



Planta de producción de Biometano a partir de la Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Domiciliarios

Antonella Figueroa García	IQ
Sebastián Gutiérrez Acevedo	IQ
Mariana Suárez Ortiz	IQ
Federica Vázquez Rivas	IQ

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. Nikolai Guchin
MSc. Ing. Roberto Kreimerman

Montevideo, Uruguay
Diciembre 2025

Resumen ejecutivo

El presente proyecto desarrolla el diseño integral y la evaluación técnico-económica de una planta industrial para la producción de biometano a partir de la fracción orgánica de residuos sólidos domiciliarios generados en Montevideo, brindando así el servicio de gestión al gobierno departamental. La iniciativa surge ante la necesidad de reducir el impacto del Sitio de Disposición Final Felipe Cardoso, prolongar su vida útil y avanzar hacia un modelo de gestión sostenible basado en la valorización de residuos, en consonancia con los lineamientos del Plan Nacional de Gestión de Residuos.

La planta se sitúa en el departamento de Canelones, ubicándose en un punto estratégico próximo al Sitio de Disposición Final de Montevideo. Considerando que los residuos llegan previamente clasificados, se diseña con una capacidad de procesamiento de 800 t/d, empleando digestión anaerobia en un sistema DRANCO para su tratamiento. Dicha tecnología es de origen belga, ampliamente probada en Europa y reconocida por su robustez operativa y su potencial para trabajar de manera estable incluso ante variaciones en la composición del sustrato. El biogás obtenido de esta etapa es sometido a un proceso de purificación y acondicionamiento con el objetivo de generar 20.000 m³/d de biometano de calidad apta para su inyección en la red de gas natural. De este modo, se prevé su comercialización a las distribuidoras, contribuyendo a reforzar la seguridad del suministro para aquellos clientes del sector industrial, especialmente sensibles a las variaciones en el abastecimiento proveniente de Argentina.

Desde una perspectiva económico-financiera, el proyecto demuestra viabilidad al considerar un esquema de ingresos sustentado en la venta del biometano a 1 USD/m³ y en la prestación del servicio de gestión con una tarifa de 83 USD/tonelada de residuo tratado. El desempeño del proyecto se analiza bajo escenarios de capital propio y de capital mixto, lo que permite evaluar su comportamiento frente a diferentes estructuras de financiamiento y confirmar su solidez en ambos casos. La inversión requerida se estima en torno a los 90 millones de dólares, correspondiendo la mayor parte a la adquisición e instalación de los equipos de proceso.

En conjunto, el proyecto se presenta como una alternativa implementable desde el punto de vista técnico y alineada con las tendencias internacionales en valorización de residuos y economía circular. Su contribución simultánea a la mejora de la gestión ambiental, al aprovechamiento eficiente de corrientes que hoy se destinan a disposición final y al desarrollo de nuevas capacidades industriales lo posiciona como una iniciativa estratégica para el país, capaz de abrir camino a futuros desarrollos y de impulsar un modelo productivo más moderno y sostenible. En este sentido, la planta no solo responde a una necesidad actual, sino que también sienta las bases para una evolución tecnológica fundada en el uso inteligente de los recursos, con impactos positivos para Uruguay tanto en términos ambientales como sociales.

Índice general

Agradecimientos	1
Descargo de responsabilidad	2
Resumen ejecutivo	3
Glosario	4
1. Introducción	6
1.1. Objetivo y motivación del proyecto	6
1.2. Definición del problema a resolver	6
1.3. Alcance del proyecto	7
2. Comercialización	8
2.1. Estudio de Mercado	8
2.2. Análisis básico de Porter	9
2.3. Análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades, amenazas)	11
2.4. Definición de variables estratégicas	12
2.5. Proyección de Mercado	14
3. Tamaño	16
3.1. Posibles estrategias de producción	16
3.2. Capacidad de producción	16
3.3. Cronograma de operación de la planta	16
3.4. Demanda de materias primas e insumos	16
4. Localización	18
4.1. Región	18
4.2. Alternativas de localización	18
4.3. Análisis de los factores locacionales	20
4.4. Valoración de los factores locacionales	20
4.5. Conclusiones	21
5. Ingeniería	22
5.1. Digestión Anaerobia	22
5.1.1. Hidrólisis	22
5.1.2. Acidogénesis	22
5.1.3. Acetogénesis	23
5.1.4. Metanogénesis	23
5.2. Materia prima	23
5.3. Producto	24
5.4. Técnicas para la digestión anaerobia	26
5.4.1. Tecnologías patentadas para digestores en Europa	28
5.4.2. Elección de la tecnología	34

5.5.	Técnicas para la producción de biometano	35
5.5.1.	Desulfurización	35
5.5.2.	Secado	36
5.5.3.	Remoción de CO ₂	37
5.5.4.	Remoción de otros contaminantes	40
5.5.5.	Elección de las tecnologías	40
5.6.	Balance de Masa	41
5.7.	Operación	41
5.8.	Equipos de producción	41
5.8.1.	Criba	41
5.8.2.	Trituradora	43
5.8.3.	Transportador de tornillo sin fin	44
5.8.4.	Reactor DRANCO	45
5.8.5.	Prensa	46
5.8.6.	Separador de espuma y filtro ciclónico	47
5.8.7.	Bioscrubber	49
5.8.8.	Filtros de partículas y gotas	51
5.8.9.	Filtro de carbón activado	52
5.8.10.	Condensador	53
5.8.11.	Absorción con aminas	55
5.8.12.	Primer compresor	57
5.8.13.	Secado por adsorción	59
5.8.14.	Segundo compresor	61
5.8.15.	Tanques y depósitos	62
5.8.16.	Maquinaria de operación	63
5.9.	Sistemas de transporte e impulsión	65
5.9.1.	Cintas transportadoras y tolvas	65
5.9.2.	Cañerías e impulsores del sistema de biogás	66
5.10.	Servicios industriales	68
5.10.1.	Energía térmica	68
5.10.2.	Servicio de refrigeración	70
5.10.3.	Agua	71
5.10.4.	Energía eléctrica	72
5.10.5.	Control y tratamiento de emisiones	76
5.11.	Requerimientos de automatismo y control de procesos	78
5.11.1.	Sistema de control: reactores DRANCO	78
5.11.2.	Sistema de control: bioscrubber	79
5.11.3.	Sistema de control: torre de carbón activado	79
5.11.4.	Sistema de control: condensador	80
5.11.5.	Sistema de control: torre de absorción con aminas	80
5.12.	Plan de monitoreo del proceso	80
5.13.	Estructura organizacional	81
5.14.	Estructura edilicia	82
5.14.1.	Condiciones constructivas y de seguridad edilicia	82
5.14.2.	Iluminación	83
5.14.3.	Servicios sanitarios y vestuarios	83
5.14.4.	Ventilación	84

5.14.5. Caminería, sendas peatonales y estacionamientos	84
5.14.6. Edificios auxiliares	85
5.15. Cronograma de implantación	85
5.16. Sistemas de gestión	86
5.16.1. Gestión de Calidad	86
5.16.2. Gestión de Ambiental	87
5.16.3. Salud Ocupacional	87
5.17. Estudio de Impacto Ambiental	90
5.17.1. Características del ambiente receptor	91
5.17.2. Identificación y evaluación de impactos	93
5.17.3. Medidas de mitigación	94
5.17.4. Plan de seguimiento, vigilancia y auditoría	94
5.18. Indicadores	94
6. Análisis económico y financiero	97
6.1. Introducción	97
6.2. Tasa de descuento	97
6.3. Inversiones	97
6.3.1. Inversiones amortizables tangibles	97
6.3.2. Inversiones amortizables intangibles	98
6.3.3. Inversiones no amortizables	99
6.3.4. Terreno	99
6.3.5. Inversión total	99
6.4. Costos	100
6.4.1. Costos de mano de obra	100
6.4.2. Costos de insumos	100
6.4.3. Amortizaciones	101
6.4.4. Costos fiscales	101
6.5. Préstamo	102
6.6. Ingresos	102
6.7. Viabilidad económica	103
6.7.1. Estado de resultados	103
6.7.2. Punto de equilibrio	103
6.7.3. Análisis de sensibilidad	104
6.8. Viabilidad financiera	105
7. Evaluación	107
7.1. Evaluación desde el punto de vista empresarial	107
7.1.1. Rentabilidad	107
7.1.2. Seguridad	107
7.2. Evaluación desde el punto de vista de la institución financiera	108
7.3. Evaluación desde el punto de vista nacional	108
7.4. Conclusiones globales del proyecto	108
7.5. Mejoras potenciales y futuras líneas de desarrollo	109
7.5.1. Incorporación de una etapa de clasificación previa de residuos	109
7.5.2. Valorización de corrientes secundarias del proceso	109
7.5.3. Optimización de las condiciones logísticas y operativas del proceso	110

5.14.5. Caminería, sendas peatonales y estacionamientos	84
5.14.6. Edificios auxiliares	85
5.15. Cronograma de implantación	85
5.16. Sistemas de gestión	86
5.16.1. Gestión de Calidad	86
5.16.2. Gestión de Ambiental	87
5.16.3. Salud Ocupacional	87
5.17. Estudio de Impacto Ambiental	90
5.17.1. Características del ambiente receptor	91
5.17.2. Identificación y evaluación de impactos	93
5.17.3. Medidas de mitigación	94
5.17.4. Plan de seguimiento, vigilancia y auditoría	94
5.18. Indicadores	94
6. Análisis económico y financiero	97
6.1. Introducción	97
6.2. Tasa de descuento	97
6.3. Inversiones	97
6.3.1. Inversiones amortizables tangibles	97
6.3.2. Inversiones amortizables intangibles	98
6.3.3. Inversiones no amortizables	99
6.3.4. Terreno	99
6.3.5. Inversión total	99
6.4. Costos	100
6.4.1. Costos de mano de obra	100
6.4.2. Costos de insumos	100
6.4.3. Amortizaciones	101
6.4.4. Costos fiscales	101
6.5. Préstamo	102
6.6. Ingresos	102
6.7. Viabilidad económica	103
6.7.1. Estado de resultados	103
6.7.2. Punto de equilibrio	103
6.7.3. Análisis de sensibilidad	104
6.8. Viabilidad financiera	105
7. Evaluación	107
7.1. Evaluación desde el punto de vista empresarial	107
7.1.1. Rentabilidad	107
7.1.2. Seguridad	107
7.2. Evaluación desde el punto de vista de la institución financiera	108
7.3. Evaluación desde el punto de vista nacional	108
7.4. Conclusiones globales del proyecto	108
7.5. Mejoras potenciales y futuras líneas de desarrollo	109
7.5.1. Incorporación de una etapa de clasificación previa de residuos	109
7.5.2. Valorización de corrientes secundarias del proceso	109
7.5.3. Optimización de las condiciones logísticas y operativas del proceso	110

Referencias	111
Apéndices	119
Apéndice A. Gas Natural en Uruguay	119
Apéndice B. Contribución del proyecto a ODS	122
Apéndice C. Datos de ingreso de RSD al SDF Felipe Cardoso	124
Apéndice D. Datos para el análisis multicriterio para la selección de tecnología para la DA	125
Apéndice E. Ventajas y desventajas de las tecnologías de upgrading	126
Apéndice F. Balances de masa	129
F.1. Reactor anaerobio	129
F.2. Balance de masa en el reactor	129
F.3. Balance masa de agua	130
F.4. Desulfurización del biogás	131
F.5. Balance de masa en las unidades de desulfurización	131
F.6. Primer secado del biogás	132
F.7. Balance de masa en el condensador	133
F.8. Enriquecimiento del biogás	134
F.9. Primer compresión	137
F.10. Segunda etapa de secado del biogás	138
F.11. Segunda compresión	139
F.12. Prensado del digestato	140
Apéndice G. Diagrama de Bloques	141
Apéndice H. Diagrama de Flujo	142
Apéndice I. Diseño del condensador	143
Apéndice J. Dimensionamiento y características de la fosa de alimentación y los contenedores de materia prima	150
J.1. Fosa de alimentación	150
J.2. Contenedores de materia prima	150
Apéndice K. Cañerías y sopladores del sistema de biogás	152
K.1. Espesores de cañerías	152
K.2. Impulsores	157
Apéndice L. Servicios industriales	160
L.1. Energía térmica	160
L.2. Servicio de refrigeración	161
L.3. Agua	164
L.4. Energía eléctrica	166
Apéndice M. Diagramas de tuberías e instrumentación	173
Apéndice N. Estructura organizacional	175
Apéndice Ñ. Layouts y cortes de la planta	177
Apéndice O. Programas de Gestión Ambiental	183
O.1. Programa de gestión de productos químicos	183
O.2. Programa de gestión de emisiones	183
O.3. Programa de control de vectores	185
O.4. Programa de monitoreo ambiental	185
Apéndice P. Identificación y evaluación de impactos	187
Apéndice Q. Tablas del análisis económico y financiero	191

Anexos	201
Anexo A. Tablas con dimensiones comerciales de cañerías de acero inoxidable	201
Anexo B. Tablas con dimensiones comerciales de cañerías de acero	203
Anexo C. Curva de la bomba de alimentación a la caldera	204
Anexo D. Curva de la bomba de agua de pozo	205