

# 52

Fecha de presentación: mayo, 2024  
Fecha de aceptación: octubre, 2024  
Fecha de publicación: diciembre, 2024

## FUENTES RENOVABLES

DE ENERGÍA PARA EL LOGRO DE LA SOSTENIBILIDAD EN UN MODELO DE LECHERÍA TROPICAL

### RENEWABLE ENERGY SOURCES TO ACHIEVE SUSTAINABILITY IN A TROPICAL DAIRY MODEL

Osney Gerardo Pérez-Acosta<sup>1\*</sup>

E-mail: [osney631@gmail.com](mailto:osney631@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3656-7116>

Madeleidy Martínez-Pérez<sup>1</sup>

E-mail: [madeleidymartinez@gmail.com](mailto:madeleidymartinez@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1585-2858>

Tania Pérez Pérez<sup>1</sup>

E-mail: [taniapp710718@gmail.com](mailto:taniapp710718@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9767-1366>

Yanoy Morejón Mesa<sup>2</sup>

E-mail: [yym@unah.edu.cu](mailto:yym@unah.edu.cu)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1125-3105>

Saray Díaz-Barrios<sup>1</sup>

E-mail: [sdiazb.555@gmail.com](mailto:sdiazb.555@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5298-8455>

<sup>1</sup>Instituto de Ciencia Animal Km 47 ½ Carretera Central San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba.

<sup>2</sup>Universidad Agraria de La Habana San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba.

\*Autor para correspondencia

#### Cita sugerida (APA, séptima edición)

Pérez-Acosta, O. G., Martínez-Pérez, M., Pérez Pérez, T., Morejón Mesa, Y., & Díaz-Barrios, S. (2024). Fuentes renovables de energía para el logro de la sostenibilidad en un modelo de lechería tropical. *Universidad y Sociedad* 16(S2), 492-500.

#### RESUMEN

Con el objetivo de utilizar las fuentes renovables de energía para el logro de la sostenibilidad en un modelo de lechería tropical, se realizó la presente investigación. A partir de los datos del consumo de electricidad de la vaquería, se obtuvo que la demanda eléctrica asciende a 68,0 kWh en el día. Se diseñó un biodigestor de cúpula fija para dar tratamiento a la excreta que se genera. El volumen total del biodigestor fue de 23,5 m<sup>3</sup>, con un volumen de biogás de 4,8 m<sup>3</sup> que contribuye al ahorro de 10,3 kWh. Se propuso la inclusión en la vaquería de un colector solar de tubos al vacío de 200 L de capacidad, con el que se puede ahorrar 32,0 kWh en el día. Posteriormente se analizó la inclusión de paneles fotovoltaicos para suplir las necesidades energéticas que no se garantizaban con las tecnologías anteriores. Se necesita la instalación de 21 paneles que ocupan un área de 34,23 m<sup>2</sup>. Por otro lado, con la introducción de estas tecnologías, se evidencia que se dejan de emitir a la atmósfera 14,22 Teq de CO<sub>2</sub>/año, 2,8 m<sup>3</sup>/d de CH<sub>4</sub>, de consumir 6,22 Teq de petróleo/año y se producen 0,0625 t/d de biofertilizante sólido. En cuanto a las variables de la inversión, el valor actual neto (VAN) es positivo por lo que hace presuponer que la inversión es viable y se recupera en un periodo de dos años. Se concluye que la propuesta constituye una alternativa para el logro del modelo de sostenibilidad que integra cuatro elementos: Buena Gobernanza, Integridad Ambiental, Resiliencia Económica y Bienestar Social, así como, la interrelación entre ellos.

**Palabras clave:** Economía circular, Fuentes renovables de energía, Vaquería.

#### ABSTRACT

With the objective of using renewable energy sources to achieve sustainability in a tropical dairy model, this research was carried out. From the data on the electricity consumption of the dairy, it was obtained that the electrical demand

amounts to 68,0 kWh per day. A fixed dome biodigester was designed to treat the excreta generated. The total volume of the biodigester was 23,5 m<sup>3</sup>, with a biogas volume of 4,8 m<sup>3</sup> that contributes to savings of 10,3 kWh. It was proposed to include a 200 L vacuum tube solar collector in the dairy, which could save 32,0 kWh per day. Subsequently, the inclusion of photovoltaic panels was analyzed to meet the energy needs that were not guaranteed with previous technologies. The installation of 21 panels that occupy an area of 34,23 m<sup>2</sup> is required. On the other hand, with the introduction of these technologies, it is evident that 14,22 Teq of CO<sub>2</sub>/year, 2,8 m<sup>3</sup>/d of CH<sub>4</sub> are no longer emitted into the atmosphere, consuming 6,22 Teq of oil/year and 0,0625 t/d of solid biofertilizer is produced. Regarding the investment variables, the net present value (NPV) is positive so it assumes that the investment is viable and is recovered within a period of two years. It is concluded that the proposal constitutes an alternative to achieve the sustainability model that integrates four elements: Good Governance, Environmental Integrity, Economic Resilience and Social Wellbeing, as well as the interrelationship between them.

**Keywords:** Circular economy, Renewable energy sources, Dairy.

## INTRODUCCIÓN

Los residuos de ganado, especialmente el estiércol, son una excelente fuente de bioenergía (Xing et al., 2020). Varias técnicas podrían obtener potencial energético del estiércol de ganado, incluida la combustión directa, la densificación de biomasa y la tecnología de digestión anaeróbica (DA). La producción de bioenergía a partir de la DA de residuos orgánicos es una opción prometedora para mitigar el cambio climático y se considera una tecnología de tratamiento sostenible (Suman, 2021). Esto se debe a que no solo aporta producción neta de energía, sino que el biogás producido puede sustituir combustibles fósiles. Además, se eliminan agentes patógenos, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la producción de un lodo estabilizado rico en minerales con excelentes propiedades como biofertilizante (Chen et al., 2023).

Por otra parte, la cantidad de luz que llega a la tierra en una hora supera las necesidades energéticas del planeta en un año. Cuba tiene el privilegio de poseer una alta disponibilidad de energía solar ya que se encuentra ubicada en el cinturón de sol. Sin embargo, el uso de la energía solar en nuestro país, es aún limitado en comparación con otros países donde su producción llega a 35 % de la energía que se genera (Obaideen et al., 2021).

La Unidad Genético 4 del Instituto de Ciencia Animal (ICA) durante el año 2021 y el transcurso del 2022 contó con un total de 125 vacas en ordeño y para cubrir las necesidades de manejo zootécnico y productivo, emplea equipos tecnológicos como: bomba de agua, molino forrajero, sistema de ordeño mecanizado y sistema de refrigeración. En la actualidad no existe una propuesta de utilización de fuentes de energía renovables (FRE) para sustituir las fuentes convencionales que se emplean en esta vaquería. Si se tiene en cuenta que la ganadería es una de las principales actividades económicas en las comunidades rurales y que para su desarrollo local tiene necesidades energéticas el objetivo del trabajo fue utilizar las fuentes renovables de energía para el logro de la sostenibilidad en un modelo de lechería tropical.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### **Caracterización de la Unidad lechera Genético 4:**

El Instituto de Ciencia Animal (ICA) es un organismo público cubano, adscrito al Ministerio de Educación Superior de la República de Cuba, se fundó en el año 1965, por iniciativa del presidente cubano Fidel Castro Ruz. Las fuentes de energía que se emplean son la electricidad y los combustibles (petróleo y gasolina). Los sistemas de abasto de agua tienen un deterioro notable.

En la Unidad lechera Genético 4 (figura 1) los suelos predominantes son pardos con carbonatos y posee un área de 60 ha, distribuida en 100 cuartones adecuadamente delimitados por cercas eléctricas. La unidad tiene buena orientación para el uso de la energía solar. Tiene una capacidad máxima de 288 vacas, aunque en la actualidad cuenta con 125 animales. La carga global es 2,08 vacas/ha. El pastoreo se realiza de forma vespertino-nocturna y rotacional. El tiempo de reposo de los cuartones varía entre 30 y 90 días y el tiempo de ocupación es de 1 a 3 días, dependiendo del pasto que ocupe cada cuartón y sus respectivas curvas de crecimiento.

Fig 1: Área de la vaquería Genético 4 objeto de estudio.



Fuente: elaboración propia.

Según reportes de Christodoulou et al. (2021), los animales de aproximadamente 350 kg de peso, excretan entre 6 y 9 kg al día. En esta unidad los animales permanecen 3/4 del día en pastoreo, por lo que se consideró que la excreta en nave, representaría aproximadamente 2,5 kg/animal/d. El volumen de excreta diario que puede producirse en la unidad, sería entonces de 312,5 kg/d.

### **Evaluación de la instalación vacuna basada en el empleo de las Fuentes Renovables de Energía**

Para la determinación de las potencialidades con respecto al uso de las FRE en la unidad vacuna, se tomaron en consideración los consumos energéticos de cada equipo y/o medio durante el día, así como se procedió a la lectura del metro-contador. Las principales FRE con las que se trabajó fueron el biogás, la energía solar térmica y solar fotovoltaica.

### **Diagnóstico de la demanda energética**

Se realizó un balance energético para determinar el consumo de electricidad en la unidad. Se tomó en consideración el equipamiento presente. Se empleó un Multímetro Profesional de Gancho (Stereon) para determinar el consumo por equipo. Se determinó el consumo mensual y anual, así como el importe económico.

Determinación de los parámetros de diseño y construcción del biodigestor

Se determinaron los parámetros: volumen, volumen total, carga orgánica volumétrica, cantidad de metano y lodo y potencial energético del biogás producido. Se utilizó el procedimiento descrito por Pérez-Acosta et al. (2023). Se utilizó un tiempo de retención de 30 días según lo descrito por Guardado (2017). En este caso se tomó que el metano representa el 60 % del biogás. Para el cálculo de la producción de lodo, se empleó el 10 % del volumen del biodigestor (Moncayo, 2017). Según este mismo autor, la eficiencia del biogás cuando se emplea para generar energía eléctrica es de 2.2 kWh por cada m<sup>3</sup>.

### **Metodología para el uso de la energía solar térmica para el calentamiento de agua**

Para la determinación de la tecnología de calentadores solares en las condiciones de la vaquería Genético 4 del Instituto de Ciencia Animal, se tuvo en cuenta la cantidad de calentadores que se deben utilizar para la correcta limpieza del sistema de ordeño mecanizado de la unidad e higienización de los trabajadores. La demanda de agua

caliente se calculó tomando en consideración la cantidad de trabajadores que laboran en la unidad y el consumo de agua caliente y la temperatura que se utilizan para la higienización del sistema de ordeño.

### Metodología para la implementación de paneles fotovoltaicos en el modelo de lechería tropical

Con el consumo energético a suplir, se realizó el cálculo para determinar la cantidad de paneles que se requieren. Se empleó la metodología descrita por Morejón et al. (2022) para realizar el análisis de la demanda de energía. Para ello fue necesario el conocimiento del total de animales y los consumos promedio de: agua de bebida por animal, electricidad y agua para limpieza diaria total.

### Procedimiento para la determinación de la cantidad de paneles fotovoltaicos a instalar

1. Irradiación solar media para la región. Se asumió un promedio anual de 5,4 kWh/m<sup>2</sup> que corresponde al mes de menor radiación en la provincia Mayabeque donde se ubica la instalación (INSMET, 2021)
2. Se consideró que el Sistema Electro-energético Nacional (SEN) tiene una eficiencia eléctrica del 87 %.
3. Los módulos fotovoltaicos poseen el 16 % de eficiencia.
4. Se tomó en consideración los datos (2) y (3) para determinar la eficiencia total de conversión.
5. Se aprovechó o convirtió en energía eléctrica útil (Ee) al tomar en cuenta el valor de (4) y (1).
6. La cantidad de metros cuadrados de módulos (A área-unitaria) que deberá montarse.
7. La potencia del módulo solar fotovoltaico.

Para el cálculo del número de módulos para lograr cubrir la demanda energética según la siguiente ecuación 1:

$$n=(Ee)/(Ee)u \quad (1)$$

### Evaluación económico-ambiental del empleo de Fuentes Renovables de Energía

Para la evaluación económica, se determinaron el Valor actual neto (VAN), la Tasa interna de retorno (TIR), el Período de recuperación de la inversión (PRI) y la relación beneficio- costo (B/C). Para la evaluación ambiental, se determinaron las Toneladas equivalentes de petróleo (Teqp), de CO<sub>2</sub> dejadas de emitir (Teq<sub>CO2</sub>), el Volumen de metano producido (V<sub>CH4</sub>) y la cantidad de biofertilizante producido (B<sub>10p</sub>).

### Determinación la sostenibilidad energética en el centro porcino

Para la evaluación de la sostenibilidad energética en el centro porcino, se empleó la metodología SAFA según FAO (2015). Se tomaron en consideración las cuatro dimensiones: 1) Buena Gobernanza, 2) Integridad Ambiental, 3) Resiliencia Económica y 4) Bienestar Social. Para la implementación de la metodología se consideraron una serie de criterios cualitativos, delimitados por umbrales zonificados que posibilitaron ponderar el nivel de sostenibilidad del sistema de producción. Se confeccionó un gráfico radial donde se comparó la situación de la vaquería antes y después de la propuesta de inclusión de las FRE.

## RESULTADOS-DISCUSIÓN

Se utilizó un promedio del consumo diario en la vaquería, según las lecturas tomadas en el metrocontador durante el año 2021. Se obtuvo un consumo promedio de 68 kWh/día.

### Resultados del diseño de biodigestor de cúpula fija en la lechería Genético 4

Al tomar en consideración las políticas establecidas por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente en Cuba (CITMA) se determinaron las cantidades de biogás y lodos para la producción de energía y fertilizantes que se pueden generar en esta instalación. Se prioriza la utilización de esta fuente por el impacto negativo para el medio ambiente que puede tener este residual, de no ser tratado o darle un tratamiento inadecuado.

En la tabla 1 se muestran los parámetros de cálculo que se tienen en cuenta para el diseño del digestor de cúpula fija.

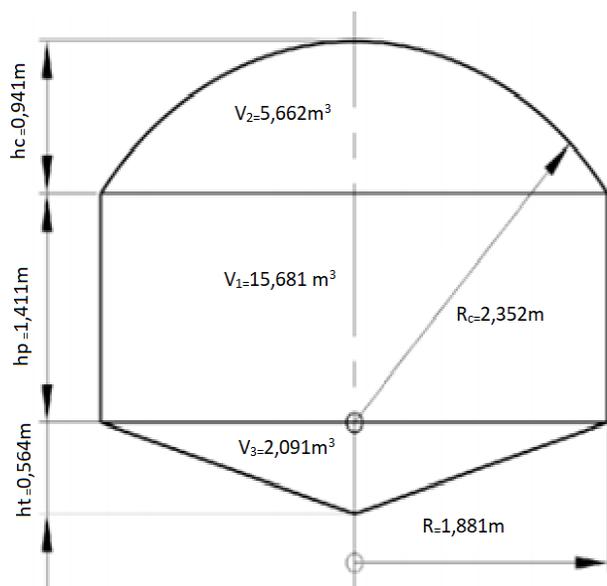
Tabla 1: Parámetros calculados para el biodigestor en el escenario productivo.

Parámetros de cálculo	Valores
Aguas residuales vacunas generadas, m <sup>3</sup> /d	0,625
Volumen de digestión, m <sup>3</sup>	18,75
Volumen total del biodigestor, m <sup>3</sup>	23,50
Cantidad de biogás producido, m <sup>3</sup> /d	4,70
Carga orgánica volumétrica (COV), kg/m <sup>3</sup> d	1,9
Cantidad de metano producido (60% de biogás), m <sup>3</sup> /d	2,8
Cantidad de lodo producido, t/d	0,0625
Energía eléctrica producida, kWh/d	10,3
Energía eléctrica producida en el mes, kWh/mes	309,4
Energía eléctrica producida en el año, kWh/año	3 403,1
Potencia del generador en 24 horas, kW	0,43

Fuente: elaboración propia.

En la figura 2 se muestran las dimensiones del biodigestor de cúpula fija que se propone, teniendo en cuenta las características de la vaquería.

Fig 2: Principales dimensiones del biodigestor de cúpula fija propuesto.



Fuente: elaboración propia.

El uso de biodigestores en la producción de energías limpias se hace cada vez más común en zonas rurales de países en vía de desarrollo, debido a que, en estas zonas, la materia prima (estiércol, residuos orgánicos) que se utiliza es abundante (Freitas et al., 2019). A nivel internacional el biogás es una nueva oportunidad de negocio para la obtención de energía eléctrica y calor a partir de la biomasa y una solución al problema de los desperdicios orgánicos de establecimientos agrícolas e industriales que puede contribuir significativamente al crecimiento energético del país. Según Wegener et al. (2021) el biogás se emplea para la generación de energía eléctrica con el uso de un generador para suplir la demanda de los sistemas de ordeño, el enfriamiento de leche, los molinos forrajeros, las bombas de agua, etc.

#### Implementación de calentadores solares de tubos al vacío

Para el caso de Genético 4, se propone un calentador solar de 200 L. Se utilizaría un calentador solar de tubos al vacío del modelo Lp47-1510-30 ACF ensamblados en

Cuba. Estos sistemas proporcionan suficiente agua caliente al considerar que, durante el baño, la temperatura usual es de 32 a 43 °C. En esta instalación laboran tres trabajadores que necesitan cada uno, 8 L para higienizarse (Bérriz y Alvarez, 2008), utilizando un total de 48 L. Además, se efectúa la limpieza de los sistemas de ordeño con 100 L a 50 °C en cada turno para un total de 200 L. De esta forma, al proponerse la utilización de la energía solar térmica en la instalación, se tiene un ahorro de 32 kWh/día.

El empleo de calentadores solares de tubos al vacío, presentan varias ventajas entre las que se encuentran: el aislamiento muy eficiente del agua calentada dentro del tubo, rápida captación de calor porque las áreas del colector no se enfrían, larga vida útil por no tener partes expuestas a la corrosión (Pérez-Acosta et al., 2023). Por estas razones, su uso no solo permite disminuir el impacto negativo de los gases de efecto invernadero que se generan por la quema de combustibles fósiles, sino que además son tecnologías ambientalmente sanas y contribuyen al ahorro energético.

#### Implementación de paneles solares fotovoltaicos

La combinación de varias FRE (sistemas híbridos) generalmente presenta ventajas ya que atenúa una de las principales desventajas de las mismas, la intermitencia en el suministro de energía. Esto se debe a que la energía viene de dos o más lugares y como consecuencia de esto, se reduce la capacidad de los bancos de baterías, así como los costos del sistema. Por esta razón, se determinó usar la energía solar fotovoltaica para suplir el resto de la demanda energética de la vaquería, debido a que la irradiación solar, está por encima de 5 kWh/m<sup>2</sup> promedio en el día. Además, la vaquería dispone de suficiente área en el techo para el montaje de dicha tecnología, sin afectar las áreas de pastoreo. La misma tiene una orientación adecuada para el montaje de los paneles.

Después de conocer los aportes del biodigestor y los colectores solares, se necesita una contribución de la energía fotovoltaica de 25,7 kWh/día. Con estos resultados y teniendo en cuenta que se realizarán los cálculos a partir de las características técnicas de los módulos solares fotovoltaicos, DSM-250 (Panel Solar Policristalino), ensamblados en Cuba, de 250 W y 1,63 m<sup>2</sup>; se determinó el número de módulos a instalar y la potencia del sistema (tabla 2).

Tabla 2. Parámetros de cálculo para el diseño del panel solar policristalino DSM-250.

Parámetros de cálculo	Valores
Eficiencia de conversión ( $\eta$ )	0,14
Irradiación solar media (I), kWh/m <sup>2</sup>	5,4
Energía eléctrica útil (Ee), kWh/m <sup>2</sup> d	0,75
Consumo energético (E), kWh/d	25,70
Cantidad de m <sup>2</sup> de paneles que deberán montarse (Sm <sup>2</sup> )	34,23
Area unitaria (A área unitaria), m <sup>2</sup>	1,63
Potencia del módulo (P), W	250
Número de módulos (N módulo)	21
Potencia fotovoltaica (Ptotal), W	5 250
Potencia fotovoltaica (Ptotal), kW	5,25
Tiempo para generar la energía necesaria (h)	4,89

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla anterior, para cubrir la demanda en su totalidad con energía solar fotovoltaica, se necesitan 21 módulos fotovoltaicos con potencia de 5,25 kW. Estos módulos ocupan una superficie de 34,23 m<sup>2</sup>.

#### Valoración económica y ambiental de la introducción de las diferentes fuentes renovables de energía en las condiciones de la vaquería Genético 4

Los principales costos de equipos, índices y precios para los cálculos empleados en el análisis económico se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Principales consideraciones realizadas para la valoración económica.

Datos generales	Unidad	Índices	Referencia
Valor calorífico del biogás (VC)	kWh/m <sup>3</sup>	6,5 – 7,0	Moestedt et al. (2015)
t CH <sub>4</sub>	t CO <sub>2</sub> eq	28 - 36	IPCC (2018)
Factor de emisión	t CO <sub>2</sub> /t <sub>eqp</sub>	2,73	ONE (2016)
Densidad del diésel	kg/L	0,838	
Consumo de diésel para la generación de energía	kg/kWh	0,277	Arrastía (2002)
<b>Costo del equipamiento y construcciones</b>			
Biodigestor (24 m <sup>3</sup> )	\$	7 000 USD/ 175 000 CUP	
Calentador solar (200 L)	\$	240 USD/ 6 000 CUP	
Módulo fotovoltaico (21 módulos)	\$	257 250 CUP	

Fuente: elaboración propia.

Los ingresos se estiman a partir de la producción de abono orgánico (0,0625 toneladas diarias que puede tener un precio de 8500 CUP/t) que se logra con las capacidades instaladas, la utilización de fertilizante líquido (205 312,5 CUP/año) y el aumento del precio de la leche por concepto de la mejora de su calidad. En la actualidad la leche se cotiza a 20,0 CUP/L, pero puede llegar a tener un valor de hasta 28,0 CUP/L. En el presente estudio se supuso un aumento de 2,0 CUP/L. Con estos supuestos los valores de ingresos anuales se estiman en 688 298,8 CUP que formarán parte del Estado de Rendimiento Financiero de la entidad (tabla 4).

Tabla 4. Ingresos por concepto de ventas y ahorros para el escenario Genético 4.

Ingresos/Concepto		Ingresos anuales (CUP/año)
Venta de fertilizante líquido	1 000 CUP/m <sup>3</sup>	205 312,5
Venta de fertilizante sólido orgánico	8 500 CUP/t	193 906,3
Venta de leche (diferencia con el precio actual por aumento de la calidad)	2,0 CUP/L (22,0 CUP/L)	289 080,0
Total, de ingresos		688 298,8

Fuente: elaboración propia.

Para el análisis de factibilidad de la inversión en la vaquería Genético 4, se calcula el flujo de fondos del proyecto para el período de cinco años. Se considera una inversión ascendente a 438 250,00 CUP con un costo adicional de activos totales de 21912,50 CUP lo que resulta en un total de 460 162,50 CUP.

Los gastos variables son mínimos y cubren los salarios de las personas encargadas de la manipulación y atención del biodigestor, así como otros recursos necesarios entre los que se incluyen los relacionados con la comercialización del producto final. En cuanto a los costos fijos, se determina una cantidad que permita los mantenimientos anuales del equipamiento. La tasa de depreciación utilizada fue del 5 % anual que se encuentra en el intervalo establecido por la Resolución 701/2015 del Ministerio de Finanzas y Precios. Se utilizó la tasa impositiva del 35 % que es la dispuesta para el pago de impuestos sobre utilidades en el sector empresarial.

En cuanto a las variables de la inversión, como se puede observar el VAN es positivo (950760,25) por lo que hace presuponer que la inversión es viable y se puede aceptar. Este criterio se refuerza al calcular la tasa interna de retorno (TIR: 80 %) que como se aprecia tiene un valor superior a la tasa de descuento utilizada en Cuba (12 %). Es preciso esclarecer que aún, cuando la inversión se realizara con préstamo del Banco, este utiliza una tasa máxima para el financiamiento de inversiones del 10 %. El período de recuperación de la inversión es de dos años, aspecto este muy positivo y que corrobora la factibilidad de realizar esta inversión. A esto deben sumarse labores añadidas de la inversión, entre las que se encuentran:

- Se disminuye el consumo de combustible fósil en 6,22 toneladas, con el consiguiente ahorro de 126 953,23 CUP.
- Se deja de gastar 40 560,30 CUP por concepto de consumo de electricidad, según la tarifa M3-A (GOC-2021-347-EX26 RESOLUCIÓN 66/2021).
- Se dejan de emitir al medio ambiente 14,22 toneladas de CO<sub>2</sub> que, aunque en Cuba aún no tiene valor económico directo para las entidades, a nivel mundial se bonifica a las instituciones que logran disminuir estas emisiones, con valores medios aproximados en el año entre 50 y 83,27 USD por tonelada.

### Impacto ambiental y social

Las tecnologías implementadas en la vaquería aportan:

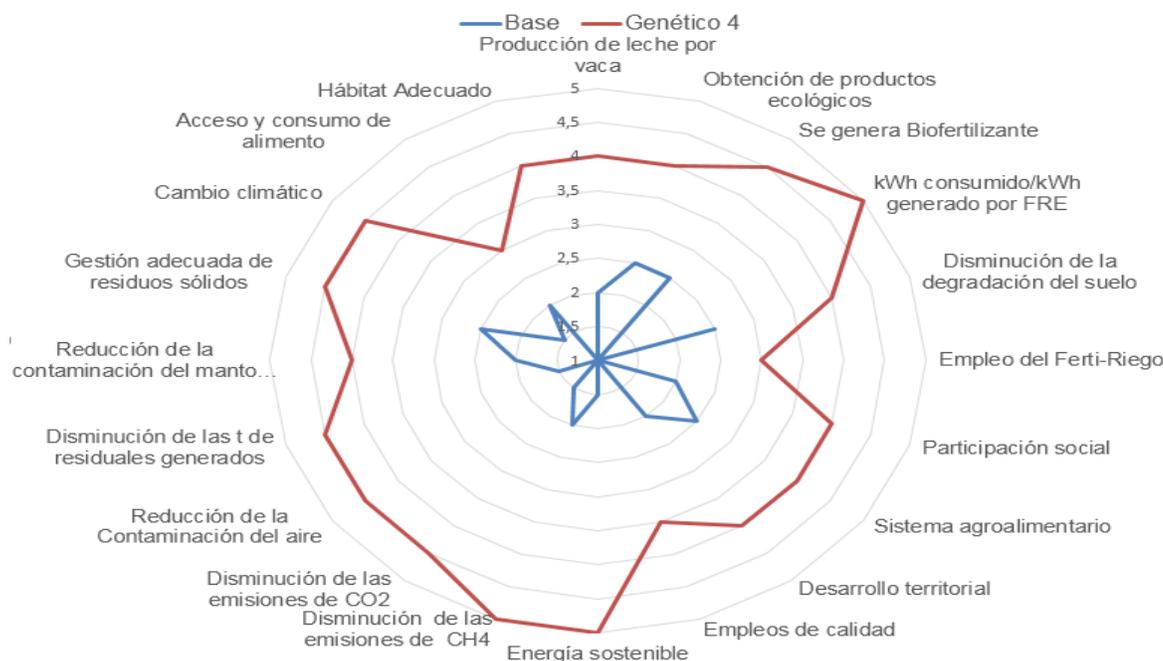
- Reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en 14,22 t y 2,8 m<sup>3</sup>/d de CH<sub>4</sub>, gases de efecto invernadero, que influyen negativamente en el cambio climático;
- Protección al suelo por la reducción de los vertimientos y la disminución de la carga contaminante;
- Mejoría en las propiedades y características de los suelos con la utilización del biofertilizante para la siembra de cultivos. Se generan 0,0625 t/d de fertilizante sólido y 0,6 m<sup>3</sup>/d fertilizante de líquido;
- Posibilita la capacitación de la sociedad en el uso de una tecnología alternativa y no contaminante;
- Proporciona mayor rendimiento de las cosechas y obtención de productos ecológicos.

### Determinación de la sostenibilidad del sistema híbrido de FRE en el centro porcino

La figura 3 muestra en gráfico radial, los indicadores de sostenibilidad basado en la implementación de FRE. Los resultados muestran que se minimizan los daños al medio ambiente, y que, al ahorrar energía convencional, se logran disminuir los costos por concepto de electricidad. Además, permite la obtención de biofertilizantes que no solo pueden

comercializarse sino también emplearse en diferentes cultivos. De esta manera, mejora el esquema energético convencional ya que se logran aprovechar las FRE.

Fig 3: Gráfico de sostenibilidad para el caso base y después de instalar el sistema híbrido de FRE en Genético 4.



Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

Con la aplicación de sistemas híbridos sustentados en el empleo de tres variantes de Fuentes de Energía Renovables (FRE), se dejan de emitir a la atmósfera 14,22 t equivalentes de CO<sub>2</sub> /año, 2,8 m<sup>3</sup>/día de metano, de consumir 6,22 t equivalentes de petróleo/año, es posible generar 0.0625 t/día de biofertilizantes sólido y 0,6 m<sup>3</sup>/día de fertilizante líquido.

La propuesta constituye una alternativa para el logro del modelo de sostenibilidad que integra los cuatro elementos: Buena Gobernanza, Integridad Ambiental, Resiliencia Económica y Bienestar Social, así como, la interrelación entre ellos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arrastía, M. A. (2002). Ahorro de Energía y Respeto Ambiental. Editorial Política, Empresa de Gestión del Conocimiento y la Tecnología, La Habana, pp. 17-23.
- Bérriz, L. & Álvarez, M., F.W. (2008). Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares Editorial CUBASOLAR. Ed: Alejandro Montesinos Larrosa Lourdes Tagle Rodríguez. 162pp. ISBN 978-959-7113-36-2.

- Chen, Zh., Ma, J., Liu, Y., Zhao, J., Ma, J., Yu, Q., Zou, P., Lin, H. & Wang, Q. (2023). Differential responses of soil nirS- and nirK- type denitrifying microbial communities to long-term application of biogas slurry in a paddy soil. *Applied Soil Ecology*, 182, 104711. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104711>.
- Christodoulou, C., Moorby, J.M., Tsiplakou, E., Kantas, D. & Foskolos, A. (2021). Evaluation of nitrogen excretion equations for ryegrass pasture-fed dairy cow. *Animal The international journal of animal biosciences*, 15, 100311. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100311>.
- FAO. (2015). SAFA smallholders APP version. Retrieved from [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/sustainability/docs/SAFASmallApp\\_Manual-final.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/sustainability/docs/SAFASmallApp_Manual-final.pdf)
- Freitas, F.F., De Souza, S.S., Ferreira, L.R.A., Otto, R.B., Alessio, F.J., De Souza, S.N.M., Venturini, O.J. & Ando Junior, O.H. (2019). The Brazilian market of distributed biogas generation: Overview, technological development and case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 146-157. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.007>.
- GOC-2021-347-EX26. (2021). Resumen: Aprueba el Sistema para la formación de las tarifas eléctricas en pesos cubanos. Resolución 66 del Ministerio de Finanzas y Precios.

- Guardado, J. A. (2017). El movimiento de usuarios del biogás en Cuba. Editorial CUBASOLAR. Ed: Madelaine Vázquez Gálvez y Lourdes Tagle Rodríguez. 156pp. ISBN: 978-959-7113-50-8.
- INSMET. (2021). Reporte del Instituto de Meteorología de la República de Cuba. <http://www.insmet.cu/>
- IPCC. (2018). Global Warming of 1.5 °C. Summary for Policymakers, [http://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15\\_spm\\_final.pdf](http://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf).
- Moestedt, J., Nordell, E., Shakeri-Yekta, S., Lundgren, J., Martí, M., Sundberg, C., Ejlertsson, J., Svensson, B.H. & Björn, A. (2015). Effects of trace element addition on process stability during anaerobic co-digestion of OFMSW and slaughterhouse waste. *Waste Management*, 47, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.03.007>.
- Moncayo, G. (2017). Manual de dimensionamiento y diseño de biodigestores industriales para clima tropical. Editorial Aqualimpia engineering. Editor: Maïke Moncayo Hilmer. Alemania. 240 p. ISBN 0049-581-3890550.
- Morejón Mesa Y., Torrico Albino J. C., Moreno Melo V. & Andrés Abril D.H. (2022). Fundamentos para la introducción de las fuentes de energía renovables en sistemas agropecuarios. Editorial: Instituto Agrario Bolivia. pp 154. ISBN: 978-9917-9928-0-6.
- Obaideen, K., AIMallahi, M.N., Alami, A. H., Ramadan, M., Abdelkareem, M.A., Shehata, N. & Olabi, A.G. (2021). On the contribution of solar energy to sustainable developments goals: Case study on Mohammed bin Rashid Al Maktoum Solar Park. *International Journal of Thermofluids*, 12, 100123. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2021.100123>.
- ONE (Oficina Nacional de estadística e información República de Cuba). (2016). Panorama económico y social, La Habana, Cuba.
- Pérez-Acosta, O. (2018). Fuentes renovables de energía para el desarrollo de la ganadería. *Livestock Research for Rural Development*, 30(6). ISSN 0121-3784. <http://www.lrrd.org/lrrd30/6/oper30102.html>
- Pérez-Acosta, O., Morejón, Y., Martínez-Pérez, M. & Díaz-Barrios, S. (2023). Sostenibilidad energética basada en la implementación de energías renovables en centros porcinos: caso Instituto de Ciencia Animal. *Livestock Research for Rural Development*, 35(4). ISSN 0121-3784. <http://www.lrrd.org/lrrd35/4/3535made.html>
- Suman, A. (2021). Role of renewable energy technologies in climate change adaptation and mitigation: A brief review from Nepal. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111524. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111524>.
- Wegener, M., Villarroel Schneider, J., Malmquist, A., Isalgue, A., Martin, A. & Martin, V. (2021). Techno-economic optimization model for polygeneration hybrid energy storage systems using biogas and batteries. *Energy*, 218, 119544. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119544>.
- Xing, J.H., Song, J.N., Ren, J.Z., Yang, W. & Duan, H.Y. (2020). Regional integrative benefits of converting livestock excrements to energy in China: an elaborative assessment from life cycle perspective. *Journal of Cleaner Production*, 275, 122470. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122470>.