

INNOVACIÓN

Desarrollo de una calculadora para estimar el potencial de generación de Energía Eléctrica a partir de Biogás producido de Residuos Sólidos Urbanos

Autor: González Troche, Gabriela; gabitroche2016@fpuna.edu.py

Orientador/a: González Osorio, Arturo Ramón; arturogonzalez@pol.una.py

Facultad Politécnica

Resumen

El biogás es una fuente de energía renovable que puede aprovechar residuos orgánicos para producir electricidad, favoreciendo la economía circular y la sostenibilidad ambiental. El objetivo de este trabajo fue desarrollar una herramienta de cálculo de estimación de la generación de energía eléctrica a partir de biogás producido de Residuos Sólidos Urbanos. La metodología se basó en la identificación de variables y constantes claves para el cálculo, la estructuración y diseño del algoritmo, programado en HTML, CSS y JavaScript; con una interacción persona-computadora simple para minimizar los errores de entrada de datos. Como resultado se obtuvo la calculadora web diseñada, y para su aplicación, se realizó un estudio de caso en la Facultad Politécnica, cuantificando sus residuos por medio del Muestreo Aleatorio Simple y el Cuarteo. Los valores obtenidos para la Facultad fueron 189 kg de residuos aprovechables diarios que producen un potencial diario de 23,88 m³ de biogás y 42,76 kWh de electricidad, valores obtenidos por medio de la calculadora. Se concluyó que la calculadora representa una innovación para la toma de decisiones por ofrecer una estimación preliminar que orienta la toma de decisiones de los gestores de proyecto.

Palabras clave: calculadora de biogás, gestión de residuos sólidos urbanos, electricidad

Introducción

El suministro eléctrico del Paraguay se encuentra cada vez más comprometido debido al ritmo del aumento de las demandas en el Sistema Interconectado Nacional, impulsado por factores climáticos y económicos. Esta situación acerca al país a la utilización total de la capacidad máxima despachable de sus tres centrales hidroeléctricas.

Ante esta situación, y en el marco de la transición energética global, se busca

impulsar los proyectos de autogeneración de energía como una alternativa para reforzar el sistema eléctrico nacional y fortalecer la seguridad del suministro.

Por otro lado, la gestión de residuos sólidos urbanos en Paraguay, según el Programa Nacional de Gestión de Residuos, diagnostica la falta de gestión correcta de RSU, lo cual representa problemas tanto ambientales como sanitarios. En este contexto, el biogás surge como una alternativa viable, pues revaloriza los residuos y permite la generación de

electricidad o calor a partir de residuos orgánicos.

Sin embargo, a diferencia de otras fuentes renovables más consolidadas como la solar, el biogás no cuenta con herramientas de fácil acceso para la estimación de potencial que permitan a los gestores de proyectos realizar evaluaciones preliminares de la viabilidad de la implementación de esta tecnología. Si bien, existen desarrollos previos como hojas de cálculo y aplicaciones móviles, presentan algunas limitaciones en cuanto a portabilidad y facilidad de uso para usuarios.

Esto conduce a preguntar cómo se podría diseñar una herramienta simple y replicable que permita estimar preliminarmente el potencial de generación de electricidad a partir de biogás, útil para la toma de decisiones en etapas tempranas de proyectos energéticos.

Objetivos

General: Desarrollar una herramienta de estimación de la generación de energía eléctrica a partir de biogás producido de Residuos Sólidos Urbanos.

Específicos:

- Diseñar un algoritmo de estimación de biogás y energía eléctrica, integrando reglas para la selección automatizada de tecnologías de biodigestión.
- Aplicar la herramienta a un estudio de caso en la Facultad Politécnica, utilizando datos reales de producción de residuos, con el fin de estimar el potencial energético.

Materiales y Métodos

Para el desarrollo se realizaron los siguientes procedimientos:

Primera etapa: Se realizó una revisión de la literatura que sirvió como base para el diseño metodológico. La revisión incluyó documentos nacionales e internacionales sobre tecnologías renovables, además de artículos científicos relacionados principalmente con el biogás, lo cual ayudó a identificar la necesidad de una herramienta de estimación que facilite la evaluación de proyectos de biogás en la Facultad Politécnica.

Segunda Etapa: Se llevó a cabo una búsqueda de fuentes secundarias para recopilar datos confiables y actualizados, necesarios para el desarrollo del proyecto. Estas fuentes, seleccionadas por su fiabilidad debido a proceder de fuentes oficiales de Centros de Estudios especializados en el tema, incluían parámetros clave para la estimación de biogás tales como: características químicas de los sustratos, el contenido de sólidos, uso de biodigestores de acuerdo al tipo de sustratos y el potencial de generación de energía. La información obtenida se organizó en una base de datos, y se extrajeron fórmulas y valores específicos para su uso en los cálculos de biogás, estableciendo una secuencia lógica para el diseño del algoritmo.

La secuencia de cálculo fue diseñada para facilitar la entrada de datos (tipo y cantidad de residuos) y generar una estimación

preliminar de la producción de biogás. La programación se realizó en HTML.

La herramienta se diseñó como una lightweight web application utilizando HTML para la estructura, CSS para el diseño visual y JavaScript para la lógica del funcionamiento y los cálculos.

Tercera etapa: Para determinar la cantidad de residuos aprovechables, se realizó un cálculo del volumen de los contenedores de residuos en la Facultad, tomando este valor como la población de estudio. Mediante muestreo aleatorio simple, se seleccionó una muestra representativa de bolsas de basura. Se midió el volumen de los residuos utilizando baldes y se registró su peso con una balanza. La caracterización de los residuos se realizó mediante la técnica de cuarteo, permitiendo obtener una muestra homogénea de cada tipo de residuo. Estos datos fueron registrados.

Con los datos de la cantidad de residuos orgánicos, se utilizó la herramienta de estimación desarrollada para calcular el potencial de producción de biogás y dimensionar las tecnologías más adecuadas para el proyecto.

Resultados y discusión

Definición de parámetros y variables

Definen los parámetros como tipo de residuo, parámetros químicos necesarios para calcular la estimación de biogás

además de valores potenciales de referencia de producción del gas por masa de sustrato, características químicas y energéticas del gas, características de la tecnología de digestión anaeróbica relacionada con los tipos de residuos y de los generadores eléctricos. Así también se definen las variables como cantidad de residuos disponibles, tiempo de funcionamiento del generador y las constantes^{1,2,3}

Para las constantes se definieron los siguientes valores:

Tabla 1 Definición de parámetros

Constantes	Descripción	Valor
%Met	Nivel de metanización de los residuos	75%
TRH	Tiempo de retención hidráulica (días)	30 días para temperaturas de 30°C
PCI	Poder Calorífico Inferior del biogás	5,9697 $\frac{kWh}{m^3}$
η_{el}	Eficiencia de motogenerador	30%
%CH ₄	Contenido de CH ₄ en el biogás, en este estudio	60%

Para estimar la cantidad y tipo de residuos en la Facultad Politécnica, se realizó un

¹Centro Internacional de Energías Renováveis-Biogás. (2018). Características técnicas do biogás [Nota técnica].

²Secretaría Nacional de Saneamento Ambiental, P. (2015a). CATÁLOGO DE TECNOLOGIAS E EMPRESAS DE BIOGÁS

³Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, P. (2015b). TECNOLOGIAS DE DIGESTÃO ANAERÓBIA COM RELEVÂNCIA PARA O BRASIL SUBSTRATOS, DIGESTORES E USO DE BIOGÁS

muestreo aleatorio simple del volumen de basura generada. Primero se calculó el volumen del contenedor, considerándolo un tronco de pirámide rectangular regular invertido y midiendo las dimensiones.

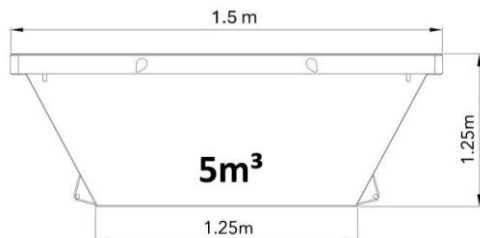


Ilustración 1 Contenedor de basura

$$V = \frac{h}{3} (A_B + A_b + \sqrt{A_B \cdot A_b})$$

Ecuación 1: Volumen de un Tronco de pirámide

Donde: h es la altura (m),

A_B el área de base mayor (m^2) y,

A_b el área de base menor (m^2).

Los valores medidos fueron: 3.5m x 1.5 m para la base mayor, 2.5m x 1.2m para la base inferior y 1.25m para la altura. Obteniéndose un volumen de $5m^3$. A este volumen total, se le considera la población. A partir de esto se seleccionó una muestra representativa mediante muestreo aleatorio simple, utilizando la fórmula para el cálculo del tamaño de muestra:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{(N - 1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}$$

Ecuación 2: Tamaño de la muestra para Población Conocida

Donde:

n es el tamaño de la muestra,

N es el tamaño de la población (volumen total de basura en los contenedores),

Z es el valor de la distribución normal para el nivel de confianza deseado (1.96),

p es la proporción esperada de residuos orgánicos en la basura (0.5),

e es el margen de error permitido (5%).

De la muestra de 357 litros de basura, 215 litros (60.22%) son papeles de baño, 85 litros (23.81%) son plástico principalmente botellas, 27 litros (7.56%) son restos orgánicos principalmente resto de comida, 15 litros (4.2%) son isopor, 12 litros (3.36%) son papeles y 3 litros (0.84%) son textiles. Generalizando al volumen total, se obtiene 375 litros de residuos orgánicos. Además, el peso de los residuos orgánicos resultó en 13.5 kg, dando una densidad de 0.5 kg/l.

Calculadora de potencial de biogás y electricidad

El flujo del programa se divide en 4 etapas: Interacción Usuario - programa, recuperación de datos, procesamiento de datos, presentación de resultados.

La secuencia lógica de la calculadora es la siguiente: el programa solicita al usuario que ingrese el tipo de residuo, la masa y el volumen diario de los residuos y el tiempo de uso del generador, guarda esos datos en variables, a la variable Sólidos Totales, Sólidos Volátiles, potencial de producción del gas y categoría le asigna valores de acuerdo al tipo de residuo que se encuentra en la base de datos. Para asignar el tipo de biodigestor, entra en un condicional en el que dependiendo de la categoría y porcentaje de Sólidos Totales se asigna el tipo de biodigestor. Luego con las variables ya asignadas realiza los cálculos.

La interfaz fue construida con etiquetas semánticas de HTML5 y estilizada con CSS para ofrecer una experiencia intuitiva y accesible. Se utilizó un diseño adaptado a

pantallas de hasta 600px para asegurar compatibilidad con celulares. El formulario incluye un menú desplegable con más de 25 tipos de sustratos predefinidos, y controles de entrada numéricos (tipo number y range) para masa, volumen y tiempo.

La planilla está cargada en base a las Tablas 2 y 3

Tabla 2 Potencial De Producción De Biogás De Sustratos (Secretaría Nacional de Saneamiento Ambiental Agricultura, Ganadería e Industria de Alimentos, 2015a)

Tipo de sustrato	% ST	%SV/ST	Producción de biogás (m ³ /kg _{SV})
Residuos municipales (mezclados)	35	55	0,525
Residuos orgánicos (separados)	35	75	0,35
Restos de alimentos	17,5	90	0,85

Para el cálculo del volumen del biogás por día se considera la *Ecuación 3* para la energía eléctrica se considera la *Ecuación 4*

$$BG = \frac{\%ST}{100} \cdot \frac{\%SV}{100} \cdot B_o \cdot \frac{\%Met}{100} \cdot \frac{100}{\%CH_4}$$

Ecuación 3 Volumen de generación de Biogás (Ministerio de Industria Energía y Minería, 2016)

$$EE = BG \cdot PCI_{CH_4} \cdot \eta_{el}$$

Ecuación 4 Energía Eléctrica producida (Ministerio de Industria Energía y Minería, 2016)

Donde:

BG: Producción de biogás (m³)

M: Cantidad de residuos que ingresan al sistema de digestión anaeróbica (kg)

%ST: Contenido de Sólidos totales en los residuos %

%SV: Contenido de Sólidos Volátiles en los residuos %

%Met: nivel de metanización de los residuos a 28°C se puede asumir un 75%

B_o: Potencial de metanización (LCH₄/kg_{SV} o m³CH₄/kg_{SV})

%CH₄: Contenido de CH₄ en el biogás, en este estudio se considera 60%, extraído del estudio del Centro Internacional de Energías Renovables⁴.

η_{el}: Eficiencia eléctrica. Depende del equipo de generación, para motores de combustión interna se asume 30% por el rendimiento encontrado en los motores tipo Otto del mercado

PCI_{CH₄}: Poder Calorífico Inferior del CH₄: 5,9697 kWh/m³ relacionado con el valor del contenido de %CH₄⁴

Con los valores definidos, se realizan los cálculos: el volumen potencial de biogás generado y de la energía eléctrica producida por día

Para el dimensionamiento volumétrico del biodigestor en m³, se utiliza la ecuación 5

$$V_{biodigestor} = V_{cargadiaria} \cdot TRH$$

Ecuación 5 Volumen del biodigestor para una carga diaria conocida (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019)

Donde:

V_{biodigestor}: Volumen del biodigestor (m³)

⁴ Centro Internacional de Energías Renovables-Biogás. (2018). Características técnicas do biogás [Nota técnica].

TRH: el tiempo de retención hidráulica (días) Toma el valor 30 días porque es el tiempo recomendado para climas tropicales según Herrero y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

$V_{\text{carga diaria}}$: velocidad de carga diaria ($\text{m}^3/\text{día}$)

Para el cálculo de la potencia eléctrica se toma se utiliza la Ecuación 6 y para el consumo de gas por hora se utiliza Ecuación 7

$$P = \frac{EE}{t}$$

Ecuación 6: Potencia eléctrica

$$c = \frac{BG}{t}$$

Ecuación 7: Consumo de gas por hora

Donde

P: Potencia eléctrica (kW)

t: tiempo (h)

c= consumo de gas (m^3/h)

Luego, se ejecuta el bloque de *Conditional Statements*, por medio de estructuras *if – else if* en los que se evalúan el tipo de categoría y el parámetro ST para asignarle un tipo de biodigestor a la variable con el mismo nombre. Es importante mencionar que aunque para el presente artículo solo se toma los sustratos de Residuos Sólidos Urbanos, la calculadora está diseñada también para sustratos agrícolas y ganaderos.

Esta elección se hace de acuerdo a los datos de la Tabla 3 (Secretaría Nacional de Saneamiento Ambiental Agricultura, Ganadería e Industria de Alimentos, 2015b)

Tabla 3 Tecnologías para la Producción de Biogás

Tipo de sustrato	Condición	Tipo de biodigestor
Sustratos de agricultura y ganadería	ST<20%	CSTR versión básica
	ST<15%	Tubular con mezclador
	ST<5%	Tubular clásico
Residuos y efluentes de la industria alimentaria	Sustratos líquidos/pastosos o similares a líquidos (ST 15% - 20%)	CSTR versión avanzada
	Sustratos líquidos (ST<5%), alimentación continua o discontinua.	Tubular
	Sustratos líquidos (ST<300 mg/l), DQO>3.000 mg/L, caudal equilibrado.	UASB
Residuos sólidos urbanos	ST>35% Sustratos mixtos	Digestión anaeróbica seca

	relativamente secos, y con una gran cantidad de impurezas	discontinua (Garaje)
	ST>25% Sustrato mixto separado con trituración y posiblemente humidificación con agua	Digestión anaeróbica seca continua (pistón o flujo horizontal)
	ST<15% Sustratos con mayor contenido de humedad, bien separados, nivel aceptable de impurezas <5%.	Digestión anaeróbica húmeda continua CSTR

Una observación importante es que existen algunos tipos de sustratos para los cuales el sistema no asigna automáticamente un tipo de biodigestor. Esto se debe a que, en la

literatura consultada, no se encontraron recomendaciones específicas de tecnologías de digestión vinculadas a los parámetros químicos de estos.

Finalmente, se genera dinámicamente las filas y celdas de la tabla de resultados y las inserta en el DOM y se muestra la tabla de resultados

Diagrama de Flujo y Visualización de la Interfaz de Usuario

En el diagrama de flujo de la Figura. 1 se puede ver la lógica que sigue el programa. En la Fig. 2 se visualiza la interfaz del usuario con valores de entrada, en la Fig. 3, los resultados. En la web esto se presenta en una sola página, pero para mejor visualización en este artículo se dividen en dos secciones

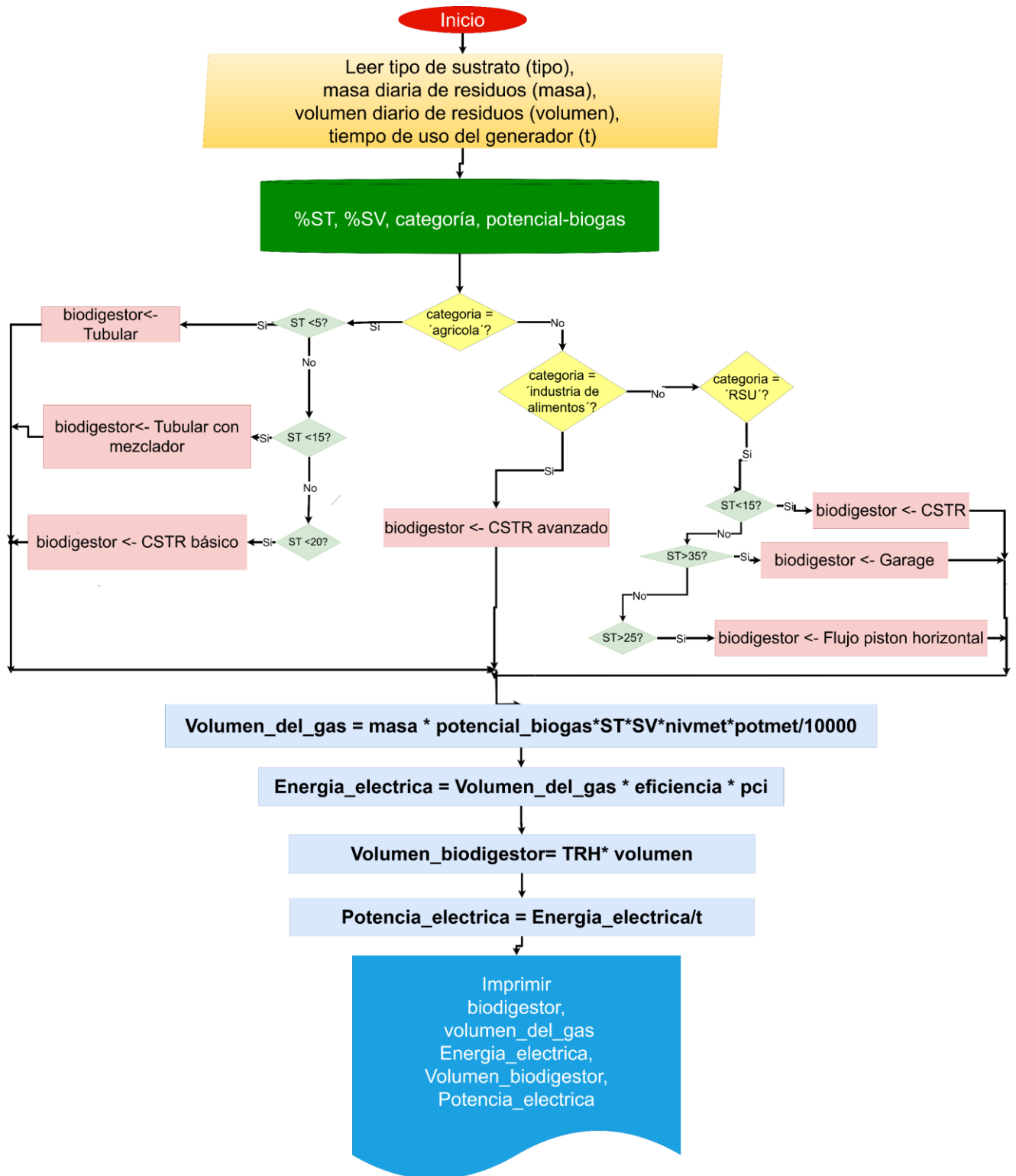


Figura 1 Diagrama de flujo para la calculadora web

Estimación de Producción de Biogás

Tipo de Sustrato:
Residuos orgánicos mezclados

Masa de Desecho Promedio Diario (kg):
189
kg

Volumen de Desecho Promedio Diario (m³):
0,378
m³

Tiempo de Consumo del Gas (horas):
24 horas

Calcular

Figura 2 Interfaz del usuario con valores de entrada

Descripción	Resultado
Biodigestor sugerido	Digestión anaeróbica seca, continua (piston o flujo horizontal)
Volumen del biodigestor	11.34 m ³
Biogás producido por día	23.88 m ³
Energía eléctrica producida	42.76 kWh
Consumo de gas por hora	0.99 m ³ /hora
Potencia eléctrica	1.78 kW

Figura 3 Resultados de la calculadora

Los resultados obtenidos en la figura 3, son del Potencial de producción de biogás y electricidad diarios a partir de residuos sólidos urbanos, para la Facultad Politécnica.

Finalmente, el código fuente de esta herramienta está disponible públicamente GitHub, para facilitar su reutilización y mejora en colaboración de otros investigadores y desarrolladores interesados⁵.

Discusión

Si bien existen antecedentes en literatura en la que se estiman rendimientos, como los trabajos de Samer et al en la que se desarrolló una aplicación móvil para el cálculo de biogás, metano y electricidad a partir de residuos de agricultura y Wu et al. que desarrollaron una hoja de cálculo para estimar la producción de biogás, estas presentan algunas limitaciones como en el caso de la hoja de cálculo que requiere instalación de un software compatible (Microsoft Excel, LibreOffice, etc.) en el que se pueda ejecutar, además el usuario debe conocer el uso de estos para poder ingresar sus datos, esta idea requiere también mayor intervención del usuario lo que puede generar errores de uso. En el caso de la app, está limitada al Sistema Operativo Android, lo que restringe su acceso para usuarios con otros sistemas operativos o para dispositivos de baja gama.

Mientras que la calculadora web puede ser ejecutada en cualquier tipo de dispositivo abriendo el archivo, la interfaz está diseñada para ser manejada de forma intuitiva y para evitar errores en la entrada de datos por intervención del usuario. Además, el aporte adicional es que sugiere un tipo de biodigestor según el sustrato a tratar.

La precisión de las estimaciones está limitada por la falta de estudios químicos de los sustratos nacionales, se tomaron datos de los países vecinos ya que presentan condiciones climáticas y algunos patrones de consumo similares.

Si bien se desconoce el porcentaje de error que tiene la calculadora de estimaciones con el resultado empírico, ya que las bases de datos consultadas no lo especifican, la idea de esta herramienta es presentar una primera estimación gruesa del potencial de biogás de forma a tomar decisiones sobre la planificación de proyectos vinculados con el energético biogás. Por esto se sugiere contrastar los resultados con pruebas bioquímicas.

La herramienta puede mejorar si se logra ampliar la variedad de sustratos, así como de relaciones entre tipo de sustrato, sólidos totales y tipo de biodigestor. Además, se podría exportar los datos a un archivo para posterior análisis en otros softwares.

⁵ Enlace al repositorio:
<https://github.com/inggabs/calculadorabiogas/blob/f0>

c8d6d951195d526819055641608d4fe1a364ff/calculadora_defensadetesis_gabs.html

Conclusiones

La revisión de literatura realizada arrojó como resultado que los parámetros principales para estimar la producción de biogás y la elección de biodigestor son el porcentaje de Sólidos Volátiles, porcentaje de Sólidos Totales, además se debe conocer el potencial de producción del gas de acuerdo al sustrato. (FAO; PNUD; GEF; Ministerio de Energía, 2011; Freddo et al., 2022; Herrero, 2019; Ministerio de Industria Energía y Minería, 2016; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019) Con estos valores y con las ecuaciones encontradas en los manuales sobre las tecnologías, se pueden realizar estimaciones preliminares confiables y base para establecer la secuencia lógica del algoritmo (Freddo et al., 2022; Ministerio de Industria Energía y Minería, 2016).

Se construyó una secuencia de cálculo coherente y fundamentada integrando los parámetros, permitiendo tener una estimación preliminar fiable, que sirve de base para el análisis financiero y facilitando la elección del sistema de digestión adecuado de acuerdo al tipo de residuo.

Respecto a la determinación de la cantidad diaria de residuos aprovechables para la digestión anaeróbica en la Facultad Politécnica, el muestreo y el cuarteo realizado permitió estimar el porcentaje de residuos orgánicos en 7.5%, con esto se estimó la cantidad diaria de residuos para introducir en la calculadora, y como resultado de introducir los datos a la

calculadora el potencial diario que se podrían generar en la Facultad Politécnica, siendo estos valores 23,88 m³ de biogás y 42,76 kWh de electricidad.

La calculadora representa una innovación para la toma de decisiones, al ofrecer una herramienta de estimación preliminar más accesible. Además, sienta las bases para el aprovechamiento de residuos orgánicos en el campus potenciando el desarrollo de competencias técnicas en energías renovables.

Referencias Bibliográficas

1. Acosta, Y. L., & Obaya Abreu, M. C. (2005). La digestión anaeróbica. Aspectos teóricos. Parte I. In (Vol. XXXIX, pp. 35 - 48). ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar: Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar Cuba.
2. Cámara de Comercio e Industria Paraguay Alemania. (2022). Biocombustibles Paraguay. Facts Sheets, 6.
3. Centro Internacional de Energías Renovables-Biogás. (2018). Características técnicas do biogás [Nota técnica].
4. Centro Internacional de Energías Renovables-Biogás.(CIBiogás). (2022). Guía Técnico: Tecnologías para dessulfurização de biogás. [Nota técnica]. <http://Dessulfurização-de-biogas.pdf>
5. Congreso de la Nación Paraguaya (2009). LEY N° 3.956/09. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/par123260.pdf>
6. FAO; PNUD; GEF; Ministerio de Energía. (2011). Manual de Biogás.
7. Freddo, A., & Gotardo Martínez, D. (2019). Guía Técnico: Tecnologías para dessulfurização de biogás.

- Centro Internacional de Energías Renovables -CIBiogás.
8. Freddo, A., Navarro, K., & Carmona, L. (2022). Guía práctico para projetos de biogás. Centro Internacional de Energías Renováveis -CIBiogás. <https://datasebrae.com.br/wp-content/uploads/2022/09/Guia-pratico-para-projetos-de-biogas.pdf#:~:text=projetos%20de%20biog%C3%A1s,%20auxiliando%20investidores,%20tomadores%20de%20decis%C3%A3o>
 9. García Páez, V. (2015). Manual de Biogás. Conceptos básicos. Beneficios de su producción y la aplicación de sus sub-productos. In. Buenos Aires: Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático.
 10. Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. (2011). Situación de Energías Renovables en el Paraguay <http://www.silvapar.com/politica-forestal/1.%20Forestal%20general/2.%20GIZ%20-%20Situaci%C3%B3n%20Energ%C3%ADas%20Renovables%20Paraguay%202011.pdf>
 11. Gil Sevilla, M. (2022). TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE SOSTENIBLE E INCLUSIVA. https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/transicion_energetica_ponencia_universidad_ecuador.pdf
 12. Gotardo Martínez, D., Aline Bastos, J., Gaio Somer, J., & Edwiges, T. (2022). Pré-tratamiento de biomassa (p. 26).
 13. Gotardo Martinez, D., Aline Bastos, J., Lima Alino, J. H., Remor, P. V., & Edwiges, T. (2020). Operação e monitoramento de reatores anaeróbios Guia de boas práticas (p. 62).
 14. Gotardo Martinez, D., López, E., Patuzzo, G., & Magrini Lopez, T. (2021). Transporte de biogás: Guía técnico (p. 35).
 15. Hernández Sampieri, R. (2018). Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.
 16. Herrero, M. (2019). Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y Manual de Instalación. In. Redbiolac.
 17. IRENA. (2021). Evaluación del Estado de Preparación de las Energías Renovables de IRENA: Paraguay.
 18. Mercosur Ad Hoc Group on Biofuels. (2017). Mercosur Biogas and Biomethane Report. https://task37.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/32/2022/02/Mercosur_2016.pdf
 19. Ministerio de Industria Energía y Minería. (2016). Digestión anaeróbica (Proyecto Biovalor, Issue. <https://biovalor.gub.uy/materiales/>
 20. Nachwachsende Rohstoffe, F. (2010). Guia Prático do Biogás. Geração e Utilização. In (5 ed.).
 21. Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial. (2022). Pré-tratamiento de biomassa. Centro Internacional de Energías Renováveis -CIBiogás
 22. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores
 23. PINEDA ATET, G. (2020). Informe del Plan Nacional de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos. https://informacionpublica.paraguay.gov.py/public/1090907-Producto1-RLima_Finalpdf-Producto1-R.Lima_Final.pdf

24. Porter. (2024). Triturador Eléctrico Tramontina Residuos Orgánicos 2hp.
<https://porter.com.py/tramontina-79868333-triturador-electrico-residuos-organicos-2hp>
25. Quiñonez Wing Chong, P. (2024). Datos de recolección de basura. [Correo]
26. Renovables, S. de E. (2017a). Biodigestión Anaeróbica. En CURSO OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE BIODIGESTIÓN DE PEQUEÑA Y MEDIANA ESCALA.
27. Salomón Ayala, D. (2022) Análisis del impacto de medidas de Eficiencia Energética, en equipos de Aire Acondicionado en la demanda máxima del Sistema Interconectado Nacional – Paraguay [Trabajo Final de Grado]
28. Samer, M. Helmy, K, Morsy, S, Assal, T, Amin, Y, Mohamed, S, Maihoob, M, Khalil, M, Fouda, I, Abdou, A (2019) Cellphone application for computing biogas, methane and electrical energy production from different agricultural wastes, Computers and Electronics in Agriculture, (Vol. XCLIII). Recuperado de:
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104873>.
29. Secretaria Nacional de Saneamiento Ambiental, P. (2015a). CATÁLOGO DE TECNOLOGIAS E EMPRESAS DE BIOGÁS
30. Secretaria Nacional de Saneamiento Ambiental, P. (2015b). TECNOLOGIAS DE DIGESTÃO ANAERÓBIA COM RELEVÂNCIA PARA O BRASIL SUBSTRATOS, DIGESTORES E USO DE BIOGÁS
31. Sistema de Información Energética Nacional. (2019). Balances energéticos.
<https://www.ssme.gov.py/vmme/nuevosien/index.html>
32. SISTEMAS DE BIODIGESTIÓN DE PEQUEÑA Y MEDIANA ESCALA. Subsecretaría de Energías Renovables. (2017b). BIODIGESTORES Y OPERACIÓN DE PLANTAS DE BIOGÁS. In CURSO OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE BIODIGESTIÓN DE PEQUEÑA Y MEDIANA ESCALA.
33. Subsecretaría de Energías Renovables. (2017a). Biodigestión Anaeróbica. In CURSO OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE
34. Tapia Tapia, V. (2016). INSTALACIÓN Y USO DE BIOGÁS.
35. Universidad Abierta y a Distancia de México. (2020). Diseño y funcionamiento de biorreactores específicos. In Ingeniería de biorreactores
36. Wu, A, Lovett, D, McEwan, M, Cecelja, F, Tao Chen, A spreadsheet calculator for estimating biogas production and economic measures for UK-based farm-fed anaerobic digesters, Bioresource Technology (Vol. CCXX, pp. 479-489) Recuperado de
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.08.103>