



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY



FACULTAD DE  
INGENIERÍA  
UDELAR



INSTITUTO DE  
INGENIERÍA  
QUÍMICA

## Producción de carbón activado a partir de biomasa

### Autores:

Florencia Caro Martínez, Ingeniería Química  
María Pía González Cano, Ingeniería Química  
María Constanza Serantes Laforgue, Ingeniería Química  
Mateo Suárez Tampied, Ingeniería Química  
Juan Tarlera Esteves, Ingeniería Química

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:

Alfredo Belo  
Darío Huelmo

### Consultores Especialistas:

Valeria Larnaudie  
Nestor Tancredi

Montevideo, Uruguay

Marzo 2023

# Resumen ejecutivo

El presente proyecto plantea la posibilidad de instalar una planta de producción de carbón activado en polvo a partir de residuos de biomasa en el país. Para ello se estudiaron factores comerciales, locacionales, ingenieriles y económicos. El carbón activado es un adsorbente de alta área superficial que permite la remoción de sustancias indeseadas. Debido a la creciente preocupación ambiental se prevé un incremento en su uso, particularmente en el tratamiento de agua potable y efluentes. El proyecto propone producir carbón activado en polvo adecuado para el tratamiento de aguas, a partir de chips de madera de pino, residuo producido en aserraderos.

Los chips de madera de pino son residuos con escasa demanda y abundante oferta, lo que aseguraría bajos costos de adquisición. Los residuos de aserraderos se estiman en más de 300.000 toneladas anuales anhidras y poseen gran disponibilidad. Adicionalmente, considerando las plantaciones ya existentes, se espera que la producción de madera de pino, y por lo tanto los chips de interés, aumente en un período de hasta 20 años, asegurando un suministro constante durante la vida del proyecto. Se generaría un producto con mayor valor agregado a partir de un residuo, favoreciendo la economía circular.

El mayor consumidor de carbón activado en el país es Obras Sanitarias del Estado (OSE), que lo utiliza para el tratamiento de agua potable. Al no existir producción nacional, el producto debe ser importado, lo que supone una oportunidad de inserción en el mercado. Se plantea la producción de 2.500 toneladas anuales, cubriendo un 80 % (900 toneladas por año) del mercado nacional y un 7 % del regional (1.600 toneladas por año) principalmente Brasil y Argentina. El precio de venta se fija en 1,7 dólares por kilogramo de acuerdo con los precios de compra de los países ya mencionados. Tomando en cuenta el proceso productivo, la planta funcionará de forma ininterrumpida por 330 días, fijando únicamente paradas anuales. Para la localización de la planta se seleccionó Rivera, zona de mayor cercanía con los aserraderos de interés y que contribuye a la descentralización industrial.

La planta de producción de carbón activado no requiere de equipos complejos, simplificando el proceso, reduciendo los costos de inversión y minimizando el riesgo de obsolescencia tecnológica. El proceso seleccionado es la activación física, la cual consiste en la carbonización de los chips de madera en un horno rotatorio, seguida por la activación con vapor a alta temperatura. La carbonización permite la generación de gas con poder calorífico remanente, que se utiliza en los quemadores de los hornos y caldera, evitando así el consumo de combustibles fósiles. Lo último es sumamente ventajoso desde un punto de vista económico, logístico y ambiental. Adicionalmente se prevé una muy baja generación de efluentes líquidos, siendo el impacto ambiental mínimo.

El análisis económico-financiero es realizado para los casos donde la inversión es únicamente con capital propio y para capital mixto. La tasa de descuento se fijó en 10 % y la vida útil del proyecto en 10 años. Con capital propio se obtuvo un VAN de \$ 1.686.000, una TIR de 15,2 % y un período de repago de 5,36 años, siendo entonces el proyecto económica y financieramente viable. En el caso de capital mixto se consideró un préstamo de \$ 3.200.000 con una tasa de interés del 6 % y un período de gracia de

1 años. El índice de endeudamiento es de aproximadamente el 50 %. Tanto el VAN de \$ 2.370.000 y el TIR de 22,91 % son mayores en esta instancia, disminuyendo el período de repago a 4,18, y ratificando la viabilidad. Se concluye que la inversión con capital mixto permite mejores valores y supone una inversión rentable.

Un análisis de sensibilidad permite identificar los mayores costos asociados y qué factores económicos pueden resultar riesgoso para el proyecto. Se destaca la sensibilidad de la rentabilidad del proyecto con el precio -o volumen de ventas- del carbón activado; valores mayores a los planificados suponen un aumento marcado en las utilidades, mientras que la disminución de un 20 % de cualquiera de ambos factores implica pérdidas económicas. Por otro lado, no se registró gran sensibilidad frente al precio de la materia prima, costo de mano de obra o amortizaciones de la inversión inicial, independizándose en gran medida la rentabilidad de dichos agentes.

El mayor riesgo a las ventas del proyecto supondría la instalación de otra planta similar en el territorio. Asimismo, a pesar de que la demanda de carbón activado se encuentra en aumento, es posible que otras presentaciones del carbón activado (como granular o en *pellets*) se vean favorecidas, impactando en las ventas del producto en polvo. No obstante, la posibilidad de estas ocurrencias es baja durante la vida útil del proyecto.

Se concluye que se trata de un proyecto que favorece a la economía nacional, sustituyendo un producto importado en su totalidad por uno nacional, y técnicamente ventajosa. La inversión es segura y rentable, con valores de TIR mayores al 15 %, y máximos para el caso de capital mixto. Los riesgos en cuanto al suministro y costos de la materia prima son mínimos, además de que posee un muy bajo impacto ambiental.

Palabras claves: Uruguay, carbón activado, residuos forestales, biomasa, carbonización, activación, aprovechamiento energético, gases de carbonización, *Aspen Plus*.