



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY



FACULTAD DE  
INGENIERÍA  
UDELAR

## Producción de e-fuel a partir de H<sub>2</sub> verde y CO<sub>2</sub>

José Andres Díaz  
Martín Di Landro  
Camila Stolovich  
Maria Gimena Techera  
Magdalena Tonna

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

Tutores

Santiago Ferro  
Mauricio González

Montevideo, Uruguay  
Setiembre de 2023

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, queremos agradecer a nuestros tutores, Santiago Ferro y Mauricio González, por su orientación y apoyo constante durante el proyecto.

Extendemos nuestro reconocimiento a nuestras familias y amigos por su apoyo incondicional, así como también en ocasiones por su ayuda en la búsqueda de información. Sus palabras de aliento y comprensión fueron siempre motivadores importantes.

Muy especialmente les estamos agradecidos a los ingenieros Jorge Dosil, Yamandú Ramos, Eduardo Días, Felipe da Luz, Jorge Martínez Garreiro y Juan Manuel Barrenengoa por su voluntad de compartir su tiempo y conocimientos, lo que enriqueció nuestras discusiones y perspectivas a lo largo de este proceso.

## RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto desarrollado en este documento consiste en el diseño integral de una planta industrial para la producción de e-fuels, particularmente gasoil y nafta, a partir de hidrógeno verde y captura de CO<sub>2</sub>, y el estudio de la viabilidad del mismo desde el punto de vista económico-financiero.

Actualmente, tanto a nivel regional como local no se consume ni produce este tipo de producto, siendo los combustibles provenientes de recursos fósiles los empleados para cubrir la demanda.

El principal problema que se busca mitigar con la implementación de este proyecto es la emisión de gases de efecto invernadero y la huella de carbono, sustituyendo las fuentes fósiles que se utilizan en la actualidad por fuentes renovables. De esta forma se obtendrían productos que cumplen con las mismas especificaciones que los utilizados actualmente pero mediante un proceso productivo más limpio.

Hoy en día la demanda en Uruguay es cubierta por ANCAP, siendo hasta el momento el único ente encargado de ello. Este escenario plantea un desafío significativo para el proyecto, ya que busca ingresar y establecerse en el mercado local. La planta se diseñará para que en el año 2034 tenga una capacidad de producción de 52.500 m<sup>3</sup> de gasoil y 9.800 m<sup>3</sup> de nafta como productos principales, y 262.500 ton de oxígeno como subproducto. Esta producción se corresponde con el 7 % y el 1 % de la demanda total de gasoil y nafta en el país respectivamente. En cuanto a los precios de venta de los productos principales, se define en base a un estudio de mercado 2,40 USD/L para el gasoil y 2,50 USD/L para la nafta. En lo que refiere al oxígeno, se define 150 USD/ton.

La planta industrial se localizará en el departamento de Durazno, tomando el dióxido de carbono de la planta de UPM II, contigua al predio seleccionado. A su vez, se tendrá un parque eólico propio del proyecto. El mismo se localizará en el departamento de Lavalleja debido a las beneficiosas condiciones climáticas que presenta el departamento para generar este tipo de energía.

El proceso de obtención de los e-fuels se resume en 5 etapas. La primera etapa consiste en la captura del CO<sub>2</sub> a través de un proceso de absorción química con aminas. En éste se utilizan los humos provenientes de la caldera de quema de licor negro de UPM II. En la segunda etapa se lleva a cabo la generación del hidrógeno verde, el cual se obtiene a través del proceso de electrólisis. Para ello se utiliza agua proveniente de pozos subterráneos y energía eléctrica, obteniendo el oxígeno como subproducto. En esta etapa se hace uso de electrolizadores del tipo alcalino. En la tercera etapa se introducen ambas materias primas en un reactor RWGS (Reverse Water Gas Shift) a alta presión y temperatura para obtener el syngas (mezcla CO + H<sub>2</sub>). Siguiendo con el proceso, la próxima etapa consiste en la producción de la mezcla de hidrocarburos (syncrudo). La misma se realiza en un reactor Fischer-Tropsch en donde, en base a los productos que se quieren obtener, se busca favorecer la obtención de hidrocarburos de largo de cadena entre C10 y C23. Como quinta y última etapa se tiene el proceso de refinación, en donde se separan los productos quedando disponibles para ser comercializados.

Se llevó a cabo un análisis económico-financiero del proyecto en donde se evaluó dos alternativas para cubrir la inversión: con capital propio o a través de capital mixto. En ambos casos la inversión total del proyecto es de 1.462 MUSD, siendo alrededor del 92% del total de la inversión correspondiente a la adquisición de los equipos. El componente más significativo en términos de costos en este proyecto es la inversión en aerogeneradores, siendo un factor muy sensible para la viabilidad del proyecto. Se plantea cubrir el 70% de la

demanda energética del proceso a través del parque eólico propio y el 30% restante a través de UTE.

La evaluación global del proyecto dió como resultado que la planta de producción de e-fuel es inviable tal como se plantea en una primera instancia, obteniendo tanto con capital propio como con capital mixto un valor actual neto (VAN) negativo y un período de repago de más de 9 años.

En función del análisis de diferentes escenarios, se contempla que si se logra establecer un mercado que valore el producto más allá de ser un commodity, y esté dispuesto a reconocer la diferencia de precio en función de los beneficios medioambientales asociados, o si el gobierno puede subvencionar esta diferencia con la misma finalidad, como también si la empresa UTE accede a vender la energía a un precio inferior, el proyecto podría ganar viabilidad al establecer un precio de venta más elevado y al mismo tiempo asegurar un suministro eléctrico más asequible.

Por otro lado, se estableció que el proyecto cumple de manera significativa con las pautas establecidas por la COMAP para la deducción del Impuesto a la Renta de las Actividades Económicas (IRAE), alcanzando el nivel de exoneración del 87,4 % del IRAE a pagar anualmente. Esto se atribuye a la gran inversión en tecnologías innovadoras y limpias, su contribución a la descentralización nacional y la generación de empleo.

En los próximos años, conforme aumente gradualmente la importancia de la preservación ambiental, se espera que se dé paso a procesos de obtención de combustibles de esta naturaleza. Es importante destacar que este proceso de producción involucra el uso de tecnologías actualmente muy costosas debido a su novedoso y reciente desarrollo tecnológico. Sin embargo, con el paso de los años y la creación de tecnologías más eficientes, podría potenciar la rentabilidad del proyecto.

## ÍNDICE