

Factibilidad de la introducción de energía solar térmica y fotovoltaica en la finca la Asunción

Feasibility of the Introduction of Thermal and Photovoltaic Solar Energy in Asuncion Farmhouse



<https://cu-id.com/2284/v14n4e09>

[✉]Darielis Vizcay-Villafranca*, [✉]Yanoy Morejón-Mesa,
[✉]Geisy Hernández-Cuello, [✉]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 la finca “La Asunción”, 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 antes mencionadas. Entre los principales resultados obtenidos se evidenció que a partir del diagnóstico energético-productivo de la finca objeto de estudio, se determinó que la instalación de un sistema híbrido compuesto por un sistema fotovoltaico aislado conformado por 74 módulos fotovoltaicos para cubrir la demanda de la vivienda y siete módulos para las actividades de riego y bombeo de agua, y para el calentamiento de agua es posible la introducción de un calentador solar, 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 del ganado o producción de semillas.

Palabras clave: fuentes renovables de energía, factibilidad económico-energética, impacto ambiental.

ABSTRACT: The present investigation was developed on the “La Asunción” farm; its objective was to determine the feasibility of the introduction of solar energy (photovoltaic and thermal) under the conditions of the aforementioned scenario. The study considered the fundamentals theoretical-methodological oriented on the two renewable energy sources addressed in the research (solar photovoltaic and solar thermal). Among the main results obtained, it was evident that from the energy-productive diagnosis of the farm under study, it was determined that the installation of a hybrid system composed of an isolated photovoltaic system made up of 74 photovoltaic module is possible satisfy the house demanding and seven photovoltaic module for irrigation and pump activities, for water heating is possible the introduction of a solar heater, 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 for livestock feeding or seed production.

Keywords: Renewable Energy Sources, Economic-Energy Feasibility, Environmental Impact.

INTRODUCCIÓN

La energía es la fuerza esencial para el desarrollo social y económico en el mundo. Los combustibles fósiles como el petróleo, el gas natural y el carbón han sido los principales recursos para proporcionar energía en el mundo (BP, 2020).

El consumo de energía global ha aumentado seriamente la presión sobre los combustibles fósiles, lo que ha provocado un aumento de los efectos del calentamiento global y los problemas del cambio climático. En consecuencia, se espera que la temperatura ambiente global aumente aproximadamente 2°C para

2050 debido a las emisiones contaminantes provocadas por los recursos energéticos no renovables (Al-Shetwi, 2022; Bastida et al., 2019).

El uso de la energía, en especial de la eléctrica, en la actividad desarrollada por la agricultura es primordial para su buen desarrollo. De hecho, es usada de formas muy diferentes: en irrigación y bombeo de agua, para hacer funcionar la maquinaria necesaria, en calefacciones para invernaderos, en el transporte de los productos tanto dentro de las propias fincas como hasta los centros donde se comercializan estos, en la transformación de los alimentos o en su propia conservación. El uso de la electricidad permite, por

*Autora para correspondencia: Darielis Vizcay-Villafranca

e-mail: darielisv@unah.edu.cu o darielisvizcayvillafranca@gmail.com.

Recibido: 13/02/2024

Aceptado: 10/09/2024

tanto, que los diferentes sectores de la agricultura nacional, como pueden ser los de regadío o secano, realicen su producción de manera efectiva (Total Energies, 2022).

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 el país es aún limitado en comparación con otros países donde su producción llega a un 35 % de la energía generada (Obaideen et al., 2021).

Actualmente, tan sólo el 4,5% de la energía nacional procede de fuentes de energía renovable. Como parte de una política de Estado en su plan de desarrollo hacia 2030, en la isla se trabaja en varios proyectos, a pequeña escala, relacionados con energía, por solo citar alguno de estos: instalación de bioeléctrica en la provincia Holguín e instalación de sistemas solares fotovoltaicos con altos niveles de producción de electricidad en las provincias de Cienfuegos y Las Tunas, que pretenden abastecer de energía limpia a pequeñas comunidades (ICEX, 2022).

La finca La Asunción, tiene como objetivo abastecer lo máximo posible a la comunidad de San José de las Lajas, con los productos producidos en la finca ya sean de origen agrícola o pecuario, esta finca se encuentra enlazada al sistema electro energético nacional, el cual se ve afectado por la carencia de combustibles fósiles. Mediante la presente investigación se prevé la implementación de la energía solar (fotovoltaica y térmica) para generar calor, energía eléctrica, de modo que sea sustentable este sistema de producción.

Por lo elementos 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 la finca La Asunción.

MATERIALES Y MÉTODOS

La finca La Asunción perteneciente a la CCS (Cooperativa de créditos y servicios), es una unidad destinada a la producción agropecuaria, con fines de aportar a la comunidad alimentos naturales y frescos. Se encuentra ubicada a los 22°98'24.4 latitud norte, y 82°14'11.15 longitud Oeste, en el municipio San José de Las Lajas, provincia Mayabeque, Cuba.

El área total es de 23 ha, con suelo 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. Las variables meteorológicas registradas durante el periodo enero-septiembre/2023 en la Estación Meteorológica Tapaste, 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 expresó su tope máximo de 3,6 km/h durante el mes de agosto. El comportamiento de estas variables climáticas permite desarrollar satisfactoriamente la ganadería lechera y la agricultura.

La finca tiene destinada a la siembra unas 18 ha aproximadamente, las cuales actualmente están sembradas de malanga en su mayoría, el anterior cultivo sembrado fue maíz intercalado con frijol, dichos cultivos son regados por una bomba de agua sumergible de 245 W, la cual cubre las necesidades de riego por gravedad hacia toda la siembra de malanga, en el cultivo del maíz y frijol, la bomba suministra el agua a un sistema de riego por aspersión.

En la finca se cuenta con un rebaño de 60 ovejas que se pastorean en la misma finca en horarios de la mañana, luego pasan a un corral destinado para su descanso, el ganado mayor se encuentra en las mismas condiciones siendo un total de cinco vacas adultas y tres terneros.

Para complementar la alimentación de estos ganados la unidad cuenta con un molino forrajero, el cual es utilizado para la elaboración de alimentos más nutritivos para el ganado. Dicho molino tiene un consumo de 4,5 kW/t.

El consumo energético de la vivienda de la finca se toma en cuenta para la evaluación energética, dado que ese consumo energético es destinado a la calidad de vida de los trabajadores y su familia. En la [Tabla 1](#) se relaciona el consumo energético total de la finca.

TABLA 1. Consumo energético total de la finca La Asunción

Portadores Energéticos	Potencia, kW	Tiempo de Operación, h	Energía consumida/día, kWh/día	%
Vivienda	0,93	24	22,26	51,76
Bomba de Agua sumergible	0,245	8	1,96	4,49
Molino forrajero	4,5	4	18	41,80
Lámpara led de 20W (1)	0,02	14	0,28	0,65
Lámpara led de 40W (1)	0,04	14	0,56	1,30
Total			43,06	100

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.

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

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:

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

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 según [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:

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

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:

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

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

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:

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

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

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.

Según Prado (2008), 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:

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

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:

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

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 20L por persona con una temperatura de 55°C (Aguilera, 2021; Bériz & Álvarez, 2014).

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} : $3,6 \cdot 10^6 \text{ J/kWh}$

m : masa de agua, kg

C_e : calor específico del agua, $4187 \text{ J/}^\circ\text{C} \cdot kg$

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 DISCUSIÓN

Valoración técnico-económica de la introducción de la energía solar fotovoltaica en las condiciones de la finca La Asunción

Para la realización de la propuesta de un sistema solar fotovoltaico en áreas de la finca, se consideran los paneles solares comercializados por la empresa cubana COPEXTEL. Los datos técnicos correspondientes se muestran en la [Tabla 2](#).

Además, se seleccionaron las baterías Trojan, cuyos datos técnicos se muestran en la [Tabla 3](#).

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.

Dado el alto consumo de la finca La Asunción y en especial el bombeo de agua se determinó el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico:

- Valorándose la introducción de un sistema de bombeo solar PS2-150 C-SJ5-8 Marca LORENTZ.

En el caso específico de la última variante, este sistema de bombeo solar, está compuesto por: dos paneles solares, un Controlador PS2-150 y una bomba sumergible con carga máxima de 20 m y un gasto máximo de $4,6 \text{ m}^3/\text{h}$ ($1,2 \text{ L/s}$)

En la [Tabla 4](#) se resumen los valores de los parámetros del dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico, considerando el sistema de bombeo existente.

TABLA 2. 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 3. 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 4. Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico para la vivienda y análisis económico de las propuestas

Parámetro	Símbolo	Valor
Consumo medio diario en toda la instalación	E_{mdn} , kWh	22,32
Consumo medio de corriente diario en toda la instalación	Q_{Ah} , $Ah/día$	22,32
Corriente que debe generar el campo fotovoltaico en el mes crítico de radiación solar	$I_{gfv, mpp}$, A	0,93
Total de paneles solares	N_p	19
Total de módulos fotovoltaicos	N_m	74
Área requerida	A_r , m^2	57,72
Energía a producir con el sistema fotovoltaico	E_p , kWh	554,15
Costo de Inversión	C_{inv} , $peso$	226 278,62

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

TABLA 5. Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico para la bomba de agua y análisis económico de las propuestas

Parámetro	Símbolo	Valor
Consumo medio diario de la instalación	E_{mdn} , kWh	1,96
Consumo medio de corriente diario	Q_{Ah} , $Ah/día$	1,96
Corriente que debe generar el campo fotovoltaico en el mes crítico de radiación solar	$I_{gfv, mpp}$, A	0,25
Total de paneles solares	N_p	2
Total de módulos fotovoltaicos	N_m	7
Área requerida	A_r , m^2	5
Energía a producir con el sistema fotovoltaico	E_p , kWh	48,6
Costo de Inversión	C_{inv} , $peso$	19 870,34

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

Como se puede observar en la Tabla antes mencionada, con la utilización de la energía solar fotovoltaica, es posible disminuir los costos

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 CO₂ no emitida al medioambiente se demuestra la factibilidad

económica y ambiental de la introducción del sistema fotovoltaico en La Asunción.

A modo de resumen con la instalación de paneles fotovoltaicos, se puede satisfacer la demanda energética de la finca objeto de estudio, pero resulta valido establecer un sistema híbrido que posibilite reducir los costos y cubrir la demanda.

Valoración técnico-económica de la introducción de la energía solar térmica (calentadores y secadores solares) en las condiciones de la finca La Asunción

Para la determinación de la tecnología de calentadores solares en las condiciones de la finca “La Asunción”, se tuvo en cuenta la cantidad de calentadores que se deben utilizar para la correcta higienización de los habitantes en la vivienda.

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

Como se puede observar en la [Tabla 7](#) en la finca es necesario un total de 20 litros de agua caliente para la correcta higienización de las personas, considerándose que son 5 los habitantes de la familia en la vivienda, lo cual hace un total de 100 litros al día.

Para la realización de la propuesta de calentadores para la finca, 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 es considerado necesario esta tecnología en la finca La Asunción, ya que esta finca compra las posturas ya listas para la siembra en los viveros a otros productores de la zona. Por otra parte, no procesa ningún tipo de alimento animal en el que se requiera secado solar.

Como se puede observar en las [Tablas 5](#) y [10](#), si se considera la inversión requerida para ambas tecnologías, la cual asciende a 246 148,96 peso para el caso del sistema fotovoltaico aislado y el sistema de bombeo solar y a 9 650 peso para el caso del calentador solar, alcanzándose un valor total de 255 798,96 peso y se analiza la inversión en función de la producción de leche que asciende a 55,3 L/día y el precio de la leche equivalente a 20 peso/L, entonces es posible recaudar 1 106 peso/día (33 180 peso/mes), por lo que es posible recuperar la inversión en 0,74 año (8,8 meses).

CONCLUSIONES

- Los fundamentos teórico-metodológicos planteados posibilitaron determinar la factibilidad de la introducción de la energía solar (térmica y fotovoltaica) en las condiciones de la finca La Asunción.

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

Parámetro	Valor estimado
Energía eléctrica dejada de consumir, kW/día.	43,06
Energía eléctrica ahorrada, kWh/año.	100 633,15
Masa de CO ₂ dejada de emitir a la atm, t/año.	1 981
Masa de combustible fósil para producir electricidad, t/año.	35 042,47

TABLA 7. Cantidad de agua caliente necesaria para la vivienda

Cant. de trabajadores	Demanda de agua para la higienización N _c (H ₂ 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	99,7

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	5,30
Energía eléctrica, kWh/año	1 934,5
Masa de CO ₂ dejada de emitir a la atm, t/año.	2 185,98
Masa de combustible fósil para producir electricidad, t/año.	971,5

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				9 650

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

- A partir del diagnóstico energético-productivo de la finca objeto de estudio, se determinó que la instalación de un sistema híbrido conformado por un sistema fotovoltaico aislado, un sistema de bombeo solar 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 del ganado o producción de semillas, que se establecen en dicho escenario.
- La inversión total (instalación y montaje de un bloque de paneles fotovoltaicos aislados, para la electrificación de la vivienda y el bombeo solar), así como la instalación de un calentador solar) es posible recuperarla en un periodo de 0,74 años (8,8 meses).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilera, P. G. (2021). Aspectos prácticos de las instalaciones de calentadores solares. *Eco Solar*, 76, 9-20.
- Alonso, J. A. (2011). *Manual para instalaciones fotovoltaicas autónomas* (SunFieldsEurope). Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma. www.sfe-solar.com
- Alonso, J. A. (2017). Cálculo de instalación. Manual para instalaciones fotovoltaicas autónomas. *Era solar: Energías renovables*, 197, 6-15, ISSN: 0212-4157.
- Al-Shetwi, A. Q. (2022). Sustainable development of renewable energy integrated power sector: Trends, environmental impacts, and recent challenges. *Science of the Total Environment*, 822, 153-645. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153645>
- Bastida, L., Cohen, J. J., Kollmann, A., Moya, A., & Reichl, J. (2019). Exploring the Role of ICT on Household Behavioural Energy Efficiency to Mitigate Global Warming. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 103, 455-462. <https://doi.org/10.1016/j.rser>.
- Bérriz, L., & Álvarez, M. I. (2014). *Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares*. Editorial Cubasolar.
- Bolaños, M. (2021). Resolución 66/2021, Gaceta Oficial de la República de Cuba. *Gaceta Oficial de la República de Cuba*, 0864-0793, e-ISSN-1682-7511.
- (2020). *BP Statistical Review of World Energy*. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>.
- Canvi Climatic. (2011). *Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)*. Oficina Catalana del CanviClimatic, Comisión Interdepartamental del Cambio Climático.
- Hernández, J., Pérez, J., Bosch, I., & Castro, S. (2015). *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. Ediciones INCA.
- Hernández, L. (2007). Sistemas fotovoltaicos ¿Autónomos o conectados a la red? *Revista Energía y tú*, 38.
- ICEX. (2022). *Cuba plantea nuevos objetivos para generar energía renovable. España*. <https://www.icex.es>
- León, M. J. A., Morejón, M. Y., Melchor, O. G. C., Rosabal, P. L. M., Quintana, A. R., & Hernández, C. G. (2021). Dimensionamiento de un parque solar fotovoltaico para el Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 30(4), ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- Mascaros, V. (2015). *Instalaciones generadoras fotovoltaicas*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Obaideen, K., AlMallahi, 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, 100-123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2021.100123>

- Prado, C. (2008). *Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada*. IE-502 Proyecto Eléctrico [Tesis en opción de Bachiller en Ingeniería Eléctrica]. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Total Energies. (2022). *Electricidad en la Agricultura; el sector agrario se decanta por las energías renovables*. <https://www.totalenergies.es/es/pymes/blog/>

Darielis Vizcay-Villafranca, Ing., Profesora Instructor, 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. Correo: ymorejon83@gmail.com o ymm@unah.edu.cu.

Geisy Hernández-Cuello, MSc., Investigadora Auxiliar. Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Agraria de La Habana, Cuba. Correo: geisyh@unah.edu.cu.

Yordan Oscar Amoros-Capdesuñer, Ing., Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Agraria de La Habana, Cuba. Correo: yordanoscar@unah.edu.cu.

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

AUTHOR CONTRIBUTIONS: **Conceptualization:** D. Vizcay Villafranca, Y. Morejón Mesa, G. Hernández Cuello. **Data curation:** D. Vizcay Villafranca, Y. Morejón Mesa, **Formal Analysis:** D. Vizcay Villafranca, G. Hernández Cuello; Y. Morejón Mesa. **Investigation:** D. Vizcay Villafranca, Y. Morejón Mesa, Y. Amoros Capdesuñer. **Methodology:** D. Vizcay Villafranca, Y. Morejón Mesa. **Supervision:** D. Vizcay Villafranca, Y. Morejón Mesa, G. Hernández Cuello. **Validation:** D. Vizcay Villafranca, Y. Morejón Mesa, Y. Amoros Capdesuñer. **Writing - original draft:** D. Vizcay Villafranca, Y. Morejón Mesa, Y. Amoros Capdesuñer. **Writing - review & editing:** D. Vizcay Villafranca, Y. Morejón Mesa; G. Hernández Cuello.

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.

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/)