



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



## RESUMEN EJECUTIVO

# Producción de fertilizantes nitrogenados a partir de hidrógeno verde obtenido en base electrolítica

### AUTORES

Gastón Ellis Boido - 4.838.020-4  
Agustina Ferrero Esteves - 4.795.611-9  
Facundo Fioritto Peraza - 4.883.087-3  
Joaquín González Lalinde - 5.082.781-2  
Alberto Liguori Basso - 5.118.277-6  
Gonzalo Pérez Silva - 4.856.071-3

### TUTORES

Ing. David F. Mardero  
Ing. Santiago Ferro  
Ing. Eduardo Testorelli  
Ing. Mauricio González

# Resumen ejecutivo

El proyecto desarrollado en este texto consiste en el diseño integral de una planta industrial para la producción de fertilizantes nitrogenados, urea y UAN, a partir de hidrógeno verde y el estudio de su viabilidad económico-financiera.

El análisis de mercado realizado reveló que Uruguay, a pesar de ser un consumidor de fertilizantes per cápita considerable, no tiene producción propia de fertilizantes a nivel industrial e importa la totalidad de su consumo, llegando a alcanzar importaciones de 280.000 toneladas de urea y 62.000 toneladas de UAN en 2020, mostrando una tendencia al aumento año a año. La planta de este proyecto se diseñará para que en el año 2033 tenga la capacidad de producción de 161.000 *ton/año* de urea y 31.200 *ton/año* de UAN como productos principales y 141.000 *ton/año* de oxígeno como subproducto. Esta producción se corresponde con el 42 % y 25 % de la proyección del mercado uruguayo del año 2033 de la urea y UAN, respectivamente.

Una fracción de la producción se comercializará con los consumidores intermedios ya presentes, a 400 *USD/ton* la urea y 330 *USD/ton* el UAN, compitiendo contra el precio de importación. La otra parte se venderá bajo marca propia a consumidores finales, a un precio de 850 y 645 *USD/ton* para la urea y UAN, respectivamente. Los porcentajes hacia consumidores finales aumentarán anualmente, a medida que la planta solidifica su posición en el mercado. En el caso del subproducto oxígeno, no será vendido, sino que será intercambiado por beneficios de materias primas con plantas aledañas y cierta parte venteadado. La urea se comercializará a granel o en bigbags, ya sea en formato de 500 o 1.000 *kg*. También se tendrá el formato de bolsas pequeñas de 50, 10 y 1 *kg*, para los consumidores minoristas. Por otro lado, el UAN, al ser un producto líquido, se comercializará en envases de polietileno con volúmenes de 1.000, 200, 20 y 5 litros.

Se realizó un estudio sobre la disponibilidad de materias primas, mostrando que la limitante más significativa para la producción de este proyecto es la disponibilidad de dióxido de carbono de manera utilizable. Las fuentes disponibles de dicha materia prima son la planta de bioetanol de ALUR y la cementera de ANCAP, ubicadas en el departamento de Paysandú, las cuales proporcionan en conjunto un aproximado de 130.000 *ton/año* para el último año proyectado (2033), fijando así la producción mencionada. El factor más relevante para determinar la localización de la planta fue la disponibilidad de materias primas tales como dióxido de carbono, energía eléctrica y agua. La región de Uruguay donde se encuentran estos tres insumos disponibles es en la ciudad de Paysandú, próxima a la cementera de ANCAP, por lo que se decidió localizar la planta allí.

El proceso de obtención de urea y UAN de este proyecto se resume en 4 etapas. En la primera etapa

---

se encuentra la síntesis de hidrógeno verde, la cual se realiza mediante electrólisis insumiendo agua y energía eléctrica, produciendo el subproducto oxígeno. En esta etapa se hace uso de electrolizadores que siguen la tecnología PEM. La segunda etapa corresponde a la generación de amoníaco, formándose a través de la mezcla de hidrógeno y nitrógeno en un reactor químico a alta presión y temperatura. El nitrógeno debe ser previamente separado de los componentes del aire, en este proyecto se utiliza equipos PSA, los cuales absorben el nitrógeno del aire y lo purifican. En la tercera etapa se produce la urea mezclando el amoníaco producido y el dióxido de carbono obtenido de ALUR y la cementera de ANCAP, en un sistema de reactores químicos. Como cuarta y última etapa de producción se tiene el procesamiento final, donde una fracción de la urea que se produjo, con alto contenido de agua, es enviada al reactor de UAN donde se mezcla con nitrato de amonio y agua para formar este último fertilizante. La otra parte de la urea producida es concentrada a través de evaporación y luego granulada.

Se llevó a cabo un análisis económico y financiero del proyecto, donde se comparó dos opciones de inversión: a través de capital propio y de capital mixto. En ambos casos la inversión total del proyecto fue de 273 *MUSD*, siendo aproximadamente el 65 % de esa inversión correspondiente a la adquisición e instalación de equipos de proceso. El costo más elevado del proyecto radica en la operación de los equipos de electrólisis, los cuales consumen 1.050 *GWh/año* de energía eléctrica, siendo el costo de la misma uno de los factores más sensibles para la rentabilidad del proyecto. A causa de ello, se utilizará parte de la energía del mercado SPOT y se propondrá un contrato especial con UTE. Para el caso de capital mixto el descuento del contrato con UTE puede plantearse de forma más flexible que para capital propio para alcanzar la rentabilidad. Se determinó que para el último año de proyectado se genera una utilidad neta de 82 *MUSD* en el caso de capital propio y de 80 *MUSD* para capital mixto.

La evaluación global del proyecto arrojó que la opción más rentable para la inversión es a través capital mixto, ya que se obtiene una mejor rentabilidad, debido a que presenta un valor actual neto (VAN) de 56 *MUSD*, superior al del capital propio, 10 *MUSD*. La tasa interna de retorno (TIR) para capital mixto también es superior, alcanzando un valor de 18 % en comparación la inversión a través de capital propio, la cual tiene un valor de 11 %. El período de repago para ambas inversiones es muy similar, reportando valores de 7,6 y 7,5 años para capital propio y mixto respectivamente. A su vez, se determinó que el proyecto aplica ampliamente en las consideraciones de la COMAP para el descuento del IRAE, alcanzándose la mayor tasa de exoneración posible: 90 % del IRAE a pagar en cada año. Esto se debe a la enorme inversión en tecnologías limpias e innovadoras, la contribución a la descentralización del país y la generación de empleo. Si se considera esta exoneración de impuestos, el proyecto presentará una rentabilidad mucho mayor: 90 y 50 *MUSD* como VAN para capital mixto y propio, respectivamente, mientras que las TIR ascenderían a 22 y 13 %. El período de repago se vería disminuido a 7,0 y 6,7 años, un aminoramiento considerable para un proyecto de esta magnitud. Bajo este escenario de exoneración, la conclusión es idéntica, la inversión con capital mixto es más rentable.