

Determinación del potencial de la energía solar como fuente renovable para un Centro Porcino

Determination of the Potential of Solar Energy as a Renewable Source for a Swine Center



<https://cu-id.com/2177/v32n4e08>

✉ Yanoy Morejón-Mesa*, ✉ Darielis Vizcay-Villafranca, ✉ Ramón Pelegrín-Rodríguez

Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN: La presente investigación se orienta en determinar el potencial de la energía solar como fuente renovable para un centro porcino establecido en la Granja Universitaria “El Guayabal”, perteneciente a la Universidad Agraria de la Habana, Cuba. Para ello se considera la cantidad de animales, así como el movimiento de rebaño, lo cual posibilitaría determinar la demanda energética, sobre el diagnóstico de los portadores energéticos existentes en el escenario. Entre los principales resultados obtenidos, se evidenció que para las condiciones existentes, resulta pertinente introducir la tecnología de energía solar fotovoltaica como fuente renovable para el accionamiento del motor eléctrico del molino, la bomba de agua y el alumbrado, lo cual supone una inversión inicial de 645 500 peso (25 820 USD), por otro lado resulta viable la introducción de un calentador solar, para las acciones de higienización de los trabajadores del centro porcino, siendo el presupuesto requerido para la adquisición de esta tecnología de 9 650 peso (386 USD), la introducción de ambas tecnologías contribuye directamente al cuidado del medio ambiente al dejarse de emitir CO₂ y otros gases de efecto invernadero a la atmósfera y por correspondiente su impacto negativo al medio ambiente. Finalmente, se evidencia que, con solo con la comercialización de los cerdos a la canal del primer lote, se recupera el monto total requerido para la adquisición del sistema fotovoltaico y del calentador solar y es posible obtener un beneficio que asciende a 478 850 peso (19 154 USD), este elemento demuestra la factibilidad económica de esta inversión.

Palabras clave: energía solar fotovoltaica, energía solar térmica, producción porcina, factibilidad económico-energética, impacto ambiental.

ABSTRACT: The present investigation is oriented to determine the potential of solar energy as a renewable source for a swine center established in the "El Guayabal" University Farm, belonging to the Agrarian University of Havana, Cuba. For this, the number of animals is considered, as well as the movement of the herd, which would make it possible to determine the energy demand, based on the diagnosis of the energy carriers existing in the scenario. Among the main results obtained, it was evidenced that for the existing conditions, it is pertinent to introduce photovoltaic solar energy technology as a renewable source for driving the electric motor of the mill, the water pump and lighting, which implies an initial investment of 645 500 peso (25 820 USD). On the other hand, the introduction of a solar heater is viable, for the sanitation actions of the workers of the pig center, with the budget required for the acquisition of this technology being 9 650 peso (386 USD). The introduction of both technologies contributes directly to caring for the environment by stopping the emission of CO₂ and other greenhouse gases into the atmosphere and its corresponding negative impact on the environment. Finally, it is evident that, with only the commercialization of the pigs to the carcass of the first group, the total amount required for the acquisition of the photovoltaic system and the solar heater is recovered and it is possible to obtain a benefit that amounts to 478 850 pesos (19 154 USD), this element demonstrates the economic feasibility of this investment.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy, Thermal Solar Energy, Pig Production, Economic-Energetic Feasibility, Environment Impact.

*Author for correspondence: Yanoy Morejón-Mesa e-mail: yomorejon83@gmail.com and yymm@unah.edu.cu.

Recibido: 03/02/2023

Aceptado: 01/09/2023

INTRODUCCION

Según la [International Energy Agency IEA \(2021\)](#), la eficiencia media de los módulos fotovoltaicos (FV) de silicio comerciales ha mejorado en los últimos diez años en alrededor de 0,3% por año, llegando a un valor de 16% en 2013. Los módulos comerciales de mejor desempeño, con base en diferentes tecnologías de fabricación alcanzan eficiencias entre un 19 y 21%. Generalmente los módulos FV son garantizados para una vida útil de 25 años, como mínimo, trabajando en el 80% de su potencia nominal, a veces durante 30 años en el 70% de su potencia nominal.

Desde el 2010, en el mundo se ha adicionado más capacidad en energía FV que en las cuatro décadas anteriores. Los nuevos sistemas fueron instalados en 2013 a un ritmo de 100 MW de capacidad por día. A inicios del año 2014 la capacidad global superó los 150 GW.

En datos de 2014 China fue el principal mercado en 2013 con 11,8 GW de los cuales 500 MW representan sistemas aislados. China fue seguida por Japón con 6,9 GW y los EEUU con 4,8 GW. En América Latina, en el año 2014, entraron en funcionamiento 625 MW de energía FV, frente a los 133 MW instalados en el 2013. El principal artífice de este incremento fue Chile aportando en un 75% del incremento total, seguido de forma distante por México y Brasil.

Los precios de los sistemas FV se han dividido por tres en los últimos seis años en la mayoría de los mercados, mientras que los precios de los módulos FV se han dividido por cinco. El costo de la electricidad a partir de nuevos sistemas construidos varía de 90 a 300 USD/MWh, dependiendo del recurso solar; el tipo, tamaño, costo de los sistemas, madurez de los mercados y los costos del capital.

Para lograr las estadísticas anteriores, se espera que los costos de la electricidad a partir de energía FV en diferentes partes del mundo se reduzcan en un 25% para el 2020, un 45% en 2030 y el 65% en 2050; lo que lleva a un rango de 40 a 160 USD/MWh.

En 2014 el mercado de los concentrados en energía solar térmica siguió con el ritmo de casi una década de fuerte crecimiento. Durante el transcurso del año, se implementaron cuatro nuevos proyectos con una capacidad de generación de 0,9 GW aumentando la capacidad global a 4,4 GW. En los cinco años entre 2009 y 2014 la capacidad operativa global aumentó en un promedio anual del 46%. Estados Unidos sigue como líder del sector por segundo año consecutivo seguido de la India.

Por otra parte, las tecnologías solares térmicas contribuyen a la producción de agua caliente en muchos países, calefacción y procesos industriales. En el mundo se instalaron 55 GW de la capacidad de calor solar, frente a 54,1 GW en 2012. Un estimado de 53,3 GWth de las nuevas instalaciones en 2013 fueron vidriadas, mientras que el resto fueron sistemas de

agua no vidriada para calefacción de piscinas (3,1%) y sistemas de colectores de aire (0,1%).

En Latinoamérica existen incentivos en países como Chile, México y Uruguay para que implementen la calefacción solar. En Uruguay se garantiza un subsidio del 50% de descuento aplicable directamente de la factura eléctrica. En México se entregan subsidios para la utilización de colectores solares en programas de vivienda social. En Chile se adjudican subsidios para la implementación de calentadores de agua solares en la reconstrucción de zonas afectadas por fenómenos naturales ([Rodes-Díaz, 2017](#)).

Varias han sido las investigaciones realizadas sobre la introducción de la energía solar en sistemas de producción agrícola, en las cuales se ha demostrado la factibilidad de esta fuente renovable en este renglón productivo ([Bazen y Aristega, 2009](#); [Talavera et al., 2010](#); [Smyth, 2012](#); [Bazilian et al., 2013](#); [Ekman y Jonsson, 2014](#)).

Considerándose las tendencias actuales de la energía solar, tanto para la generación de electricidad, como para la producción de calor, el objetivo de la investigación consistió en determinar el potencial de la energía solar como fuente renovable para un centro porcino.

MATERIALES Y METODOS

La Granja Universitaria "El Guayabal", perteneciente a la Universidad Agraria de La Habana (UNAH), se encuentra ubicada a los 23°00'12.5" latitud Norte, y 82°09'57.9" longitud Oeste en el municipio San José de Las Lajas, provincia Mayabeque, Cuba. El suelo existente en la misma, se clasifica como Ferralítico Rojo Típico según [Hernández et al. \(2015\)](#) en toda su extensión. Tiene un relieve llano, altura sobre el nivel del mar de 120 m e insolación anual de 1825 kWh/m². Las variables meteorológicas registradas durante el periodo 2015-2021 en la Estación Meteorológica Tapaste, mostraron que las temperaturas máximas alcanzadas en la región superaron los 26 °C entre los meses de junio a septiembre y las más frías descendieron como promedio hasta 20,76 °C en enero. Las precipitaciones manifestaron incrementos a partir de mayo, e indicaron los valores medios más elevados en junio y agosto con 255,50 y 245,16 mm, respectivamente. La humedad relativa varió entre 72,8% (mínimo, en marzo) y 84,6% (máximo, en diciembre), mientras que la velocidad del viento expresó su tope máximo de 5,46 km/h durante el mes de febrero. El comportamiento de estas variables climáticas permite desarrollar satisfactoriamente la crianza porcina.

Dentro de sus instalaciones se encuentra el centro porcino que posee una capacidad total de 425 cerdos según se aprecia en la [Tabla 1](#) en todas las categorías productivas. El sistema de alimentación es alternativo y utiliza alimento ensilado cubano como parte de la

fracción energética que necesitan los cerdos para su desarrollo y los piensos secos balanceados, para cubrir la proteína que requieren para su desarrollo.

En la [Tabla 1](#) se muestran los datos obtenidos en cuanto al movimiento de la masa animal en la granja porcina.

Para la operatividad del sistema productivo se dispone de un molino forrajero que posee un motor eléctrico de 4,5 kW destinado al procesamiento de alimentos alternativos el cual se utiliza dos horas como promedio de forma diaria.

En las labores de limpieza y abasto de agua se utiliza una bomba hidráulica con una potencia de 5,5 kW, la cual impulsa el agua desde una estación de bombeo, la cual se encuentra relativamente alejada de la granja porcina (a 80 m aproximadamente), a tanques elevados colocados a 4 m sobre el nivel del suelo. La misma se utiliza seis horas diarias como promedio.

El sistema de alumbrado cuenta con 40 luminarias de 40 W, las cuales se utilizan como promedio 10 h al día.

Así mismo, se dispone de un baño sanitario con duchas para la desinfección de los cuatro trabajadores durante la entrada y salida de la instalación los cuales como promedio utilizan 60 L de agua per cápita diariamente.

Para el establecimiento de las metodologías específicas para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico y del calentador solar, se consideran los fundamentos planteados por [Morejón-Mesa et al. \(2022\)](#).

Metodología para el dimensionamiento e instalación de paneles fotovoltaicos

Para determinar la energía que debe entregar la instalación fotovoltaica, se han de considerar las pérdidas que involucran las baterías, el inversor y los conductores.

Para calcular el consumo medio diario (E_{mdn}) de la instalación se tendrá en cuenta el consumo medio real crítico de la carga (E_{md}) y no el consumo medio para cargas constantes ni el número de inventarios.

$$E_{mdn} = \frac{E_{md}}{\eta_{bat} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{cond}}, kWh \quad (1)$$

donde:

E_{md} : Consumo medio real crítico de la carga, kWh;

η_{bat} : Eficiencia de las baterías; η_{inv} : Eficiencia del inversor; η_{cond} : Eficiencia de los conductores.

Si no se cuenta con metro-contador en el escenario de investigación, es posible determinar la demanda energética mediante el levantamiento de los medios y equipos eléctricos situados en el área objeto de estudio, determinándose la potencia (N) de cada uno de ellos y el tiempo de operación diario (T_0), con estos dos parámetros se puede determinar la energía consumida diariamente (E_{md}) en la instalación, lo cual se puede determinar mediante la expresión siguiente:

$$E_{md} = N \cdot T_0, kWh \quad (2)$$

donde:

N: Potencia de los equipos y medios eléctricos, kW;

T_0 : Tiempo de operación diario, h.

Dimensionamiento del generador fotovoltaico

Para la determinación del número de paneles solares requeridos, es posible emplear el criterio basado en la estimación del consumo de Amperes-hora de la instalación según [Hernández \(2007\)](#); [León-Martínez et al. \(2021\)](#), siendo el consumo medio de corriente diario requerido:

$$Q_{Ah} = \frac{E_{mdn}}{V_{bat}} \cdot \frac{Ah}{día} \quad (3)$$

donde:

V_{bat} : Voltaje de las baterías, V.

Así mismo, según [Alonso \(2011; 2017\)](#), la corriente que debe generar un campo de captación fotovoltaico en el mes más crítico de radiación solar (I_{GFV}) se determina como:

$$I_{GFV} = \frac{Q_{Ah}}{TS_{crit}}, A \quad (4)$$

donde:

TS_{crit} : Horas de sol pico del mes más crítico, h.

Luego, (I_{GFV}) la corriente generada por el campo de captación fotovoltaico (el total de placas solares instaladas), se divide entre la corriente unitaria de cada módulo fotovoltaico (I_{MOD}), se obtiene el total de módulos necesarios conectados en paralelo:

TABLA 1. Movimiento del rebaño porcino en la Granja “El Guayabal”

Mov. de Rebaño	Existencia Inicial	Existencia Final	Animales/día	Masa Promedio, kg
Sementales	5	5	5	130
Reproductoras	20	30	25	100
Cebas	100	140	120	90
Precebas	100	100	100	25
Crías	200	150	175	7
Total	425	425	425	70,40

$$Np = \frac{I_{GFV}}{I_{MOD}} \quad (5)$$

donde:

I_{MOD} : Corriente unitaria específica de cada módulo fotovoltaico, A.

Dimensionamiento del sistema de acumulación

Según [Mascarós-Mateo \(2015\)](#), para el cálculo del número de baterías requeridas para una instalación fotovoltaica, se han de considerar:

- el tiempo de autonomía deseado para la instalación fotovoltaica;
- la profundidad de descarga máxima estacional de las baterías;
- la profundidad de descarga máxima diaria de las baterías.

Según [Alonso \(2011\)](#), la capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima estacional se determina según:

$$C_{ne} = \frac{E_{mdn} \cdot N_{DA}}{P_{Dmax,e} \cdot F_{ct}}, kWh \quad (6)$$

$$C_{neAh} = \frac{C_{ne}}{V_{bat}}, Ah \quad (7)$$

donde:

N_{DA} : Número de días de autonomía de la instalación; $P_{Dmax,e}$: Profundidad de descarga máxima estacional de las baterías; F_{ct} : Factor de carga total de las baterías; C_{neAh} : Capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima estacional, Ah.

Así mismo, la capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima diaria se determina según:

$$C_{nd} = \frac{E_{mdn}}{P_{Dmax,d} \cdot F_{ct}}, kWh \quad (8)$$

$$C_{ndAh} = \frac{C_{nd}}{V_{bat}}, Ah \quad (9)$$

donde:

$P_{Dmax,d}$: Profundidad de descarga máxima diaria de las baterías; C_{ndAh} : Capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima diaria, Ah.

Luego de determinada la capacidad nominal de las baterías en función de los valores de descarga máxima estacionaria y diaria, se toma la de mayor valor y se divide por la capacidad nominal de corriente de una de las baterías, para obtener el número de estas necesario:

$$N_{bat} = \frac{C_{nAh}}{C_{nAh,bat}} \quad (10)$$

Dimensionamiento del regulador y el inversor

Para determinar la capacidad del regulador, se han de determinar la corriente a su entrada y a su salida. De modo que:

$$I_{ent} = (1 + F_{seg}) \cdot N_r \cdot I_{mod,sc} \cdot A \quad (11)$$

donde:

F_{seg} : Factor de seguridad para evitar daños ocasionales al regulador; N_r : Número de ramas en paralelo; $I_{mod,sc}$: Corriente unitaria del módulo fotovoltaico en condiciones de cortocircuito, A.

$$I_{sal} = \frac{(1 + F_{seg}) \cdot E_{md,max}}{\eta_{inv} \cdot T_{tpc} \cdot V_{bat}}, A \quad (12)$$

donde:

$E_{md,max}$: Consumo máximo de la carga, kWh; T_{tpc} : Tiempo de máxima demanda de la carga, h.

[Mascarós-Mateo \(2015\)](#), refiere que para la determinación de la potencia del inversor requerida para la instalación se procede según:

$$P_{inv} = (1 + F_{seg}) \cdot P_{AC}, W \quad (13)$$

donde:

P_{AC} – Potencia de arranque, W

[Alonso \(2011\)](#) plantea que muchos de los electrodomésticos y equipos que tienen motores tienen picos de corriente en el arranque. Ello supone que estos dispositivos, en el momento del arranque, tendrán una demanda de potencia mayor que la nominal, en ocasiones de hasta 4 o 5 veces más que la prevista. Por ello, resulta conveniente considerar en el dimensionamiento del inversor, el efecto de los picos del arranque de los motores siempre que sea necesario para garantizar un funcionamiento satisfactorio de la instalación.

Cuando se utiliza un parque solar fotovoltaico se está aprovechando de manera eficiente una energía limpia, renovable y segura. Contribuyéndose directamente en la reducción de gases de efecto invernadero causantes del cambio climático, y se mejora de forma significativa la calidad del aire, ya que disminuye significativamente el uso de combustibles fósiles. Producto a lo antes expuesto se hace necesario conocer cuánto se deja de consumir en energía fósil (número de kWh de electricidad evitados mensual y anual) con la implementación de este parque solar fotovoltaico ([Canvi Climatic, 2011](#)).

A partir de la utilización de estos parques solares fotovoltaicos se ahorra cierta cantidad de energía eléctrica en un mes por lo cual:

$$Q_{CM} = E_{md} \cdot D_m, kWh \quad (14)$$

donde:

D_m : Días que tiene un mes.

Siendo la energía ahorrada en un año:

$$Q_{CA} = 12 \cdot Q_{CM} D_m, kWh \quad (15)$$

Para la determinación del costo de la energía ahorrada en un año, fue considerado lo establecido por [Bérriz y Álvarez \(2014\)](#); [Aguilera-Proenza \(2021\)](#), donde se establecen las tarifas eléctricas en pesos cubanos (*peso*) para el cobro del servicio eléctrico. En el caso específico del sistema de tarifas para alta tensión con actividad continua, específicamente la que responde a la energía consumida durante el horario del día. Siendo el costo de la energía ahorrada en un día:

$$C_{día} = (a \cdot K + b) \cdot Q_{cdía}, \text{peso/día} \quad (16)$$

donde:

a, b : Coeficientes a aplicar según el tipo de tarifa (1,5282 y 0,7273 respectivamente), *peso/kWh*;

K : Factor de ajuste de variación del precio del combustible;

$Q_{cdía}$: Consumo de energía en un día, *kWh/día*.

De manera análoga, se puede determinar el costo de la energía ahorrada en un año según:

$$C_{año} = (a \cdot K + b) \cdot Q_{CA}, \text{peso/año} \quad (17)$$

donde:

Q_{CA} : Consumo de energía en un año, *kWh/año*

Metodología para la determinación de calentadores solares

Para determinar la cantidad de calentadores solares que se deben instalar, se hace necesario conocer el consumo de agua que demanda la instalación a través de la expresión siguiente:

$$C_{H_2O} = \frac{N_{C(H_2O)} \cdot C_{hd} \cdot W}{100}, L \quad (18)$$

donde:

$N_{C(H_2O)}$: norma de consumo de agua, *L/animal*;

C_{hd} : número de animales en el rebaño o personas en la vivienda; W : porcentaje de ocupación del emplazamiento, %.

En Cuba la radiación solar media por día, en los meses de noviembre a febrero, es 4200 kcal/m^2 ; siendo este período de menor insolación en el año. Un calentador de tubos al vacío de 200 L de capacidad, puede suministrar, bajo estas condiciones, alrededor de 300 L diarios de agua caliente a 50°C .

Es válido señalar que esta tecnología también puede favorecer a la familia que resida en el escenario ganadero, donde por lo general, en el caso específico de las familias cubanas, estas tienen costumbres de realizar varias actividades alimentarias a lo largo del día, (considerando desayuno, almuerzo y comida), más el agua caliente para fregar la vajilla, con una norma de 20 L por persona con una temperatura de 55°C (Bérriz y Álvarez, 2014; Aguilera-Proenza, 2021).

La demanda de agua caliente de un emplazamiento se puede determinar según:

$$C_{H_2Oc} = \frac{N_{C(H_2Oc)} \cdot C_{hd} \cdot W}{100}, L \quad (19)$$

donde:

$N_{C(H_2Oc)}$: norma de consumo de agua caliente, *L/persona o L/animal*;

Conociendo la cantidad de agua que demanda un emplazamiento, se puede calcular la cantidad de calentadores necesarios para satisfacer las necesidades del mismo, según la expresión:

$$N_{cs} = \frac{C_{H_2Oc}}{C_{ae}} \quad (20)$$

donde:

C_{ae} : cantidad de agua que entrega un calentador con una insolación determinada, *L/día*.

Según Canvi Climatic (2011), para determinar la energía que demanda calentar el agua (Q_c) a utilizar, se necesita tener en cuenta el salto de temperatura, de 15°C a 50°C , de modo que:

$$Q_c = K_{CU} \cdot m \cdot C_e (T_f - T_i), kWh \quad (21)$$

donde:

K_{CU} : $3,6(10^6 \text{ J/kWh})$; m : masa de agua, *kg*; C_e : calor específico del agua, $4187 \text{ J/}^\circ\text{C}(\text{kg})$; T_i : temperatura inicial, $^\circ\text{C}$; T_f : temperatura final, $^\circ\text{C}$.

Con la utilización de estos equipos de calentamiento de agua se ahorra cierta cantidad de energía eléctrica en un mes (Q_{CM}) por lo cual:

$$Q_{CM} = Q_c \cdot D_m, kWh \quad (22)$$

donde:

D_m : días que tiene un mes.

Siendo la energía ahorrada (Q_{CA}) en un año:

$$Q_{CA} = 12 \cdot Q_{CM} \quad (23)$$

RESULTADOS Y DISCUSION

Partiéndose de la potencia nominal de los medios y equipos que demandan energía eléctrica en el centro porcino, se procede a determinar el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico que permita cubrir la demanda energética.

En la [Tabla 2](#), se representan los valores del consumo de energía horaria real crítica (E_{md}) y media diario (E_{mdn}) obtenido de los valores nominales de la potencia de chapilla de cada equipo y datos técnicos de la luminaria por no existir lecturas independientes de un metro contador en el centro porcino. Como se aprecia el mayor valor corresponde a la bomba hidráulica debido al tiempo de conexión que dispone de forma diaria (6 horas) para las labores de limpieza y abastecimiento de agua.

Con esta demanda energética se hace necesario el empleo de 192 paneles fotovoltaicos que equivalen a

TABLA 2. Parámetros energéticos para los consumidores eléctricos de la granja

Medios y/o Equipos	E_{md}, kWh	E_{mdn}, kWh
Molino para pienso animal	9,0	17,6
Bomba hidráulica	33,0	64,5
Alumbrado	16,0	31,3
Total	58	113,3

48 módulos, para la cual se requiere de un área de 150 m². Se escoge el modelo DSM -250 con celdas solares de silicio amorfo cristalino cuya potencia nominal es 250 Wp con un voltaje de 30,5 V y corriente de 8,19 A en el punto de máxima de potencia.

Este módulo fotovoltaico se produce en el combinado Che Guevara de la provincia Pinar del Rio con dimensiones máximas del marco de aluminio de 1 650 x 990 x 40 mm (largo x ancho x altura).

A partir de la demanda de agua caliente en el centro porcino, se procede a determinar la cantidad de calentadores solares necesarios.

En la siguiente [tabla 4](#) se aprecia que con el empleo de un calentador solar de tubos al vacío se satisface una demanda energética total de 3,49 kWh consistente en la higienización del personal, con un consumo de agua a trasegar de 60 L/porcápita.

La tecnología basada en el uso de la energía solar, tanto fotovoltaica, como térmica, muestran resultados satisfactorios, en cuanto posibilidades ahorro de energía anual, por otro lado, la vida útil de ambas tecnologías con el adecuado manejo y mantenimiento puede llegar hasta los 25 años y contribuyen en un impacto positivo en el medio ambiente al dejar de emitir CO₂ anualmente a la atmósfera.

El costo de inversión inicial para la adquisición del sistema fotovoltaico requerido asciende a 645 500 peso (25 820 USD), con la instalación de esta tecnología se garantizaría el accionamiento de todos los motores eléctricos y el alumbrado.

En cuanto a la tecnología de energía solar térmica, específicamente el empleo de calentadores solares para las condiciones de la granja porcina el costo de inversión asciende a 9 650 peso (386 USD), de igual forma con la introducción de esta tecnología se reducen considerablemente las emisiones de gases de efecto invernadero y por correspondiente su impacto negativo al medio ambiente.

Al realizarse un estudio del tiempo requerido para la recuperación total de la inversión (655 150 peso que equivalen a 26 206 USD) a partir de los rendimientos productivos del centro porcino, sin considerar los ahorros por consumo de energía eléctrica, es apreciable que al concluir el ciclo productivo de la crianza de cerdos, se contaría con 140 animales con una masa promedio de 90 kg, una vez sacrificados estos animales promediarían una masa a la canal 67,5 kg (considerándose una merma en la canal del 25%); por tanto se alcanzaría una producción de carne de cerdo a la canal de 9 450 kg; de modo que al considerar que el precio de cerdo a la canal sobre la base de la ficha de costo de producción en este centro porcino universitario alcanza el valor de 120 peso/kg; entonces por cada lote de cerdos que se sacrifiquen cada 4 meses, es posible recaudar un monto de 1 134 000 peso (45 360 USD), lo que significa que con la comercialización del primer lote se recupera la inversión total y se obtiene un beneficio de 478 850 peso (19 154 USD). Estos elementos económicos demuestran la factibilidad y viabilidad de la introducción de estas tecnologías en escenarios de producción agropecuaria, aun cuando los costos de inversión pueden considerarse elevados.

TABLA 3. Costo de inversión inicial para la tecnología de sistema fotovoltaico

Materiales	Costo, peso
48 módulos fotovoltaicos DSM-250	588 000
1 Sistema de control (Inversor, Pizarra eléctrica, Regulador de la carga de la batería, Protección de corriente alterna y directa)	32 500
1 banco de Baterías 12 V	25 000
Costo total de Inversión (inicial)	645 500

peso: se refiere a la moneda nacional (MN), se considera la tasa de cambio 25 MN = 1 USD

TABLA 4. Parámetros energéticos para el calentamiento del agua en el centro porcino.

Materiales	UM	Cantidad	Precio unitario, peso/u	Costo, peso
Módulo de calentador solar	u	1	6 000	6 000
Tanque de 55 Gal	u	1	2 500	2 500
Tuberías para captación y conducción del agua	Accesorios: Uniones, codos, limpiador y pegamento PVC, válvulas de cierre (la cantidad varía en función de la distancia)		550	550
Tuberías para suministro de agua	Tubos de 13,75 mm (0,5") (2): 5 m/cu		300	600
Costo total de Inversión (inicial)				9 650

peso: se refiere a la moneda nacional (MN), se considera la tasa de cambio 25 MN = 1 USD

CONCLUSIONES

- Para las condiciones existentes en el centro porcino de la granja universitaria “El Guayabal”, resulta pertinente introducir la tecnología de energía solar fotovoltaica como fuente renovable para el accionamiento del motor eléctrico del molino, la bomba de agua y el alumbrado, lo cual supone una inversión inicial de 645 500 peso (25 820 USD) pero se contribuye al cuidado del medio ambiente al dejarse de emitir CO₂ a la atmósfera.
- Resulta viable la introducción de un calentador solar, para las acciones de higienización de los trabajadores del centro porcino, para la adquisición de esta tecnología el costo de inversión asciende a 9 650 peso (386 USD), de igual forma con la introducción de esta tecnología se reducen considerablemente las emisiones de gases de efecto invernadero y por correspondiente su impacto negativo al medio ambiente.
- Solo con la comercialización del primer lote de cerdos a la canal, se recupera el monto total requerido para la adquisición del sistema fotovoltaico y del calentador solar y es posible obtener un beneficio que asciende a 478 850 peso (19 154 USD), este elemento demuestra la factibilidad económica de esta inversión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILERA-PROENZA, G.: “Aspectos prácticos de las instalaciones de calentadores solares”, *Eco Solar*, (76): 9-20, 2021, ISSN: 1028-6004, Disponible en: <https://ecosolar.cubaenergia.cu/index.php/ecosolar/article/view/10>.
- ALONSO, J.: “Manual para instalaciones fotovoltaicas autónomas”, *Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma, España*, 2011, Disponible en: www.sfe-solar.com.
- ALONSO, J.: “Manual para instalaciones fotovoltaicas autónomas”, *Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma*, 197: 6-15, ISSN: 0212-4157, 2017, Disponible en: [Disponible en: www.sfe-solar.com](http://www.sfe-solar.com).
- BAZEN, E.F.; ARISTEGA, M.A.M.: “Feasibility of solar technology (photovoltaic) adoption: A case study on Tennessee’s poultry industry”, *Renewable Energy*, 34(3): 748-754, ISSN: 0960-1481, Publisher: Elsevier, 2009.
- BAZILIAN, M.; ONYEJI, I.; LIEBREICH, M.; MACGILL, I.; CHASE, J.; SHAH, J.; GIELEN, D.; AGUDELO-MANRIQUE, D.A.; LANDFEAR, D.; ZHENGRONG, S.: “Re-considering the economics of photovoltaic power”, *Renewable Energy*, 53: 329-338, ISSN: 0960-1481, Publisher: Elsevier, 2013.
- BÉRRIZ, L.; ÁLVAREZ, M.: *Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares*, Ed. Editorial Cubasolar, La Habana, Cuba, La Habana, Cuba, 38-52 p., 2014.
- CANVI CLIMATIC: *Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)*, Inst. Oficina Catalana del Canvi climàtic, Barcelona, España, Publisher: Comisión Interdepartamental del Cambio Climático, Barcelona, p., 2011.
- EKMAN, L.; JONSSON, E.: *Solar Energy on Swedish Pig Farms-A sunny story*, Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Economics, Advanced level Agricultural Programme - Economics and Management Degree thesis No 881, Master’s thesis, Uppsala. Swedish, ISSN 1401-4084, Uppsala, Swedish p., 2014.
- HERNÁNDEZ, J.A.; PÉREZ, J.; BOSCH, I.; CASTRO, S.: *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba*, Ed. Ediciones INCA, Mayabeque, Cuba, Primera edición ed., San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, 93 p., 2015, ISBN: 978-959-7023-77-7.
- HERNÁNDEZ, L.: “Sistemas fotovoltaicos ¿Autónomos o conectados a la red?”, *Energía y tú*, 38: ISSN: 1028-9925, e-ISSN: 2410-1133, 2007, ISSN: 1028-9925, e-ISSN: 2410-1133.
- IEA: *Renewables 2021 Data Explorer*, IEA, [en línea], Inst. International Energy Agency (IEA), París, Francia, París, Francia, 2021, Disponible en: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/renewables-2021-data-explorer>, [Consulta: 11 de abril de 2022].
- LEÓN-MARTÍNEZ, J.A.; MOREJÓN-MESA, Y.; MELCHOR-ORTA, G.C.; ROSABAL-PADRÓN, L.M.; QUINTANA-APUT, R.; ACOSTA, G.O.: “Dimensionamiento de un parque solar fotovoltaico para el Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA)”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 30(4): ISSN: 2071-0054, Publisher: Universidad Agraria de La Habana, 2021.
- MASCARÓS-MATEO, V.: *Instalaciones generadoras fotovoltaicas*, Ed. Ediciones Paraninfo, SA, Madrid, España, 296, ISBN: 84-283-3724-1, 2015, ISBN: 84-283-3724-1.
- MOREJÓN-MESA, Y.; TORRICO-ALBINO, J.C.; MORENO-MELO, V.; ABRIL-HERRERA, D.A.: *Fundamentos para la introducción de las fuentes de energía renovables en sistemas agropecuarios. Caso de estudio: Introducción de biodigestores en fincas pertenecientes al departamento Cundinamarca, Colombia*, Ed. Sello editorial CienciAgro, La Paz-Bolivia, ISBN: 978-9917-9928-0-6. Depósito Legal:

- 4-1-4299-2022, Publisher: Instituto Agrario Bolivia, 2022.
- RODES-DÍAZ, N.: *Análisis técnico económico del uso de fuentes de energía solar térmica y fotovoltaica en tipologías constructivas gran panel IV*, Universidad de Holguín, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Tesis de Licenciatura, Holguín, Cuba, 50, Publisher: Universidad de Holguín, Facultad de Ingeniería, Departamento de Construcciones, 2017.
- SMYTH, M.: “Solar photovoltaic installations in American and European winemaking facilities”, *Journal of Cleaner Production*, 31: 22-29, ISSN: 0959-6526, Publisher: Elsevier, 2012.
- TALAVERA, D.; NOFUENTES, G.; AGUILERA, J.: “The internal rate of return of photovoltaic grid-connected systems: A comprehensive sensitivity analysis”, *Renewable energy*, 35(1): 101-111, ISSN: 0960-1481, Publisher: Elsevier, 2010.

Yanoy Morejón-Mesa, Dr.C. Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. e-mail: yomorejon83@gmail.com, yymm@unah.edu.cu.

Darielis Vizcay-Villafranca, Ing., Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. e-mail: darielisv@unah.edu.cu.

Ramón Pelegrín-Rodríguez, Ingeniero recién graduado, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. e-mail: pelegrinramon458@gmail.com.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

CONTRIBUCIONES DE AUTOR: **Conceptualización:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca. **Curación de datos:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca. **Análisis formal:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca. **Investigación:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca, R. Pelegrin Rodríguez. **Metodología:** J Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca. **Supervisión:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca. **Validation:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca, R. Pelegrin Rodríguez. **Redacción-borrador original:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca, R. Pelegrin Rodríguez. **Redacción, revisión y edición:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca, R. Pelegrin Rodríguez.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.