

# Anteproyecto de biodigestor de bolsa para la cocina comedor de una empresa porcina

Preliminary draft of a bag biodigester for the kitchen dining room of a swine company

**ING. PEDRO JORGE NEGRÍN RANSOLI** 

Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”. Facultad de Ingeniería. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. (CEEMA). Cienfuegos, Cuba.

**DR. JOSÉ PEDRO MONTEAGUDO YANES** 

Profesor titular y consultante. Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”. Facultad de Ingeniería. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. (CEEMA). Cienfuegos, Cuba.

**ING. LUIS ANGEL ITURRALDE CARRERA** 

Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”. Facultad de Ingeniería. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. (CEEMA). Cienfuegos, Cuba.

**Autor para correspondencia:** Ing. Luis Angel Iturralde Carrera.  
Correo: [luisiturralde97@gmail.com](mailto:luisiturralde97@gmail.com)

## RESUMEN

El uso de los biodigestores a nivel mundial y en Cuba específicamente, ha tenido un notable crecimiento por la puesta en vigor de políticas energéticas que potencian el uso de las fuentes renovables de energía. El objetivo del presente trabajo radica en mostrar las ventajas energéticas, agrícolas y económicas que el uso de los biodigestores debe propiciar en la granja porcina y fincas aledañas. En el anteproyecto fueron utilizadas metodologías de cálculos de biodigestores de la FAO, CEPAL y el Instituto de Investigaciones Porcinas de la República de Cuba. El cálculo realizado para la cocina de 100 comensales muestra que se requieren 13 bolsa plásticas de 10 m<sup>3</sup> cada una. La evaluación económica es realizada en pesos cubanos (CUP) con una equivalencia de 24 \$CUP/\$USD y muestra que es necesaria una inversión inicial de 94,334.24 \$CUP, que se obtiene un ingreso anual de 101,485.26 \$CUP por el uso del biogás y la venta del abono, obteniéndose un VAN de 215,265.05 \$CUP, una TIR de 30% y un periodo de recuperación de la inversión (PRI) de 3,2 años en una vida útil estimada de 10 años, lo que la convierten en una inversión atractiva. La inversión social propuesta tiene como objetivo mejorar las condiciones de vida y trabajo del personal que utiliza la leña en la cocción de alimentos y además contribuir a preservar el bosque cercano evitando la combustión de 56 t/año de madera como combustible.

**Palabras claves:** Biodigestores, biogás, residual porcino, biol.

## SUMMARY

The use of biodigesters worldwide and in Cuba has had a notable growth due to the implementation of energy policies that promote the use of renewable energy sources. The objective of this work is to show the energy, agricultural and economic advantages that the use of biodigesters should promote in the pig farm and neighboring farms. In the preliminary project, biodigester calculation methodologies from FAO, ECLAC and the Institute of Porcine Research of the Republic of Cuba were used. The calculation made for the kitchen of 100 people shows that 13 plastic bags of 10 m<sup>3</sup> each are required. The economic evaluation is carried out in Cuban pesos (CUP) with an equivalence of 24 CUP / \$ USD and shows that an initial investment of 94,334.24 \$ CUP is necessary, which results in an annual income of 101,485.26 \$ CUP for the use of biogas and the sale of the fertilizer obtaining a NPV of 215,265.05 \$ CUP, an IRR of 30% and a period of recovery of the investment of (PRI) of 3.2 years in an estimated useful life of 10 years, which makes it an attractive investment. The proposed social investment aims to improve the living and working conditions of the personnel who use firewood to cook food and also contributes to preserving the nearby forest by avoiding the burning of 56 t / year of wood as fuel.

**Keywords:** Biodigesters, biogas, pig waste, biol.

## Introducción

En Cuba la digestión anaerobia constituye una valiosa alternativa para el tratamiento de los desechos orgánicos generados en las instalaciones agropecuarias, a partir del aprovechamiento de las excretas porcinas. Con esta alternativa se produce biogás y biol, este último permite restaurar los nutrientes y restablecer la vida del suelo, disminuir la carga contaminante y con el biogás generar energía renovable (Medina Urrea *et al.*, 2016, 7-9).

La empresa porcina satisface las necesidades energéticas para la cocción de alimentos con la combustión de leña, portador energético escaso, altamente contaminante y trasladado desde grandes distancias. Debido a ello es necesario valorar otro portador energético para la cocina comedor.

De acuerdo con la naturaleza de su estructura, los biodigestores se pueden clasificar en: biodigestores de estructura rígida, flexible y de estructura combinada, que mezclan elementos rígidos y flexibles. Los biodigestores flexibles son elaborados a partir de diversos materiales sintéticos como el Etil-Propil-Dietil monómero (EPDM), el

Polietileno y el Policloruro de Vinilo (PVC), esta clase de biodigestores presentan como ventajas, mayor facilidad para su instalación y anejo (Instituto de Investigaciones Porcina 2017, 2).

La durabilidad de los biodigestores de PVC está en el orden de los 5-7 años. Los fabricados con geomembrana de polietileno son más duro y resistente y pueden alcanzar una vida útil de 15 años. (Martí Herrero 2019, 28).

Los biodigestores de domo fijo suelen estar contruidos con cemento y ladrillo, lo que les otorga un tiempo de vida de hasta 20 años y requieren de mano de obra calificada para su construcción e inversión. (González *et al.*, 2019, 14).

Dos grandes ventajas de estos biodigestores están dadas en que la presión del biogás puede llegar a un metro de columna de agua y la carga de materia orgánica (normalmente estiércol de cerdo o vaca) solo se mezcla 1:1 con agua. Como desventaja, su costo es mucho mayor que el de los biodigestores tubulares plásticos (Martí Herrero 2019, 30).

Los autores pretenden mostrar la sencillez de diseño y construcción de esta tecnología, sus relativos bajos costos y la obtención de dos productos

vitales para la economía cubana, como son el biogás como portador energético y el biol como fertilizante. Todo ello debe contribuir al mejoramiento de los indicadores agrícola, energéticos y económico de la zona agrícola en estudio.

El objetivo del presente trabajo es exponer las ventajas energéticas, agrícolas y económicas que el uso de los biodigestores debe propiciar en la granja porcina y fincas aledañas.

## Materiales y métodos

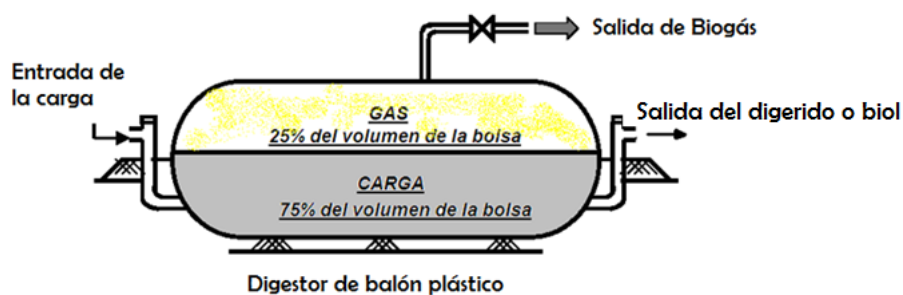
Tomando en consideración las ventajas constructivas, económicas y de durabilidad de los biodigestores de bolsa de geomembrana, la dirección de la empresa tomó la decisión de usar ésta. (CEPAL 2019, 34; Martí Herrero 2019, 30).

El método empleado es el análisis documental y el empírico analítico, que basado en las experiencias de estudios y construcciones precedentes permitió el desarrollo de la metodología encaminada a determinar la cantidad de bolsas que se necesitan para cumplir con la demanda de biogás. La metodología se basa en los textos referidos al tema de los biodigestores y la biomasa. (ODEPA 2009, 47-48; Guardado 2007, 20-26; González *et al.*, 2019, 61-67).

Los datos disponibles fueron suministrados por la empresa, y otros extraídos de las bibliografías consultadas (CEPAL 2019, 51-63). Estos fueron utilizados como referente en la discusión de los resultados y en el análisis económico.

Un esquema básico del tipo de biodigestor de bolsa al que se hace referencia es el dado en la figura 1.

Figura 1.  
Biodigestor de bolsa plástica. Fuente: Elaboración propia, enero 2021.



El biogás salido del biodigestor no requiere tratamiento previo al uso, dado que será utilizado de forma inmediata en la combustión de la cocina de la empresa porcina, ubicada en una región rural sin población aledaña.

La metodología utilizada para el cálculo del biodigestor se elaboró a partir de la consulta de autores que se referencian a lo largo del texto.

Según (Guardado 2007, 22) “cuando en las cocinas se emplea el biogás con una presión de 75-90 mm de columna de agua (c.a.) el consumo es a

razón de 0,38-0,42 m<sup>3</sup>/persona\*día. Para presiones inferiores, el *per cápita* debe calcularse a razón de 0,5 m<sup>3</sup>/persona\*día”.

Para la condición más desfavorable el consumo máximo por persona día está dado por la ecuación 1.

$$G_{bgr} = 0,5 * N_{pd}^{\circ} \quad (\text{m}^3/\text{día}) \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

$G_{bgr}$  - Flujo volumétrico de biogás requerido (m<sup>3</sup>/día).

$N_{pd}^{\circ}$  - Número de personas días (número de comensales\*día).

La cantidad de excreta porcina para la generación de biogás se obtiene a partir de la experiencia y estudios precedente relacionados con la deposición fecal por tipo de animal y su peso. En la tabla I se resume la dada por (Guardado 2007, 22) para Cuba.

Valores similares a los dados por Guardado se hallan en la tabla II (Varnero 2011, 34) y (González, y otros 2019, 62) lo que permite considerar que son similares en la región latinoamericana.

**Tabla I.**

Cantidad de excreta por tipo de animal, cantidad de biogás, proporción excreta agua y tiempo de retención.

Procedencia heces	Excreta húmedo-diaria (kg)/animal.	m <sup>3</sup> de biogás/día*animal	Proporción excreta: agua.	Tiempo de retención <sup>1</sup>
Vaca	10	0,360	1:1	40 días
Toro	15	0,540	1:1	40 días
Cerdo (50kg)	2,25	0,101	1:1-3	40 días
Pollo	0,18	0,108	1:1-8	30 días
Caballo	10	0,300	1:1-3	30 días
Carnero	2	0,100	1:1-3	40 días
Ternero	5	0,200	1:1	40 días
Persona Adulta	0,40	0,025	1:1	60 días

Fuente: (Guardado 2003, 22).

**Tabla II.**

Cantidad de excreta, producción de biogás y relación C/N por tipo de animal.

Tipo de heces	Disponibilidad	Relación	Volumen de biogás	
	kg/día*animal	C/N <sup>1</sup>	m <sup>3</sup> /kg húmedo	m <sup>3</sup> /día*animal
Bovino (500 kg)	10,00	25:1	0,04	0,400
Porcino (50 kg)	2,25	13:1	0,06	0,135

<sup>1</sup> C/N.- Relación Carbono/ Nitrógeno, dato básico en el proceso de los biodigestores.

## Anteproyecto de biodigestor de bolsa para la cocina comedor de una empresa porcina

Tipo de heces	Disponibilidad	Relación	Volumen de biogás	
	kg/día*animal	C/N <sup>1</sup>	m <sup>3</sup> /kg húmedo	m <sup>3</sup> /día*animal
Aves (2 kg)	0,18	19:1	0,08	0,014
Ovino (32 kg)	1,50	35:1	0,05	0,075
Caprino (50 kg)	2,00	40:1	0,05	0,100
Equino (450 kg)	10,00	50:1	0,04	0,400
Conejo (3 kg)	0,35	13:1	0,06	0,021
Excretas humanas	0,40	3:1	0,06	0,025

Fuente: (Varnero 2011, 35). (Sistema Biobolsa ®/ Manual de BIOL s/d, 4).

A los efectos del cálculo se hace uso del valor del volumen de biogás generado de 0,135 m<sup>3</sup>/día\*animal por ser el más actualizado y favorable al proyecto. La ecuación 2 permite determinar el flujo volumétrico de biogás generado ( $G_{bgg}$ ) a partir del volumen de excreta.

$$G_{bgg} = 0,135 * N_a \quad (\text{m}^3/\text{día}) \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$N_a$ . - Número de animales.

Considerando para el cálculo que el flujo de biogás generado ( $G_{bgg}$ ) es igual al flujo de biogás requerido ( $G_{bgr}$ ) para una cocina en que sea conocido el número de comensales, se determina el número mínimo de animales necesarios para obtener la excreta a suministrar al biogás.

$$\begin{aligned} G_{bgg} &= G_{bgr} \\ 0,135 * N_a &= 0,5 * N^{\circ}pd \end{aligned}$$

Despejando de la igualdad el número de animales ( $N_a$ ), se obtiene la ecuación 3.

$$N_a = \frac{0,5 * N^{\circ}pd}{0,135} \quad (\text{N}^{\circ} \text{ de Cerdos}) \quad \text{Ec. 3}$$

La cantidad de excreta día ( $M_{excd}$ ) requerida se determina a partir de la ecuación 4

$$M_{excd} = N_a * m_{eda} \quad (\text{kgexc./día}) \quad \text{Ec. 4.}$$

Donde:

$m_{eda}$  .-Masa de excreta día animal. (kg/día\*animal) Para el cerdo se tomará 2,25 (kg/día\*animal) de la tabla II.

El volumen de excreta a tratar en el biodigestor ( $V_{ed}$ ) se determina haciendo uso de la ecuación 5, tomando en consideración la proporción excreta: agua, el tiempo de retención (TR) y la densidad de mezcla ( $\rho_m$ ). La densidad de la mezcla se tomará igual a la unidad por predominar en ella el agua y tener la sustancia sólida, una densidad inferior, cercana a 0,8 kg/m<sup>3</sup> (Ministerio de Agroindustria 2015, 16) (Instituto de Investigaciones Porcina 2017, 21).

$$V_{ed} = M_{excd}(1 + 3) * \frac{TR}{\rho_m} \quad (\text{m}^3) \quad \text{Ec. 5}$$

En condiciones óptimas del proceso, con una temperatura ambiental de 30 oC, el tiempo de retención necesario es de 30 días. Para el clima en Cuba con temperatura promedio de 25 0C, se deberá aplicar un factor de corrección de 1,3 al cálculo del volumen necesario de digestión (Guardado 2003, 23) lo que da el volumen de cálculo para la digestión ( $V_{ecd}$ ), según la ecuación 6.

$$V_{ecd} = 1,3 * V_{ed} \quad (m^3) \quad \text{Ec. 6}$$

El volumen de cálculo para la digestión ( $V_{ecd}$ ), se divide entre el volumen de cálculo de la bolsa ( $V_{eb}$ ) que se posee y ello permite conocer en el número de bolsas necesarias. Ecuación 7.

$$\text{Cant. de bolsas} = \frac{V_{ecd}}{V_{eb} \text{ del digester que se posea}} \quad (\text{Unidades}) \quad \text{Ec. 7}$$

Conocido el número de bolsas necesarias se determina la cantidad de comensales que el biodigestor puede satisfacer.

Utilizando la ecuación 6 y despejando ( $V_{ed}$ ) se obtiene el volumen que representa la mezcla.

$$V_{ed} = \frac{V_{ecd}}{1,3} \quad (m^3) \quad \text{Ec. 8}$$

La ecuación 5 permite obtener la masa de excreta diaria ( $M_{excd}$ ) como lo expresa la ecuación 9.

$$M_{excd} = \frac{V_{ed} * \rho_m}{(1+3) * TR} \quad (\text{kg mezcla}) \quad \text{Ec. 9}$$

El número de animales se determina haciendo uso de la ecuación número 4 tal como lo da la ecuación 10.

$$N_a = \frac{M_{excd}}{m_{eda}} \quad (\# \text{ cerdos}) \quad \text{Ec. 10}$$

El flujo volumétrico de gas generado está dado por la ecuación 2 con el número de cerdos calculado por la ecuación 10 según se aprecia en la ecuación 11:

$$Q_{bgg} = 0,135 * N_a \quad (m^3/\text{día}) \quad \text{Ec. 11}$$

Considerando para el cálculo que el flujo volumétrico de biogás generado ( $G_{bgg}$ ) es igual al flujo volumétrico de biogás requerido ( $G_{bgr}$ ). El número de comensales ( $N_{pd}$ ) que el biodigestor satisface se determina haciendo uso de la ecuación 12.

$$G_{bgg} = G_{bgr}$$

$$N_{pd} = \frac{Q_{bgg}}{0,5} \quad (m^3/\text{día}) \quad \text{Ec. 12}$$

Los datos del biodigestor que posee la empresa son:

- Volumen de construcción del digester ( $V_{cd}$ ):10  $m^3$
- Largo del biodigestor (L): 8,3 m
- Diámetro del biodigestor (d):1,27 m
- Espesor de la pared del biodigestor (S):1,20 mm

Datos utilizados en el proyecto:

- N° de comensales:100 personas. (Dato suministrado por la empresa)
- Densidad de la mezcla ( $\rho_m$ ):1 000  $kg/m^3$ .
- Proporción excreta agua: 1:3 (Ministerio de Agroindustria 2015, 16)
- Volumen que abarca el líquido: 70 %

## Resultados

Las gestiones realizadas por la empresa para obtener los costos constructivos de un biodigestor de cúpula fija y de uno de bolsa plástico, así como el tiempo de vida útil de ambos, llevo a los directivos de la empresa a decidirse por este último. Además, la empresa recibió una atractiva oferta de venta del biodigestor de bolsa plástico que fortaleció la decisión por este último.

En la tabla III se ofrecen los datos utilizados para el cálculo.

**Tabla III:**  
Datos utilizados en el cálculo.

Datos	Valor	U/M
N° de comensales	100	comensal
Consumo de biogás por comensal	0,5	m <sup>3</sup> /día*comensal
Generación de biogás por tipo de animal (porcino)	0,135	m <sup>3</sup> /día*animal
Valor calórico del biogás (VC <sub>bg</sub> )	7,0	(kWh/m <sup>3</sup> )
Disponibilidad de excreta/tipo animal	2,25	kg/día*animal
Tiempo de Retención (T: R)	30	días
Densidad de la mezcla (ρ <sub>m</sub> )	1 000	kg/m <sup>3</sup>
Volumen de la bolsa que se posee	10	m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia, enero 2021.

La tabla IV ofrece los resultados obtenidos al aplicar la metodología expuesta. Para su procesamiento fue elaborada una hoja de cálculo en Ex-

cel como forma de facilitar el procesamiento de la metodología y probar diferentes alternativas.

**Tabla IV:**  
Resultados obtenidos empleando la metodología propuesta.

Parámetro	Valor	U/M
Flujo de biogás requerido (Q <sub>bg<sub>r</sub></sub> )	50	m <sup>3</sup> /día
Número de animales (N <sub>a</sub> )	370	Cerdos
Cantidad de excreta día (M <sub>excd</sub> )	833,33	kg/día
Volumen de excreta a tratar en el biodigestor (V <sub>ecd</sub> )	100,00	m <sup>3</sup>
Volumen de cálculo para la digestión (V <sub>ecd</sub> )	130	m <sup>3</sup>
Cantidad de bolsas necesarias	13	Unidades

Fuente: Elaboración propia, enero 2021.

Como resultados de interés se concluye que:

- Son necesarias 13 bolsas de 10 m<sup>3</sup> c/u para satisfacer las necesidades energéticas de la cocina para 100 comensales.

- La bolsa con que cuenta la empresa de 10 m<sup>3</sup> de volumen, solo satisface la cocción de alimentos para 8 comensales en condiciones desfavorables de baja presión y de 10 comensales para presiones de 75-90 mm columna de agua.

## Evaluación económica

Para el desarrollo y la evaluación económica del anteproyecto se siguen los criterios dados por (Behrens y Hawranek 1994, 310-315); (Borroto y Monteagudo 2006, 79-89) y (Baca Urbina 2001, 212-229).

En forma resumida la metodología utilizada para la evaluación económica del proyecto se circunscribe a las técnicas de valor descontado, basadas en el descuento a valor presente de las cantidades futuras o flujos de caja.

Los flujos de caja son la diferencia neta entre beneficios y costos del proyecto en cada uno de los años. Se consideran que las entradas a caja (ingresos) son positivas, y las salidas (gastos) son negativas. La evaluación económica utilizada trabajó tres indicadores económicos, el Valor Presente o Actual Neto (VPN o VAN); La Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Período de Recuperación de la Inversión (PRI).

Se determinó el Valor Presente Neto (VPN) haciendo uso de la ecuación 13. Se calcula el valor presente neto de los flujos de caja proyectados para todos los años durante el período de evaluación del proyecto.

$$VPN = -K_0 + \sum_{i=1}^n \frac{F_{ci}}{(1+D)^i} \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

$K_0$ .- Inversión o capital inicial, (\$)

$F_{ci}$ .- Flujo de caja en el año  $i$ , (\$)

$D$ . Tasa de descuento real utilizada, (%)

$n$ .- Número de años previsto para la inversión.

El flujo de caja ( $F_{ci}$ ) es determinado por la ecuación 14.

$$F_{ci} = (I_i - G_i - D_{ep}) * \left(1 - \frac{t}{100}\right) + D_{ep}$$

Ec. 14

Donde:

$I_i$ .- Ingresos en el año  $i$ , (\$)

$F_{ci}$ .- Gastos en el año  $i$ , (\$)

$T$ .-Tasa de impuesto sobre la ganancia, (%)

$D_{ep}$ .- Depreciación del equipamiento o amortización de la inversión, (\$)

La Depreciación del equipamiento dada en la ecuación 14 es considerada como el proceso de repartir la inversión inicial en activos fijos, en los períodos donde el uso de dichos activos reporta beneficios a la empresa. Existen varios métodos para determinar la depreciación, aunque la más común y utilizada en este análisis es considerarla lineal y su valor es determinado por la ecuación 15.

$$D_{ep} = \frac{K_0}{n} \quad \text{Ec. 15}$$

Otro de los indicadores económicos utilizados en el trabajo es la Tasa Interna de Retorno (TIR), la que en términos económicos representa el porcentaje o tasa de interés que se gana sobre el saldo no recuperado de la inversión de forma tal que, al finalizar el período de evaluación o vida útil, el saldo no recuperado sea igual a cero.

Analíticamente la TIR es determinada por la ecuación 16, la cual no puede ser resuelta de forma directa, sino que se requiere un análisis iterativo para obtener el valor de la TIR.

$$0 = -K_0 + \sum_{i=1}^n \frac{F_{ci}}{(1+TIR)^i} \quad \text{Ec.16}$$

Por último, el otro indicador económico utilizado es el Período de Recuperación de la Inver-



sión (PRI), considerado como el tiempo en que se recupera la inversión inicial para una tasa de descuento (D) considerada. Se calcula haciendo uso de la ecuación 17, ésta no puede ser resuelta directamente, por lo que para obtener el valor del PRI se van adicionando gradualmente a la inversión inicial, los flujos de cajas anuales hasta que el resultado sea cero. En ese momento se ha recuperado la inversión.

$$0 = -K_0 + \sum_{i=1}^{PRI} \frac{FC_i}{(1+D)^i} \quad \text{Ec. 17}$$

La magnitud de los términos necesarios para la evaluación económica y la determinación de los tres indicadores económicos antes definidos se obtiene a partir de los datos dados por las empresas y las fuentes bibliográficas. Los montos económicos y sus orígenes o fuentes son expuestos en cada uno de los parámetros utilizados en la evaluación económica.

El valor de la adquisición de un biodigestor de bolsa de 10 m<sup>3</sup> es de 4 774,00 \$CUP (Varnero 2011, 107-114; Instituto de Investigaciones Porcina 2017, 23). El valor de las 13 bolsas requerida es de 62 062,00 \$CUP.

El valor del montaje, traslado y salario de los operarios representa el 52 % de la inversión inicial (Claudia Dido *et al.*, 2013, 71-73) El valor total de la inversión inicial está dado en la ecuación 13.

$$62\,062(1+0,52)=94\,334,24 \text{ \$CUP} \quad \text{Ec. 13}$$

Los ingresos se determinan considerando que la empresa utiliza una cocina de leña, la cual representa un gasto por el costo de la madera, el salario de los operarios para la tala, traslado y los gastos de transporte de la leña.

La sustitución de la leña por biogás convierte los gastos por concepto de leña en una fracción del ingreso. La evaluación del costo de la leña resulta la más desfavorable para la evaluación económica del anteproyecto, al no considerar los gastos de salarios de operarios y transporte usado en el suministro de la leña, por no ser contabilizados por la empresa.

El ingreso por concepto de sustitución de la leña se determina tomando en consideración la equivalencia energética entre el biogás y la leña dado en la igualdad 14 (Comisión Nacional de Energía. Cuba 1987, 44).

$$1 \text{ m}^3 \text{ biogás} = 3,6 \text{ kg de leña} \quad \text{Ec. 14}$$

El precio de la leña para Cuba establecido desde el día 01/01/2021 es de 321,93 \$CUP/m<sup>3</sup>. (Díaz Velázquez 2021, 05/04/2021)

El cálculo del ingreso al sustituir la leña por biogás está dado en la tabla V.

**Tabla V.**  
Desglose de los ingresos por sustitución de la leña por biogás

Parámetro	Magnitud	Unidades
Vol. Biogás/día ( $m^3/día$ )	50,00	$m^3/día$
Cantidad de leña (M) (peso leña/día)	180,00	kg leña/día
Cantidad de leña (M) (peso leña/año)	56 160,00	kg leña/año
Densidad de la leña ( $\rho_{leña}$ ) (UNAM 2000)	650 a 750	$kg/m^3$
Volumen de leña ( $m^3/día$ )	0,26	( $m^3/día$ )
Volumen de leña ( $m^3/año$ )	80,23	( $m^3/año$ )
Costo leña/año (\$/año)	25 747,76	(\$CUP/año)

Fuente: Elaboración propia, enero 2021.

El costo dejado de pagar por concepto de utilización de la leña se convierte en parte del ingreso a la entidad y tiene una magnitud de 25 747,76 \$CUP/año.

Para calcular el ingreso total a la empresa, hay que considerar también el ingreso por concepto de venta del abono orgánico salido del biodigestor. El abono obtenido de las trece bolsas es de 0,83 t de excreta diaria (ver tabla IV). equivalente a 302,95 (t/año) de abono orgánico o biol salido de los biodigestores. La empresa trabaja 6 días a la semana, lo que hacen un total de 312 días laborables al año.

Guardado (2007, 8) considera que “el biol libera solamente un tercio de su potencial nutritivo en un periodo de 100 días; por lo que para suplir la demanda de nutrientes de un cultivo es necesario aplicar el triple de las cantidades teóricamente necesarias”.

Otros autores consideran que “El uso agronómico de los digeridos permite sustituir parcial o totalmente el empleo de fertilizantes inorgánicos (urea, fosfato monoamónico y otros) y que ello

mejora las propiedades fisicoquímicas de los suelos por el aporte de materia orgánica”. (González *et al.*, 2019, 39).

Coincidentemente con estos autores, en Cuba existe muy buena opinión con el uso de los digeridos como biofertilizantes y resulta una práctica habitual su empleo en la agricultura de la isla. (Instituto de Investigaciones Porcina 2017, 27).

Los bajos precios de la tonelada de biofertilizante obtenido de un biodigestor, no estimula a los empresarios estatales o campesinos particulares generadores de biogás al procesamiento y venta del biol. Hasta el año 2020 su precio ha fluctuado entre 16,00 y 60,00 \$CUP/t (0,60 a 2,5 \$ USD/t) (Instituto de Investigaciones Porcina 2017, 29).

Dada la similitud en composición del biol con los abonos inorgánicos utilizados por los pequeños agricultores cubanos en las cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio, el precio de estos debe servir de referencia para fijar el precio del biol salido de los biodigestores.

## Anteproyecto de biodigestor de bolsa para la cocina comedor de una empresa porcina

El menor precio ofertado en la red internacional por suministradores de abono NPK oscila entre 200,00 y 450,00 \$USD/t. (Alibaba.com 2021). Para la realización del presente estudio económico y dado que no existe un precio oficial vigente en Cuba para el biol, se llegó al conceso, en consulta con productores y agricultores en la zona agrícola de la empresa porcina, que un valor de 250 \$CUP/t, equivalente a 10 \$USD/t, (5% del menor precio internacional), resulta adecuado y debe estimular la producción y venta del digestato.

Los altos precios de los abonos orgánicos NPK industriales están fuera del alcance económico

de los agricultores pequeños y de las pequeñas cooperativas agropecuarias existente en la región. Esto ha convertido en práctica común el uso de los digestatos salidos de los biodigestores, lo que garantiza la venta total del producto. A ello contribuye también la experiencia agrícola de los productores que manifiestan que ello mejora las propiedades fisicoquímicas de los suelos por el aporte de materia orgánica.” (González *et al.*, 2019, 29).

Los ingresos por concepto de la venta del biol están dados en la tabla VI.

Tabla VI.

Ingresos anuales por concepto de venta del biol generado en los biodigestores.

Parámetros (unidades)	Magnitud
Precio internacional del fertilizante NPK/t (\$USD/t)	200-450 (\$USD/t) (Alibaba.com 2021)
Precio estimado Biol (\$USD/t) (\$CUP/t)	10 USD/t (250 \$CUP/t)
Cantidad biol (t/año)	302,95
Costo del biol (\$CUP/año)	75 737,50

Fuente: Elaboración propia, enero 2021.

La magnitud del ingreso total anual está dada por la ecuación 15.

Ingreso anual=Ingreso Biol + Ingreso por sustitución de leña Ec.15

Ingreso anual = 75 737,50 + 25 747,76 = 101 485,26 (\$CUP/año)

ración del biodigestor (Claudia Dido *et al.*, 2013, 71).

La tasa de interés utilizada es de un 8%, establecida por la Dirección General de Tesorería del Banco Central de Cuba en las Circulares 5/2011 y 2/2012 como se muestra en la Tabla VII.

## Gastos

Los gastos se estiman en un 40% de los ingresos, lo que representa 40 594,10 \$CUP/año para pago de salario y otros gastos destinados a la ope-

**Tabla VII.**  
Interés bancario para préstamos (Banco Central de Cuba).

Período tiempo	Tasa de interés anual (%)	Tasa mínima (%)	Tasa máxima (%)
Hasta 36 meses	7,5	6,5	8,5
Hasta 60 meses	8	7	9

Fuente: Elaboración propia, enero 2021.

El impuesto sobre la ganancia es del 35%, según artículo 97 de la Ley 113 publicada en la Gaceta Oficial No. 053 Ordinaria de 21 de noviembre de 2012.

Para el desarrollo de la evaluación económica se elaboró una hoja de Excel para determinar los indicadores económicos básico del anteproyecto.

(Baca Urbina 2001, 212-229; Behrens y Hawranek 1994, 310-315; Borroto y Monteagudo 2006, 79-89). El resultado del procesamiento se ofrece en la tabla VIII, donde se aprecia desde el año 0 al segundo año y los resultados finales a lograr en el décimo año de explotación de la instalación.

**Tabla VIII.**  
Procesamiento de la evaluación económica del biodigestor de bolsa de la empresa porcina de Cienfuegos. Cuba. Elaboración propia.

N°	Datos iniciales	0	1	2	10
1	Ingresos ( I ), \$		\$101,485.26	\$101,485.26	\$101,485.26
2	Gastos (G), \$		\$40,594.10	\$40,594.10	\$40,594.10
3	Costo inversión (Ko)	\$94,334.24			
4	Tasa de descuento (r) , %		8	8	8
5	Tasa de inflación (f), %		5	5	5
6	Margen de riesgo, %		3	3	3
7	Tasa de impuesto (t), %		35	35	35
8	Vida útil estimada, años		15	15	15
	Resultados				
9	Año	0	1	2	10
10	Depreciación (Dep), \$		\$6,288.95	\$6,288.95	\$6,288.95
11	Flujo de caja (Fc), \$		\$41,780.38	\$41,780.38	\$41,780.38
12	Tasa de descuento real (R)		0.03	0.03	0.03
13	Tasa de descuento real con margen (D)		0.06	0.06	0.06
14	Factor de descuento (Fdesc.)		0.94	0.89	0.57
15	Flujo de caja descontado (Fd), \$		\$39,468.65	\$37,284.82	\$23,646.71
16	Flujo descontado acumulado (Fda),VPN, \$	-\$94,334.24	-\$54,865.59	-\$17,580.77	\$215,265.05

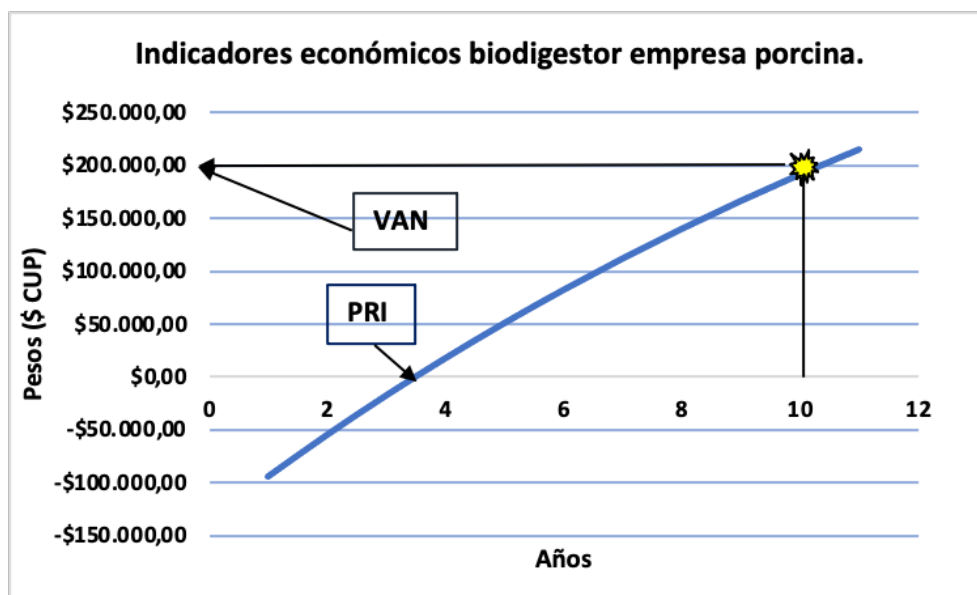
Fuente: Elaboración propia, enero 2021.

## Anteproyecto de biodigestor de bolsa para la cocina comedor de una empresa porcina

La representación gráfica de indicadores económicos de la evaluación realizada a los biodigestores de bolsa en la empresa porcina está dada en la figura 2.

Figura 2.

Indicadores económicos de la inversión en biodigestores de bolsa en la empresa porcina. Elaboración propia, enero 2021.



En resumen, la inversión tiene una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 30%, un Valor Actual Neto (VAN) de 215 265,00 \$CUP y un Período de Recuperación de la Inversión (PRI) de 3,2 años.

## Análisis de los resultados

El anteproyecto de los biodigestores de bolsa para la cocina comedor de la empresa porcina muestra que se genera 50 m<sup>3</sup>/día de biogás con un valor calórico de 7,0 kWh/m<sup>3</sup> capaz de satisfacer la demanda energética de la cocción de alimentos para 100 comensales/día.

La propuesta del anteproyecto pretende eliminar la tala de más de 80 m<sup>3</sup>/año de madera de los bosques cercanos para ser utilizada como combustible en la cocina, eliminando el daño que ocasiona su uso al personal que en ella labora y al medio ambiente. El efecto económico es de 25 000,00 \$CUP/año dejado de pagar a la empresa forestal.

Los biodigestores dan tratamiento a más de 800 kg/día de excretas procedente de 370 cerdos, logrando la producción 302,95 (t/año) de abono orgánico o biol que genera un ingreso a la entidad porcina superior a los 75 000,00 \$CUP/año por concepto de venta del abono orgánico salido del biodigestor.

La comparación con trabajos similares realizados en este campo (Claudia Dido *et al.*, 2013, xx) muestra que la autora realizó inversiones en el orden de 110 \$ USD/t excreta y en el estudio que se presenta la inversión fue ligeramente superiores, 164 \$ USD/t excreta. Los costos de funcionamiento alcanzan una magnitud del 40% de los ingresos, cercana al obtenido por (Claudia Dido *et al.*, 2013) que es del 35%.

La inversión del proyecto debe ser financiada por la empresa porcina a que está destinado el trabajo, aunque los gobiernos municipales pueden aportar fondos de apoyo al sector agrícola en el financiamiento de proyectos para reducir los impactos ambientales. Esta vía no ha sido utilizada en los momentos de redactar el trabajo.

Otro efecto no posible evaluar en el presente trabajo —pero conocido por la experiencia (Sistema Biobolsa ®/ Manual de BIOL s/d)— es el incremento productivo de las tierras de los campesinos que utilizan el biofertilizante y que por los altos precios del abono inorgánico industrial no tienen acceso a los mismos.

Por último, los indicadores económicos obtenidos muestran que es atractiva la inversión por que logra un VAN de 215 265,00 \$CUP en los 10 años de vida útil de los biodigestores para lo que es necesario una inversión inicial de 90 300,00 \$CUP, logrando un Período de Recuperación de la Inversión (PRI) de 3,2 años presentando una Tasa Interna de Retorno del capital (TIR) del 30%.

## Conclusiones

Los resultados muestran que para satisfacer el biogás requerido por la cocina para 100 comen-

sales por días es necesario un sistema en paralelo de 13 biodigestores de bolsa de 10 m<sup>3</sup> cada uno.

El sistema de biodigestores demanda un flujo de 0,83 t/día de excretas, proveniente de 370 animales, logrando producir 50 m<sup>3</sup>/día de biogás, equivalente a los 180 kg de leña/días utilizados en la combustión para la cocción de alimentos.

La puesta en funcionamiento del sistema propuesto debe eliminar la tala de más de 80 m<sup>3</sup>/año de árboles de los bosques cercanos. Por este concepto se deja de pagar 25 000,00 \$ CUP/año a la empresa forestal local.

Los biodigestores procesarán más de 800 kg/día de excreta logrando la producción 302,95 (t/año) de abono orgánico o biol que genera un ingreso a la entidad porcina superior a los 75 000,00 \$CUP/año por concepto de venta del digestato.

La evaluación económica del anteproyecto muestra que se requiere una inversión inicial \$ 94 334,24, que se logra un Valor Actual Neto (VAN) de 215 265,00, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del capital de 30% en una vida útil de 10 años, lográndose un Período de Recuperación de la Inversión (PRI) de 3,2 años, lo que hace atractiva la inversión, pese a que es una inversión social que tiene otros parámetros.

La carencia de fertilizante inorgánico en el mercado y los altos costos de los mismo cuando están presente, garantizan la venta y el uso del digestato salido de los biodigestores, logrando un mejoramiento de los suelos y un incremento de la productividad agrícola de la región.

Aunque en el presente trabajo no es cuantificado, el uso del biogás en la cocción de alimentos en la empresa porcina mejora las condiciones de vida y trabajo de los empleados, reduciendo el impacto ambiental de la cocción con leña.

## Referencias bibliográficas

- Alibaba.com. 2021. *Spanish.alibaba.com*. 05 de Junio. Último acceso: 05 de Junio de 2021. <https://spanish.alibaba.com/g/npk-fertilizer-prices.html>.
- Baca Urbina, Gabriel. 2001. *Evaluación de Proyectos. Cuarta edición*. Ciudad de México: McGRAW-HILL.
- Behrens, P, y P.M Hawranek. 1994. *Manual para la preparación de estudios de viabilidad industrial*. Vienna: ONUDI.
- Borroto, Anibal, y José Monteagudo. 2006. *Gestión y Economía Energética*. Cienfuegos, Cuba: ISBN 959-257-114-7 Editorial Universidad de Cienfuegos 2006.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2019. *Evaluación e implementación de proyectos piloto de biodigestores en El Salvador, LC/MEX/TS.2019/26*. Informe de consultoría., Ciudad de México: Impreso en Naciones Unidas, Ciudad de México, 2019-040.
- Claudia Dido, Claudia, Franco Mieres, Gustavo, Benedetti, Patricia Rinaldi, y Horacio Campaña. 2013. «EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DEL TRATAMIENTO ANAERÓBICO DE LOS EFLUENTES DE UN TAMBO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA.» *Avances en Ciencias e Ingeniería*. ISSN: 0718-8706. 65-74.
- Comisión Nacional de Energía. Cuba. . 1987. *Datos y Cifras*. La Habana: CNE. Cuba.
- Embajada de Suiza Cooperación Suiza en Bolivia. 2017. *Proyecto Biogás Producción sostenible a gran escala de abono orgánico y biogás con residuos orgánicos del sistema de aseo urbano*. Informe final de proyecto., La Paz.: Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología.
- González, Verónica, Francisco Della Vecchia, Fernando Reymundo, y Roberto Serafini. 2019. *GUÍA TEÓRICO-PRÁCTICA SOBRE EL BIOGÁS Y LOS BIODIGESTORES*. Buenos Aires. Argentina: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO.
- Guardado, José A. 2007. *Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas*. La Habana: Cubasolar.
- Guardado, José A. 2003. *Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Pequeñas Plantas de Biogás*. La Habana.: Cubasolar.
- Ing. Díaz Velazquez, Rafaela, entrevista de José P. Monteagudo. 2021. *Costo de la leña. Empresa Forestal Integral. Cienfuegos*. (5 de Abril).
- Instituto de Investigaciones Porcina. Cuba. 2017. *Tratamiento de residuales en instalaciones porcinas y mitigación de efectos adversos al medio ambiente*. Boletín Técnico, La Habana. Cuba.: Instituto de Investigaciones Porcinas.
- Martí Herrero, Jaime. 2019. *Experiencias Latinamericanas en la implementación de estrategias para democratizar los biodigestores entre pequeños y medianos productores agropecuarios*. Quito. Ecuador: Climate Technology Centre and Network (CTCN-UNFCCC. Ecuador.
- Medina Urra B., González Sáez L. Y. y Venancio Sánchez J. 2016. *Diseño de un biodigestor de bóveda para el tratamiento de los residuales de excretas de cerdos de la unidad porcina Camarioca*. Tesis de grado, Matanzas, Cuba.: Universidad de Matanzas.
- Ministerio de Agroindustria. . 2015. *Buenas Prácticas de Manejo y Utilización de Efluentes Porcinos*.

Buenos Aires: Secretaría de ganadería. Gobierno Argentino. .

OFICINA DE ESTUDIOS Y POLITICAS AGRARIAS (ODEPA). 2009. *Estudio para la evaluación socioeconómica y ambiental de prototipos de biodigestores en predios lecheros*. Informe final, Santiago de Chile: Consultoría encargada por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias - ODEPA.

Sistema Biobolsa ®/ Manual de BIOL. s/d. *Sistema de biobolsa. No hay desechos solo recursos*. s/d de s/d. Último acceso: s/d de junio de 2020. <http://www.sistemabiobolsa.com>.

UNAM. 2000. «Cap. 5. Terminología Unificada de Bioenergía.» *Bioenergía*. Ciudad de México, 25 de Enero.

Varnero, María T. 2011. *Manual de biogás*. Santiago de Chile.: MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF.