



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



FACULTAD DE
INGENIERÍA

Producción de hidrógeno a partir de residuos de biomasa

Informe de Proyecto de Grado presentado por

Katherin Adriana Luna Garcia
Irina Reboulaz Gallo
Florencia Antonella Sosa Yacks
Milagros Stefanía Suárez Díaz

a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República en cumplimiento parcial de los
requerimientos para la obtención del título de Ingeniero Químico.

Tutores

Ing. Quím. Raúl Andrés García Rodríguez
Ing. Quím. Ángel Darío Huelmo Correa

Montevideo, 24 de mayo de 2026

0. Resumen ejecutivo

El presente proyecto tiene como objetivo estudiar la viabilidad de la producción de hidrógeno combustible para camiones de carga pesada a partir de residuos de biomasa forestal y de aserraderos, con el propósito de contribuir a la descarbonización del sector transporte en Uruguay.

La conversión de biomasa en hidrógeno se realiza mediante la tecnología de gasificación mejorada por sorción (SEG), utilizando CaO como sorbente en un gasificador de lecho fluidizado dual, lo que permite la captura in situ del CO₂. El proceso opera en su variante *Oxy-SEG*, donde se emplea vapor como agente gasificante y oxígeno como agente oxidante. Esta tecnología innovadora facilita la separación de las corrientes de hidrógeno y dióxido de carbono directamente en el reactor, al mismo tiempo que mejora el rendimiento de producción de hidrógeno en comparación con tecnologías de gasificación convencionales. El uso de oxígeno permite obtener una corriente de CO₂ de alta pureza, por lo que se realiza su purificación, compresión y licuefacción para su comercialización como subproducto.

Se selecciona la materia prima a utilizar a partir de un relevamiento de biomásas disponibles a nivel nacional, en el que se consideran como posibles opciones a residuos de silvicultura, rastrojos de cultivos (considerando soja, maíz, trigo y cebada), cáscara de arroz, contenido ruminal y excretas de establecimientos de engorde a corral. Finalmente se eligen residuos de aserraderos (aserrín y chips), y residuos forestales.

Se plantea una estrategia de crecimiento modular, con una línea de aserrín operativa desde 2030 y una segunda línea de chips incorporada en 2035, cada una con una capacidad de producción de 3.771 toneladas anuales de hidrógeno. La primera tiene un consumo anual de 151.033 ton b.h./año de aserrín proveniente de aserraderos, mientras que la segunda cuenta con un consumo de 57.728 ton b.h./año de chips de aserraderos y 86.592 ton b.h./año de chips forestales.

La planta se encuentra ubicada en el departamento de Tacuarembó en el padrón 8315, en Ruta 5 Brig. General Fructuoso Rivera, km 398 a 2 km de Lumin. Cuenta con 63 ha de las cuales 8,25 ha son ocupadas por la planta. Se estima un costo total de 5,5 MM US\$ asociado al personal directo del proyecto, el cual contempla una dotación de 130 trabajadores (sin considerar personal tercerizado).

El hidrógeno producido se destina a su comercialización mediante estaciones de carga para vehículos pesados, contemplándose además el transporte mediante módulos de almacenamiento de gas comprimido. Se considera un precio de 14,6 US\$/kg H₂ para el producto principal.

Desde el punto de vista técnico, se determinan indicadores vinculados al consumo de recursos y operación de la planta, dentro de los cuales se destaca un consumo de agua de 33,1 ton agua/ton H₂, y un consumo de potencia activa de 16,8 MWh/ton H₂. Adicionalmente, se evalúan indicadores asociados a los costos de inversión y operación del proyecto. Se obtiene un CAPEX total de 396 MM US\$, así como un OPEX promedio de 54 MM US\$/año y 63 MM US\$/año para los casos de capital propio y mixto, respectivamente. A partir de estos valores se determina un costo nivelado del hidrógeno de 8,10 US\$/kg H₂ para el caso de capital propio y 9,68 US\$/kg H₂ para capital mixto.

Se tiene un capital total invertido de 403,7 MM US\$. En el escenario de capital propio se obtiene un VAN de 1,4 MM US\$, una TIR de 10,08% y un periodo de repago de 7 años y 3 meses, mientras que en el caso de capital mixto estos indicadores alcanzan 10,6 MM US\$, 11,11%, y 8 años y cuatro meses, respectivamente.

Se realiza un análisis de sensibilidad del VAN respecto al precio del H₂, el costo de la materia prima y el precio EXW de los módulos de almacenamiento. Los resultados muestran que la variable de mayor impacto es el precio del hidrógeno, seguida por el costo de almacenamiento de H₂, cuyo valor podría resultar menor al estimado.

Se concluye que el proyecto presenta viabilidad económica bajo determinados escenarios, aunque exhibe una elevada sensibilidad a variables de mercado, evidenciando la importancia de futuras mejoras tecnológicas, economías de escala e incentivos asociados a la transición energética para incrementar su

competitividad.

Existen oportunidades de mejora principalmente en el modelado del proceso de gasificación, debido al carácter aún incipiente de la tecnología, así como en la eficiencia energética y el sistema de almacenamiento de hidrógeno. Se espera que estos aspectos puedan mejorar con el desarrollo tecnológico futuro, incrementando la viabilidad global del proyecto.

Palabras clave: gasificación, gasificación *oxy-SEG*, hidrógeno, biomasa, residuos forestales, descarbonización, transporte, transporte de carga pesada, valorización de residuos.