**III CONFERENCIA INTERNACIONAL DE DESARROLLO ENERGÉTICO SOSTENIBLE CIDES 2023**

**Potencialidades para una transición energética resiliente en vaquerías típicas en Cuba**

***Potentialities for a resilient energy transition in the State Livestock Enterprise in Cuba***

**Lisbet Mailin López González1, Yudelkys Ponce Valdés2, Julio Pedraza Garciga3, Ernesto Barrera Cardoso4.**

1. Lisbet Mailín López González. Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”, Cuba. Email: [llopez@uniss.edu.cu](mailto:llopez@uniss.edu.cu).
2. Yudelkys Ponce Valdés. Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez” Cuba. [yponce@uniss.edu.cu](mailto:yponce@uniss.edu.cu).
3. Orestes Hermida Garcia. Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez” Cuba. [fhermida@uniss.edu.cu](mailto:fhermida@uniss.edu.cu).
4. Julio Pedraza Garciga. Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”, Cuba. Email: [jpedraza@uniss.edu.cu](mailto:jpedraza@uniss.edu.cu).
5. Ernesto Barrera Cardoso. Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”, Cuba. Email: [ernestol@uniss.edu.cu](mailto:ernestol@uniss.edu.cu).

**Resumen:**

En el 2030, la demanda global de electricidad se espera incremente 1.3 veces respecto a la del 2019. Se llama a un cambio de como la sociedad produce y consume la energía, de forma tal que se logren reducir 37 gigatoneladas de emisiones anuales de CO2 en el 2050. La motivación hacia la transición está dirigida a asegurar un suministro energético confiable, con fiabilidad, acceso, asequible y la sostenible. Para Cuba la transición es impostergable dado el estado de las centrales termoeléctricas, la falta de inversiones y el déficit de combustible. Esta situación afecta producciones importantes del país como la de leche por los cortes de electricidad en sus vaquerías típicas. Es objetivo de este trabajo identificar las potencialidades para una transición energética resilente en vaquerías típicas de Cuba, a partir de un estudio de caso realizado en la empresa pecuaria Managuaco de la provincia de Sancti Spíritus. En el trabajo se identificaron potencialidades relacionadas con: 1) Servicio eléctrico ininterrumpido y de calidad en vaquerías típicas mediante la instalación de un sistema de generación por paneles fotovoltaivos aislados anclados al techo con almacenamiento de energía, 2) Aprovechamiento de los estiércoles generados en las vaquerías típicas para producción de biogás, posterior compresión, almacenamiento y distribución a una red de consumidores, 3) Bombeo solar de agua limpia para consumo en cada vaquería, 4) Bombeo solar del digestato líquido del biodigestor para fertirriego de pastos cercanos a la vaquería.

***Abstract:***

*In 2030, global electricity demand is expected to increase 1.3 times compared to 2019. It calls for a change in how society produces and consumes energy, so that 37 gigatons of annual* CO2 *emissions are reduced by 2050. The motivation towards the transition is aimed at ensuring a reliable energy supply, reliability, access, affordability and sustainability. For Cuba, the transition cannot be postponed given the state of the thermoelectric plants, the lack of investment and the fuel deficit. This situation affects important productions of the country such as milk due to electricity cuts in its typical dairy farms.* *The objective of this work is to identify the potentialities for a resilient energy transition in typical dairy farms of Cuba, based on a case study carried out at the Managuaco livestock company in the province of Sancti Spíritus. The work identified potentialities related to:* *1) Uninterrupted and quality electrical service in typical dairy farms through the installation of a generation system by insulated photovoltaic panels anchored to the roof with energy storage, 2) Use of manure generated in typical dairies for biogas production, subsequent compression, storage and distribution to a network of consumers, 3) Solar pumping of clean water for consumption in each dairy, 4) Solar pumping of the liquid digestate of the biodigester for fertigation of pastures near the dairy.*

**Palabras Clave:** Transición energética; empresa ganadera, biogas, solar fotovoltaica.

***Keywords:*** *Energy transition; state livestock company, biogas, photovoltaic solar.*

**1. Introducción**

Los indicadores de transición energética recopilados por la Agencia Internacional de Energía Renovable IRENA (IRENA 2023) muestran que se necesita una aceleración significativa en todos los sectores energéticos, desde una electrificación más profunda del transporte y el calor para el uso final, hasta el uso directo de las energías renovables. Los retrasos no hacen más que agravar el ya difícil reto de cumplir los niveles de reducción de emisiones definidos por el IPCC en 2030 y 2050 para una trayectoria de 1,5 °C (IPCC, 2022).

La demanda de energía, de acuerdo a IRENA 2023, podría triplicarse para 2050 a través de una extensiva electrificación de los sectores de uso final, 37% sería abastecida por energía solar y 36% por energía eólica. Para 2030, la capacidad instalada de energía renovable necesitaría expandirse casi cuatro veces para encarrilar al mundo hacia la transición. Esto representa un incremento en el mix de generación del 9 % actual al 46 % en 2030. La bioenergía para usos modernos en diversas formas (es decir, biomasa sólida, biogás, biometano y biocombustibles líquidos) deben suministrar el 22% del total de la energía primaria para 2050; 2,5 veces superior a los niveles actuales. En este contexto la aceleración de la transición energética es esencial para alcanzar una seguridad energética a largo plazo, estabilidad en el precio y resiliencia nacional (IRENA, 2023).

Sobre esta base, el Gobierno cubano quiere ampliar la matriz energética del país con una mayor incorporación de las FRE, y llevar la participación de las mismas desde un 4,3% hasta un 24% en el 2030. La Política para el Desarrollo Perspectivo de las Fuentes Renovables y la Eficiencia Energética fue promulgada en junio de 2014 (Consejo de Ministros, 2014), y es coherente con el Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030 (PCC, 2017), con el Plan del Estado para el enfrentamiento al cambio climático (Tarea Vida) (Citma, 2017), con los Lineamientos del Partido Comunista de Cuba, que destaca potenciar el aprovechamiento de las distintas FRE, incluido el biogás (PCC, 2021).

Cada empresa debe ser capaz de potenciar la eficiencia energética y el desarrollo de fuentes renovables de energía, garantizando un suministro energético confiable, diversificado, moderno, a precios competitivos y en condiciones de sostenibilidad ambiental, mitigando los efectos del cambio climático y a promover un desarrollo económico menos intensivo en carbono (PCC 2017).

En el 2022 existían en el país 2 328 mil cabezas de ganado vacuno hembras y 1 884,8 mil cabezas de ganado macho de acuerdo a la publicación del ONEI 2022. La existencia promedio de vacas de ordeño era de 328.1 miles cabezas, de estas 42.3 miles de cabezas en el sector estatal. El rendimiento diario de leche por vaca en ordeño descendió de 5 L en 2018 a 2,5 L en 2022 para el sector estatal. Además de la raza, existen otras condiciones que pueden incidir en la cantidad de leche producida por una vaca, ordeño mecanizado, alimentación de calidad, higiene, controlar el estrés calórico, entre otros. Igualmente, el ordeño se debe efectuar en horarios fijos, una o dos veces al día. Sin embargo, en las condiciones actuales en Cuba, caracterizada por un suministro energético inestable, además de una crisis económica que afecta la importación de fertilizantes, se hace difícil lograr las condiciones óptimas para lograr producciones superiores de leche. Es objetivo de este trabajo identificar las potencialidades para una transición energética resilente en vaquerías típicas de Cuba, a partir de un estudio de caso realizado en la empresa pecuaria Managuaco de la provincia de Sancti Spíritus.

**2. Metodología**

Para el diseño de la investigación se realizó primeramente la caracterización de una vaquería típica perteneciente a la empresa pecuaria Managuaco, provincia de Sancti Spíritus, Cuba. Se eligió la vaquería número 17 de dicha empresa. Luego se identificaron los potenciales para una transición energética resilente basado en la implementación de la energía solar fotovoltaica, biogás, bombeo solar, calentamiento solar.

A continuación, se presenta la metodología a seguir para cada sistema.

* 1. Cálculos para una instalación de Energía solar Fotovoltaica autónoma.

1er paso: Se estimó la demanda energética cada uno de los procesos tecnológicos que se ejecutan para las condiciones actuales.

2do paso: Se estudió la característica solar de la zona donde se encuentra ubicada la vaquería, de acuerdo a información brindada por el Centro Meteorológico Provincial de Sancti Spíritus. Se obtuvo la radiación solar incidente, definiéndose la inclinación y orientación de los módulos.

3er paso: Se determinó la cantidad necesaria de paneles solares a utilizar de 450 Wp de potencia máxima que cubra la demanda de la vaquería, de acuerdo a la ecuación 1.

|  |  |
| --- | --- |
|  | Ec. 1 |

Dónde: ED es la demanda diaria de energía (kWh), Ef es el rendimiento del sistema, Wp es la potencia pico del módulo (Wp) y HSP es la cantidad de horas sol pico (radiación solar/1 kW/m2).

Para realizar los cálculos se tuvo en cuenta el rendimiento del sistema o rendimiento energético de acuerdo con la dependencia de la eficiencia con la temperatura, la eficiencia del cableado, pérdidas por dispersión de parámetros y suciedad, pérdidas por errores en el seguimiento del punto de máxima potencia, eficiencia energética del inversor, entre otros. Se utilizó un valor de 0.8.

4to paso: Para el dimensionamiento del sistema se tuvo en cuenta todos los componentes que lo integran. Se diseñó la capacidad de los acumuladores lo cual es una necesidad para alcanzar autonomía en horarios de ordeño donde no hay sol (antes 7 AM). Se establece cómo se haría el anclaje al techo de las naves.

* 1. Cálculos para el potencial de biogás

Para el cálculo del potencial disponible de biogás se utiliza la ecuación 2.

|  |  |
| --- | --- |
| Pbiogás = Nro animales\*β \* Mresiduo \* Ybiogás | Ec. 2 |

Donde Pbiogás es el potencial disponible de Biogás expresado en m3 por día (m3/d), β: factor que expresa la cantidad de residuo que puede aprovecharse con respecto al total (tiempo de estabulación/24 h, 8h/24h), Mresiduo: cantidad de residuo generado, expresado en toneladas por día (tMF/d) (20 kgMF/d = 0.02 tMF/d), Ybiogás: rendimiento teórico del biogás expresado en m3 por tonelada de materia fresca (MF) (m3/tMF). Para el estiércol vacuno Ybiogás está en un rango entre 25-35 m3/tMF.

El consumo de biogás puede variar a razón de 0,33-0,50 m3 por persona-día en viviendas y a razón de 0,15-0,20 m3 por persona-día en comedores (Tabla 1).

**Tabla 1.** Índices de consumo (IC) de biogás para la cocción de alimentos

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Índices de consumo | IC (m3 /d) | Referencias |
| Cocción/vivienda | 1,50-1,70 | ([López-Savran and Suárez-Hernández, 2018](#_ENREF_8); [Hermida, 2020](#_ENREF_6)) |
| Cocción/persona en 1 vivienda | 0,33-0,50 | ([López-Savran and Suárez-Hernández, 2018](#_ENREF_8); [Hermida, 2020](#_ENREF_6)) |

**3. Resultados y discusión**

3.1 Caracterización de una vaquería típica.

Las vaquerías típicas pertenecientes a empresas ganaderas estatales en Cuba fueron construidas en la década de 1990 para 120 o 288 animales, y con una alimentación basada fundamentalmente en pastos y forrajes. Alrededor de cada vaquería se concibió un área para la siembra de pastos de aproximadamente 40 ha, que permitiera la rotación de los rebaños por cuartones. En la actualidad se usa el ordeño mecánico, y la infraestructura consiste en tres naves de sombra, sala de ordeño, cunero, recría y estercolero (Fig. 1).

T

|  |  |
| --- | --- |
| E | Leyenda:  : Casa del vaquero  T: Tanque para purines  E: Estercolero |

**Fig 1.** Vista satelital de una vaquería típica de la Empresa Pecuaria Managuaco.

La vaquería 17 de la empresa Managuaco cuenta con 120 vacas lecheras como promedio de un genotipo mestizo 5/8 Holstein 3/8 Cebú. Las vacas permanecen estabuladas 8 horas/día, en tres naves acondicionadas para los animales. Además, está la casa del vaquero, adaptada en la nave de recría (Fig. 1). También existe un estercolero formado por tres paredes de concreto para la disposición manual del estiércol, y cuatro tanques de purines de 3.8 x 2.8 x 2 m, los cuales se encuentran abandonados.

El estiércol es colectado diariamente y acumulado en una pila en el estercolero por meses, hasta que es recogido por empresas interesadas para su uso como biofertilizante. La vaquería no hace uso de este material como abono orgánico lo cual afecta la productividad del suelo y plantas lo cual incide en el rendimiento productivo de los animales.

3.2 Identificación de potencialidades para la implementación de la Energía solar Fotovoltaica.

Las Figura 2 y 3 muestran cómo se comporta la irradiación, el índice de claridad y la irradiancia por meses para la implementación de la solar FV en la empresa pecuaria Manacuaco. El promedio de Horas de sol pico (energía por unidad de superficie que se recibiría con una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m2) para la región de Sancti Spíritus es de aproximadamente 5 kWh/m2/d. Ello quiere decir que durante aproximadamente 5 horas al día los paneles FV proporcionarían su potencia pico, lo que se considera buen rendimiento (Ponce, Martínez y Rega, 2020).

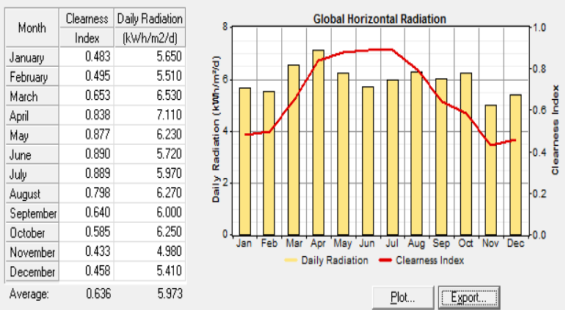


Figura 2. Horas de sol pico (HSP) e Índice de claridad.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos aportados por el Centro Meteorológico Provincial de Sancti Spíritus empleando HOMER Legacy (v2.68 beta)

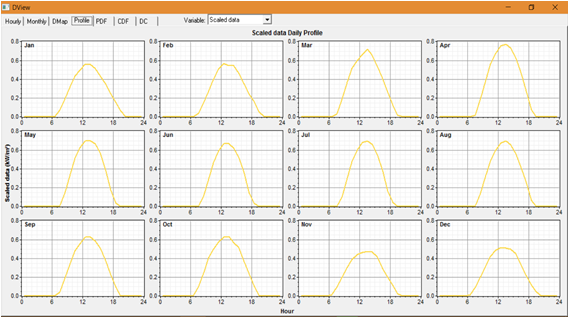


Figura 3. Irradiancia (Hora de salida del sol y hora de puesta)

Fuente: Elaboración propia a partir de datos aportados por el Centro Meteorológico Provincial de Sancti Spíritus empleando HOMER Legacy (v2.68 beta)

Para instalaciones FV híbridos, o sea conectados a la red y con almacenamiento, en las que los módulos fotovoltaicos van sujetos a una estructura fija, la inclinación de los módulos debe favorecer la máxima producción de energía al año. Según estudios realizados por el Centro Meteorológico Provincial, en la zona donde está ubicada la vaquería 17 de la empresa Managuaco los paneles deben estar inclinados al sur con un ángulo de inclinación de aproximadamente 150.

Para cubrir la demanda de energía por de la vaquería 17 de la empresa Managuaco, que incluye el sistema de conservación de la leche (termo), sistema de ordeño, iluminación de los establecimientos y bombeo de agua. Se requiere de un total de 7 paneles de 450 Wp conectados en serie que generen el 30% por encima de 10.33 kWh/d, que es el consumo actual. El intervalo de producción mensual estaría entre 388 y 537 kWh, tal como se muestra en la figura 4 con el comportamiento entre la demanda y la producción para los 12 meses del año. Se dejarían de emitir anualmente 3.8 t CO2 al sustituir la electricidad generada en las termoelectricas con fuel por la generada con energía FV, para un índice de 804.83 g CO2/kWh.

Otro elemento importante en el diseño es la necesidad de incluir baterías de acumulación, teniendo en cuenta que los horarios de ordeño y conservación de la leche en la vaquería están fuera de los horarios de máxima generación del sistema. Se consideró que para cubrir las 24 horas de suministro de energía se necesita un sistema de almacenamiento de 8 baterías a 24 V.

Figura 4. Relación entre el consumo y la producción de energía (prevista) del sistema fotovoltaico propuesto para la Vaquería 17 Fuente: Elaboración propia

El sistema FV híbrido seleccionado está compuesto por el sistema de generación 7 paneles Solares fotovoltaicos anclados a los techos de las naves con almacenamiento de energía (8 baterías de Plomo Gel Recargable) sin mantenimiento. Además, contaría con un inversor híbrido de 2500 W para el posible caso de suministro de energía al SEN. Se seleccionó esta variante ya que la misma ahorra energía eléctrica y presenta alimentación continua, o sea reduce la facturación eléctrica y mantiene alimentación continua en caso de cortes o fallas de red. Sus principales componentes son inversor híbrido, sistema FV de conexión a red, sistema de protección, conectores MC4, sistema de almacenamiento de energía, metro contador bidireccional, disyuntores y sistema de protección contra descargas eléctricas.

3.3 Identificación de potencialidades para la producción de biogás.

El potencial para la producción de biogás se estimó en 24 m3/d para una vaquería típica considerando 8 h de estabulación y 30 m3/tMF, aunque pudiera llegar a 36 m3/d para 10 h de estabulación. A partir del IC para cocción de alimentos de 1.7 m3/vivienda se estima que 14 viviendas de 4 habitantes pudieran ser beneficiadas, lo que permite un ahorro de 56 kWh/d de electricidad, considerando un índice de ahorro de 4 kWh diario por vivienda, de acuerdo a [López-Savran y Suárez-Hernández, 2018](#_ENREF_8). Se dejarían de emitir anualmente 16 t CO2 al sustituir la electricidad por biogás, para un índice de 804.83 g CO2/kWh.

Como tecnología de digestión anaerobia a utilizar para las vaquerías se propone un biodigestor tipo híbrido cubano, patente del Centro de Estudios de Energía y Procesos Industriales (CEEPI), de la Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”, de esta forma se aprovechan la estructura de los tanques de purines existente en cada vaquería típica. Para la reconversión se ubicarán dos bafles intermedios, y mangueras para la agitación con biogás presurizado; para la cubierta se utilizará geomembrana de polietileno de alta densidad (PEAD) de 1,5 mm de espesor.

El esquema de producción de biogás y digestato para una vaquería típica se presenta en la figura 5. A partir de la producción de 4.68 t de digestato o efluente del proceso de digestión anaerobia se separan dos fracciones, una líquida y una sólida. El 85% de la fracción líquida digerida (3.76 m3/d) estará disponible para el fertirriego de pastos, mientras que de la fracción sólida se obtendrán 8 t anuales de biofertilizante seco. Por cada t de fertilizante mineral reemplazado por biofertilizante seco se ahorrarían 1 t fuel, 108 t agua, y 7 t emisiones de CO2, de acuerdo a la Asociación de Biorecursos y Digestión Anaerobia de Inglaterra, por sus siglas en inglés *Anaerobic Digestion and Bioreources Association* (ADBA).



Tanque recepción

Biodigestor Híbrido

Filtro

Compresor

Bala de almacenamiento

**Influente**

Qinf=4.8 t

% Sólidos Totales=4.0

% Sólidos Volátiles=3.0

**Biogás**

QB=24 m3

CCH4=50%

H2S= 1000 ppm

**Biogás purificado**

QB=24 m3

CCH4=50%

H2S= 100 ppm

**Efluente**

Qef= 4.68 t

% Sólidos Totales=1.49

Figura 5. Esquema de una vaquería típica para la producción de biogás y digestato.

3.4 Bombeo solar

El bombeo solar para suministrar agua limpia a la vaquería y para el fertirriego de los pastos cercanos con el digestato del digestor es otra potencialidad que puede ser aprovechada.

**4. Conclusiones**

1. La demanda de energía para una vaquería típica es aproximadamente de 10.33 kWh/d, la cual incluye el sistema de conservación de la leche (termo), sistema de ordeño, iluminación de los establecimientos y bombeo de agua. Se diseñó un sistema FV híbrido compuesto por el sistema de generación 7 paneles Solares fotovoltaicos 450 MW anclados a los techos de las naves con almacenamiento de energía (8 baterías de Plomo Gel Recargable).
2. Para una vaquería típica de 120 vacas lecheras se estimó un potencial para la producción de biogás de 24 m3/d. El sistema permite la cocción de alimentos en 14 viviendas, permitiendo ahorrar 56 kWh/d de electricidad.
3. Se dejarían de emitir anualmente 20 t CO2 con el aprovechamiento de las potencialidades identificas para uso de las FRE en una vaquería típica.

**5. Referencias bibliográficas**

1. Citma (2017). Enfrentamiento al cambio climático en la República de Cuba. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, La Habana, 41 p.
2. Consejo de Ministros (2014). Política para el Desarrollo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía hasta 2030. Consejo de Ministros de la República de Cuba, La Habana, 19 p.
3. Hermida García, F. O., Barrera Cardoso, E. L., Alba, Y., López González, L., Pedraza Garciga, J., & Álvarez-Guerra Plasencia, M. A. (2020). Impacto de la producción de biogás en la matriz energética de la Granja Porcina Guayos. Revista Universidad y Sociedad, *12*(5), 254-262. Recuperado el 17 de octubre de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\_arttext&pid=S2218-36202020000500254&lng=pt&tlng=es.
4. IPCC (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Intergovernmental Panel on Climate Change. DOI: 10.1017/9781009157926.001.
5. IRENA (2023). World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway, Volume 1, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Recuperado el 17 de octubre de 2023, de http:// www.irena.org/publications.
6. López-Savran, Alexander, & Suárez-Hernández, Jesús (2018). Experiencia de suministro de biogás en una comunidad rural, en Cuba. *Pastos y Forrajes*, *41*(1), 73-79. Recuperado el 17 de octubre de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\_arttext&pid=S0864-03942018000100010&lng=es&tlng=es.
7. ONEI (2022). Anuario estadístico de Cuba 2022. Capítulo 9: Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca. Recuperado el 17 de octubre de 2023, de https://www.onei.gob.cu/sites/default/files/publicaciones/2023-10/09-agropecuario-2022.pdf.
8. PCC (2017). Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta 2030: propuesta de visión de la nación, ejes y sectores estratégicos. Conceptualización del modelo económico y social cubano de desarrollo socialista. Comité Central del Partido Comunista de Cuba, La Habana.
9. PCC (2021). Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el período 2021-2026. Comité Central del Partido Comunista de Cuba, La Habana.
10. Ponce Valdés, Y., Martínez Castro, Y., & Rega Armas, D. (2020). Dimensionamiento solar fotovoltaico y cálculo de huella de carbono de la Universidad de Sancti Spíritus. Revista Márgenes, 8(2), 32-51. Recuperado de <http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes/issue/view/1120>