez obtenido el hidrógeno verde, se puede combinar con CO<sub>2</sub> para obtener distintos derivados, como metanol verde o combustible sostenible de aviación (SAF), utilizados como combustibles limpios o insumos industriales.

Durante la síntesis de estos productos, el agua vuelve a tener un papel importante en los procesos de refrigeración que permiten mantener la estabilidad térmica de los equipos industriales.

La producción de metanol verde requiere entre 8 y 9 litros de agua adicionales por cada kilogramo de hidrógeno utilizado, mientras que el SAF demanda entre 6 y 7 litros.

La producción de estos derivados genera agua como subproducto, que puede recuperarse y reutilizarse. De esta forma se reduce hasta en un 10% el consumo de fuentes naturales.

## **¿Qué estrategias se podrían implementar para reducir el consumo de agua en la producción de hidrógeno verde?**

A medida que la tecnología de electrólisis avance, se espera una mayor eficiencia en la conversión de energía, lo que permitirá disminuir la generación de calor y, en consecuencia, reducir los requerimientos de refrigeración y el uso de agua asociado.

Asimismo, aunque la refrigeración con agua en circuito cerrado es una práctica común y eficiente, pueden adoptarse sistemas de refrigeración con aire, manteniendo el uso de agua únicamente como respaldo durante los períodos más cálidos del año.

Si bien esta opción implica costos operativos más elevados, es viable en el contexto uruguayo y podría reducir hasta en un 50% la utilización total de agua en la producción de hidrógeno verde.

## **¿Cómo se compara el consumo de agua en la producción de hidrógeno verde con el de otras industrias?**

La demanda de agua estimada para la producción de hidrógeno verde hacia 2040 es muy baja en comparación con otros usos del recurso en Uruguay. Se proyecta un consumo anual de aproximadamente 35 millones de m<sup>3</sup>, mientras que en 2022 las autorizaciones de agua para riego alcanzaron los 3.257 millones de m<sup>3</sup> y para la industria unos 610 millones de m<sup>3</sup>.

Además, a diferencia de otros sectores cuya demanda de agua aumenta en verano, cuando la disponibilidad natural es menor, la producción de hidrógeno verde mantiene un consumo estable durante todo el año. Por lo cual, tanto en volumen como en estacionalidad, el impacto del sector sobre el estrés hídrico es constante, especialmente si se lo compara con los usos tradicionales.

## **¿Se requiere establecer políticas diferenciales para el uso de agua en la industria del hidrógeno verde?**

No hay argumentos técnicos que justifiquen la creación de una política especial o diferencial para el uso del agua en los proyectos de hidrógeno verde en comparación con las normativas actuales del país. Esto se debe a que la demanda de agua para la industria del hidrógeno verde no presenta características sustancialmente diferentes a las de otros usos de agua ya existentes en Uruguay, ni en el volumen total que requiere, ni en la estacionalidad de su uso, ni en su ubicación geográfica.

## **¿De dónde se podría obtener el agua para la producción de hidrógeno verde en Uruguay?**

Para producir hidrógeno verde, Uruguay puede recurrir al uso de agua salada y agua dulce. El uso de agua salada en proyectos de hidrógeno dependerá de la cercanía de los proyectos al mar. Para el caso de fuentes de agua dulce, estas pueden ser superficiales y subterráneas.

En aguas superficiales, los caudales de los ríos pueden ser muy importantes, aunque su disponibilidad varía: aumenta en épocas lluviosas, y son más limitadas en períodos de sequías o meses de verano. Para esas condiciones, los proyectos deben prever fuentes de respaldo, embalses de aguas superficiales y/o agua subterráneas, que tienen menor variabilidad. La solución con embalse no presenta limitaciones generales y requiere tamaños habituales en embalses para riego.

## **¿Se puede utilizar el agua de mar para la producción de hidrógeno verde?**

El agua de mar puede utilizarse para producir hidrógeno verde, pero para alcanzar la calidad requerida por el proceso de electrólisis, debe someterse a un tratamiento más intensivo que elimine las sales y otras impurezas. En este proceso, solo se aprovecha entre el 40% y el 50% del agua extraída, mientras que el resto se descarta.

## **¿Cuál sería el impacto de la producción de hidrógeno verde sobre el recurso hídrico en Uruguay?**

La demanda de agua proyectada para la producción de hidrógeno verde en 2040 es relativamente baja en comparación con los usos actuales del recurso, como el riego o la actividad industrial. Analizada a escala nacional y en relación con la oferta anual promedio de agua, esta demanda resulta insignificante.

Sin embargo, en varias cuencas internas del país, especialmente en estiaje (períodos secos y meses de verano), ya existe una alta presión sobre el recurso, lo que limita la posibilidad de incorporar nuevas tomas directas desde los cursos naturales de agua tanto para la producción de hidrógeno verde, como para otras industrias que también requieran agua.

Los proyectos que utilicen embalses —infraestructuras que almacenan agua de los períodos de abundancia para su uso en momentos de menor disponibilidad— no afectarían el equilibrio hídrico. La solución con embalses, requiere tamaños que son habituales para riego.

Resulta fundamental evaluar caso a caso las necesidades y requerimientos hídricos de cada proyecto de producción de hidrógeno verde que se pretenda incorporar, así como las fuentes de agua que utilizará. Esta evaluación permitirá asegurar la sostenibilidad del recurso, considerando las condiciones particulares de cada cuenca, la disponibilidad estacional del agua y la coexistencia con otros usos prioritarios.

## ¿Qué es el estrés hídrico?

Es la relación entre la demanda de agua dulce respecto de los flujos disponibles de forma natural la mayor parte del tiempo en una cuenca.

De acuerdo a IRENA (*International Renewable Energy Agency*) (2023), el estrés hídrico es:

- bajo: menos del 10%
- bajo a medio: entre 10% y 20%
- medio a alto: entre 20% y 40%
- alto: entre 40% y 80%
- muy alto: más del 80%

## **¿La producción de hidrógeno puede modificar el nivel de estrés hídrico de la cuenca?**

En una evaluación a escala de país, añadir un proyecto de hidrógeno verde (grande o mediano) a la demanda actual no cambia significativamente el nivel de estrés hídrico en relación con la situación existente.

No obstante, la escasez de agua puede constituir un factor crítico a nivel local, especialmente en períodos secos donde muchas cuencas ya están altamente presionadas. Para mitigar los efectos de la variabilidad temporal asociada a estas fuentes, se recomienda que los proyectos de hidrógeno verde consideren fuentes de respaldo como embalses o agua subterránea, de modo que no dependan exclusivamente de tomas directas superficiales durante los períodos de menor disponibilidad.

## **¿Qué sucede en épocas secas o cuando hay menos agua disponible?**

Durante los períodos de caudal mínimo (estiaje), la mayoría de las cuencas superficiales en Uruguay ya presentan altos niveles de estrés hídrico, superiores al 80 %, debido a las demandas existentes. En esas condiciones, no es viable incorporar nuevas tomas directas y continuas sin comprometer la disponibilidad del recurso.

Como la producción de hidrógeno verde requiere un abastecimiento constante de agua, los proyectos deben contar con fuentes de respaldo que garanticen el suministro durante los períodos secos. Estas pueden ser embalses o acuíferos subterráneos.

Los embalses, de tamaño similar a los utilizados para riego, constituyen una solución eficiente, ya que permiten almacenar agua en épocas de abundancia y utilizarla en momentos de escasez, evitando así presiones adicionales sobre los cursos naturales.

Por su parte, el uso de agua subterránea resulta una alternativa viable en zonas con acuíferos de buena recarga, donde la captación puede realizarse sin comprometer la sostenibilidad del recurso.

## **¿Cómo influye la ubicación geográfica del proyecto en la disponibilidad y gestión del agua?**

La ubicación del proyecto es determinante para evaluar la disponibilidad de agua y definir la estrategia de abastecimiento más adecuada. Uruguay cuenta con una oferta hídrica en general abundante, pero desigualmente distribuida en el territorio, a lo largo del año y entre años.

Las cuencas del litoral oeste y la zona costera presentan mayor disponibilidad de agua superficial, mientras que en las cuencas interiores, especialmente durante los períodos de estiaje, los niveles de estrés hídrico son más altos. En estas regiones, la toma directa de agua de los cursos naturales no resulta viable, por lo que se recomienda el uso de fuentes complementarias, como embalses o acuíferos subterráneos con buena capacidad de recarga.

Una planificación territorial adecuada permite asegurar el uso sostenible del agua sin comprometer otros usos prioritarios.

## **¿Quién autoriza cuánta agua pueden usar los emprendimientos industriales de producción de hidrógeno verde?**

La Dirección Nacional de Aguas (Dinagua) del Ministerio de Ambiente es la encargada de evaluar la disponibilidad de los recursos hídricos, otorgar los derechos de uso y velar por su aprovechamiento sostenible. De forma complementaria, la Dirección Nacional de Medio Ambiente (Dinama) implementa los procesos de evaluación ambiental que contemplan, entre otros aspectos, la protección del recurso hídrico. Todos los nuevos emprendimientos vinculados a la producción de hidrógeno verde, al igual que cualquier otro desarrollo industrial y agropecuario, deberán ajustarse a estas instancias de autorización, que constituyen garantías clave para una gestión ambientalmente responsable.