



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



FACULTAD DE
INGENIERÍA
UDELAR

Incineración y generación eléctrica con residuos municipales

Axel Ríos
Agustina Yelpo
Andrés Velázquez
Ignacio MacKinnon

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

PhD. Gustavo Domínguez

MEing. Santiago Ferro

Montevideo, Uruguay
Mayo de 2024



Descargo de Responsabilidad (Disclaimer)

Este informe de Proyecto de Grado ha sido desarrollado como parte de un ejercicio didáctico en el marco del programa de Ingeniería Química en Facultad de Ingeniería, UdelaR. El objetivo principal de este proyecto es demostrar la capacidad del estudiante para aplicar los conocimientos y habilidades adquiridos durante su formación académica.

La Propiedad Intelectual del presente informe pertenece a la Universidad de la República y los autores y tutores, de acuerdo a la Ordenanza de los Derechos de la Propiedad Intelectual de la Universidad de la República (Res. N^o 91 de C.D.C. de 8/III/1994 – D.O. 7/IV/1994).

Aviso legal: Los contenidos, conclusiones y recomendaciones presentadas en este informe son resultado del trabajo académico del estudiante, basados en datos y supuestos disponibles hasta la fecha de finalización del proyecto. La institución y los supervisores del proyecto no asumen responsabilidad alguna por la exactitud, integridad o actualidad de la información proporcionada.

Este informe está destinado únicamente para fines educativos y de evaluación dentro del ámbito académico del programa de Ingeniería Química /de Alimentos. No debe interpretarse como un asesoramiento profesional, técnico o especializado en ninguna materia.

Advertencia de uso: Cualquier lectura, interpretación o aplicación de los resultados y conclusiones de este informe por parte de terceros, queda bajo su propia responsabilidad. La institución, los autores y los supervisores del proyecto no asumen responsabilidad por cualquier pérdida, daño o consecuencia que pudiera surgir directa o indirectamente del uso de la información proporcionada en este informe.

Los resultados presentados en este informe pueden estar sujetos a limitaciones y restricciones derivadas de la naturaleza didáctica del proyecto, incluyendo pero no limitándose a la disponibilidad de recursos, tiempo y alcance del ejercicio.

Se prohíbe cualquier reproducción, distribución o divulgación total o parcial de este informe sin el consentimiento expreso por escrito de los autores y de la institución.

Quien continúa con la lectura de este informe, acepta y comprende los términos y condiciones establecidos en este descargo de responsabilidad.

Resumen ejecutivo

El presente proyecto evalúa la viabilidad tecno-económica de la instalación de una planta de incineración de residuos sólidos urbanos (RSU) con generación de electricidad, incorporando además captura de dióxido de carbono. Esta planta busca brindar una solución final a una problemática que enfrenta hoy en día la sociedad, la acumulación de RSU.

Para ello se buscará revalorizar los residuos, implementando el concepto de “waste to energy”, es decir, el aprovechamiento de los residuos para la generación de energía, en particular energía eléctrica. Esta idea es relevante no solo por su contribución a la reducción del uso de energías fósiles, sino también, porque ayuda a generar un cambio de paradigma sobre el valor de los residuos.

El foco de la generación de residuos corresponde al departamento de Montevideo, donde se producen entre el 45 % y el 50 % de los residuos sólidos municipales del país. Estos son dispuestos en la usina Felipe Cardoso, que recibe aproximadamente 820.000 toneladas de residuos anualmente, lo que equivale a unas 2.250 toneladas diarias, una cifra que se ha mantenido estable en los últimos 10 años. Se estima que un 58 % de estos son asimilables a residuos sólidos urbanos, lo que corresponde aproximadamente a 1.305 toneladas por día.

Actualmente, la gestión de residuos sólidos domiciliarios sólo comprende las etapas de recolección y transporte. Los bajos índices de valorización de este tipo de residuos se explican considerando las condiciones económicas y estructurales del sector residencial. Con la incineración de estos residuos se busca provocar una considerable reducción en el volumen de basura que es actualmente depositado en los vertederos, logrando reducir el impacto ambiental de dichos residuos, generando menores emisiones de gases de efecto invernadero como el metano y el dióxido de carbono, especialmente considerando que se capturará parte del CO₂ emitido.

La planta prevé procesar la totalidad de los residuos sólidos urbanos generados en Montevideo, ubicándose en el departamento de Montevideo, en Camino de los Siete Cerros esquina Costanera, padrón 60029, con un área de 245.005 m². Esta ubicación es estratégica, ya que se encuentra contigua a una subestación de UTE, lo que facilita la integración con la red eléctrica.

La planta percibe ingresos por 3 vías, el servicio de incineración de residuos, la venta de energía eléctrica y la comercialización de subproductos. El valor de venta previsto para el servicio corresponde a 97 USD/ton, mientras que para la generación de energía el valor es de 65 USD/MWh.

En lo que respecta a subproductos, estos pueden subdividirse en tres grupos: las cenizas, que pueden ser utilizadas para la fabricación de cemento o como relleno para carreteras, con un valor que varía anualmente de forma lineal de 4,70 hasta 6,02 USD/ton en el año 10; el CO₂ para la producción de e-fuels, con un valor de venta de 80 USD/ton; y los metales recuperados para su reciclaje, siendo los metales ferrosos valorados en 270 USD/ton y los no ferrosos en 2.210 USD/ton.

En cuanto a generación de energía eléctrica, anualmente se producen 161.000 MWh de electricidad, de los cuales solo 109.500 MWh son comercializables dado que el resto es utilizado dentro de la misma planta. Además, anualmente se producen aproximadamente 66.000 toneladas de cenizas, 325.000 toneladas de dióxido de carbono, 8.000 toneladas de

metales ferrosos y 1.840 toneladas de metales no ferrosos.

Para lograr su cometido, la planta trabaja de forma ininterrumpida durante el año, contando con 3 líneas de procesamiento de RSU, que incluyen los procesos de incineración, tratamiento de humos y captura de dióxido de carbono.

En primer lugar los residuos ingresan a una fosa común, desde donde dos grúas los reacomodan y distribuyen entre los tres incineradores, generando cenizas y humos de combustión. En el circuito de humos el calor es aprovechado para la generación de vapor, posteriormente, los humos se someten a un tratamiento para reducir contaminantes y permitir su emisión por chimenea. Dicho tratamiento consiste en un reactor catalítico para remover NO_x , un filtro de tela y un ciclón para la remoción de sólidos, un scrubber alcalino para remoción de gases ácidos y finalmente captura de CO_2 . Respecto a las cenizas, estas son enviadas a tratamiento, donde se acondicionan para su comercialización, recuperando en el proceso metales ferrosos y no ferrosos.

En este proceso se generan efluentes líquidos que son tratados en planta, de forma tal de mitigar cualquier posible impacto ambiental generado, además de disminuir el consumo de agua a través de la reutilización de agua residual.

Por otro lado, el vapor generado durante la incineración de los RSU es enviado a la línea de generación de potencia, que incluye una turbina de alta presión que recibe el vapor de los tres incineradores, seguida por una turbina de baja presión que aprovecha la energía del vapor no utilizado en otras etapas del proceso.

Llevar a cabo este proyecto implica la inversión de 412 MUSD, siendo la compra e instalación de los equipos lo que representa un mayor costo (218 MUSD). Ignorando los beneficios ambientales, esta inversión se justifica económicamente si los beneficios obtenidos la superan. Para determinar esto se realiza un análisis económico y financiero para dos estrategias distintas: el financiamiento cubierto completamente con capital propio y con capital mixto.

Al estudiar ambas estrategias, se concluye que el financiamiento con capital mixto presenta mejores valores en todos los indicadores económicos, por lo que resulta una opción más atractiva. Teniendo en cuenta un préstamo de 245 MUSD, con una tasa de interés del 6,00 % y que se paga entre el año 3 y 10 del proyecto, el VAN resulta de 59,04 MUSD, el período de repago de 5,42 años y la TIR de 16,61 %, valor superior a la tasa de descuento supuesta, de 10 %. De esta forma, se obtiene un valor terminal del proyecto de 235 MUSD.

Además, dadas las características positivas del proyecto, como su impacto medioambiental positivo, inversión en tecnologías limpias y la generación de empleo, el mismo presenta una puntuación de 9,1 sobre 10 en el régimen de exoneración impositiva de la COMAP, dando pie a una posible reducción de 92,7 % en el IRAE, generando un aumento de las utilidades netas de 30 %.

Dentro de todos los factores que influyen en el proyecto, la cantidad de residuos que ingresan y el precio del servicio son los más influyentes. Aumentar el ingreso de residuos en un 10 % supone un incremento de 40 MUSD en el VAN, un incremento de igual magnitud en el precio del servicio supone que el VAN crezca 22 MUSD. De esta misma forma, una disminución de los mismos también implicaría importantes caídas en el VAN del proyecto.