



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY



FACULTAD DE  
INGENIERÍA  
UDELAR

## Producción de urea a partir de hidrógeno verde.

Conrado Ordoqui De Piero

Sofía Beatriz Hagopian Lavega

Shelsian Nicole Cáceres Cáceres

Karina Nicole Ruiz Guedes

Nicolás Alejandro Da Cruz Reggio

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 Químico.

Tutores

Ing. Químico Darío Huelmo

Ing. Químico Raúl García

Montevideo, Uruguay

Abril de 2024

## Resumen ejecutivo

El objetivo del proyecto busca instalar en Uruguay una planta de producción de urea para uso agrícola y urea automotriz en solución para uso en maquinaria pesada, utilizando como materia prima  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2$ . El  $\text{CO}_2$  será proporcionado por una empresa local a través de un procesos de captura y tratamiento de dicho gas de sus emisiones gaseosas. Se consideró que el  $\text{H}_2$  será suministrado vía hidroducto por proveedores aún no instalados en el país.

La producción anual de urea asciende a las 300.000 toneladas anuales distribuidas en 340 días de producción. La producción de urea automotriz corresponde 40.800 toneladas anuales. La capacidad de producción se definió de manera de poder abastecer el 100% del crecimiento del mercado uruguayo al año 2034. En base a un estudio de mercado el precio de venta de la urea se definió en 500 U\$/ton y el de urea automotriz en 580 U\$/m<sup>3</sup>. Estos productos serán comercializados en big bags y en tanques IBC respectivamente.

Para la producción nominal de 300.000 toneladas anuales, se requieren 210.000 toneladas anuales de  $\text{CO}_2$  y 30.000 toneladas anuales de  $\text{H}_2$ . Los costos asociados son de 110 U\$/ton $\text{CO}_2$  y 1000 U\$/ton $\text{H}_2$

La planta estaría ubicada en el departamento de Durazno en el padrón 261 alledaño a la planta de UPM 2. El área total construida es de 66.000 m<sup>2</sup> distribuidos en 300 metros de largo por 300 metros de ancho con acceso al Camino El Tala, a 10 km de Ruta 5.

La producción de nitrógeno se realiza mediante 16 sets de PSA. El sistema de generación de amoníaco es diseño propio salvo el sistema de condensación. La planta de producción de Urea así como la unidad de tratamiento de efluentes se definió según la patente Stamicarbon.

Cabe destacar que el costo de los equipos como el sistema de generación de nitrógeno, torres de enfriamiento, cañerías, aislación, instrumentación, generador de vapor, servicios auxiliares, corresponden a cotizaciones reales. El equipo con mayor incertidumbre respecto a su costo es el condensador de amoníaco, donde se estimó considerando una serie de compresores e intercambiadores. Debido a dicha incertidumbre, se realizó un análisis de sensibilidad considerando el costo estimado por un factor 5x.

Para la operación de dicha planta, se prevén 139 trabajadores directos, sin contar personal tercerizado para la seguridad o equipo de higiene. El costo de los recursos humanos es de 5.600.000 U\$/año.

En régimen de producción nominal, los costos operativos corresponden a 780.000.000 U\$ en régimen de capital propio y 815.000.000 U\$ en régimen de capital mixto. Las inversiones en régimen de inversión de capital propio son de 210.000.000 U\$ y 215.000.000 U\$ en régimen de capital mixto. En resumen, el flujo de fondos para capital propio indica un VAN de 274.000.000 U\$ con un período de repago de dos años y diez meses, y 292.000.000 U\$ para capital mixto con un período de repago de 1 año y cuatro meses.

La tasa de interés considerada fue del 6%, y se previó el préstamo correspondiente al 60% de las inversiones amortizables y 40% de las inversiones no amortizables, con un período de gracia de dos años.

Según los datos informados, se desprende que el proyecto es rentable para ambos regímenes de inversión. La producción de urea deberá ser mayor a las 120.000 toneladas anuales para que el VAN sea positivo.

Desde el punto de vista social, la creación de empleo directo e indirecto, durante la etapa de construcción y en fase de operación implica la generación de oportunidades laborales potenciando el desarrollo local y a nivel nacional. De todas formas, deben considerarse la reticencia de los habitantes locales dado el consumo de recursos naturales de la zona, dando especial importancia al agua debido al estrés hídrico que ha experimentado el país en año 2023. En cuanto al medio ambiente, es crucial llevar a cabo evaluaciones ambientales rigurosas debido al impacto de la extracción de materias primas en el ecosistema.

Para reducir la dependencia de terceros para la obtención de materias primas y disminuir el impacto ambiental, se propone como oportunidad de mejora, la selección de una caldera con producción de vapor sobrecalentado y turbina para generación eléctrica. Además, se sugiere la producción propia de hidrógeno mediante electrolizadores e inyectar el oxígeno generado en dicho proceso en el aire de combustión de caldera, mejorando así la calidad de gases emitidos por la chimenea de manera que puedan ser capturados y tratados a menor costo, y posteriormente usados en el ciclo de producción de urea.