

# Factibilidad de la introducción de la energía solar en un sistema de producción avícola

## Feasibility of Introducing Solar Energy into a Poultry Production System



<https://cu-id.com/2177/v33n4e06>

Geisy Hernández-Cuello\*, Yanoy Morejón-Mesa,  
Darielis Vizcay-Villafranca, Yordan Oscar Amoros-Capdesuñer

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

**RESUMEN:** La presente investigación se desarrolló en el sistema de producción avícola de la Granja Universitaria “El Guayabal”, el objetivo de la misma consistió en determinar la factibilidad de la introducción de la energía solar (fotovoltaica y térmica) en las condiciones del escenario antes mencionado, en el estudio se consideraron los fundamentos teórico-metodológicos orientados en las dos fuentes renovables de energía abordadas en la investigación (solar fotovoltaica y solar térmica) entre los principales resultados obtenidos se evidenció que a partir del diagnóstico energético-productivo del sistema de producción avícola objeto de estudio, se determinó que la instalación de un sistema híbrido compuesto por un sistema fotovoltaico aislado conformado por 160 paneles fotovoltaicos y un calentador solar, con lo cual podría cubrirse la demanda energética de dicho escenario; además se determinó que la instalación de un secador solar no procede; debido a que no se requiere del secado o deshidratación de producciones agrícolas para la alimentación de las especies avícolas establecidas.

**Palabras clave:** factibilidad económico-energética, impacto ambiental, energías renovables.

**ABSTRACT:** The present research was developed in the poultry production system of the “El Guayabal” University Farm; its objective was to determine the feasibility of the introduction of solar energy (photovoltaic and thermal) under the conditions of the aforementioned scenario. In the study, the theoretical-methodological foundations oriented towards the two renewable energy sources addressed in the research (solar photovoltaic and solar thermal) were considered. Among the main results obtained, it was evident that from the energy-productive diagnosis of the poultry production system under study, it was determined that the installation of a hybrid system composed of an isolated photovoltaic system made up of 160 photovoltaic panels and a solar heater, which could cover of the energy demand; in addition, it was determined that the installation of a solar dryer is not appropriate; because drying or dehydration of agricultural production is not required to feed established poultry species.

**Keywords:** solar energy, poultry production, environmental impact, renewable energy.

### INTRODUCCIÓN

El sector avícola sigue creciendo e industrializándose en muchas partes del mundo debido al poderoso impulso del crecimiento demográfico, el aumento del poder adquisitivo y los procesos de urbanización. Los adelantos en los métodos de reproducción han dado lugar a aves que responden a fines especializados y son cada vez más productivas. Esta evolución ha hecho que la industria avícola y la industria de alimentos concentrados aumenten rápidamente de tamaño, que se concentren entorno a

fuentes de insumos o los mercados finales y se integren verticalmente (FAO, 2022).

Los Estados Unidos de América es el mayor productor mundial de carne avícola (17%), seguido de China y Brasil. En la producción de huevos, China se posiciona como el mayor productor (38%), seguida por Estados Unidos (7%) y la India (7%). En el 2020, la carne de origen avícola representó casi el 40% de la producción mundial de carne, mientras que, en las últimas tres décadas, la producción mundial de huevos ha mostrado un aumento del 150% (FAO, 2022).

\*Autora para correspondencia: Geisy Hernández-Cuello, e-mail: [geisyh@unah.edu.cu](mailto:geisyh@unah.edu.cu)

Recibido: 15/02/2024

Aceptado: 05/09/2024

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

**CONTRIBUCIONES DE AUTORES:** **Conceptualización:** G. Hernández Cuello; Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca. **Conservación de datos:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca. **Análisis formal:** G. Hernández Cuello; Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca. **Investigación:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca, Y. Amoros Capdesuñer. **Metodología:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca. **Supervisión:** G. Hernández Cuello; Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca. **Validación:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca, Y. Amoros Capdesuñer. **Redacción - borrador inicial:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca, Y. Amoros Capdesuñer. **Redacción - revisión y edición:** G. Hernández Cuello; Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca.

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

Para el desarrollo de la producción avícola en el contexto actual, los alimentos representan el costo más alto en la producción de aves de corral y la disponibilidad de estos a bajo precio y con alta calidad es fundamental para que la producción avícola pueda seguir siendo competitiva y aumentar para satisfacer la demanda de proteína animal (FAO, 2013).

El gobierno cubano busca auto-abastecerse respecto a la producción de huevos y carne de pollo, que, en la actualidad, le cuesta importar desde el exterior y no cubre la demanda de la población. En Cuba actualmente se producen mil novecientos millones de huevos de forma intensiva, y doscientos millones de forma no convencional, con soporte en la genética desarrollada en estos años, representada en la gallina ponedora que se explota industrialmente, y la semirústica y el pollo campero, utilizados para la avicultura alternativa, a su vez se alcanzan nueve mil quinientas toneladas de carne de aves de desecho.

En el caso específico del sistema avícola establecido en la Granja Universitaria “El Guayabal”, este sistema de producción se encuentra enlazado al sistema electro energético nacional, debido a la afectación del mismo por la carencia de combustibles fósiles, se valora la implementación de la energía solar (fotovoltaica y térmica) para generar calor, energía eléctrica, de modo que sea sustentable este sistema de producción, el cual se sostiene en la producción de huevos de gallinas ponedoras y gallinas camperas, así como la ceba de pavos (Cadena Avícola, 2023).

En el ámbito internacional, una de las principales energías renovables utilizadas en las granjas avícolas es la energía solar (Smyth, 2012; Talavera et al., 2012; Rodes, 2017). Los paneles solares pueden ser instalados en el tejado de las instalaciones de las granjas o en terrenos cercanos, y pueden proporcionar electricidad para satisfacer las necesidades de la granja, otra opción es la utilización de sistemas de calentamiento solar para mantener la temperatura adecuada en las instalaciones y en las aves (Cadena Avícola, 2023).

Considerándose los antecedentes antes mencionados, el objetivo de la presente investigación se orientó en determinar la factibilidad de la introducción de la energía solar (fotovoltaica y térmica) en el sistema avícola establecido en la Granja Universitaria “El Guayabal”.

## MATERIALES Y MÉTODOS

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 (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/m<sup>2</sup>. Las variables meteorológicas registradas en la Estación Meteorológica Tapaste, San José de las Lajas, durante el periodo enero-septiembre/2023, mostraron que las temperaturas máximas alcanzadas en la región superaron los 32 °C entre los meses de junio a septiembre y las más frías descendieron como promedio hasta 21,1 °C en enero. Las precipitaciones manifestaron incrementos a partir de junio, e indicaron los valores medios más elevados en mayo y agosto con 72 y 77 mm, respectivamente. La humedad relativa varió entre 47% (mínimo, en marzo) y 84% (máximo, en septiembre), mientras que la velocidad del viento alcanzó un valor máximo de 3,6 km/h durante el mes de agosto. El comportamiento de estas variables climáticas permite desarrollar satisfactoriamente producción avícola. Dentro de sus instalaciones se encuentra un sistema de producción avícola, el cual se conforma por tres áreas productivas, una de estas áreas se destina a la producción de huevos con el empleo gallinas ponedoras de la raza White Leghorn, esta área cuenta con una capacidad máxima de 2 872 animales; otra es el área destinada a la producción de pavos cuya capacidad varía en función de la época del año 1 500 animales (verano) y 3 000 animales (invierno) y finalmente el área destinada a las gallinas camperas destinadas también a la producción de huevos con una capacidad de 700 animales.

En la [Tabla 1](#) se muestran los datos obtenidos en cuanto al movimiento de la masa animal en el sistema de producción avícola, durante el periodo de observación.

En el sistema de producción avícola objeto de estudio, para su operatividad, se emplean un grupo de portadores energéticos, los que se relacionan en la [Tabla 2](#).

Para el establecimiento de las metodologías específicas para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico y del calentador solar, se consideran los fundamentos planteados por (Morejón 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.

**TABLA 1.** Movimiento del sistema avícola en el periodo de investigación en la Granja “El Guayabal”

Mov. de Rebaño	Existencia Inicial	Existencia Final	Animales/día	Masa Promedio, kg
Gallinas ponedoras Leghorn White	2872	2872	2872	1,4
Pavos blancos de pecho ancho	3000	1500	2250	6,5
Gallinas camperas	700	700	700	2,2

TABLA 2. Portadores energéticos instalados en el sistema de producción avícola

Portadores energéticos (Cantidad)	Potencia, kW	Tiempo de Operación, h	Energía consumida/día, kWh/día
<b>Sistema de producción de gallinas White Leghorn</b>			
Tubos LED 20W (10)	0,20	14	2,80
Tubos LED 40W (18)	0,72	14	10,08
<b>Sistema de producción de pavos de pecho ancho</b>			
Tubos LED 20W (79)	1,58	14	22,12
Extractor I (1)	0,01	24	0,24
Extractor II (1)	0,02	24	0,48
Calentador I (1)	0,01	24	0,24
Calentador II (1)	0,03	24	0,72
Calentador III (1)	0,06	24	1,44
Calentador IV (1)	0,03	24	0,72
Calentador V (1)	0,15	24	3,60
<b>Sistema de producción de gallinas camperas</b>			
Tubos LED 40W (10)	0,40	14	5,60

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.

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

donde:  $E_{md}$ : Consumo medio real crítico de la carga, kWh;  $\eta_{bat}$ : Eficiencia de las baterías;  $\eta_{inv}$ : Eficiencia del inversor;  $\eta_{cond}$ : 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:

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

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 [Hernández \(2007\)](#), [León et al. \(2021\)](#), siendo el consumo medio de corriente diario requerido:

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

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:

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

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:

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

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

### Dimensionamiento del sistema de acumulación

Según [Mascaros \(2015\)](#), 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:

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

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

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:

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

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

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:

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

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,  $A$ .

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

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

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

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

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:

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

donde:  $D_m$ : Días que tiene un mes.

Siendo la energía ahorrada en un año:

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

Para la determinación del costo de la energía ahorrada en un año, fue considerado lo establecido por [Bolaños \(2021\)](#), 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:

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

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<sup>2</sup>; siendo este periodo 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, 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<sup>6</sup> J /kWh ;  $m$ : masa de agua, kg;  $C_e$ : calor específico del agua, 4187J/°C·kg;  $T_i$ : temperatura inicial, °C;  $T_f$ : temperatura final, °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 DISCUSIÓN

### Valoración técnico-económica de la introducción de la energía solar fotovoltaica en las condiciones del sistema de producción avícola

Para la realización de la propuesta de un sistema solar fotovoltaico en áreas del sistema de producción avícola, se consideran los paneles solares comercializados por la empresa cubana COPEXTEL. Los datos técnicos correspondientes se muestran en la [Tabla 3](#).

Además, se seleccionaron las baterías Trojan, cuyos datos técnicos se muestran en la [Tabla 4](#).

Para dicha propuesta también se tuvo en cuenta el inversor que comercializa COPEXTEL, con una potencia 20% mayor a la demandada por el equipo.

En este caso no se considera el empleo de un regulador de seguimiento del punto de máxima potencia ya que los sistemas fotovoltaicos que lo incluyen, constituyen sistemas que mejoran la eficiencia de la instalación entre 10 y 25%. El problema fundamental de estos reguladores radica en su elevado costo para instalaciones de pequeño y mediano porte. En el caso de la propuesta, por el volumen de energía a generar requeriría un regulador de gran capacidad con capacidad de seguimiento del punto de máxima potencia, que elevaría el costo total de la instalación al menos en 30 y 40% más solo por este concepto.

Como se evidencia en la [Tabla 6](#), por concepto de reducción del combustible fósil requerido para la producción de la energía eléctrica y la masa de CO<sub>2</sub> no emitida al medioambiente se demuestra la factibilidad económica y ambiental de la introducción del sistema fotovoltaico en el sistema de producción avícola investigado.

**TABLA 3.** Datos técnicos de los paneles solares comercializados por COPEXTEL

Parámetro	Especificación
Potencia pico del módulo en condiciones estándar, $W$	270
Voltaje máximo del módulo, $V$	55,10
Corriente de cortocircuito del módulo, $A$	5,30
Corriente unitaria máxima del módulo, $A$	4,9
Rendimiento del inversor	0,9
Rendimiento de los conductores	1
Rendimiento de las baterías	0,95

**TABLA 4.** Datos técnicos de las baterías Trojan monoblock propuestas

Parámetro	Especificación
Profundidad de Descarga Máxima Estacional, %	70
Profundidad de Descarga Máxima Diaria, %	15
Rendimiento	0,9 – 0,95
Voltaje, $V$	12
Capacidad de corriente, $A$	240

**TABLA 5.** Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico total y para las tres especies establecidas en el sistema avícola y análisis económico de las propuestas

Parámetro	Símbolo	Valor
Consumo medio diario en toda la instalación	$L_{mdn}$ kWh	50,28
Consumo medio de corriente diario en toda la instalación	$Q_{Ah}$ Ah/día	52 92
Corriente que debe generar el campo fotovoltaico en el mes crítico de radiación solar	$I_{gfv, mpp}$ A	10 584,4
Total de paneles solares	$N_p$	160
Total de módulos fotovoltaicos	$N_m$	40
Área requerida	$A_r$ , m <sup>2</sup>	124,24
Energía a producir con el sistema fotovoltaico	$E_p$ , kWh	1 192,7
Costo de Inversión	$C_{inv}$ peso	487 026,21
<b>Para sistemas de gallinas Leghorn White</b>		
Consumo medio diario de la instalación	$L_{mdn}$ kWh	15,06
Consumo medio de corriente diario	$Q_{Ah}$ Ah/día	15 842
Corriente que debe generar el campo fotovoltaico en el mes crítico de radiación solar	$I_{gfv, mpp}$ A	3 168,4
Total de paneles solares	$N_p$	44
Total de módulos fotovoltaicos	$N_m$	11
Área requerida	$A_r$ , m <sup>2</sup>	33,31
Energía a producir con el sistema fotovoltaico	$E_p$ , kWh	319,77
Costo de Inversión	$C_{inv}$ peso	130 576,6
<b>Para sistemas de producción gallinas camperas</b>		
Consumo medio diario de la instalación	$L_{mdn}$ kWh	0,65
Consumo medio de corriente diario	$Q_{Ah}$ Ah/día	688
Corriente que debe generar el campo fotovoltaico en el mes crítico de radiación solar	$I_{gfv, mpp}$ A	137,6
Total de paneles solares	$N_p$	20
Total de módulos fotovoltaicos	$N_m$	5
Área requerida	$A_r$ , m <sup>2</sup>	14,48
Energía a producir con el sistema fotovoltaico	$E_p$ , kWh	139,03
Costo de Inversión	$C_{inv}$ peso	56 772,41
<b>Para sistemas de producción de pavos</b>		
Consumo medio diario de la instalación	$L_{mdn}$ kWh	34,57
Consumo medio de corriente diario	$Q_{Ah}$ Ah/día	36 392
Corriente que debe generar el campo fotovoltaico en el mes crítico de radiación solar	$I_{gfv, mpp}$ A	7 278,4
Total de paneles solares	$N_p$	96
Total de módulos fotovoltaicos	$N_m$	24
Área requerida	$A_r$ , m <sup>2</sup>	76,45
Energía a producir con el sistema fotovoltaico	$E_p$ , kWh	733,90
Costo de Inversión	$C_{inv}$ peso	299 677,2

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

### Valoración técnico-económica de la introducción de la energía solar térmica (calentadores y secadores solares) en las condiciones del sistema de producción avícola

Para la determinación de la tecnología de calentadores solares en las condiciones del sistema de producción avícola de la Granja “El Guayabal”, se tuvo en cuenta la cantidad de calentadores que se deben utilizar para la correcta higienización de los trabajadores.

Antes de proceder a las determinaciones antes mencionadas, se debe conocer la cantidad de agua caliente necesaria (norma de consumo de agua) por trabajadores, datos que se reflejan en la [Tabla 7](#).

Como se puede observar en la [Tabla 7](#) en el sistema avícola objeto de estudio es necesario un total de 100 litros de agua caliente para la correcta higienización de los trabajadores, considerándose que son cinco trabajadores en esa área, lo cual hace un total de 100 L/día.

Para la realización de la propuesta de calentadores, se utilizaron los de tubos al vacío, ya que resultan los

más comercializados en el país y sus condiciones son idóneas para el escenario productivo como se puede apreciar en la [Tabla 8](#).

Conociéndose ya la cantidad de agua demandada en el área ([Tabla 7](#)) y el suministro de agua caliente diaria del calentador ([Tabla 8](#)) se propone la introducción de un solo calentador de tubos al vacío el cual puede satisfacer la demanda de agua caliente necesaria en el escenario objeto de estudio.

Para tener un estimado del costo del proceso constructivo y de instalación del calentador solar de tubos al vacío (sin considerar la mano de obra), en la [Tabla 10](#) se relacionan los materiales requeridos para la instalación de la tecnología.

En el caso de la valoración técnico-económica del empleo de secadores solares no se considera necesario esta tecnología en las condiciones del sistema avícola, perteneciente a la Granja Universitaria “El Guayabal”, ya que en esta unidad productiva se enfoca en la producción de huevos o carne y no se procesa ningún tipo de alimento animal en el que se requiera el secado solar.

**TABLA 6.** Resultados del impacto medio ambiental como consecuencia de la instalación propuesta

Parámetro	Valor estimado
Energía eléctrica dejada de consumir, kW/día.	42,44
Energía eléctrica ahorrada, kWh/año.	99 046,18
Masa de CO <sub>2</sub> dejada de emitir a la atm, t/año.	1 591,5
Masa de combustible fósil para producir electricidad, t/año.	79,2

**TABLA 7.** Cantidad de agua caliente necesaria en el escenario productivo

Cant. de trabajadores	Demanda de agua para la higienización N <sub>c</sub> (H <sub>2</sub> O), L	% de ocupación en el emplazamiento
5	20	100

**TABLA 8.** Datos técnicos del calentador de tubos al vacío

Capacidad del calentador, (L)	Suministro de agua caliente diaria a 50°C, (L/día).
200	100

**TABLA 9.** Aporte energético del calentador de tubos al vacío a obtener con la instalación de la tecnología

Ahorro Energético Potencial	
Energía eléctrica, kWh/día	5,341
Energía eléctrica, kWh/año	1 949,465
Masa de CO <sub>2</sub> dejada de emitir a la atm, t/año.	200,29
Masa de combustible fósil para producir electricidad, t/año.	0,97

**TABLA 10.** Lista de costos de la instalación de calentador solar de tubos al vacío

Materiales	UM	Cantidad	Precio unitario, peso/u	Costo, peso
Módulo de calentador solar	u	1	6 000	6 000
Tanque de 55 galones	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
Total				<b>9 650</b>

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

Como se puede observar en las [Tablas 5 y 10](#), si se considera la inversión requerida para ambas tecnologías, la cual asciende a 487 026.21 peso para el caso del sistema fotovoltaico aislado y a 9 650 peso para el caso del calentador solar, alcanzándose un valor total de 496 676.21 peso y se analiza este en función de la producción promedio de huevos que asciende a 252 unidades/día y el precio del huevo es equivalente a 2.20 peso/unidad, entonces es posible recaudar 554.4 peso/día (16 632 peso/mes), por lo que es posible recaudar anualmente un monto de 199 584 peso, de esta forma se demuestra que la inversión total es posible recuperarla en un periodo de 2,5 años.

### CONCLUSIONES

- Los fundamentos teórico-metodológicos planteados posibilitaron determinar la factibilidad de la introducción de la energía solar (térmica y fotovoltaica) en las condiciones del sistema de producción avícola de la Granja Universitaria “El Guayabal”.
- A partir del diagnóstico energético-productivo del sistema de producción avícola objeto de estudio, se determinó que la instalación de un sistema híbrido conformado por un sistema fotovoltaico aislado y un calentador solar, podría cubrirse en gran medida la demanda energética del escenario.
- Se determinó que la instalación de un secador solar no procede; debido a que no se requiere del secado o deshidratación de producciones agrícolas para la alimentación de las especies avícolas que se establecen en dicho escenario.
- La inversión total (instalación y montaje de un bloque de paneles fotovoltaicos aislados y un calentador solar) se recupera en un periodo de 2,5 años.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILERA, P.G.: “Aspectos prácticos de las instalaciones de calentadores solares”, *Eco Solar*, 76: 9-20., 2021.
- ALONSO, J.A.: *Manual para instalaciones fotovoltaicas autónomas*, [en línea], Ed. Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma, SunFieldsEurope ed., España, 2011, Disponible en: [www.sfe-solar.com](http://www.sfe-solar.com).
- ALONSO, J.A.: “Cálculo de instalación. Manual para instalaciones fotovoltaicas autónomas”, *Era solar: Energías renovables*, 197: 6-15, 2017, ISSN: 0212-4157.
- BÉRRIZ, L.; ÁLVAREZ, M.I.: *Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares*, Ed. Editorial Cubasolar, La Habana, Cuba, 2014, ISBN: 978-959-7113-36-2.
- BOLAÑOS, M.: “Resolución 66/2021, Gaceta Oficial de la República de Cuba”, *Gaceta Oficial de la República de Cuba*, 2021.
- CADENA AVÍCOLA: *Implementación de energías renovables en granjas avícolas: una solución sostenible y económica*. Cadena Avícola y Porcina, [en línea], Cadena Avícola, 2023, Disponible en: <https://cadenaavicola.com/implementacion-de-energias-renovables-en-granjas-avicolas-una-solucion-sostenible-y-economica/>.
- CANVI CLIMATIC: *Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)*, Inst. Oficina Catalana del CanviClimatic, Comisión Interdepartamental del Cambio Climático, Barcelona, España, 2011.
- FAO: *Revisión del desarrollo avícola*, [en línea], Inst. FAO org., USA, 2013, Disponible en: <https://www.fao.org/3/i3531s/i3531s.pdf>.
- FAO: *Revisión del desarrollo avícola*, [en línea], Inst. FAO org., USA, 2022, Disponible en: <https://www.fao.org/3/i3531s/i3531s.pdf>.
- HERNÁNDEZ, J.; PÉREZ, J.; BOSCH, I.; CASTRO, S.: *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*, Ed. Ediciones INCA, 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?”, *Revista Energía y tú*, 38, 2007.
- LEÓN, M.J.A.; MOREJÓN, M.Y.; MELCHOR, O.G.C.; ROSABAL, P.L.M.; QUINTANA, A.R.; HERNÁNDEZ, C.G.: “Dimensionamiento de un parque solar fotovoltaico para el Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA)”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 30(4), 2021, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- MASCAROS, V.: *Instalaciones generadoras fotovoltaicas*, Ed. Ediciones Paraninfo, S.A., Madrid, España, 296 p., 2015, ISBN: 978-84-283-3724-3.
- MOREJÓN, M.Y.; TORRICO, A.J.C.; MORENO, M.V.; ABRIL, H.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*, Depósito Legal: 4-1-4299-2022 p., Publicado en: La Paz-Bolivia, por el Instituto Agrario Bolivia, con el sello editorial CienciaAgro, 2022, ISBN: 978-9917-9928-0-6.
- RODES, D.N.: *Análisis técnico económico del uso de fuentes de energía solar-térmica y fotovoltaica en tipologías constructivas gran panel*, Universidad de Holguín, Facultad de Ingeniería, Departamento

- de Ingeniería Civil, Tesis de Licenciatura, Holguín, Cuba, 2017.
- SMYTH, M.: “Solar photovoltaic installations in American and European winemaking facilities”, *Journal of Cleaner Production*, 31: 22-29, 2012.
- TALAVERA, D.L.; NOFUENTES, G.; AGUILERA, J.: “The internal rate of return of photovoltaic grid-connected systems: A comprehensive sensitivity analysis”, *Renewable Energy*, 35(1): 101-111, 2012.

*Geisy Hernández-Cuello*, MSc., Investigadora Auxiliar. Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Agraria de la Habana, Cuba.

*Yanoy Morejón-Mesa*, Dr.C., Profesor Titular. Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Agraria de la Habana, Cuba. e-mail: [ymorejon83@gmail.com](mailto:ymorejon83@gmail.com) o [yymm@unah.edu.cu](mailto:yymm@unah.edu.cu).

*Darielis Vizcay-Villafranca*, MSc. Profesora Asistente, Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Agraria de la Habana, Cuba. e-mail: [darielisv@unah.edu.cu](mailto:darielisv@unah.edu.cu).

*Yordan Oscar Amoros-Capdesuñer*, Ingeniero, Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Agraria de la Habana, Cuba, Correo: [yordanoscar@unah.edu.cu](mailto:yordanoscar@unah.edu.cu).

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.