



REVISTA CIENTÍFICA TRIMESTRAL DE CUBASOLAR



**REVISTA CIENTÍFICA de las  
FUENTES RENOVABLES de ENERGÍA**

**71**

DIRECTOR GENERAL

Dr. Luis Bériz Pérez

EDITORES

M.Sc. Madelaine Vázquez Gálvez  
Ing. Jorge Santamarina Guerra

CONSEJO EDITORIAL

Dr. Luis Bériz Pérez  
M.Sc. Madelaine Vázquez Gálvez  
Ing. Otto Escalona Pérez  
Ing. Miguel González Royo  
Ing. Dolores Cepillo Méndez

DISEÑO Y COMPOSICIÓN

Alejandro F. Romero Ávila

WEB MASTER

Jesús Guillermo Gil Delgado

RELACIONES PÚBLICAS

Mabel Blanco de la Cruz

CONSEJO ASESOR

Dra. Elena Vigil Santos  
Dr. Conrado Moreno Figueredo  
Dr. José Guardado Chacón  
Dr. Deny Oliva Merecio  
Dra. Dania González Couret  
Lic. Bruno Henríquez Pérez  
Lic. Ricardo Bériz Valle  
M.Sc. Mario A. Arrastía Ávila

*Eco Solar*, no. 71 / 2020

Revista científica de las  
fuentes renovables de energía  
enero-marzo, 2020  
ISSN-1028-6004  
RNPS-2220



**CETER**



DIRECCIÓN

Calle 20, No. 4113, e/ 18A y 47  
Playa, La Habana, Cuba  
TEL.: (53) 72040010; 72062061  
E-MAIL: madelaine@cubasolar.cu  
HTTP://www.cubasolar.cu



**CONTENIDO**

<b>IMPACTO DE LA PRODUCCIÓN INTEGRADA DE ALIMENTOS Y ENERGÍA A ESCALA LOCAL. LA EXPERIENCIA DE BIOMÁS-CUBA.....</b>	<b>3</b>
Jesús Suárez Hernández, Giraldo Martín Martín, Julio R. Quevedo Belki, Valentina Savran y Abel Peña Alfonso	
<b>EL FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN Y UTILIZACIÓN DEL BIOGÁS EN CUBA: EL PAPEL DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL INDIO HATUEY.....</b>	<b>6</b>
Luis Cepero Casas y Jesús Suárez Hernández	
<b>EL VIENTO URBANO Y SU INFLUENCIA EN EL DESARROLLO Y SUPERVIVENCIA DE LAS TECNOLOGÍAS DE ENERGÍAS RENOVABLES EN LAS CIUDADES.....</b>	<b>10</b>
Ernesto Yoel Fariñas Wong, Brian Flec, Héctor Baracaldo Alba y Alexeis Fernandez Bonilla	
<b>ESTUDIO COMPARATIVO INDICADORES DESARROLLO SOSTENIBLE EN LA GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ENERGÍA EÓLICA: CASO DE ESTUDIO PARQUES EÓLICOS DE GIBARA.....</b>	<b>19</b>
Angel Eugenio Infante Haynes	
<b>VALORACIÓN DEL MARCO REGULATORIO EN EL DESARROLLO DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN COPEXTEL GUANTÁNAMO.....</b>	<b>27</b>
Yanet Casal Rivera, Rafael Parúas Cuza y Happy Salas Fuente	
<b>ESTUDIO PARA LA APLICACIÓN DE LA ENERGÍA RENOVABLE EN LA EMPRESA LABIOFAM MATANZAS.....</b>	<b>33</b>
José Luis Sánchez Ávila, Marlene Orama Ortega y Juan Ramón Díaz Matos	
<b>CONVOCATORIA.....</b>	<b>55</b>

editorial  
cubasolar

# IMPACTO DE LA PRODUCCIÓN INTEGRADA DE ALIMENTOS Y ENERGÍA A ESCALA LOCAL. LA EXPERIENCIA DE BIOMÁS-CUBA

Por **Dr. C. Jesús Suárez Hernández\***, **Dr. C. Giraldo Martín Martín\*\***, **Ing. Julio R. Quevedo Belki\*\*\***,  
**M. Sc. Valentina Savran\*\*\*\*** y **Lic. Abel Peña Alfonso\*\*\*\*\***

\* Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Universidad de Matanzas, Cuba.  
E-mail: [jesus.suarez@ihatuey.cu](mailto:jesus.suarez@ihatuey.cu)

\*\* Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Universidad de Matanzas, Cuba.

\*\*\* Comité Operativo Local del proyecto Biomás-Cuba en el municipio Cabaiguán, Sancti Spiritus, Cuba.

\*\*\*\* Centro de Desarrollo Local, Gobierno Municipal de Manatí, Las Tunas, Cuba.

\*\*\*\*\* Delegación Municipal de la Agricultura en Urbano Noris, Holguín, Cuba.

## Resumen

La aplicación de la fase II del proyecto Biomás-Cuba, con un enfoque de producción integrada de alimentos y energía a escala local, en 212 escenarios productivos de 22 municipios de seis provincias cubanas, ha generado impactos productivos, económicos, sociales y ambientales. En estos impactos destacan 20 785 personas beneficiadas de forma directa, el notable aumento de la producción de alimentos, de los ingresos y la sustitución de importaciones, la creación de 372 nuevos empleos, varias tecnologías de bioenergía difundidas y en explotación, el tratamiento de residuales contaminantes, la reforestación de 458 ha, cuatro redes de suministro de biogás alimentadas por biodigestores que benefician a 53 viviendas y 272 personas que habitan en comunidades rurales, 5855 productores y especialistas capacitados, solucionados 177 focos contaminantes, mejoradas 3874 ha de suelos con bioabonos producidos con efluentes de biodigestores y diversas prácticas agroecológicas de manejo, así como el secuestro anual de 5175 t CO<sub>2</sub> equivalente, lo que contribuye a disminuir los gases de efecto invernadero y mitigar el cambio climático, además de incidir en políticas locales y sectoriales.

*Palabras clave:* Consumo eléctrico, Cayo, Villa Clara, Cuba, modelación, pronóstico.

---

## IMPACT OF INTEGRATED FOOD AND ENERGY PRODUCTION AT THE LOCAL LEVEL. THE BIOMÁS-CUBA EXPERIENCE

### Abstract

The application of phase II of the Biomás-Cuba project, with a focus on integrated food and energy production at the local level, in 212 production scenarios in 22 municipalities in six Cuban provinces, has generated productive, economic, social and environmental impacts. These impacts include 20,785 people directly benefited, the notable increase in food production, income and import substitution, the creation of 372 new jobs, various bioenergy technologies spread and in use, the treatment of residuals. pollutants, the reforestation of 458 ha, four biogas-fed biogas supply networks that benefit 53 homes and 272 people living in rural communities, 5855 producers and trained specialists, 177 contaminating sources have been solved, and 3874 ha of land with bio-fertilizers produced with effluents from biodigesters and various agroecological management practices, as well as the annual sequestration of 5175 t CO<sub>2</sub> equivalent, which contributes to reducing greenhouse gases and mitigating climate change, in addition to influencing local and sectoral policies.

*Keywords:* Integrated food and energy production, impact, local development.

---

### Introducción

Biomás-Cuba es un proyecto que desde 2009 ha generado evidencias de cómo articular la ciencia, la tecnología, la innovación y el saber campesino, en el marco de una permanente interacción ciencia-sector productivo-gobierno local-decisiones nacionales y regionales, para producir de forma integrada alimentos y energía, como una contribución al desarrollo local sostenible, con equidad y una perspectiva ambiental.

La Fase I de Biomás-Cuba (2009-2012) demostró a nivel piloto que es posible generar, a escala de finca, cooperativa, empresa estatal y comunidad, energía a partir de fuentes renovables para apoyar la producción de alimentos, logrando saltos productivos importantes y, al generar más empleos e ingresos, lograr cambios en el nivel de vida de las familias rurales, obteniendo un considerable reconocimiento de las autoridades e instituciones cubanas. La finca o pequeña empresa agroenergética exitosa constituyó el núcleo central de esa fase. El análisis costo-beneficio realizado hasta 2014 arrojó que por 1 CHF (franco suizo) invertido se lograron resultados equivalentes a 2,84 CHF, lo que denota la eficiencia del proceso.

La Fase II (2013-2016) transitó desde el sistema productivo hacia el municipio, como un todo, y se concentró en la formulación e implementación de estrategias locales de producción integrada de alimentos y energía (ELPIAE) a partir de fuentes renovables en seis municipios, en conjunto con los gobiernos y otros actores locales. Dichas estrategias se integran a los programas de desarrollo municipal y permiten fomentar procesos de innovación y crear capacidades y habilidades técnicas y sociales para fomentar el desarrollo local.

Asimismo, ha contribuido tanto a crear capacidades para la producción y utilización de la bioenergía, a partir del biogás, el biodiésel y la gasificación de biomasa, en 22 municipios, de producción de alimentos sobre bases agroecológicas, como a introducir acciones de mejora ambiental, con diferentes niveles de escala territorial y de incidencia.

Para ello, Biomás-Cuba ha creado redes multi-actorales y multi-institucionales, tanto locales, sectoriales como nacionales, en las que participan los gobiernos locales, el Ministerio de la Agricultura (Minag), la Asociación Nacional de Agricultores Pequeños (ANAP), el Ministerio de Educación Superior (MES), el Ministerio de Energía y Minas (Minem), el Ministerio de Industria (Mindus), el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (Citma), el Ministerio de Economía y Planificación (MEP), y diversos proyectos internacionales.

### Impacto productivo y económico

La Fase II de Biomás-Cuba se ejecutó en 212 escenarios productivos: fincas campesinas asociadas a Cooperativas de Créditos y Servicios (CCS), centros de investigación, granjas y Unidades Empresariales de Base (figura organizativa en las empresas estatales) (UEB) agropecuarias, Unidades Básicas de Producción Cooperativa (UBPC), Cooperativas de Producción Agropecuaria (con propiedad colectiva) (CPA) y comunidades rurales. Esos escenarios productivos se localizan en 22 municipios de las provincias

de Matanzas, Sancti Spíritus, Las Tunas, Holguín, Granma y Guantánamo. En estos 212 escenarios se han creado notables capacidades productivas de energía, alimentos y bioproductos, así como de generación de empleos e ingresos, tales como las siguientes [Suárez, 2017]:

- 372 nuevos empleos, 28 % ocupado por mujeres en igualdad de condiciones (en la Fase I: 108 y 14 %).
- Incremento de la producción de alimentos en los seis municipios participantes en la implementación de estrategias locales de producción integrada de alimentos y energía en 45,5 % respecto a 2011.
- Actualmente 7,1 % de las fincas y unidades productivas de los municipios con su estrategia integral aprobada producen alimentos y energía (Fase I: 2 %); en Cabaiguán, el municipio más destacado, alcanza 10 %.
- Ingresos de 88,7 millones CUP en los escenarios participantes y se han sustituido importaciones de alimentos, combustibles y fertilizantes por un valor de 5,9 millones USD (Fase I: 55 millones CUP y 360 000 USD) —sin considerar los ahorros en fletes marítimos.
- Tres plantas de producción de biodiésel instaladas en los municipios de Perico, Guantánamo y Media Luna.
- 176 biodigestores en operación que tratan los residuales de la producción animal, generan anualmente 1 145 317 m<sup>3</sup> de biogás y 12 000 t de bioabonos, así como posibilitan el ahorro de 388 800 kWh/año de electricidad a partir de la utilización del biogás en las fincas campesinas, además de evitar emisiones de metano, la contaminación de las cuencas hídricas y la tala de árboles para utilizar su leña como combustible doméstico. Recientemente se culminó un biodigestor laguna tapada de 5 000 m<sup>3</sup>, y se construyen otros dos de similar tecnología, pero de menores dimensiones.
- Plantación de 360 ha de *Jatropha curcas* asociada a cultivos de ciclo corto que ocupan 70 % del área en zonas agrícolas ociosas, muy degradadas e invadidas por aroma y marabú, en las provincias de Guantánamo, Holguín, Granma, Sancti Spíritus y Matanzas, en su mayoría resultado de la Implementación del Programa Nacional de Producción de Biodiésel desde 2014, como parte de la cooperación de Biomás-Cuba y el Grupo Empresarial Labiofam.
- Instalación de 52 nuevas pequeñas plantas de bioabonos y bioproductos inoculados con microorganismos para la nutrición y salud animal, el control de plagas y moscas, así como la higiene ambiental.
- Montaje de un nuevo gasificador de biomasa en el secadero de arroz de Amarillas, municipio de Calimete, provincia de Matanzas, que utilizará la cáscara residual para el secado de este grano y sustituir todo el combustible que se emplea, así como generar electricidad para el proceso productivo.

### Impacto social y ambiental

- 20 785 personas beneficiadas, de forma directa, mejoran su nivel de vida por incremento de empleos, ingresos, acceso a equipos e insumos productivos,

mejores condiciones de trabajo y disponer de diversos equipamientos domésticos y productivos que consumen biogás en 21 municipios de siete provincias (Fase I: 1198 personas beneficiadas directamente).

- Se benefician del biogás 3220 personas para la cocción, la refrigeración, el alumbrado y las actividades productivas.
- La entrega y uso a productores en 10 municipios, de cocinas, ollas arroceras, lámparas y refrigeradores alimentados con biogás, permite mejorar la calidad de vida y reducir el consumo doméstico de electricidad entre 40 y 80 % en cada casa.
- Enfoque de género transversalizado e incremento del empoderamiento de las mujeres campesinas, que han creado iniciativas de autofinanciamiento y de gobernabilidad en acciones de asociacionismo.
- Cuatro redes de suministro de biogás, alimentada por biodigestores, que benefician a 53 viviendas y 272 personas que habitan en comunidades rurales en el municipio Cabaiguán, provincia de Sancti Spíritus, y se constituyen en las primeras comunidades rurales en Cuba con una red de abasto de gas para la cocción de alimentos y otros usos, y un ahorro de 77,2 MWh/año [López *et al.*, 2016].
- 5855 productores y especialistas (46 % mujeres) recibieron capacitación en 158 charlas técnicas, talleres, cursos y días de campo, y se elaboraron 93 materiales de capacitación, comunicación y socialización, con enfoque de género, para fortalecer sus habilidades (Fase I: 752 capacitados, 37 % féminas, 54 acciones y 30 materiales).
- 137 talleres, encuentros de intercambios y recorridos a los escenarios productivos del proyecto con 136 decisores locales y nacionales (con énfasis en los asociados a los gobiernos locales y las instancias territoriales y nacionales del Minem, Minag, Citma, MEP, Mindus y MES), y se elaboraron 37 materiales de comunicación y difusión para socializar los resultados.
- Solucionados 177 focos contaminantes con la instalación de biodigestores y el gasificador. Ello permitió eliminar la contaminación generada por excretas vacunas y porcinas en los escenarios productivos, reducir la emisión descontrolada de CH<sub>4</sub> que provocan estos residuales, disminuir la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, al evitarse el uso de combustibles fósiles y leña en la cocción, con la utilización del biogás doméstico, y evitar las emisiones de óxido nitroso y amoníaco al aplicar los efluentes del biodigestor como bioabonos en sustitución de fertilizantes químicos.
- Mejoradas 3874 ha de suelos con bioabonos producidos con efluentes de biodigestores y diversas prácticas agroecológicas de manejo (Fase I: 1820 ha). Se reforestaron 458 ha, las cuales constituyen sumideros de carbono.
- Se estima que las 360 ha de *Jatropha curcas* secuestran anualmente 5175 t CO<sub>2</sub> equivalente. Cada planta de *Jatropha curcas* permite secuestrar 6 kg de CO<sub>2</sub>/

año y liberar 9 kg de O<sub>2</sub>/año, según investigaciones realizadas en el Proyecto con apoyo de laboratorios brasileños, [Sotolongo *et al.*, 2012]. Ello contribuye a disminuir los gases de efecto invernadero (GEI) y mitigar el cambio climático.

- Se desarrolló una metodología de evaluación de lo que se denominó Índice de Resiliencia Socioecológica (IRS), que contribuyó a la propuesta de un modelo de finca familiar agroecológica, con elementos que pueden favorecer la transición y resiliencia socioecológica de la agricultura familiar en Cuba [Casimiro, 2016]. El IRS se aplicó en 15 fincas campesinas de las provincias de Las Tunas (2), Holguín (1), Sancti Spíritus (3), Matanzas (8) y Mayabeque (1).

### Conclusiones

La implementación del enfoque de la producción integrada de alimentos y energía a escala local, en el marco del proyecto Biomás-Cuba, en 212 escenarios productivos de 22 municipios de las provincias de Matanzas, Sancti Spíritus, Las Tunas, Holguín, Granma y Guantánamo, generó impactos, tanto productivo, económico, social como ambiental, además de incidir en políticas locales y sectoriales.

### Agradecimientos

Se reconoce la contribución de M.V. Maikel Hernández Aguilera. Se agradece la valiosa participación de I. Figueiredo Beltrán, M. Hernández Álvarez y G. González Téllez en la confección de este artículo. De igual forma, se reconoce la imprescindible ayuda de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (Cosude).

### Referencias bibliográficas

- CASIMIRO RODRÍGUEZ, LEIDY (2016). «Bases metodológicas para la resiliencia socioecológica de fincas familiares en Cuba». Tesis presentada en opción al título académico de Doctora en Agroecología. Medellín: Universidad de Antioquia, 223 pp.
- LÓPEZ, A.; SUÁREZ, J. Y VALENTINA SAVRAN (2016). «Experiencia de suministro de biogás a una comunidad rural en Cuba: El Colorado, Cabaiguán». Documento interno de trabajo. Cabaiguán, Sancti Spíritus, Cuba: Proyecto Biomás-Cuba, 10 pp.
- SOTOLONGO, J. A.; SUÁREZ, G. J.; MARTÍN, MARLENIS CALA; MARÍA VIGIL; ODALYS TORAL; F. REYES Y H. SANTANA (2012). «Producción integrada de biodiésel y alimentos: la concepción de una tecnología agroindustrial apropiada para Cuba». En: Suárez, J. y Martín, G. J. (eds.). *La biomasa como fuente renovable de energía en el medio rural: La experiencia de Biomás-Cuba*. Matanzas, Cuba: Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, pp. 100-112.
- SUÁREZ, J. (2017). «Informe final del proyecto internacional Biomás-Cuba Fase II». Matanzas, Cuba: Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, 18 pp.

Recibido: 1ro de noviembre 2019.

Aceptado: 15 de noviembre de 2019.

# EL FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN Y UTILIZACIÓN DEL BIOGÁS EN CUBA: EL PAPEL DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL INDIO HATUEY

## *Informe de generalización de resultados*

Por **M. Sc. Luis Cepero Casas\*** y **Dr. C. Jesús Suárez Hernández\***

\* Estación Experimental Indio Hatuey, Universidad de Matanzas, Cuba.

E-mail: cepero@ihatuey.cu, jesus.suarez@ihatuey.cu

### **Resumen**

Desde 2009 la Estación Experimental Indio Hatuey promueve la producción y utilización del biogás en el sector agropecuario cubano, con el apoyo de varios proyectos internacionales y en el marco de redes multi-institucionales. Ello posibilitó la construcción de 176 biodigestores con diferentes tecnologías en 22 municipios, a lo que contribuyó la formulación e implementación de estrategias locales de producción integrada de alimentos y bioenergía, con un uso diversificado del biogás, el aprovechamiento de los efluentes en la mejora de suelos y la creación de redes de suministro de biogás; todo ello ha generado un impacto positivo en el medio rural. De esta experiencia de 10 años se extrajeron varias lecciones aprendidas, que incluyen el enfoque de producción integrada, el trabajo en red y en sinergias con numerosos actores, los procesos de innovación agrícola local, las estrategias locales, la incidencia en políticas, la incubación de nuevos proyectos, las alianzas con empresas industriales y otros proyectos, así como la sistematización y socialización de resultados.

*Palabras clave: Biogás, bioenergía, desarrollo rural local.*

---

## THE PROMOTION OF THE PRODUCTION AND USE OF BIOGAS IN CUBA: THE ROLE OF THE INDIO HATUEY EXPERIMENTAL STATION

### *Results generalization report*

### **Abstract**

Since 2009 the Indio Hatuey Experimental Station has promoted the production and use of biogas in the Cuban agricultural sector, with the support of several international projects and within the framework of multi-institutional networks. This enabled the construction of 176 biodigesters with different technologies in 22 municipalities, which contributed to the formulation and implementation of local strategies for integrated food and bioenergy production, with a diversified use of biogas, the use of effluents in soil improvement and the creation of biogas supply networks; All this has generated a positive impact in rural areas. Several lessons learned were drawn from this 10-year experience, including the integrated production approach, networking and synergies with numerous actors, local agricultural innovation processes, local strategies, policy advocacy, incubation of new projects, alliances with industrial companies and other projects, as well as the systematization and socialization of results.

*Keywords: Biogas, bioenergy, local rural development.*

---

### Introducción

El desarrollo de la producción agropecuaria ha generado importantes niveles de contaminación hídrica y gaseosa, sobre todo generada por la ganadería. Entre las soluciones para el tratamiento de estos residuos destaca la biodigestión anaeróbica, como una alternativa para tratar residuos con elevada materia orgánica biodegradable, debido a su eficiencia y factibilidad económica, su potencial para la generación de bioenergía, la reducción de gases de efecto invernadero (GEI) y la neutralización de patógenos y de la materia orgánica contaminante. Por lo tanto, este tratamiento está indicado para aguas residuales agroindustriales, con alta carga de materia orgánica biodegradable (vertidos procedentes de producción de azúcar, alcohol, cárnicos, papel, conservas y destilerías), residuos agropecuarios (purines, estiércol) y residuos urbanos.

En Cuba, a principios de los años ochenta del siglo xx la introducción de esta tecnología se enfocó principalmente a solucionar el impacto ambiental generado por destilerías y grandes centros porcinos y de engorde bovino, y cobró gran auge entre las entidades productivas, sobre todo en vaquerías e instalaciones porcinas. Luego, con el paso del tiempo un elevado número de estos sistemas fueron desatendidos, hasta que dejó de funcionar la mayoría de las plantas instaladas, lo que se debió, principalmente, a los bajos precios de la corriente eléctrica en ese momento y a la poca motivación de las entidades hacia la utilización de las fuentes renovables de energía (FRE).

Según estimaciones del entonces Grupo Porcino (GRUPOR), en 2013 existían 14 000 productores o campesinos con convenios. La cantidad de cerdos varía entre 30 y 2000, pero el rango más común es 100-120 animales [Sosa *et al.*, 2014]. Sin embargo, solo 5,5 % de los convenios poseen biodigestores como sistemas de tratamiento, un ínfimo valor que evidencia el enorme potencial existente y que no incluye el sector estatal, donde la concentración animal es muy superior.

Recientemente se presentó el Atlas Nacional de Bioenergía, en el marco del proyecto GEF-PNUD Bioenergía, liderado por la Estación Experimental Indio Hatuey (EEIH) y como resultado del trabajo conjunto entre varias instituciones científicas y grupos empresariales del Ministerio de Agricultura, que incluye las estimaciones de los potenciales de biogás en las condiciones de Cuba, con los sistemas de alimentación más utilizados y sus tecnologías de manejo y crianza, en cada una de las provincias y las diferentes formas de propiedad del ganado porcino, vacuno y avícola [Curbelo *et al.*, 2018]. El potencial nacional de producción de biogás identificado es de 144 176 436 m<sup>3</sup>/año en la ganadería cubana (datos de 2017, sin incluir las industrias azucarera y alimenticia), que representa 79 504 toneladas equivalentes de petróleo anuales y un potencial de generación de electricidad a partir del biogás en el sector ganadero cubano de 244 159 MW.h/año.

En la última década el Estado cubano le ha concebido una enorme importancia al desarrollo de las FRE, y en lo relacionado a políticas el biogás se aborda en los principales documentos estratégicos del país, tales como los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, en la Conceptualización del Modelo Económico y Social Cubano, en el Plan Nacional de Desarrollo

Económico y Social hasta 2030, así como la aprobación del Decreto-Ley 345/2017, asociado al desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía.

En todo este proceso de desarrollo de las FRE, con énfasis en la bioenergía, la EEIH ha jugado un importante papel en el fomento de experiencias, tanto asociadas al biogás como al biodiésel a partir de *Jatropha curcas* y a la gasificación de biomasa, a partir de la implementación de proyectos internacionales, como Biomás-Cuba, Agroenergía y Bioenergía, financiados por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (Cosude), la Unión Europea (UE) y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM), respectivamente.

### La Estación Experimental Indio Hatuey y su papel en fomento de la producción y utilización del biogás en Cuba

En 2009, la EEIH inició la fase I del proyecto internacional Biomás-Cuba, financiado por la Cosude, cuyo propósito en esta fase (2009-2012) fue demostrar y comunicar, a través de experiencias piloto, las alternativas tecnológicas locales para la generación de energía, a partir de la biomasa, que eran efectivas económica, social y ambientalmente para mejorar las condiciones en zonas rurales del país. Por ello, incluyó el tratamiento de excretas porcinas y bovinas mediante biodigestores para la producción de biogás y bioabonos en fincas agropecuarias de las provincias de Santiago de Cuba, Las Tunas, Sancti Spíritus y Matanzas, para la cocción de alimentos, la producción de electricidad y el alumbrado, así como el mejoramiento de suelos, a partir de los efluentes.

En este proceso se desarrolló el concepto de la finca agroenergética, concebida como: «la explotación productiva donde se desarrollan, mejoran y evalúan tecnologías e innovaciones para producir, de forma integrada, alimentos y energía, la cual se utiliza como insumo para producir más alimentos en la propia finca, con el propósito de mejorar la calidad de vida rural y proteger el ambiente» [Suárez *et al.*, 2011].

En esta fase, las tecnologías seleccionadas para la construcción de biodigestores en el marco de Biomás-Cuba fueron: 1) la cúpula fija (modelo chino), 2) el tubular plástico o de manga de polietileno con flujo continuo, y 3) la laguna anaeróbica cubierta con una geomembrana de polietileno de alta densidad (PAD), de Vietnam, aunque la más utilizada fue la primera. Se construyeron 69 biodigestores, de ellos, nueve tubulares plásticos, uno de lagunas anaeróbicas cubiertas, de 300 m<sup>3</sup>, y los restantes 59 restantes de cúpula fija [Cepero *et al.*, 2011], y se repararon varios de este último modelo y uno de cúpula flotante (hindú), que estaban inoperativos.

Estos 69 biodigestores, entre 2009-2011, abarcaron una capacidad total de digestión de 1665 m<sup>3</sup> y generaron producciones de 600 060 m<sup>3</sup> de biogás, que se utilizaron en la cocción de alimentos (lo utilizaron 1258 personas que sustituyeron gas licuado del petróleo), alumbrado, refrigeración, generación de electricidad y cocción de ladrillos; así como de 2601 t de bioabonos que se utilizaron en la mejora de la fertilidad de 1830 hectáreas de suelos (el biogás fue equivalente a 1812 barriles de petróleo y el

bioabono a 348 t de fertilizante completo NPK (12-10-10 %) [Cepero *et al.*, 2012].

Los biodigestores, además de producir biogás permiten reducir la emisión de metano proveniente de la ganadería y el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera –ambos GEI–, proveniente del uso de combustibles fósiles; la emisión de óxido nitroso y amoníaco al aplicar como bioabono los efluentes del biodigestor, y los contaminantes orgánicos presentes en los estiércoles, debido al uso de pesticidas que son descompuestos en la digestión anaerobia. Asimismo, cada 380 L de metano (CH<sub>4</sub>), formados en un digestor de biogás a presión de una atmósfera y 25°C de temperatura, reducen la carga contaminante en 1 kg de DQO [Cepero *et al.*, 2012]. En este sentido, Biomás-Cuba permitió eliminar, mediante la construcción de biodigestores, la contaminación generada por excretas vacuna y porcina en 67 escenarios productivos, lo cual generó un impacto ambiental positivo, incrementado con la utilización de sus efluentes como bioabonos.

En este proceso contribuyó un software soportado en LabVIEW 7.1, desarrollado por especialistas del Citma de Las Tunas vinculados a Biomás-Cuba, y un manual para diseñar biodigestores y sus lagunas de tratamiento secundario y terciario, cuando sean necesarias, en función de la disminución de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) del efluente líquido, lo cual permitió el diseño pertinente de biodigestores, con mayor eficiencia y menor gasto de materiales.

También se instalaron 52 plantas de producción de bioproductos a partir de efluentes de biodigestores y otros residuos, enriquecidos con microorganismos nativos, los cuales se utilizan en la sanidad animal y vegetal, la nutrición de cultivos, la eliminación de malos olores en instalaciones pecuarias y la biorremediación de lagunas contaminadas con residuales orgánicos.

Este proceso de difusión del biogás fue acompañado de una intensa capacitación a actores locales, en la que destacó la organización, en 2011, de dos cursos sobre biodigestores de laguna anaeróbica cubierta. El primero abordó la tecnología de cobertura con polietileno de alta densidad, desarrollada por el Centro de Tecnología de Biogás de Hanoi; mientras que el segundo se organizó con la empresa alemana Grupo AquaLimpia® y versó sobre el dimensionamiento, diseño y construcción de lagunas anaeróbicas cubiertas con geomembrana AQFlex®, para capacidades de digestión superiores a 300 m<sup>3</sup> y generación de electricidad a partir del biogás. Asimismo, como parte del proceso de capacitación a los productores y especialistas para favorecer el proceso de difusión y adopción de los biodigestores anaeróbicos, tanto plásticos como de cúpula fija, se elaboraron dos manuales para su diseño, montaje y operación.

Estos resultados se han generado mediante un amplio trabajo en red, lo que facilita sinergias entre actores a escala local, territorial y nacional, y también a través de un modelo de innovación orientado hacia el logro de resultados prácticos, que promovió la vinculación entre el sector académico y los productores, la implantación del concepto de finca agroenergética, el fomento de procesos de innovación agrícola local en los cuales se desarrollan y mejoran tecnologías e innovaciones con una amplia participación del beneficiario –lo que genera mejoras y la

sostenibilidad–, y el hecho de que se haya potenciado la participación y el papel protagónico de los productores/as y sus familias.

En la Fase II de Biomás-Cuba (2013-2016) se transitó desde el sistema productivo hacia el municipio, como un todo, y se concentró en la formulación e implementación de estrategias locales de producción integrada de alimentos y energía (ELPIAE) a partir de fuentes renovables en seis municipios, en conjunto con los gobiernos y otros actores locales. Dichas estrategias se integran a los programas de desarrollo municipal y permiten fomentar procesos de innovación y crear capacidades y habilidades técnicas y sociales para fomentar el desarrollo local.

Asimismo, ha contribuido tanto a crear capacidades para la producción y utilización de la bioenergía, a partir del biogás, el biodiésel y la gasificación de biomasa, en 22 municipios, de producción de alimentos sobre bases agroecológicas, como a introducir acciones de mejora ambiental, con diferentes niveles de escala territorial y de incidencia. Destacable la incidencia en el municipio Martí, provincia de Matanzas, del proyecto Agroenergía, financiado por la UE, y dirigido técnicamente por la EEIH, que promovió la construcción de 28 biodigestores en fincas campesinas.

En el caso del biogás, en esta fase se continuaron construyendo biodigestores, principalmente de cúpula fija, llegando a la cifra de 176 en operación que tratan los residuales de la producción animal, generan anualmente 1 145 317 m<sup>3</sup> de biogás y 12 000 t de bioabonos, así como posibilitan el ahorro de 388 800 kWh/año de electricidad por el uso del biogás en las fincas campesinas, además de evitar emisiones de metano, la contaminación de cuencas hídricas y la tala de árboles para utilizar su leña como combustible doméstico; además, se mejoraron 3874 ha de suelos con bioabonos producidos con efluentes de biodigestores y prácticas agroecológicas. Resalta la construcción de un biodigestor de laguna tapada de grandes dimensiones (5000 m<sup>3</sup> de capacidad de digestión), en un centro de producción porcina para la generación de electricidad a la red nacional.

Destaca la instalación de cuatro redes de suministro de biogás, alimentadas por biodigestores, que benefician a 53 viviendas y 272 personas que habitan en comunidades rurales en el municipio Cabaiguán, provincia de Sancti Spíritus, que se constituyen en las primeras comunidades rurales en Cuba con una red de abasto de gas para la cocción de alimentos y otros usos, y un ahorro de 77,2 MWh/año (López y Suárez, 2018). Este resultado recibió dos premios internacionales en 2017: el Premio Innovators Under 35 Latin-America, otorgado por Technology Review, del Massachusetts Institute of Technology, y el 6to lugar en Energía, de 2409 propuestas, en los Premios Latinoamérica Verde, que otorga Soluciones Ambientales Totales (Ecuador) en alianza con el PNUD.

En general, se benefician del biogás 3220 personas para la cocción, la refrigeración, el alumbrado y las actividades productivas, lo cual fue apoyado por la entrega a los campesinos en 10 municipios de cocinas, ollas arroceras, lámparas y refrigeradores alimentados con biogás; esto permite mejorar la calidad de vida y reducir el consumo doméstico de electricidad entre 40 y 80 % en cada casa.

Además, 5855 productores y especialistas (46 % mujeres) recibieron capacitación, en charlas técnicas, talleres,

cursos y días de campo, y se elaboraron numerosos materiales de capacitación, comunicación y socialización, con enfoque de género, para fortalecer sus habilidades.

Los resultados alcanzados en el fomento de la producción y utilización del biogás en Cuba contribuyeron a la obtención de otros premios:

- Energy Globe National Awards, 2017, otorgado por Energy Globe Foundation (Austria), en alianza con United Nations Environment y Unesco. Entregado en Teherán, Irán.
- Premio del Ministro de Educación Superior al Resultado de Mayor Contribución al Medio Ambiente 2013.
- Premios Provinciales del Citma Matanzas 2013 y 2014.
- Premios Provinciales de Innovación en Sancti Spiritus 2013 y en Matanzas 2017.

En la actualidad, Biomás-Cuba ejecuta su fase III, que culmina en 2021; asimismo, desde 2017 se inició la implementación del proyecto GEF-PNUD Bioenergía, que incluye el desarrollo y fabricación nacional de equipos, insumos y componentes para biodigestores de laguna tapada y de equipos domésticos que consuman biogás, los cuales se validaran en dos municipios cubanos.

### Lecciones aprendidas

- El enfoque temático centrado en la *producción integrada de alimentos y energía, sobre bases agroecológicas*, y la aplicación del *concepto de finca agroenergética*.
- La *integración con los Consejos de Administración Municipal y otros actores locales, así como con los Ministerios de Energía y Minas, de la Agricultura y de Industrias*.
- Un *amplio trabajo en red entre todos los actores*, así como *sinergias* a escala local, territorial y nacional, apoyado en la creación de *plataformas multi-institucionales y multi-actorales*.
- *Vinculación entre el sector académico, los productores y decisores*
- *Intensos procesos de innovación agrícola local*, en el marco de un *modelo de innovación abierta orientado a resultados prácticos*, donde se desarrollan y mejoran tecnologías e innovaciones con amplia participación del beneficiario, para la sostenibilidad de las acciones.
- *Vínculos directos con los productores y sus familias*, lo que ha permitido acompañarlos en el desarrollo de procesos de producción sostenible, con el consecuente incremento de la participación comunitaria, a partir del *papel protagónico de los productores y sus familias*.
- La *formulación participativa de una estrategia local para la producción integrada de alimentos y energía* en seis municipios, que contribuye a implementar las estrategias de desarrollo local.
- La *incidencia en políticas públicas* nacionales, sectoriales y locales.
- La *«incubación» de nuevos proyectos* nacionales e internacionales para lograr sinergias y sostenibilidad de las acciones.

- La creación de *alianzas con grupos empresariales* cubanos del Ministerio de Industrias para el desarrollo y la producción de equipamiento e insumos para el fomento de la agroenergía.
- El fomento de *sinergias con otros proyectos internacionales e instituciones* (ministerios, gobiernos locales, empresas, organizaciones técnicas y de productores y campesinos).
- La concepción y aplicación de un *sistema de monitoreo y evaluación del proyecto* orientado a sus efectos e impacto (SMEEI), así como a brindar información clave a gestores y decisores.
- El permanente *proceso de sistematización y socialización* de resultados, experiencias, buenas prácticas, tecnologías y diseños, etc., dirigido a beneficiarios directos y gestores del proyecto, decisores de políticas y al sector científico y académico, a escala local, provincial y nacional.
- La realización de acciones de reducción de vulnerabilidades al cambio climático, mediante la adaptación y mitigación.

### Conclusiones

En la última década se ha fomentado en Cuba la producción y uso del biogás en el sector agropecuario, y en este empeño ha jugado un importante papel la Estación Experimental Indio Hatuey, con el apoyo de varios proyectos internacionales, lo que posibilitó la construcción de 176 biodigestores y un uso diversificado del biogás.

### Referencias bibliográficas

- Cepero, L.; D. Blanco y V. Savran. (2011). «Experiencias y resultados de BIOMAS-CUBA en la producción de biogás y de bioabonos a partir de efluentes de biodigestores». I Conferencia Científica Internacional «Yayabociencia 2011», 23-26 noviembre, Universidad de Sancti Spiritus, Cuba. 8 p.
- CEPERO, L.; V. SAVRAN; D. BLANCO; M. DÍAZ PIÑÓN; J. SUÁREZ Y A. PALACIOS (2012). «Producción de biogás y de bioabonos a partir de efluentes de biodigestores». En Suárez, J. & Martín, G. (Eds.): *La biomasa como fuente renovable de energía en el medio rural*. Estación Experimental Indio Hatuey, Matanzas, Cuba, p. 131-142.
- CURBELO, A.; J. SUÁREZ, R. SOSA Y MILAGROS SAUCEDO (2018). *Atlas Nacional de Bioenergía*. ONEI, Cubaenergía, Estación Experimental Indio Hatuey y GEGAN, La Habana, 50 p.
- LÓPEZ, A. Y J. SUÁREZ (2018). «Experiencia de suministro de biogás en una comunidad rural, en Cuba». *Pastos y Forrajes*, 41 (1): 73-79.
- SOSA, R.; Y. DÍAZ; T. CRUZ Y J. L. DE LA FUENTE (2014). «Diversification and overviews of anaerobic digestion of Cuban pig breeding». *Cuban J. of Agr. Sci.*, 48 (1): 67-72.
- SUÁREZ, J.; G. MARTÍN; J. SOTOLONGO; E. RODRÍGUEZ; V. SAVRAN; L. CEPERO; F. FUNES-MONZOTE; J. RIVERO; D. BLANCO; R. MACHADO; C. MARTÍN Y A. GARCÍA (2011). «Experiences of the Biomass-Cuba project. Energy alternatives from biomass in Cuban rural areas». En *Pastos y Forrajes*, 34 (4): 473-496.

Recibido: 1ro de noviembre 2019.

Aceptado: 15 de noviembre de 2019.

# EL VIENTO URBANO Y SU INFLUENCIA EN EL DESARROLLO Y SUPERVIVENCIA DE LAS TECNOLOGÍAS DE ENERGÍAS RENOVABLES EN LAS CIUDADES

Por **Dr. C. Ernesto Yoel Fariñas Wong\***, **Dr. C. Brian Fleck\*\***, **Ing. Héctor Baracaldo Alba\***  
y **M. Sc. Alexeis Fernandez Bonilla\*\*\***

\* Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, Cuba.  
Email: farinas@uclv.edu.cu

\*\* Universidad de Alberta, Edmonton, Canadá.

\*\*\* Instituto Tecnológico de Santo Domingo INTEC, Área de Ingenierías, Santo Domingo, República Dominicana.

## Resumen

La investigación está dirigida a obtener información acerca de la turbulencia del viento en ambientes urbanos para el desarrollo e instalación de las tecnologías de energía renovable, a partir de los datos captados por dos anemómetros de propala, cerca de la cornisa del Edificio AH de INTEC; los datos presentados corresponden a mediciones entre mayo 2017 a enero de 2020.

El procesamiento de la data permitió conocer que el comportamiento de la velocidad media del viento en ambos puntos de medición es similar durante todo el período. Las rosas de vientos muestran que en la ubicación del anemómetro de menor altura, la dirección del viento es más estable al tener estos registros menores dispersiones. El análisis horario del viento corresponde a un sitio cercano a la costa, donde la velocidad se eleva rápidamente al amanecer alcanzando los valores máximos al medio día, a partir de allí se ve una meseta, mientras que las velocidades nocturnas son discretas en todos los meses, siendo los mayores valores en agosto y diciembre.

Las distribuciones Weibull de la velocidad para ambos anemómetros, utilizando factores de forma  $k=2$  y de escala  $c=2,80$  con velocidad media  $2,48$  m/s, es apreciable mayor acumulación de velocidades bajas (rango 1-3 m/s) en el anemómetro No. 1, mientras que para el No. 2 (más elevado) se registra mayor acumulación en el rango de 3-7 m/s, mientras que para velocidades superiores a los 7 m/s los acumulados no tienen diferencias apreciables.

*Palabras clave:* Turbulencia del viento, viento urbano.

---

## THE URBAN WIND AND ITS INFLUENCE ON THE DEVELOPMENT AND SURVIVAL OF RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES IN CITIES

### Abstract

The research is aimed at obtaining information about wind turbulence in urban environments for the development and installation of renewable energy technologies, based on data collected by two propane anemometers, near the ledge of the INTEC Building AH, The data presented correspond to measurements between the month of May 2017 to January 2020.

The data processing allowed to know that the behavior of the average wind speed at both measurement points is similar throughout the period. Wind roses show that in the location of the lowest height anemometer, the wind direction is more stable as these records have smaller dispersions. The hourly wind analysis corresponds to a site near the coast, where the speed rises rapidly at dawn reaching maximum values at noon, from there a plateau is seen, while the night speeds are discrete in all months, the highest values being at August and December.

Weibull velocity distributions for both anemometers, using factors, of form  $k = 2$  and of scale  $c = 2,80$  with average speed  $2.48$  m/s, it is appreciable greater accumulation of low velocities (range  $1-3$  m / s) in anemometer # 1, while for # 2 (higher) there is greater accumulation in the range of  $3-7$  m/s, while for speeds greater than  $7$  m/ s the accumulated have no appreciable differences.

**Keywords:** Win turbulence; Urban Wind.

### 1. Introducción

#### Tecnologías de generación con energías renovables urbanas (Tgeru)

Se realizan investigaciones en varios institutos [Francisco-Toja 2015; Karthikeya, B. R., Negi, P. S. & Srikanth, N., 2016], para definir el comportamiento del viento en entornos urbanos y relacionar correctamente las múltiples variables que requieren ser examinadas para predecir el comportamiento del viento en entornos edificados, con vistas de no repetir los errores del pasado reciente, de considerar que las tecnologías que funcionan bien en corrientes de vientos no perturbadas lo harían en ambientes de viento turbulento [Fariñas, 2017]. El crecimiento experimentado por las Tecnologías de Generación con Energías Renovables Urbanas (TGERU), tales como paneles solares fotovoltaicos, calentadores solares o pequeñas turbinas eólicas manifiestan la necesidad de realizar estos estudios.

La instalación de turbinas eólicas pequeñas urbanas, en países como China, Estados Unidos, Reino Unido e Italia se ha incrementado apreciablemente [WWEA, 2017]. Se prevé que este mercado crezca establemente  $20\%$  anual hasta el 2020, sin embargo, si se continúan instalando en las ciudades turbinas diseñadas y evaluadas para viento sin perturbar, el crecimiento podría ser más perjudicial que beneficioso para la credibilidad de estas tecnologías [Fariñas, 2017].

El crecimiento reportado, así como el futuro de muchos programas para lograr estos acumulados se están viendo comprometidos por el insuficiente conocimiento de comerciantes y usuarios acerca de la acción del viento turbulento sobre las TGERU, Fig. 1.

En el caso de las turbinas eólicas el vertiginoso crecimiento de los grandes parques esconde que el desarrollo tecnológico de la industria de los pequeños aerogeneradores sufrió un retraso tecnológico de dos décadas respecto a las grandes máquinas [Fariñas, 2016]. Las causas de esta situación es multifactorial: falta de interés por la gran industria eólica, bajos presupuestos de investigación y desarrollo, ausencia de datos de comportamiento del viento a baja altura o de sitios de alta turbulencia, lo que conllevó tanto al bajo rendimiento de las turbinas eólicas instaladas, como la alta ocurrencia de averías. Para la segunda década del presente siglo se ha incrementado el rendimiento de estas tecnologías, gracias al empleo de herramientas computacionales y el apoyo de algunos gobiernos y centros de investigación de prestigio mundial [Glober, 2013; Baracaldo, 2017].

Mientras que las instalaciones de aprovechamiento del sol sobre cubiertas, como paneles solares fotovoltaicos o calentadores de agua en países de climas templados no sufren grandes modificaciones en el patrón de carga por la acción del viento. En climas tropicales no ocurre lo mismo, debido a la presencia de huracanes o tifones [Stenabaugh S. *et al.* 2015]. Para estos emplazamientos es necesario sistemas de anclaje que garanticen tanto la estanqueidad de las cubiertas, como mecanismos de sujeción de paneles y calentadores que garanticen rapidez y poca especialización en operaciones de montaje y desmontaje ante la presencia de estos fenómenos y la altísima generalización de estos sistemas [White C. *et al.*, 2012].



a) Restos de turbina eólica horizontal.



b) Destrucción de calentador solar sobre cubierta.

Fig. 1. Instalaciones de TGERU dañadas por la acción del viento. Elaboración propia.

La instalación de las TGERU en las cubiertas o paredes de las edificaciones genera desconfianza tanto por la seguridad estructural de las edificaciones a las cuales se adosa la tecnología, como por la «aparente» fragilidad de las estructuras en que se anclan paneles solares, calentadores de agua o aerogeneradores (Fig. 2).



Fig. 2. Calentador solar instalado sobre bastidor ligero. Elaboración propia.

Las incertidumbres sobre la magnitud y sentido de las cargas dinámicas, que afectan estas estructuras son mayores en aquellos lugares donde no se han realizado estudios de viento; sin embargo, estos son los sitios más demandados actualmente para instalar las TGERU.

Es conocida la seriedad en el registro, manejo y publicación de datos que realizan las instituciones vinculadas a los sistemas de vigilancia y procesamiento de variables meteorológicas; sin embargo, dichos registros no brindan información acerca del comportamiento del viento en la cornisa o cubierta de un edificio en específico. Los datos meteorológicos recopilados por estos sistemas, temperatura, humedad, velocidad y dirección, se utilizan para conocer la distribución general del comportamiento del viento en el entorno que se desea analizar. Estos datos son insuficientes para conocer el comportamiento del viento turbulento en el entorno donde está situada la edificación y su comportamiento puntual con la tecnología instalada sobre sus cubiertas, aun así es la estructura turbulenta del viento el principal motivo de las cargas dinámicas y de la ocurrencia de fallas estructurales, tanto en las tecnologías de energía renovable como en las edificaciones a las cuales se les adosa.

Varios autores [GWEC, 2018] utilizan en sus investigaciones los registros en páginas Web de la NASA, NREL o IRENA, en general no aportan información acerca de la dirección del viento, por lo que su utilización es limitada en la estimación del comportamiento del viento sobre la cubierta de las edificaciones.

El estudio del viento sobre las edificaciones es auxiliado actualmente con técnicas de dinámica de fluidos computacional. Autores como Wang, Q. *et al.* [2017], Guber, D. [2013] y Baracaldo [2017] han publicado ensayos numéricos con diferentes geometrías, lo que ha permitido obtener información acerca de los campos de presiones y de velocidades, líneas de corriente y comportamiento de la energía cinética turbulenta en diferentes posiciones de una misma edificación. Sin embargo, estos estudios tienen como limitante fundamental la poca capacidad de suministrarle al modelo computacional información acerca del flujo real del viento en el entorno de la edificación.

Al comparar los ensayos en túneles de viento o campañas de mediciones con anemómetros, como la presentada en esta investigación, con los resultados que se pueden obtener de ensayos numéricos [Stenabaugh S. *et al.* 2015], indican la necesidad del perfeccionamiento de los modelos numéricos actualmente utilizados, siendo estos métodos a criterio de los autores la mejor herramienta disponible dada su viabilidad económica, versatilidad y relación espacio temporal.

Al comparar los costos de una campaña de medición semejante en procesamiento de datos y duración, a cuando se realiza el estudio de instalación de un parque eólico, es indudable que los costos no se justifican dada la limitada capacidad de las TGERU. Sin embargo, es viable el desarrollo de herramientas computacionales que mediante ensayos numéricos permitan predecir el comportamiento del viento, evitando tener que hacer mediciones reales en todos los emplazamientos [Fariñas, 2016].

Razones que han llevado a plantear la necesidad de tipificar los entornos urbanos a partir de la forma geométrica predominante del entorno, la forma o tipo de cubierta, y su altura, separación entre edificaciones, vegetación predominante, horario, dirección y magnitud del viento incidente, índice de turbulencia y otros parámetros que eventualmente perturben notoriamente el patrón de los vientos locales y su interacción con las tecnologías instaladas sobre las cubiertas [Fariñas, 2017].

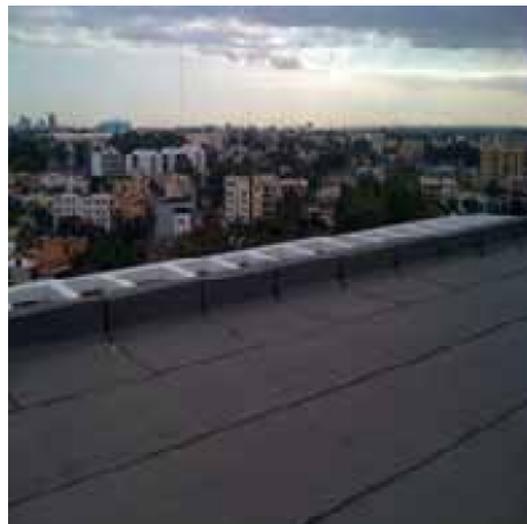
Las herramientas computacionales a desarrollar deben ser capaces de incorporar los registros de medición del viento obtenidos mediante anemómetros para diferentes geometrías de entornos urbanos tipificados, lo cual permitirá calibrar los modelos computacionales utilizando datos reales del viento [Fariñas, 2017].

En el camino de lograr lo anteriormente descrito se realiza la caracterización del viento en la cubierta de un edificio de geometría prismática en un clima tropical; los datos presentados corresponden al período comprendido entre mayo y diciembre de 2017, aunque se prevé que la etapa de medición se extienda por dos años.

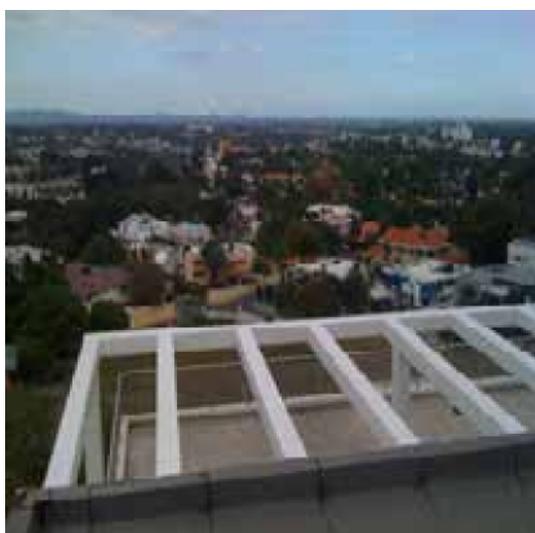
En la cubierta del edificio Ana Henríquez (AH) del Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC), fueron instalados dos anemómetros de veletas, los cuales registrarán el viento procedente de los entornos de la Fig. 3; esfuerzos similares se desarrollan en la Universidad de Alberta en Canadá con estudios semejantes en dos emplazamientos de clima frío continental.



a) Oeste



b) Sur



c) Norte



d) Este

Fig. 3. Entorno que determina el comportamiento del viento en el edificio AH. Elaboración propia.

Como hipótesis de investigación se planteó que es posible caracterizar el viento urbano tropical en edificaciones prismáticas de cubierta plana, mediante los datos censados por dos anemómetros de veleta en la cubierta del edificio AH de INTEC. El análisis de los datos favorecerá el desarrollo de métodos capaces de simular numéricamente el comportamiento del viento turbulento y su interacción con las Tecnologías de Generación de Energía Renovable Urbanas (TGERU).

Los registros de viento son recopilados por un *Data Logger Campbell ScientificCR23X*, los anemómetros de veleta instalados son del fabricante *Young* modelos *09101*, instalados en la siguiente distribución espacial: el anemómetro No. 2 está ubicado 0,81m por encima del anemómetro No. 1 y este a 1,55 m de la cubierta del edificio, siendo la separación lineal entre ellos de 2,11 m, Fig. 4. Las alturas relativas a las cuales fueron instalados los anemómetros, estuvieron establecido dado el interés en caracterizar el viento cerca de la cubierta, el cual es el que más afecta el comportamiento de las TGERU.



Fig. 4. Anemómetros de veletas Young instalados en INTEC. Elaboración Propia.

El equipamiento utilizado fue donado por la Universidad de Alberta como espejo de la investigación para el viento continental frío. El Fondo Semilla de INTEC costeo su instalación, supervisión y control, mientras los investigadores de la UCLV realizan el análisis y procesamiento de los datos.

## 2. Metodología

### Caracterización del emplazamiento de los anemómetros en el edificio ah de INTEC

El emplazamiento de los anemómetros, Figura 3, está ubicado en las coordenadas de 18,488° latitud norte y -69,962° longitud oeste; con una altura de 22,5 m sobre el nivel del terreno circundante. Como obstáculos significativos que puedan perturbar el viento en el emplazamiento se consideran, Fig. 4, en dirección Este el edificio prismático de Postgrado de INTEC y los equipos de climatización (Chiller) del propio edificio AH situados en un nivel inferior al de los anemómetros, desde el oeste se encuentran los árboles de poco follaje (*Casuarina equisetifolia*), mientras que desde el norte y del sur se encuentra elevado 3 m sobre las terrazas de los niveles inferiores, no existiendo edificaciones o árboles relativos a la altura del emplazamiento.

Se tomaron como datos de referencia para comprobar la data recopilada los recolectados en la estación meteorológica del antiguo Aeropuerto de Herrera, correspondiente al período entre el 1992-2006 [Baracaldo, 2017]. Su análisis indica como dirección predominante del viento el norte, con acumulados mucho más discretos desde el sur, la velocidad media es de 3,09 m/s, condiciones que determinaron que los anemómetros de veletas fueron situados cerca de la cornisa norte del edificio AH, Fig. 4. Algunos estudios [Karthikeya *et al.*, 2016; Baracaldo, 2017] plantean que no debe ser tan cerca de la cornisa ni a tan baja su altura, debido a que los vientos en esa zona se inclinan en un ángulo de 60° o 70°; sin embargo, los autores mantuvieron la localización descrita debido a que es la ubicación homóloga al estudio que se realizan por parte de la Universidad de Alberta en sus instalaciones.

### Clasificación temporal de los registros de los anemómetros

Los registros del *Data Logger* se agruparon en una clasificación temporal mediante la variable «Rango», correspondiente a intervalos de 15 minutos para las 24 horas, Tabla 1.

Tabla 1. Rangos de discretización de los datos horario

Rango	Intervalos de minutos	Rango	Intervalos de minutos
Q1	0-14	Q3	30-44
Q2	15-29	Q4	45-59

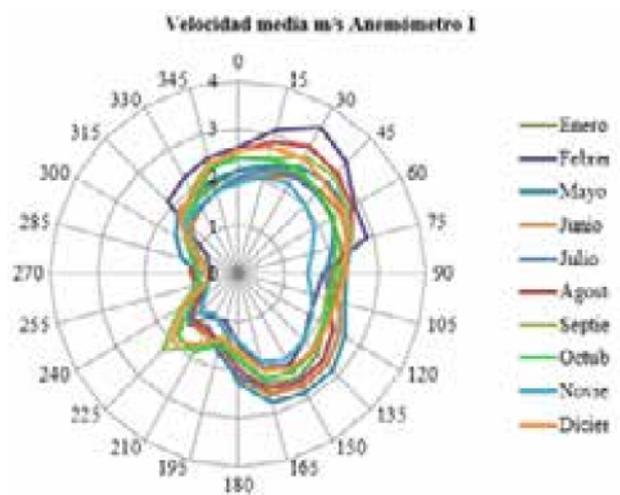
La rosa de vientos se divide en 24 sectores angulares para intervalos de 15°, donde el cero grado (0°) corresponde al franco norte. Como la precisión de las magnitudes de los ángulos registradas es de centésima, se aplicó un filtro de redondeo, de esta forma cada variable de ángulos que redondea a la unidad, va desde 0° hasta 359°. Para organizar

y analizar los datos clasificados en los rangos descritos se utiliza la herramienta de tabla dinámica de Microsoft Excel.

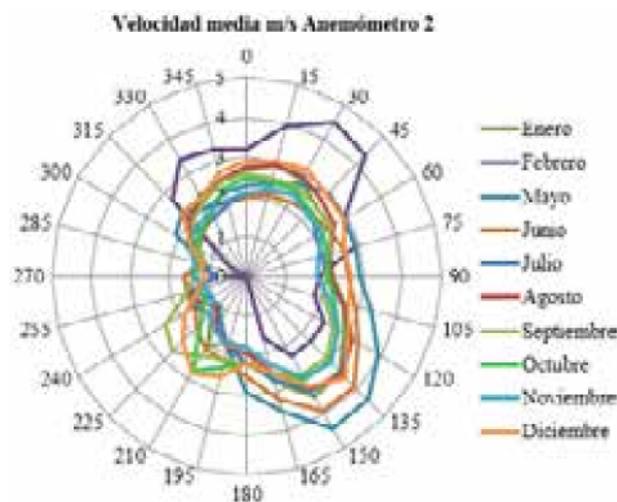
Con los arreglos descritos se construyen las rosas de vientos para los meses entre julio y diciembre de 2017, utilizando un rango de 0 a 3,5 m/s con intervalos de 0,5 m/s; Fig. 5 (a y b); siendo visible diferencias entre meses en ambos anemómetros.

## 3. Resultados y discusión

La mayor agrupación en direcciones del viento corresponden al anemómetro No. 1, mientras que las mayores velocidades promedio corresponden al anemómetro No. 2, consistente con la diferencia de altura entre ellos. Ambos equipos registraron que la dirección del viento desde el norte predomina, similar en comportamiento a los reportados desde el Aeropuerto de Herrera, razones que indican que los datos recopilados de vientos en el Edificio AH de INTEC son fiables al ser consistentes con los históricos de la zona.



a) Anemómetro No. 1.



b) Anemómetro No. 2.

Fig. 5. Rosas de viento en ambos anemómetros.

Al analizar los resultados de la Figura 5 y su influencia sobre las TGERU es notable la alta carga de vuelco que reciben los paneles solares instalados de frente al sur, (Fig. 3 d), por lo cual debe ser prevista alguna superficie que impida desde la dirección norte que el viento entre por debajo de los paneles.

Las Figs. 6 y 7 representan el comportamiento de las velocidades media respecto al rumbo en diagramas cartesianos, organización que actualmente se generaliza en los estudios del viento urbano para significar las dispersiones de las magnitudes de velocidad respecto a la dirección del viento. En la posición del anemómetro No. 2 existe tendencia a mayores dispersiones en las magnitudes de la velocidad media para un mismo rumbo, comportamiento que los autores consideran relacionado con la mayor altura y la probable ocurrencia de vórtices turbulentos de magnitudes mayores. Cuando el viento proviene del este o del oeste, la dispersión en la magnitud de las velocidades es apreciablemente menor en ambos anemómetros, lo cual

los autores han relacionado con la geometría circundante en estas direcciones, Fig. 4.

En las Figs. 6 y 7 se aprecia similar tendencia en el comportamiento de los promedios mensuales de la velocidad respecto al rumbo de procedencia, siendo excepciones los registros del anemómetro No. 2 para los ángulos desde 150° hasta 270°, para los cuales no se aprecia una tendencia definida, comportamiento que puede estar ligado con la ubicación de los anemómetros alejados de la cornisa sur y de la pared oeste. Cuando se analizan los resultados por meses sobresalen las variaciones en la magnitud de la velocidad media en los meses de ocurrencia del solsticio de invierno (diciembre) y el equinoccio de otoño (septiembre-octubre). Por lo que será necesario correlacionar estos registros de rumbos y velocidad del viento con los valores correspondientes a la radiación solar, temperatura y humedad relativa, como parte de los modelos numéricos a desarrollar y completar los dos años previstos para estos estudios.

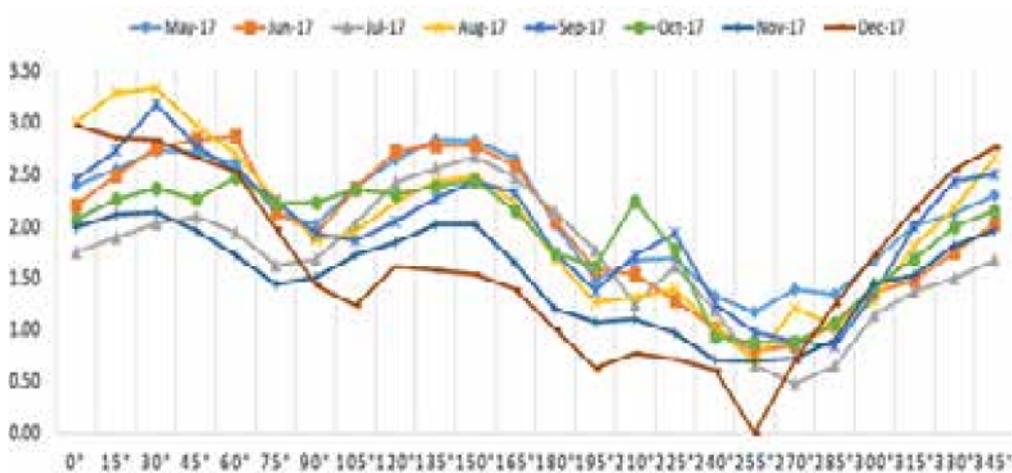


Fig. 6. Velocidades media por meses en dependencia del rumbo en el anemómetro No. 1.

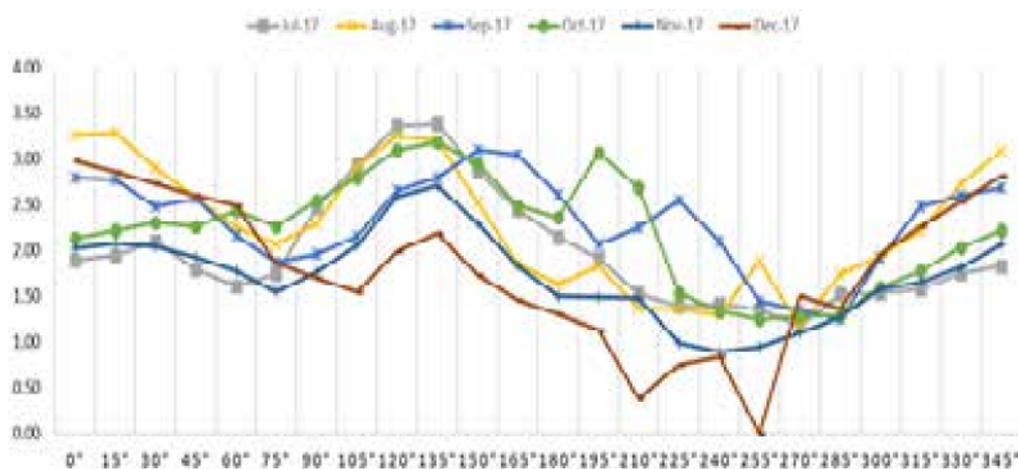


Fig. 7. Velocidades media por meses en dependencia del rumbo en el anemómetro No. 2.

El análisis de las velocidades media mensual, Fig. 8, en ambas posiciones muestra que el comportamiento es similar durante el período de muestreo, siendo la media en el período analizado de 2,32 m/s para el No. 1 y 2,5 m/s para el anemómetro No. 2; los meses de mayores velocidades media mensual fueron febrero y enero, en este último mes las magnitudes fueron de valores muy cercanos, comportamiento no registrado en meses anteriores, relacionable con los pocos días incluidos en la muestra para diciembre.

Otro análisis de la variabilidad del viento es el horario, en este caso se presentan las curvas de los datos registrados por los anemómetros instalados en las Figs. 9 y 10; en ellas se aprecia un comportamiento habitual de un emplazamiento tropical, con velocidades de viento muy bajas en la noche madrugada y elevación de la velocidad con el calentamiento del día, aproximadamente sobre las 7:00 a.m., alcanzando los mayores valores, en forma de meseta, sobre la mitad del día y una disminución rápida a partir de las 2:30 p.m.

El análisis del comportamiento del viento en su interacción con las TGERU muestra que en el caso de aerogeneradores por la noche la generación es casi nula, mientras que los paneles solares y calentadores se verán afectados por el viento incidente a las mayores horas de radiación, lo que es significativamente positivo para los paneles a fin de contribuir de esta forma a bajar la temperatura de las celdas fotovoltaicas.

El análisis de los rumbos de viento en función de la hora, Figs. 11 y 12, muestra que el comportamiento es similar para todos los meses registrados en ambos anemómetros, siendo apreciable el cambio de dirección en dependencia del calentamiento del día.

Estos análisis de las Figs. 11 y 12 solo tendrán importancia notable para la selección de tecnologías de aerogeneradores, dado que los paneles en el hemisferio norte van instalados mirando al sur, por lo que no tienen especial relevancia los cambios en dirección del viento durante el día.



Fig. 8. Comportamiento de las velocidades media mensuales.



Fig. 9. Distribución de velocidades horarias en el Anemómetro No. 1.

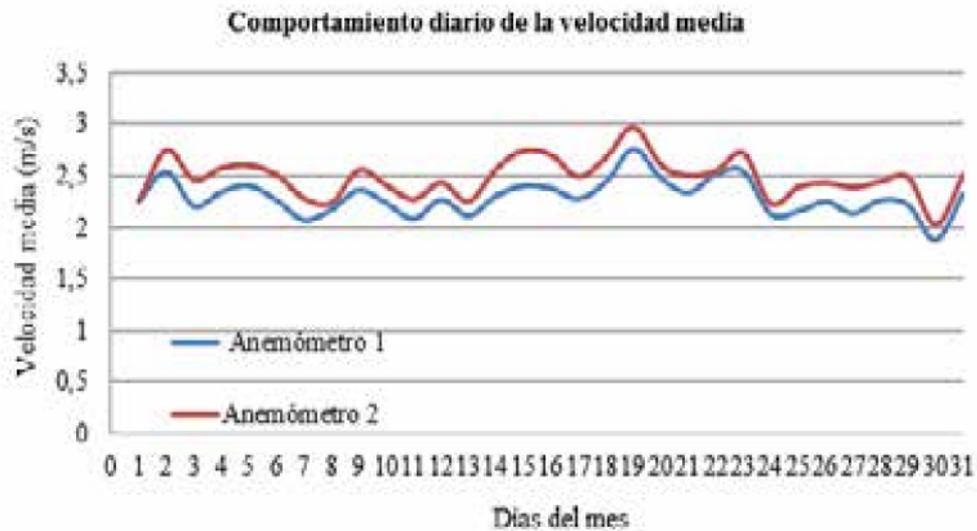


Fig. 10. Distribución de velocidades horarias en el Anemómetro No. 1.

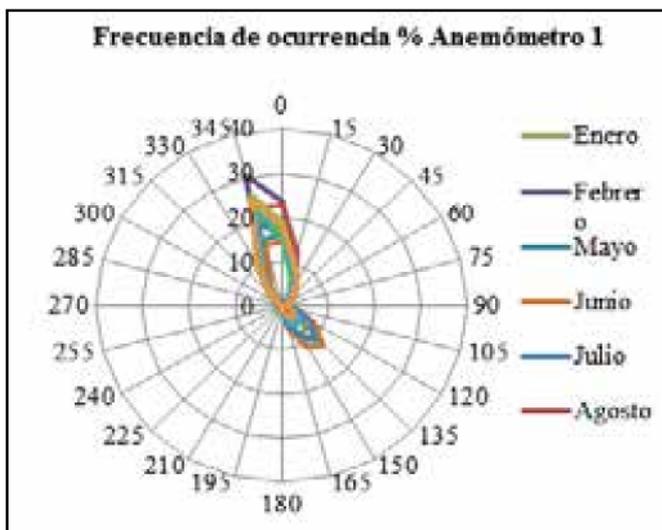


Fig. 11. Distribución por rumbos por hora en el Anemómetro No. 1.

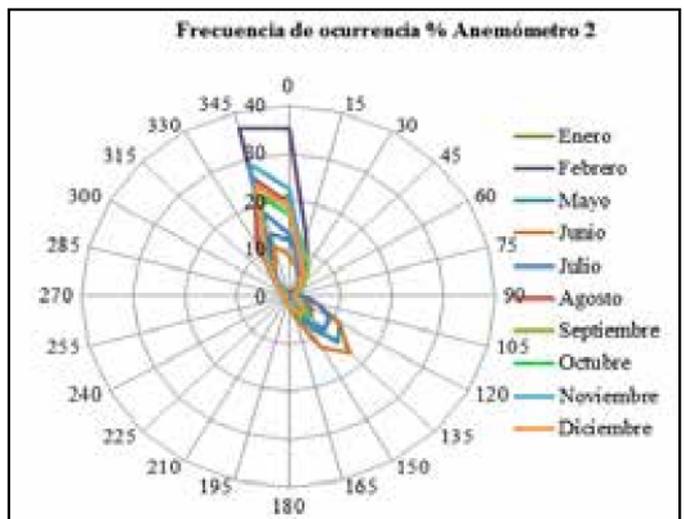


Fig. 12. Distribución por rumbos por hora en el Anemómetro No. 2.

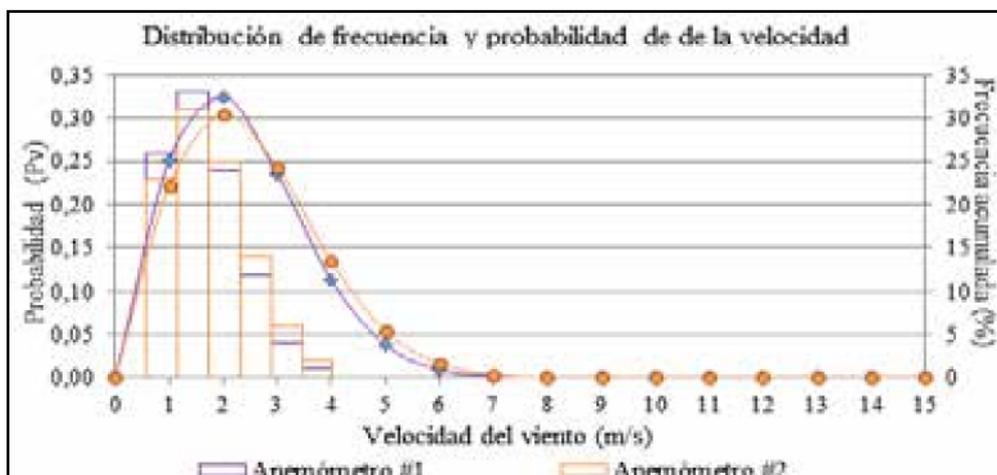


Fig. 13. Distribución de probabilidades y frecuencias de ocurrencias de velocidades.

En la Fig. 13 aparecen las distribuciones de Weibull de las velocidades para ambos anemómetros, utilizando factores de forma  $k=2$  y de escala  $c=2,80$  con velocidad media 2,48 m/s; es apreciable mayor acumulación de velocidades bajas (rango 1-3 m/s) en el anemómetro No. 1, mientras que para el No. 2 se registra mayor acumulación en el rango de 3-7 m/s, mientras que para velocidades superiores a los 7 m/s los acumulados no tienen diferencias apreciables.

Los cálculos de cargas dinámicas producto del acción del viento sobre las TGERU deben ser calculadas en base a estos valores; estas tecnologías varían su altura en dependencia del diseño, siendo necesario entonces la elaboración del perfil de velocidad del viento con la altura a partir de los datos registrados si la tecnología supera la altura del anemómetro No. 2, otra forma de corroborar las cargas a mayor altura es mediante la construcción del perfil de velocidades mediante ensayos de mecánica computacional.

Otra importante característica del viento urbano es su turbulencia, causante de muchos de los fallos y problemas estructurales de las TGERU. El análisis de la turbulencia se realizará mediante el índice de turbulencia (TI), a partir de las recomendaciones de la norma [British Standard, 2006] utilizada para la certificación de pequeños aerogeneradores.

#### 4. Conclusiones

El viento urbano puede ser caracterizado en principio mediante el índice de turbulencia, a partir de mediciones a baja altura como vía para perfeccionar los ensayos de mecánica computacional y los modelos de interacción del viento turbulento con las tecnologías de generación de energías renovables urbanas (TGERU) en entornos previamente tipificados. Tipificación que se recomienda establecer considerando las características geométricas tanto del entorno circundante como de la microlocalización de la TGERU, así como del principio de funcionamiento de las tecnologías a instalar y los patrones de comportamiento del viento asimilados con anterioridad mediante estudios de geometrías similares.

La campaña de medición con dos anemómetros de veleta de diferentes alturas en INTEC permitió conocer que las velocidades medias del viento se comportan de forma similar para el período con valores muy próximos. Respecto al rumbo existe un predominio de la dirección norte, y el segundo acumulado corresponde a la dirección sur. El comportamiento mensual de la velocidad respecto a la dirección es notablemente diferente en los meses que ocurrieron el solsticio de invierno y el equinoccio de otoño. Mientras que el análisis horario de las velocidades y el

rumbo mantiene un comportamiento similar a los emplazamientos en tierra, con aumentos de velocidad al comienzo del día hasta llegar a una meseta que cubre más allá del medio día, ocurre una caída significativa de la velocidad después de las 2:30 p.m. El análisis de probabilidad se realizó mediante la distribución Weibull, ocurriendo las mayores probabilidades a las mismas velocidades en ambos anemómetros.

#### 5. Referencias bibliográficas

- BARACALDO, H.; E. FARIÑAS Y F. A. FERNÁNDEZ (2017), «Evaluation of the wind behavior in urbanizations from the lines of currents and velocity fields of a computational model». Conferencia Internacional de Desarrollo Energético Sostenible. CIDES, Varadero, Noviembre 2017.
- CNE. (agosto de 2017). <https://www.cne.gob.do>. Obtenido de Comisión Nacional de Energía: <https://www.cne.gob.do/archivo/cantidad-de-usuarios-incorporados-al-programa-de-medicion-neta/>.
- BRITISH STANDARD (mayo de 2006). «IEC 61400-2:2006. Part 2: Design requirements for small wind turbines». Bruselas, UK: International Electrotechnical Commission.
- FARIÑAS, E.; B. FLECK, H. BARACALDO Y A. FERNÁNDEZ (2017). «Preliminary proposal for the study of the turbulence of the wind the roofs of the buildings». Conferencia Internacional de Energía Renovable, La Habana, Cuba.
- FARIÑAS, E.; G. PANDIELLA (2016) «Estudio y simulación de un rotor con perfil híbrido para aerogeneradores de eje verticales». Conferencia de Ingeniería Mecánica, COMEC 2016. Santa Clara, Cuba.
- FIELDS, J.; F. OTERI, R. PREUS & I. BARING-GOULD (2016). «Deployment of Wind Turbines in the Built Environment: Risks, Lessons, and Recommended Practices». Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- FRANCISCO TOJA-SILVA, A.-S. M.-G. (2015). «Urban Wind Energy Exploitation Systems: Behaviour under Multidirectional Flow Condition-Opportunities and Challenges». Elsevier, 364-378.
- F. TOJA-SILVA; O. LOPEZ-GARCÍA, JORGE NAVARRO C. PERALTA (2016). «An empirical-heuristic optimization of the building-roof geometry for urban wind energy exploitation on high-rise buildings». *Applied Energy*, 2016, vol. 164, issue C, 769-794.
- GLOBER, D. (2013). *Consideration of Urban Wind Power*. San Francisco, California: David Globber, Potrero Hill.
- GWEC (2018). Global Wind Statistics.
- KARTHIKEYA, B. R.; P. S. NEGI & N. SRIKANTH (2016). «Wind resource assessment for urban renewable energy application in Singapore». *Renewable Energy*.

Recibido: 1ro de noviembre 2019.

Aceptado: 15 de noviembre de 2019.

# ESTUDIO COMPARATIVO INDICADORES DESARROLLO SOSTENIBLE EN LA GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ENERGÍA EÓLICA: CASO DE ESTUDIO PARQUES EÓLICOS DE GIBARA

Por M. Sc. Prof. Aux, Ing. Ángel Eugenio Infante Haynes\*

\* Departamento de Mecánica, Universidad de Holguín, Ministerio de Educación Superior, MES.  
E-mail: ehaynes@uho.edu.cu

## Resumen

En este trabajo se describe una metodología que integra de forma sistémica el diseño de indicadores de desarrollo sostenible, categorías como los costos de producción a través de energía eólica y las externalidades, que a su vez son los costos sociales. Se hace un estudio comparativo de dos parques eólicos, situados en la región oriental de Cuba, Gibara; así como se dan a conocer los impactos medio ambientales que afectan todas las esferas de la vida de la sociedad, y nos brinda la posibilidad de trabajar para atenuar o mitigar sus efectos. Con esta investigación se beneficia el Ministerio de Energía y Minas, a través de la Empresa Eléctrica, al conocer la Factibilidad de la utilización de las diferentes Tecnologías de Generación Eólicas.

*Palabras clave: Energía eólica, externalidades.*

---

## COMPARATIVE STUDY OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT INDICATORS IN WIND POWER GENERATION: CASE STUDY GIBARA WIND FARMS

### Abstract

This paper describes a methodology that integrates in a systemic way, the design of sustainable development indicators, categories such as production costs through wind energy and externalities, which in turn are the social costs. It makes a comparative study of two wind farms, located in the Eastern region of Cuba, Gibara; as well as it makes known the environmental impacts that affect all spheres of life of society, and gives us the possibility of working to mitigate their effects. With this research, the Ministry of Energy and Mines, through the Electric Company, benefits from knowing the feasibility of the use of the different Wind Generation Technologies.

*Keywords: Windenergy, externalities.*

---

### I. Introducción

En los últimos tiempos existe una preocupación creciente tanto por parte de la opinión pública como a nivel gubernamental, sobre las consecuencias medioambientales del desarrollo económico; si bien se reconoce la nece-

sidad de este desarrollo, también se cobra conciencia de los efectos precisos que tiene sobre el medio ambiente, y en última instancia sobre el bienestar de la sociedad.

La generación mundial de energía eléctrica, tan importante para el desarrollo humano, se ha incrementado durante los

últimos cincuenta años a un ritmo varias veces superior al del crecimiento de la población. El consumo promedio de electricidad, en todas sus aplicaciones domésticas, industriales y de transporte correspondiente a cada habitante del planeta, ronda hoy los 3000 kWh anuales, es decir, 250 kWh mensuales, aunque su distribución es muy desigual [Moreno, 2017].

En Cuba a raíz de la crisis energética de 2004 y 2005, el gobierno cubano priorizó el uso de la fuentes renovables de energía para la producción de electricidad y el ahorro de combustibles fósiles.

La política energética cubana referida a la electricidad está dirigida a asegurar el suficiente suministro de esta energía acorde con el desarrollo energético esperado. En los últimos cinco años, el consumo energético en Cuba ha crecido establemente en la misma manera en que la economía nacional ha recobrado su salud.

La generación de electricidad se basa aún en el uso intensivo de los combustibles fósiles, pero la estructura de tal generación ha cambiado. Más de 50 % de toda la potencia es obtenida del llamado crudo nacional, un combustible barato que ha permitido a nuestra economía reducir la importación de petróleo, aunque pagando una cuota de daños al medioambiente. El pronóstico es alcanzar en los próximos cinco años 90 % de la generación de electricidad usando el petróleo nacional, pero también mejorando las tecnologías que reduzcan los impactos medioambientales asociados a su uso. Cuba cree firmemente que el desarrollo y la aplicación de la potencia eólica, así como de otras fuentes renovables de energía, son la clave para el futuro, no solo para nosotros, sino para todo el mundo. Una revisión de las oportunidades del uso de la potencia eólica en nuestro país, muestra que las principales oportunidades están en los sitios donde no hay red eléctrica, fenómeno común en áreas rurales de los países en desarrollo.

Los Parques Eólicos de Gibara constituyen los primeros de su tipo en el país, y si bien demuestran su eficiencia, necesitan del perfeccionamiento de su control en categorías tales como costos, fiabilidad y disponibilidad para el mejoramiento de su ciclo de vida.

## II. Materiales y métodos

Se utilizaron las bases de datos SIOGEN y SISCOM del Parque Eólico de Gibara I y II; y de la Empresa Eléctrica de Holguín respectivamente, así como las consultas a informantes claves de ambas instituciones.

## III. Desarrollo

Los Indicadores de Desarrollo Sostenible (IDS) son «Sistemas de señales que facilitan evaluar el progreso de nuestros países y regiones hacia el desarrollo sostenible» [Cepal, 2001]. El trabajo en torno a los indicadores de sostenibilidad ambiental se inicia alrededor de 1985. En los noventa se articuló con mayor fuerza el trabajo para diseñar indicadores de sostenibilidad en los países más desarrollados y también en algunos espacios latinoamericanos. La Cumbre de la Tierra (1992), el Programa de IDS de la Comisión sobre el Desarrollo Sostenible de las Nacio-

nes Unidas (CDS), y otros impulsos en la agenda ambiental de los gobiernos, han generado desarrollos vigorosos en los últimos años.

### 1. Desafíos en el uso de los IDS

1. El costo de desarrollar un sistema de IDS de calidad, y operarlo a lo largo del tiempo.
2. La insuficiente valoración del potencial de estos IDS como herramientas en la toma de decisiones de Gobierno, en relación a otras prioridades en la agenda pública.
3. Los problemas metodológicos del trabajo de diseño e implementación de indicadores, en particular el insuficiente carácter sinérgico o vinculante que tienen los IDS hasta ahora propuestos o implementados en muchos países.
4. Nos vemos enfrentados a múltiples necesidades y restricciones presupuestarias, lo que hace aún más necesario abordar estos desafíos con imaginación y en forma cooperativa.
5. Nuestros países enfrentan el desafío científico, metodológico y creativo de avanzar en la medición del proceso.

Según la Comisión de Desarrollo Sostenible existen tres grupos de indicadores: los usados frecuentemente, los usados por un país y los indicadores sugeridos por países, como se muestra en la tabla 1.

Teniendo en cuenta que lo que no se mide no se controla, en este trabajo se propone luego de ser diseñados y declarados los indicadores de desarrollo sostenible, comenzar su medición, y para ello tomamos como ejemplo los Parques Eólicos de Gibara.

Así como dar cumplimiento al Decreto Ley No 345 «Desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de energía», que plantea dentro de sus prioridades: La elevación de la participación de las fuentes renovables de energía en la generación de electricidad; la sustitución progresiva de los combustibles fósiles; la elevación de la eficiencia y el ahorro energético; y define como fuente renovable de energía aquella que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Entre ellas se encuentran, por orden de prioridad, las siguientes: La biomasa cañera; la energía solar por medio del uso de paneles fotovoltaicos, calentadores, secadores y otros; la energía eólica, con la instalación de aerogeneradores para generar electricidad y molinos de viento para el bombeo de agua; la biomasa no cañera; los residuos agrícolas; los recursos hidroenergéticos; biocombustibles, sin afectar la producción y el consumo de alimentos; la energía del mar y otras que el desarrollo de la ciencia lo permita.

Una revisión de las oportunidades del uso de la potencia eólica en nuestro país, muestra que las principales oportunidades están en los sitios donde no hay red eléctrica, fenómeno común en áreas rurales de los países en desarrollo.

En Cuba hasta el momento el potencial eólico está identificado dentro de unos 3000 a 10 000 mW. Desde mediados de febrero de 2008 comenzó a generar el parque eólico Gibara I y a partir de 2010 comienza a funcionar el parque Gibara II, que complementa la generación e incrementa el potencial eólico del oriente del país.

Los Parques Eólicos de Gibara constituyen los primeros de su tipo en el país, utilizan una tecnología de punta, que si bien demuestra su eficiencia, necesitan del perfeccionamiento de su control en categorías tales como disponibilidad, producción, ganancia, rentabilidad y pre-

cios, factores claves en la elevación de la efectividad de la producción social, ya que estas categorías son las que reflejan el movimiento de la generación eléctrica y sus resultados económicos de manera más precisa.

El rendimiento energético de un parque eólico depende de las características de la tecnología instalada y de factores propios de su instalación como el espaciado o distancia de un aerogenerador a otro, para no provocar pérdidas aerodinámicas. Para la caracterización se utilizarán aspectos técnicos de la tecnología instalada.

Tabla1. Indicadores de Desarrollo Sostenible

Usados frecuentemente	Usados solo por un país	Sugeridos por países
Tasa de desempleo	Gasto en investigación y desarrollo	Incidencia de enfermedades relacionadas con el ambiente
Tasa de crecimiento de la población	Crecimiento poblacional en áreas costeras	Porcentaje de la población con acceso a los servicios de salud
PIB per cápita	Manejo descentralizado de recursos naturales.	Tasa de criminalidad
Consumo de agua doméstico per cápita	Descarga de petróleo en aguas costeras	Incidencia de niños en la calle
Uso de fertilizantes	Índices de vegetación derivados de imágenes satelitales	Espacios verdes urbanos
Concentración de contaminantes atmosféricos urbanos	Bienestar de poblaciones montañosas	Contaminación de aguas subterráneas
Emisiones de gases de efectos invernadero	Población viviendo bajo la línea de pobreza en zonas áridas	Relación de áreas mineras rehabilitadas, respecto a áreas mineras total
Emisiones de dióxido de azufre	Pérdidas humanas y económicas por desastres naturales.	Áreas de ecosistemas específicos
Emisiones de dióxido de nitrógeno		Propiedad de tierras agrícolas
Consumo de energía anual		Tasas de ahorros genuinos
Cambio de uso del suelo		Densidad de tráfico
Relación de especies amenazadas, respecto al total de especies nativas		Introducción de organismos genéticamente modificados

Fuente: Traducido de United Nations Department of Economic and Social Affairs.

Para el análisis de la inversión de los Parques Gibara I y II, se procede a realizar una caracterización de los aspectos técnicos fundamentales que permitan conocer aspectos relevantes para su posterior evaluación, tabla 2.

## 2. Diseño y evaluación de los Indicadores de Desarrollo Sostenible (IDS)

En dependencia de la generación eólica y el precio del combustible en el mercado, podemos conocer el ahorro que se obtiene por esta tecnología, relacionándose en la tabla 3.

La generación bruta total por kW/h tuvo un comportamiento irregular, pero fue elevado en todos los años, el ingreso total generado ascendió a 36 805,74 miles de peso en moneda nacional (Tabla 4).

### 2.1 Estructura de costos de la producción de energía, costes fijos y variables, costos marginales, horas a plena carga y factor de capacidad, costo nivelado de la electricidad

El mercado del petróleo en los últimos años ha tenido una apreciable fluctuación, así tenemos que en 2014 fue

llamado el de los precios máximos, caracterizado por los altos precios principalmente en los Estados Unidos, por su apretada producción, y porque además la Organización Exportadora de Petróleo (OPEP) aumentó la producción del mismo a finales de ese año. En 2015: precios bajos, EE.UU. disminuyó la producción debido a esos precios bajos y a su persistencia. Almacenamiento de inventarios, la OPEP vuelve a reducir la producción a partir de noviembre de 2015. Ya en 2016 se comienza un ajuste del mercado, se concentran altos stock de inventarios, comienza un fuerte aumento del petróleo en EE.UU. debido a las limitaciones en la producción de la OPEP. Finalmente en 2017 comienza un aumento de la demanda principalmente de las economías emergentes (impulsadas por el aumento de la prosperidad), el aprovechamiento de las existencias y la producción creciente; las temporadas de huracanes afectan la producción de los EE.UU.; luego, la OPEP acuerda extender una producción más baja que termina a finales de 2018.

En la figura 1 se pueden apreciar los costos de producción en dependencia de la capacidad instalada para las diferentes tecnologías de generación de energía eléctrica, según la Agencia Internacional de Energía.

Tabla 2. Características técnicas de los parques eólicos Gibara I y II

Características	Gibara I	Gibara II
Clase	I A	II A
Instalación	Febrero 2008	Diciembre 2010
Marca	Gamesa G52	Goldwind S50
País	España	R.P. China.
Potencia	850 kW	750 kW
Cantidad Ag	6	6
Total Potencia	5,1 mW	4,5 mW
Diámetro del rotor	52 m	50 m
Área barrida por el rotor	2123,7 m <sup>2</sup>	1963,5 m <sup>2</sup>
Relación Potencia / Diámetro	16,35 kW/m	15,0 kW/m
Potencia Específica	400,24 W/m <sup>2</sup>	381,97 W/m <sup>2</sup>
Altura efectiva del buje	55,2 m	53 m
Rendimiento promedio anual	28 %	27 %
Velocidad	Variable y paso de palas variables con multiplicador	Velocidad fija y pala fijas con multiplicador
Valor de la inversión moneda total	9.500.528,49	11.762.296,74
Costo inversión por kW*años	1863 pesos/kW	2613 pesos/kW*años

Fuente: Hernández, Infante, 2018.

Tabla 3. Ahorro obtenido en dependencia del precio del combustible

Indicadores	UM	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Media
Combustible sustituido	ton	1496,8	459,5	2225,8	3681,2	4394,6	4552,1	5023,4	5559,6	5572,8	5360,0	5,360,0
Precio	USD/ton	193,6	267,2	266,6	620,6	782,9	782,9	787,06	595,9	265,5	265,5	265,5
Ahorro	M USD	289,7	1228,0	593,3	2284,5	3440,6	3563,9	3953,7	3312,9	1479,5	14231	34,377,6

Fuente: Hernández, Infante, 2018.

Tabla 4. Ingresos obtenidos, teniendo en cuenta la generación y el precio de venta

Indicadores	UM	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total.
Generación Bruta	M KWh	6736,6	2137,3	9990,8	16 638,1	19 917,8	20 772,8	17 979,3	19 898,4	19 945,4	19 184,0	153 200,5
Precio de venta	MN	0,17	0,18	0,17	0,24	0,23	0,25	0,27	0,26	0,24	0,26	0,23
Ingresos por generación	M MN	1140,7	379,6	1727,7	3992,6	4534,4	5296,0	4766,4	5116,6	4863,4	4987,8	36 805,7

Fuente: Hernández, Infante, 2018.

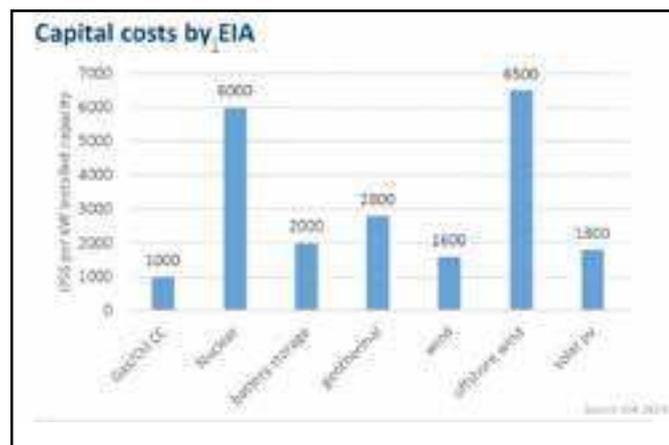


Fig. 1. Costo capital de las energías.

Para el caso de la energía eólica y teniendo en cuenta el desglose de los gastos de inversión, como se muestra en la figura 2.



Fig. 2. Desglose de los costos de inversiones en la energía eólica.

Podremos llegar a los costos que intervienen en la producción y que debemos tener en cuenta a la hora de su análisis, relacionándose en el esquema de la figura 3.

En dependencia de los costos fijos, variables, capacidad y energía generada podemos calcular los costos de producción, es decir, los costos de kilowatt de generación, cuyos principales conceptos se exponen a continuación.

1. Los costos fijos: Son aquellos que en primer lugar no van a depender de la mejor funcionalidad del aerogenerador, este se mantendrá relativamente constante, sin tener en cuenta los volúmenes de producción de energía que se obtengan.

Ejemplo de esto son los costos de capital, que incluyen la deuda de la inversión y créditos de inversionistas, además de arrendamientos de terrenos, impuestos sobre explotación, costo de operación y administración de personal, costos de mantenimiento fijos, tales como por ejemplo los mantenimientos planificados, y revisiones anuales; este costo es irre recuperable una vez realizada la inversión, por lo que la misma debe ser pagada sin tener en cuenta si existen buenos viento o no, y si se puede vender al final la energía generada.

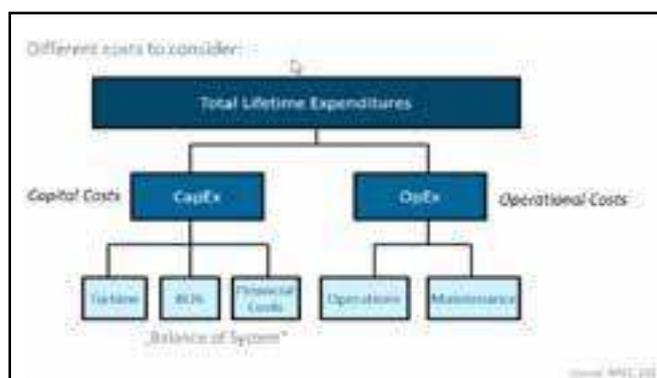


Fig. 3. Costos a considerar en el ciclo de vida.

2. Los costos variables: También conocidos como costos de producción, varían con el rendimiento de la generación, es decir, pueden existir según aumento y disminución de la producción de energía.

Ejemplo de estos son los costos de los combustibles y del mantenimiento variables, conocido como correctivos, donde se deben sustituir piezas usadas que en ocasiones no existen en el stock, o no se tiene la herramienta, o depende de los servicios de un tercero; se contemplan aquí los costos de eliminación de los residuos, los impuestos sobre la explotación, los costos de operación y amortización.

Como resultado de todo lo anterior y teniendo como herramienta un software de un proyecto Erasmus con la Universidad de Flensburg, analizaremos las variables para el cálculo de los costos de producción, o los costos por kilowatt de generación.

*Las variables de entrada son:* Capacidad de generación, total de horas a máxima carga, eficiencia del parque eólico, costos fijos por años, costos de la inversión.

Este programa informático devuelve la cantidad de energía producida, así como los costos del kilowatt de generación.

Tabla 5. Software para el cálculo comparativo de los costos por pesos de la generación eólica

Caso 1 - base			
Gibara I		Gibara II	
\$ 95.013.000	Inversión (payback over) 10 años	\$ 117.630.000	
\$ 367.200	Costos fijos por año	\$ 292.500	
	Costo del combustible por kWh	\$ -	
82 %	Eficiencia de la planta	89 %	
7,183	Cantidad de horas generando	7,796	
5	Capacidad (MW)	5	
\$ 9.868.500	Costo fijo	\$ 12.055.500	
\$ -	Costo variable	\$ -	
\$ 9.868.500	Costo total CUC/a	\$ 12.055.500	
36.633.300	Energía producida kWh en el año	35.082.000	
\$ 0,269	Costos de electricidad (producción)	\$ 0,344	

En la tabla 5 se pueden apreciar las variables de entradas, que primeramente comienza con los valores de la inversión de cada parque (investment), para un plazo de 10 años;

luego los costos fijos por años (fixed costs year), le sigue el costo de combustible (fuel Price), en nuestro caso, como la generación es a través de energía eólica, no se consume combustible en el proceso; la eficiencia de la planta (power plant efficiency), en el caso de Gibara I, era de 82 %, y Gibara II, 89 %. Continua la cantidad de horas en que se estuvo generando (fullload hours), que aunque se estuvieran disponibles, no existían velocidades de viento para generar; la capacidad total del parque (capacity), y para terminar en la parte inferior se relacionan los costos fijos totales (fixed cost), los costos totales, la producción de energía total en el año, y finalmente los costos de generación de esa energía.

## 2.2 Diseño de nuevos Indicadores de Desarrollo Sostenible

De poder contar con indicadores de desarrollo sostenible bien diseñados, se pudiera controlar los efectos del cambio climático [(INDC de Cuba, 2015; NOAA: El clima en pocas palabras, 2018] que hoy se observan en nuestro país, tales como:

1. Elevación media anual del nivel del mar: 1,43 mm/a en las últimas décadas (= alrededor de +7 cm desde 1960, y la tasa está aumentando).
2. Aumento de la temperatura media (total): +0,9 °C desde 1950.
3. Las décadas 1990 y 2000 fueron las más calurosas desde el comienzo de la Segunda Guerra Mundial.
4. Mayor variabilidad en la actividad ciclónica (2001-2015: 8 grandes huracanes).
5. Cambios en el régimen de lluvias, por ejemplo, la frecuencia y el aumento de los períodos de sequía.
6. Disminución de las precipitaciones, de aprox. 10 % entre 1960 y 2000.
7. Impactos sobre la biodiversidad, la calidad del suelo, los bosques, la contaminación, la falta de agua, la productividad agrícola, la salud humana [INDC de Cuba, 2015].

### 2.2.1 Efectos futuros del cambio climático

- a. Aumento de la temperatura.
- b. Elevación del nivel del mar.
- c. Superficie reducida:

- 2,45 % de la superficie cubana @ +27 cm hasta 2050
- 5,8 % del área cubana @ +85 cm hasta 2100
- Pérdida de tierras agrícolas, asentamientos de baja altitud
- Salinización de acuíferos subterráneos (agua potable)

- d. Eventos climáticos extremos más frecuentes e intensos.
- e. Mayor variabilidad de las precipitaciones.
- f. Aumento de los períodos secos e inundaciones.
- g. Afectación del cambio climático a la economía y a la sociedad.

*En la Agricultura:*

- a. Pérdida repentina de las cosechas.
- b. A mediano plazo se produce un impacto negativo en la producción agrícola (eficiencia) y seguridad alimentaria.
- c. Erosión del suelo a largo plazo.
- d. Impacto en el ganado.
- e. Pérdida de recursos pesqueros.

*En el Medioambiente, recursos naturales y biodiversidad:*

- a. Ecosistemas vulnerables (incendios).
- b. Pérdida de biodiversidad.
- c. Degradación del medioambiente (bosques, pastizales/estepas/desiertos).

*En el Transporte e Industria:*

- a. Pérdida de la infraestructura a causa de la extrema incidencia de acontecimientos meteorológicos, como los ciclones, tornados y otros eventos.
- b. Disponibilidad de recursos.

*En la Salud:*

- a. Aumento de la vulnerabilidad del crecimiento de las ciudades (inundaciones repentinas, infraestructura pérdida).
- b. Aumento de los precios de los alimentos.
- c. Propagación de enfermedades.

d. Disminución de los recursos de agua dulce.  
Estos impactos presentan incentivos para que Cuba sea un líder en la lucha contra el cambio climático.

**2.2.2. Otros indicadores de desarrollo sostenible que pudieran mitigar el cambio climático se muestran en la tabla 6, calculados por el autor en investigaciones precedentes.**

Como se puede apreciar, debemos tener en cuenta todos estos indicadores por su importancia: CO<sub>2</sub> no emitido a la atmósfera, los ingresos que pudieran ser generados por las ventas de certificado de no emisión o CER; el factor de disponibilidad, que refleja de una forma u otra las horas de máxima capacidad de generación; el factor de capacidad, que igualmente nos indica la diferencia entre la energía que se debía generar y la real que se genera. De vital importancia para nuestro país bloqueado es la sustitución de combustibles para garantizar la independencia energética, como máxima prioridad.

**IV Conclusiones**

Se diseñaron y calcularon un grupo de IDS en función de la generación eléctrica con energía renovable.

Se propone una metodología que integra de forma sistémica los IDS, con otros indicadores que tienen en cuenta los costos de generación y sociales.

Se dieron a conocer los impactos medioambientales que afectan al cambio climático y una solución viable, como es la generación con energía renovable como forma de atenuar o mitigar los mismo.

Tabla 6: Otros IDS, diseñados y evaluados

Indicadores	UM	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total/ Promedio
CO2 no emitido	Ton	7992,6	13310,5	15934,3	16618,2	13754,1	15222,3	15258,2	14675,8	119810,7
Ingresos No emisión	s	3356,8	5590,4	6692,4	6979,6	5776,7	6393,3	6408,4	6163,8	50320,4
Factor de disponibilidad	%	95,0	79,9	84,3	88,6	79,8	79,6	91,3	87,3	83,771
Factor de capacidad	%	26,0	26,0	26,6	28,6	21,4	23,7	23,7	22,8	24,785
Participación eólica	%	28,2	51,0	33,1	30,0	24,7	27,2	26,4	25,3	28,613
Combustible sustituido	Ton	2225,7	3681,2	4394,6	4552,2	5023,4	5559,6	5572,7	5360,0	38325,7
Velocidad de viento	m/s	6,17	6,12	6,20	6,58	6,42	6,80	6,55	6,4	6,39
Promedio generación diaria	kWh/días	27,4	45,6	54,4	56,9	49,3	54,5	54,5	52,6	43,71
Consumo esp bruto	kW/h	222,5	221,1	220,8	219,2	279,4	279,4	279,4	279,4	244,526
Energía No producida	kW/h	11874,1	5226,8	2451,7	3278,6	17,2	32,3	-14,6	-10,1	55231,4
Importe ENP	s	2018,6	1254,4	563,8	819,6	4,6	8,4	-3,5	-2,6	10329,2

Fuente: Hernández, Infante 2018.

## Bibliografía y referencias bibliográficas

- ALMONACID, B. A., & M. L. NAHUELHUAL (2009). «Estimación del potencial eólico y costos de producción de energía eólica en la costa de Valdivia, sur de Chile».
- RODRÍGUEZ BATISTA, ARMANDO (2019). «Conferencia Magístral: Las Políticas de Ciencia, Tecnología e Innovación en Cuba: retos y perspectivas.2019».
- ALONSO G., R. R. (2006). «Análisis de Costos Nivelados de la Generación de Electricidad en México».
- ALONSO, J. A. (2005). «Ventajas Comerciales y Competitividad: Aspectos conceptuales y empíricos». ICE, Especialización Comercial y Competitividad.
- ARRAÑA, I., & J. CHEMES (2012). «Generación de Energía Eólica en Santa Fe, Pre estudio de Viabilidad Técnica».
- BÉRRIZ PÉREZ, LUIS (2016). «La política energética cubana en el camino del desarrollo sostenible». En revista *Energía y Tú* No 75 (julio-septiembre, 2016). La Habana: Ed. Cubasolar. ISSN 1028-9925.
- BEHRENS, W., & P. M. HAWANEK (1994). *Manual para la preparación de estudios de viabilidad industrial*. Viena: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial.
- BREALEY, R., & S. MYERS (1993). *Fundamentos de Financiación Empresarial*. Mexico: Mc Grau Hill.
- CARTA GONZÁLEZ, J. A; R. CALERO PÉREZ, A. COLMENAR SANTOS & M. A. CASTRO GIL (2009). *Centrales de energías renovables*.
- CASTILLO JARA, E. (n.d.). «Problemática en torno a la construcción de parques eólicos en el istmo de Tehuantepec».
- De Armas Teyra, D. M., & I. E. Martínez Vilches (2002). «Uso eficiente de las fuentes renovables de energía. Mejoramiento económico mediante la sincronización a la red». En revista *Eco Solar*, 19. La Habana: Ed. Cubasolar.
- DEL CAMPO M, E. N. (2009). «La energía del viento en México: Simulación de un parque eólico y aplicación de análisis probabilístico de seguridad».
- DEWI: INSTITUTO ALEMÁN DE ENERGÍA EÓLICA (n/d).
- FERNÁNDEZ SALGADO, J. M. (2009). *Tecnologías de las energías renovables*.
- GARCÍA DE SORIA, X.; C. VILLASANTE, C. CABRERA & E. MELOGNIO (2008). «Evaluación Económico-Financiera: Proyecto de Parque Eólico de 10 MW». Uruguay.
- GIRALT, C. (2011). *Energía eólica en Argentina: un análisis económico del derecho*. Letras Verdes, 64-86.
- HANSEN, A., & G. MICHALKE (2007). «Voltage Grid Support of DFIG Wind Turbines during Grid Faults».
- JERICO CAMINO, NAPURI (n/d). «Herramientas, mecanismo, incentivos y financiamiento de la sostenibilidad».
- LEIVA VIAMONTE, G. (n/d). «Factores actuales de incertidumbres sobre la generación anual y riesgos para la factibilidad de los futuros parques eólicos en Cuba».
- MARTIN JAHN, M. (2019). «Eng, CRECE 3rd Training», may 2019.
- M., F.; U. F., M. G., F. L., S. M., A. T. ET AL. (2003). «Guía del análisis coste-beneficios de los proyectos de inversión».
- MOLINERO BENÍTEZ, A. (2009). «Proyecto fin de carrera: Proyecto de un Parque Eólico. Madrid».
- MONTESINOS LARROSA, A. (2007). *Historia de la energía eólica en Cuba*. La Habana: Ed. Cubasolar.
- MORENO FIGUEREDO, C. (2008). «Parque Eólico Gibara 1». LA HABANA: Ed. Cubasolar.
- MORENO FIGUEREDO, C. (2007). *Diez Preguntas y Respuestas sobre Energía Eólica*. La Habana: Ed. Cubasolar.
- MORENO FIGUEREDO, C. (2017). *Doce Preguntas y Respuestas sobre Energía Eólica*. La Habana: Ed. Cubasolar.
- MORENO FIGUEREDO, C. Y OTROS (n/d). «Estado actual y desarrollo de la energía eólica en Cuba». La Habana: Ed. Cubasolar.
- NAVARETE PÉREZ, E. (2000). *Gestión e Ingeniería del Mantenimiento*. PAEC: PROGRAMA DE AHORRO DE ELECTRICIDAD EN CUBA (n/d).
- PORK, J. (1981). *The wind power book*. California.
- PRANDO, R. (1996). *Manual Gestión de Mantenimiento a la medida*. OLADE: ORGANIZACIÓN LATINOAMERICANA DE ENERGÍA (n/d).
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2013). *Renewable Power Generation Costs in 2012: An Overview*.
- INFANTE HAYNES, A. Y C. TRINCHET VARELA (n/d). «Evaluación de los costos de operación, mantenimiento y parada de los Parques Eólicos de Gibara».

Recibido: 1ro de noviembre 2019.

Aceptado: 15 de noviembre de 2019.

# VALORACIÓN DEL MARCO REGULATORIO EN EL DESARROLLO DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN COPEXTEL GUANTÁNAMO

Por Lic. Yanet Casal Rivera\*, M. Sc. Rafael Parúas Cuza\* y Dr. C. Happy Salas Fuente\*\*

\* Corporación Copextel, S.A. División Territorial Guantánamo.

E-mail: casal@gtmo.copextel.com.cu; paruas@gtmo.copextel.com.cu

\*\* Universidad de Guantánamo.

## Resumen

Cuba en su proceso de actualización del modelo económico y social demanda el desarrollo de las energías renovables. De ahí que, los autores exponen las ventajas o beneficios de la aplicación de la energía solar fotovoltaica en el sector empresarial, en aras de lograr mayor eficiencia en la comercialización de mercancías y en la producción de bienes y servicios, a partir de las utilidades generadas anualmente por la reducción del gasto de electricidad y contribuir a la adaptación y mitigación del cambio climático, así como a un cambio en la matriz energética.

La aplicación de la energía fotovoltaica es una alternativa viable frente a la situación energética actual, sin dejar a un lado las limitaciones y desafíos del marco regulatorio que ponen en riesgo su generalización en las instituciones productoras de bienes y servicios del país.

En tal sentido, el objetivo propuesto es valorar los avances, limitaciones y desafíos del marco regulatorio para un desarrollo sostenible de este tipo de energía. En la investigación se realizó un estudio de caso en la División Territorial Guantánamo de la Corporación Copextel, S.A.; y se utilizaron también otros métodos del nivel teórico, empírico y estadístico-matemático.

*Palabras clave:* Marco regulatorio, cambio climático, fuentes renovables de energía, sistemas fotovoltaicos de inyección a red.

---

## ASSESSMENT OF THE REGULATORY FRAMEWORK IN THE DEVELOPMENT OF PHOTOVOLTAIC ENERGY AT COPEXTEL GUANTÁNAMO

### Abstract

Cuba in its process of updating the economic and social model demands the development of renewable energies. Hence, the authors present the advantages or benefits of the application of photovoltaic solar energy in the business sector, in order to achieve greater efficiency in the marketing of goods and in the production of goods and services, based on the profits generated annually by reducing electricity expenditure and contributing to the adaptation and mitigation of climate change, as well as a change in the energy matrix.

The application of photovoltaic energy is a viable alternative to the current energy situation, without leaving aside the limitations and challenges of the regulatory framework that jeopardize its generalization in the institutions producing goods and services in the country.

In this regard, the proposed objective is to assess the progress, limitations and challenges of the regulatory framework for sustainable development of this type of energy. In the investigation, a case study was carried out in the Guantánamo Territorial Division of the COPEXTEL Corporation, S.A., other methods of the theoretical, empirical and statistical-mathematical level were also used.

*Keywords:* Regulatory framework, climate change, renewable energy sources, grid injection photovoltaic systems.

---

### Introducción

Ante la difícil situación energética actual en Cuba y el agravamiento pronunciado de los eventos naturales extremos es importante destacar el papel de las energías renovables o alternativas para atenuar los efectos adversos del cambio climático; así como su aporte al «Acuerdo de París» suscrito en la Cumbre Mundial del Clima celebrada en diciembre de 2015 en la capital francesa, el cual establece, por primera vez en la historia, un objetivo global contra el cambio climático, por el que los 195 países firmantes se comprometen a reducir sus emisiones de gases contaminantes.

Ante este escenario se impulsa un programa de desarrollo sostenible de las fuentes renovables de energía (FRE), para lo cual se estableció como política hasta el 2030 alcanzar 24 % de generación con FRE y se implementan los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución (Lineamiento 204 «Acelerar el cumplimiento del Programa aprobado hasta 2030 para el desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía» y el Lineamiento 252 que promueve que las nuevas inversiones, el mantenimiento constructivo y las reparaciones capitalizables con soluciones para el uso eficiente de la energía [Comité Central PCC, 2017]).

Por su parte, el Consejo de Estado de la República de Cuba en el 2017 aprobó el Decreto Ley 345 «Del Desarrollo de las Fuentes Renovables y el Uso Racional de la Energía». El mismo responde a la política energética trazada por el país y potencia el desarrollo de las FRE y establece las regulaciones para su aprovechamiento. Dispone también la adopción de incentivos tanto para personas naturales, el sector estatal y la inversión extranjera. Precisamente aquí está dada su novedad, que nuestro país no solo reconoce en su marco legal la inclusión de este tipo de fuente, sino que también cuenta con mecanismos para su estimulación.

En tal sentido, la Constitución de la República de Cuba, aprobada el 10 de abril del 2019, en su Título II Fundamentos Económicos, artículo 21, refiere: «El Estado promueve el avance de la ciencia, la tecnología y la innovación como elementos imprescindibles para el desarrollo económico y social. Igualmente implementa formas de organización, financiamiento y gestión de la actividad científica; propicia la introducción sistemática y acelerada de sus resultados en los procesos productivos y de servicios, mediante el marco institucional y regulatorio correspondiente». De ahí, la oportunidad y necesidad de incorporar en la actividad empresarial el uso de los sistemas fotovoltaicos con el fin de fomentar el autoconsumo.

En la Corporación Copextel, S.A., específicamente en la División Territorial Guantánamo, en 2016 se inició un proceso inversionista en función del desarrollo interno de las FRE; sin embargo, la modificación de las normas jurídicas y contables que establecen su registro y control transitan aún por un proceso lento, por lo que ello constituye una necesidad perentoria para el desarrollo y(o) retraso en esta entidad.

Lo anteriormente expuesto permite identificar el problema siguiente; ¿Cómo evaluar el estado actual del desarrollo de la energía solar fotovoltaica en el sector empresarial? El objeto de la investigación constituye el marco

normativo para la gestión de las FRE en el sector empresarial y su campo de acción la energía solar fotovoltaica.

Por tanto, se declara como objetivo general: valorar los avances, limitaciones y desafíos en el marco regulatorio para un desarrollo sostenible de la energía solar fotovoltaica en la División Territorial Guantánamo de la Corporación Copextel, S.A.

### Materiales y métodos

Durante el desarrollo de la investigación se utilizaron métodos científicos como el materialismo dialéctico sustentado en lo abstracto y lo concreto (abstracción científica) para analizar las particularidades del fenómeno estudiado; se realizó además el análisis y la síntesis de la información científico-técnica a través de la cual se pusieron de manifiesto las insuficiencias planteadas en el problema, así como la identificación y análisis de los avances, limitaciones y desafíos del desarrollo de la energía solar fotovoltaica para autoconsumo en el sistema empresarial.

Se empleó además el método lógico-histórico para analizar los antecedentes, causas y condiciones en que se ha desarrollado la energía fotovoltaica en Cuba, con énfasis en los sistemas a pequeña escala de autoconsumo y su vínculo con la actividad empresarial. Se utilizó la inducción y deducción como forma de razonamiento a partir de la bibliografía consultada, hasta llegar a estándares particulares que permitan la confirmación del diagnóstico y las bases para trabajar en su desarrollo sostenible.

Fue necesario el enfoque en sistema para descomponer, analizar e integrar todo ello en el marco normativo contable y jurídico del sector empresarial, con ello una revisión y análisis documental con el objetivo de obtener las experiencias teóricas y prácticas nacionales que fundamentan la investigación.

Se realizó además un estudio de caso en la Corporación Copextel, S.A., específicamente en la División Territorial Guantánamo. En esta institución se efectuó un estudio de su manual de normas y procedimientos.

También se trabajó con el método estadístico-matemático para la recogida de datos históricos, la realización de las estimaciones y presentación de la información, para luego concluir con un estudio de caso que permita demostrar el avance, las limitaciones y los desafíos en el tratamiento de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red en la Corporación Copextel, S.A.

### Resultado y discusión

El proceso inversionista de los sistemas fotovoltaicos de inyección a red (SFVIR), iniciado en julio de 2016, comprendió todo un proceso en la División Guantánamo de la Corporación Copextel, S.A. de inserción en una economía verde, dando los primeros pasos en el cambio de la matriz energética y la búsqueda de mayor eficiencia en la prestación de los servicios con la disminución de los gastos de portadores energéticos a partir de la instalación de SFVIR, el cual comienza en la Gerencia General con la instalación de un sistema de 9,36 kWp, de potencia, aumentando posteriormente en 2017 a 10,40 kWp.

En 2018 continua el desarrollo de la energía fotovoltaica en la División, instalándose dos sistemas, uno de 5 kWp

en la cubierta ligera del taller de la Unidad Organizativa de Soluciones y otro instalado como cubierta del parqueo del taller de Servicios Técnicos en el municipio Maisí de 5,52 kWp. En el 2019 se procede a la instalación en el Taller de Clima de un sistema de 5 kWp. Actualmente la matriz energética de la División se proyecta como sigue en la Fig. 1:

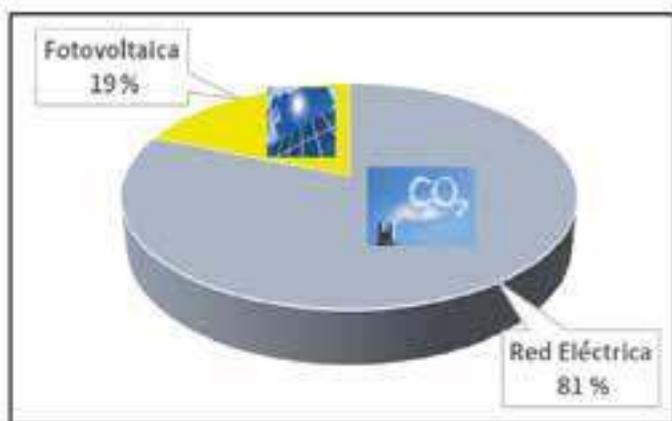


Fig. 1. Matriz energética de la División Copextel Guantánamo.  
Fuente: elaboración propia a partir de datos históricos de consumos y generación fotovoltaica.

La generación con energía solar fotovoltaica le ha permitido a la División Territorial Guantánamo de la Corporación Copextel, S.A. obtener considerables ahorros en los consumos de energía eléctrica proveniente de la red desde finales de 2016, hasta alcanzar en 2019 una matriz energética de 19 % con renovables, para ir transitando de consumidores a generadores de su propia energía.

Los datos de los consumos históricos del local que ocupa la Gerencia General que se muestran en la Fig. 2 evidencian un trabajo sostenido de eficiencia energética y desde finales del 2016 se observan los resultados favorables de la entrada en funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos.

Los sistemas fotovoltaicos han generado hasta la fecha 52 MWh, lo que evitó el consumo de 13 toneladas de combustible fuel oil, que representa un ahorro de 5,850 USD; y disminuye la dependencia de importar combustibles fósiles que obligan al país a fuertes erogaciones de divisas cuyos precios son inestables, y que aunque se produzcan nacionalmente tienen un elevado valor añadido si se emplean como materias primas para importantes procesos industriales.

La utilización de este tipo de energía ayuda a mitigar la contaminación del medioambiente, debido a que contribuye a la erradicación de fenómenos, como: el efecto invernadero, directamente relacionado con el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). A partir del combustible dejado de consumir se evitan emisiones de 36 toneladas de CO<sub>2</sub>.

A pesar de estos beneficios, la valoración realizada al marco regulatorio vigente permitió identificar una serie de limitaciones que representan barreras para el desarrollo económico de la empresa. En un análisis más exhaustivo de la norma jurídica (Decreto Ley 345/ 2019), es válido aclarar que, independientemente de aquellos incentivos que encuentran respaldo legal en el referido Decreto Ley, debieron incluirse otros que resultan aplicables a Cuba.

Tal es el caso de la creación de reservas voluntarias para investigación y desarrollo a partir de las utilidades según se establece en la Resolución 138/2017, lo cual representa un instrumento que, aunque no es considerado con tal condición en la doctrina, es adoptado por muchos ordenamientos internos. Se trata de crear un fondo para actividades de corte ambiental que contribuyan a la preservación del medioambiente, o a la creación de un fondo explícitamente

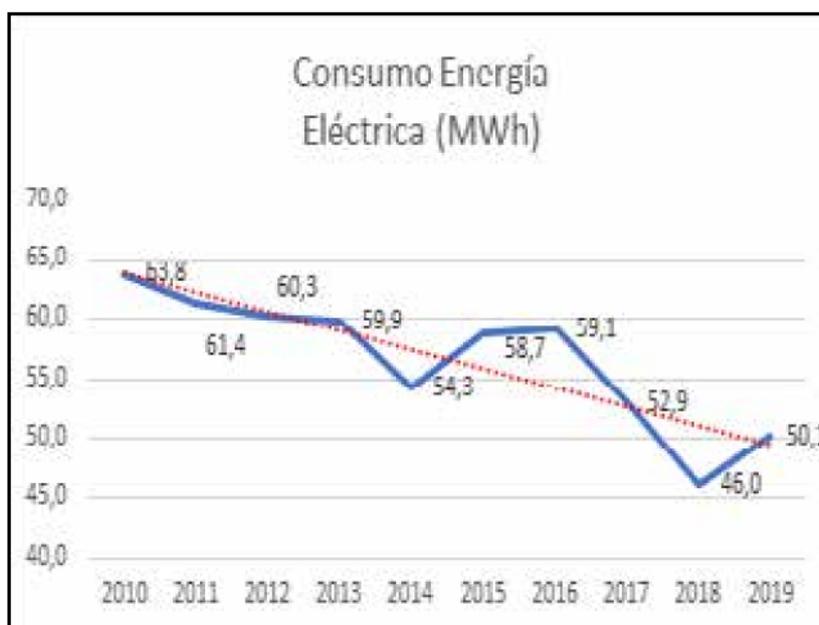


Fig. 2. Consumos históricos reportados en MWh, en la Gerencia General de la División Territorial Guantánamo.  
Fuente: elaboración propia a partir de los consumos históricos.

te para el financiamiento de toda actividad o inversión que guarde relación con el uso y aprovechamiento de las FRE.

Otro aspecto importante de este instrumento jurídico es la promoción de la producción de energía por parte del consumidor, mediante el empleo de tecnologías que aprovechen las FRE para el autoabastecimiento y la venta de los excedentes al Sistema Electroenergético Nacional (SEN). Pese a esta garantía el monto aprobado en la Resolución 435/2017 del Ministerio de Finanzas y Precios para el sector estatal es bajo, de 6 centavos, lo cual incide negativamente en la amortización de la inversión.

Lo referido anteriormente incide de forma negativa en la División Territorial Guantánamo de la Corporación Copextel, en indicadores como el periodo de recuperación de la inversión (PRI), Costo-Beneficio (C/B) y Tasa de Rendimiento Promedio (TRP). La recuperación de la inversión en los sistemas instalados está en dependencia del autoconsumo, mientras mayor sea el ahorro por autoconsumo y menor sea la inyección a la red, más rápido será el retorno de la inversión, lo cual se muestra en la figura 3 y la tabla 1, lo que pone de relieve las fisuras en el marco regulatorio

y la falta de consenso entre las prioridades del país con la eficiencia en las empresas.

Tal es el caso del sistema fotovoltaico instalado en el taller del municipio Maisí, el cual inyecta a la red 49 % de la energía generada y el comportamiento de los indicadores analizados es desfavorable con relación a otros sistemas de igual potencia.

El Decreto 345 de 2019 dispone en el Capítulo II, Sección Segunda, Artículo 15.2: «la Unión Eléctrica compra toda la energía eléctrica generada a partir de FRE, producida por los productores independientes, siempre que cumpla las normas técnicas establecidas»; pero contrariamente a lo dispuesto existen obstáculos en la práctica, tal es el caso de la inexistencia de los metros contadores bidireccionales para pequeños consumidores tan necesarios para el registro tanto del consumo como de la inyección a la red. Esto último con los metros contadores prepagos existentes actualmente son considerados un consumo de corriente eléctrica proveniente de la red, lo que afecta económicamente la actividad de la empresa.

En la figura 4 se observa la falta de equivalencia entre el costo del Kilowatt-hora (kWh) fotovoltaico estimado en los



Fig. 3. Período de recuperación de las instalaciones fotovoltaicas en Copextel.

Fuente: Datos extraídos de los estudios de post inversión.

Tabla 1. Índices de Rendimiento de la Inversión

Rendimiento de la Inversión			
Instalaciones SFVIR	Autoconsumo (%)	B/C	TRP
Gerencia General (10.4 kWp)	98	3,80	5,81
Taller soluciones (5 kWp)	95	4,43	6,66
Taller STI Maisí (5.52 kWp)	51	2,15	3,70
Taller STI Clima (5 kWp)	90	3,26	4,7

Fuente: Datos extraídos de los estudios de post inversión.

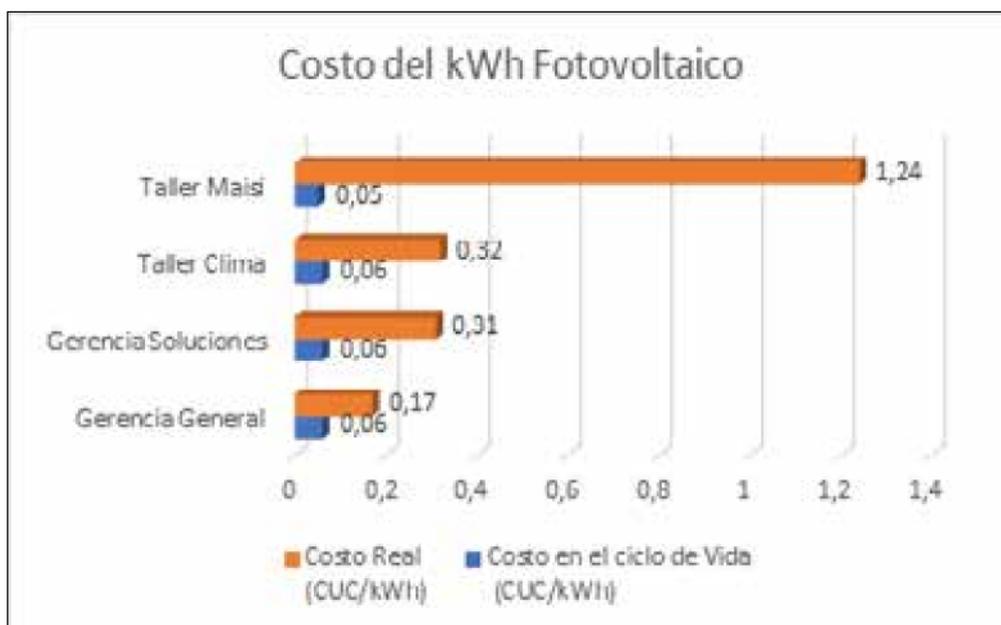


Fig. 4. Comparación entre el costo del kWh estimado y el real de las instalaciones fotovoltaicas en Copextel.

estudios de factibilidad para la inversión y el que se obtiene en la realidad producto de las limitantes en la práctica.

En este orden, la Resolución 701/2015 del Ministerio de Finanzas y Precios, donde se aprueban las tasas máximas anuales de depreciación y de amortización, no incluye el equipamiento relacionado con las FRE en la clasificación de activos fijos tangibles, lo cual puede transformar una serie de ventajas económicas en limitaciones.

En la praxis, la empresa aun clasifica sus activos por la Resolución 471/2012. Los sistemas fotovoltaicos son clasificados como equipos técnicos con 15 % de depreciación anual, sin tener en cuenta la estimación de la vida útil de sus partes fundamentales, lo que provoca que este tipo de tecnología se deprecie de forma acelerada y se incremente el valor promedio del kWh fotovoltaico a 0,26 CUC en los primeros 7 años.

Ante esta realidad es importante resaltar el papel que debe cumplir la Norma Específica de Contabilidad No. 11 «Contabilidad Medioambiental» de 2018, la cual tiene como alcance la aplicación del reconocimiento, valoración e información de operaciones que se realicen con el objetivo de proteger el medioambiente, siempre y cuando se puedan identificar los activos, pasivos, ingresos y gastos de manera diferenciada, pero no hace referencia a la Norma Cubana de Contabilidad No. 7 «Activos Fijos Tangibles» para establecer el tratamiento contable de las operaciones referidas a la implementación de las FRE en las diferentes instituciones.

Unido a lo anterior es necesario referenciar la Norma Específica de Contabilidad No. 12 «Contabilidad de Gestión» por la definición de la planificación y control de los gastos que constituyen costos, mediante su adecuado registro, cálculo y análisis en todas las entidades productivas y de servicios; por lo que debe complementarse con las normas mencionadas anteriormente para un oportuno registro y control de los gastos pertenecientes a las FRE.

Todo lo señalado conlleva diversos desafíos en este sector para la utilización de las energías limpias como fuente alternativa de generación eléctrica:

- Capacitar a todos los actores implicados para lograr un cambio de mentalidad.
- Diseñar procedimientos normativos que regulen el registro contable en la empresa.
- Actualizar de forma continua el marco regulatorio para incentivar la inversión en sistemas fotovoltaicos que sustituyan 100 % del consumo de corriente eléctrica proveniente de la red de las instalaciones.

Pese a las limitaciones y desafíos es elemental buscar alternativas para asumir las FRE como la mejor opción posible frente a la situación energética actual, sin dejar a un lado la efectividad para el sector empresarial de un marco regulatorio que considere los aspectos siguientes:

- La factibilidad económica en la generación eléctrica con renovables.
- Incentivos que promuevan la inversión y permitan no solo sustituir con energía solar fotovoltaica 100 % del consumo de corriente eléctrica proveniente de la red en las instalaciones, sino la entrega al sistema electroenergético nacional.
- Procedimientos que normen el registro contable del equipamiento tecnológico para garantizar su efectividad en los indicadores de eficiencia en la producción de bienes y servicios.

### Conclusiones

El estudio realizado al marco regulatorio muestra avances en el desarrollo de la energía solar fotovoltaica a pequeña escala, sin embargo, aún persisten fisuras que limitan el desarrollo de las FRE a nivel empresarial.

Las instituciones rectoras deben sumar esfuerzos con apoyo de los cuerpos académicos o grupos de investigación para la mejora continua de las disposiciones jurídicas aprobadas a tal efecto.

Las experiencias analizadas aún no alcanzan los resultados esperados y son el inicio de un proceso para transformar la conciencia existente sobre el uso de las FRE en el sector empresarial.

### Bibliografía y referencias bibliográficas

- COMITÉ CENTRAL (2017). «Documentos 7<sup>mo</sup> Congreso del Partido Comunista de Cuba (I)». Recuperado el 16 de julio del 2019 de <http://www.granma.cu>
- CONSEJO DE ESTADO (2019). «Decreto Ley 345: Del desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía». Gaceta Oficial 95.
- CORPORACIÓN COPEXTEL, S.A. (2019). «Manual de Normas y Procedimientos». Recuperado el 5 de septiembre de <http://192.168.11.11/aplicaciones/arcas2>
- MINISTERIO DE FINANZAS Y PRECIOS (2012). «Resolución 471/2012: Tasas máximas anuales de depreciación y de amortización». Recuperado el 23 de octubre del 2019 de [http://www.mfp.gob.cu/legislacion/disposiciones\\_publicadas.php](http://www.mfp.gob.cu/legislacion/disposiciones_publicadas.php).
- MINISTERIO DE FINANZAS Y PRECIOS (2015). «Resolución 701/2015: Tasas máximas anuales de depreciación y de amortización». Recuperado el 23 de octubre del 2019 de [http://www.mfp.gob.cu/legislacion/disposiciones\\_publicadas.php](http://www.mfp.gob.cu/legislacion/disposiciones_publicadas.php)
- MINISTERIO DE FINANZAS Y PRECIOS (2017). «Resolución 138/2017: Procedimiento para el sistema de relaciones financieras entre las empresas estatales, las sociedades mercantiles de capital ciento por ciento (100%) cubano y las organizaciones superiores de dirección empresarial, con el estado». Recuperado el 17 de enero del 2020, de [http://www.mfp.gob.cu/legislacion/disposiciones\\_publicadas.php](http://www.mfp.gob.cu/legislacion/disposiciones_publicadas.php)
- MINISTERIO DE FINANZAS Y PRECIOS (2017). «Resolución 435/2017: Establecer el precio de compra de la energía eléctrica que genera el sector no residencial con la instalación de Sistemas Solares Fotovoltaicos». Recuperado el 11 de noviembre del 2019 de [http://www.mfp.gob.cu/legislacion/disposiciones\\_publicadas.php](http://www.mfp.gob.cu/legislacion/disposiciones_publicadas.php)
- MINISTERIO DE FINANZAS Y PRECIOS (2017). «Resolución 1038/2017: Norma Cubana de Contabilidad No. 7 “Activos Fijos Tangibles”». Recuperado el 11 de septiembre del 2019 de [http://www.mfp.gob.cu/legislacion/disposiciones\\_publicadas.php](http://www.mfp.gob.cu/legislacion/disposiciones_publicadas.php)
- MINISTERIO DE FINANZAS Y PRECIOS (2018). «Resolución 925/2018: Norma Específica de Contabilidad No. 11 “Contabilidad Medioambiental”». Recuperado el 11 de septiembre del 2019 de [http://www.mfp.gob.cu/legislacion/disposiciones\\_publicadas.php](http://www.mfp.gob.cu/legislacion/disposiciones_publicadas.php)
- MINISTERIO DE FINANZAS Y PRECIOS (2018). «Resolución 935/2018: Norma Específica de Contabilidad No. 12 “Contabilidad de Gestión”». Recuperado el 11 de septiembre del 2019 de [http://www.mfp.gob.cu/legislacion/disposiciones\\_publicadas.php](http://www.mfp.gob.cu/legislacion/disposiciones_publicadas.php) Decreto Ley 345. (s.f.).
- ORTÍZ, J. (2013). «Viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico de pequeña escala en la universidad EAN». *Visión electrónica*, 7(1), 103-117. doi:<https://doi.org/10.14483/22484728.3858>
- PELÁEZ, O. (10 de marzo de 2017). «Energía Fotovoltaica, con potencial para crecer más». *Granma*.
- STOLIK, D. (2012). «Primera parte de cien preguntas y respuestas sobre la energía FV». En *Energía y Tú*(58). La Habana: Ed. Cubasolar.
- STOLIK, D. (2012). «Segunda parte de cien preguntas y respuestas sobre la energía FV». En *Energía y Tú*(59). La Habana: Ed. Cubasolar.
- STOLIK, D. (2014). «La energía FV: oportunidad y necesidad para Cuba». En *Economía y Desarrollo*, 152(2), 69-86.
- STOLIK, D. (2019). *Energía fotovoltaica para Cuba*. La Habana: Ed. Cubasolar.
- VIGIL, E. (2017). «Ninguna alerta es suficiente para frenar el uso de los combustibles fósiles». En *Energía y Tú*(84). La Habana: Ed. Cubasolar.

Recibido: 1ro de noviembre 2019.

Aceptado: 15 de noviembre de 2019.

# ESTUDIO PARA LA APLICACIÓN DE LA ENERGÍA RENOVABLE EN LA EMPRESA LABIOFAM MATANZAS

Por Dr. C., M. Sc. Ing. José Luis Sánchez Ávila\*, M. Sc. Ing. Marlene Orama Ortega\*\*  
e Ing. Juan Ramón Díaz Matos\*\*\*

\* Energético Provincial de BANDEC Matanzas.  
E-mail: joseluis@dpmt.bandec.cu

\*\* Profesora de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Matanzas.  
E-mail: marlene.oramas@umcc.cu

\*\*\* Juan Ramón Díaz Matos. Energético Provincial de GECMA Matanzas.  
E-mail: juanramon650214@atenas.inf.cu

## Resumen

Se realiza un estudio integral de las posibilidades más abarcadoras para la aplicación de las fuentes renovables de energía en la Empresa Labiofam Matanzas. Se propone aprovechar sus techos para la instalación de paneles fotovoltaicos, sustituir su sistema de bombeo por bombas fotovoltaicas, y además se diseña un destilador solar para recuperar el agua de retorno de la caldera de la fábrica de yogurt, y se calculan cuatro biodigestores para las cochiqueras que poseen en La Estrella, Petrona, Casualidad y La Conga.

Todo esto no solo le va a permitir autoabastecerse de energía mediante las fuentes renovables a su disposición, sino que además le va a permitir la posibilidad de un superávit para la recuperación de la inversión en un tiempo prudencial.

*Palabras clave: Energía renovable, medioambiente.*

---

## STUDY FOR THE APPLICATION OF THE RENEWABLE SOURCES OF ENERGY IN THE LABIOFAM MATANZAS COMPANY

### Abstract

It is carried out an integral study of the most comprehensive possibilities for the application of the renewable sources of energy in the Labiofam Matanzas Company. Where intends to take advantage their roofs for the installation of photovoltaic panels, also to substitute their system of pumping for photovoltaic bombs, a solar distiller is also designed to recover the water of return of the boiler of the yogurt factory, and 4 digestors is calculated for the hatchery of pigs that possess in The Estrella, Petrona, Casualidad and The Conga.

All this will allow to be supplied energy by means of the renewable sources at your disposal, if not that will also have the possibility of a surplus that can allow him at one time the recovery of the investment prudential.

*Keywords: Renewable energy, environment.*

---

## Introducción

La necesidad de mitigar el efecto invernadero y el aumento de los precios del petróleo, como resultado de la disminución de las reservas mundiales y de la inseguridad en el suministro estable, debido a conflictos políticos en regiones productoras, han motivado la búsqueda de alternativas a los carburantes fósiles. Las fuentes de energía renovables se encuentran entre los potenciales sustitutos de los combustibles basados en los hidrocarburos tradicionales, y como una de las maneras más factibles de lograr la independencia energética de la nación, con respecto a las fuentes externas de combustible (hidrocarburos importados).

## Desarrollo

El trabajo muestra los cálculos y selección de las tecnologías posibles de aplicar en la Empresa Labiofam, para la reducción de su consumo de energía eléctrica y la producción de un extra de energía, que mediante su venta a la Unión Nacional Eléctrica (UNE) le permita recuperar la inversión a ejecutar en un tiempo prudencial. Las propuestas son las siguientes:

1. Sustituir las dos bombas sumergibles marca Caprari modelo EX40-6/6-Z con un caudal de 4 a 8 lt/seg y una altura de bombeo de 40,7 a 84,8 m, las cuales demandan una potencia de 5,5 kW cada una, por dos bombas sumergibles LORENTZ, modelo PS200 HR-04 de 7300 lt/Día, tensión de trabajo de 24 a 48 V y una altura de bombeo de 50 m; cada una sería alimentada por paneles fotovoltaico de 13 paneles de 250W, garantizando en el horario diurno toda el agua que necesita la Empresa, la cual quedaría acumulada en su tanque de acumulación elevado de 10 000 litros. Ver anexo 3.
2. Aprovechar los techos que dan hacia el sur de la planta de yogurt (600 m<sup>2</sup>) y del bloque de oficinas (201 m<sup>2</sup>), que en total hacen un área aprovechable de 801 m<sup>2</sup>, lo cual permitiría instalar en dichos techos 445 paneles fotovoltaicos de silicio policristalino con las siguientes características: 12Vdc/7,74A/250W. Esto le permitiría durante el horario del día generar 26 822 amperes al día, equivalentes a 321 kW de potencia promedio diario, necesitando la Empresa como demanda máxima 100 kW al día, quedándole 221 kW de demanda, al menos durante cinco horas, para ofertar a la UNE, o sea, 1547 kW.hr de energía de venta, teniendo en cuenta que en ese horario se ahorraría lo que hoy consume. En el anexo 1 se muestran los datos del resto del equipamiento a adquirir, como es el inversor. Se aclara que aunque se calcula la cantidad de baterías necesarias, por si a la Empresa le interesa ese dato, estas no se tienen en cuenta en las compras propuestas en el anexo 5.
3. Se propone un destilador solar para recuperar el agua de retorno de la Caldera, además dos colectores solares para calentar el resto del agua de reposición que no se pueda recuperar, 220 litros

diarios, de forma que al mezclarse caliente con los 2002 litros que pueden recuperarse a más de 90 °C, el agua de alimentar la caldera entraría a 80 °C en vez de a 25 °C que entra en la actualidad, ahorrándose agua y combustible por un monto total de 7657 \$/año. Ver anexo 4 y 6.

4. Cálculo de 4 biodigestores para las cochiqueras La Estrella, Petrona, Casualidad y La Conga que poseen o tienen una capacidad para 756, 900, 800 y 80 cerdos respectivamente, lo cual les permitirá reducir el consumo de energía en dichos lugares hasta 80 %, después de que se adquiera la tecnología expuesta en el anexo 5. Ver anexo 2; además, existe la posibilidad de generar electricidad con el biogás sobrante, sobre todo las tres primeras cochiqueras.

## Análisis económico

### I. Análisis de la inversión

Este análisis se realiza teniendo en cuenta que se propone un proyecto de inversión, de los cuales existen dos tipos de proyectos:

1. Investigación: que a su vez puede ser:

En ciencias básicas.  
En ciencias aplicadas.

2. Constructivos: que pueden ser:

Industriales.  
Remodelación.  
Nuevo producto o innovación.  
Organización de la producción.

En este caso la propuesta es de un proyecto de inversión de tecnología para producir energía eléctrica mediante fuentes renovables, de aplicación multidisciplinaria de ciencias aplicadas tales como Energía, Mantenimiento, Calderas y Termodinámica.

Una inversión es renunciar a algo para lograr mucho más en el futuro; para este caso es invertir un dinero para lograr más, a partir del aumento de la ganancia gracias a una reducción de los costos.

Para los cálculos se escogió un horizonte de 10 años, que es la perspectiva en que se espera coincidan los ingresos con los pagos realizados producto de la inversión que se va a acometer; y se dividió el horizonte en años como período. De esta forma se está considerando que antes de los 10 años el proyecto va a producir cobros que justifiquen los pagos realizados.

El costo total de una inversión se puede calcular de la forma siguiente:

$$CTI = CI + CO \cdot \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \cdot i} \right] \quad (1)$$

Donde: CTI –Costo total de la inversión.

$i$  –Tasa de interés del banco de donde se extrajo el dinero, o la tasa de interés del crédito o préstamo solicitado, fracción.

$CI$  –Costo de instalación, suma del costo de la inversión más el montaje, \$.

$CO$  –Costo de operación y mantenimiento, \$.

$m$  –Vida útil, 10 años, aunque la vida útil de los colectores puede ser de hasta 20 años.

$\left[ \frac{(1+i)^m - 1}{(1+i)^m \cdot i} \right]$  –Coeficiente que tiene en cuenta el costo de operación y mantenimiento que se produce durante su vida útil.

En este caso el costo de operación no existe, debido a que estos sistemas son totalmente automáticos, por lo que solo llevará implícito el costo de mantenimiento del equipamiento, el cual se calcula por la siguiente expresión:

$$CO = 0,03 \cdot CI \quad (2)$$

El costo de la instalación también se puede subdividir en:

$$CI = C_{inv} + C_{mont} \quad (3)$$

Donde:  $C_{inv}$  –Costo de la inversión.

$C_{mont}$  –Costo del montaje

El costo de la inversión se obtiene de los proveedores (anexo 5), en el que se encuentran los valores totales de la inversión; como una parte de ellos están expresados en euros se realiza la conversión a CUC por el valor de cambio vigente cuando se confeccionó el presente informe, que era de 1,14. Como los precios incluyen el costo de instalación y montaje, el costo de la inversión sería:

$$CI = 261\,151,80 \text{ €} \cdot 1,14 + 91\,489,97 \text{ CUC} \\ = 389\,203,02 \text{ CUC}$$

El costo de operación y mantenimiento se determina sustituyendo en la ecuación 2:

$$CO = 0,03 \cdot CI = 0,03 \cdot 389\,203,02 = 11\,676,09 \text{ CUC}$$

Teniendo en cuenta que el dinero es del dueño de la instalación, y extrae del banco, se toma una tasa de interés bancario de 2 % (0,02 en fracción). De esta forma se pudo sustituir en la ecuación 1, obteniéndose un costo total de la inversión:

$$CTI = 444\,237,80 \text{ CUC}$$

## 2. Cálculo y análisis de los ahorros y pagos posibles

Teniéndose los costos totales de la inversión, se calcula a continuación el ahorro que se lograría. Esto corresponde a lo que deja de gastar la Empresa por tener garantizada la energía mediante colectores solares fotovoltaicos durante el día, lo que arroja un ahorro de:

$$AeeE = Cea \cdot \%Hd = 232\,848 \text{ kW.hr/año} \cdot 0,8 = 186\,278,4 \text{ kW.hr/año}$$

Donde:  $AeeE$  –Ahorro de energía eléctrica en la Empresa, kW.hr/año

$Cea$  –Consumo de energía anual de la Empresa, kW.hr/año

$\%Hd$  –por ciento del consumo de horas del día del total diario, fracción.

El ahorro de energía eléctrica en las cochiqueras, la cuales usarían tecnología que utilice biogás, sería de:

$$AeeC = CeCo + CeCa + CeE + CeP = 2604 + 2400 + 1872 + 2232 = 9\,108 \text{ kW.hr/año}$$

Donde:  $AeeC$  –Ahorro de energía eléctrica en las cochiqueras, kW.hr/año

$CeCo$  –Consumo de energía anual de la Conga, kW.hr/año

$CeCa$  –Consumo de energía anual de la Casualidad, kW.hr/año

$CeE$  –Consumo de energía anual de la Estrella, kW.hr/año

$CeP$  –Consumo de energía anual de Petrona, kW.hr/año

El ahorro de energía eléctrica de las dos bombas se calcularía:

$$AeeB = DeB \cdot CantB \cdot TTd \cdot Dta = 5,5 \text{ kW} \cdot 2 \cdot 5 \text{ hr/día} \cdot 365 \text{ días/año} \\ AeeB = 28\,105 \text{ kW.hr/año}$$

Donde:  $AeeB$  –Ahorro de energía eléctrica en las bombas, kW.hr/año

$DeB$  –Demanda eléctrica de las bombas, kW

$CantB$  –Cantidad de bombas, 2.

$TTd$  –Tiempo de trabajo promedio diario, hr/día

$Dta$  –Días de trabajo al año, días/año

El ahorro de energía anual será:

$$AeeT = AeeE + AeeC + AeeB = 186\,278,4 + 9\,108 + 28\,105 = 223\,491,4 \text{ kW.hr/año}$$

Donde:  $AeeT$  –Ahorro de energía eléctrica ahorrada, total, kW.hr/año

Si a este valor lo multiplicamos por el promedio de la tarifa eléctrica de la UNE a la Empresa por la tarifa de media tensión M1A, que corresponde a 0,24 CUC/kW.hr, se obtiene:

$$Aee\$ = AeeT \cdot Tarifa = 223\,491,4 \text{ kW.hr/año} \cdot 0,24 \text{ CUC/kW.hr} = 53\,637,94 \text{ CUC/año}$$

Donde:  $Aee\$$  –Ahorro en dinero de energía eléctrica ahorrada, total, CUC/año

Si se tiene en cuenta que la Empresa va tener una producción de energía extra de 221,8 kW durante al menos siete horas durante el día, 335 días al año (se considera un equivalente anual de 30 días totalmente nublados), se obtiene que la Empresa puede producir y comercializar la siguiente cantidad de energía:

$$E_p = D_d \cdot T_d \cdot D_t = 221,8 \text{ kW} \cdot 5 \text{ hr/día} \cdot 335 \text{ días/año} = 520\,121 \text{ kW.hr/año}$$

Donde:  $E_p$  –Energía eléctrica producida, kW.hr/año  
 $D_d$  –Demanda eléctrica disponible para comercializar, kW  
 $D_t$  –Días de trabajo soleados al año, días/año.

Si a este valor se multiplica por el promedio de la tarifa eléctrica que paga la UNE a las Empresas que generan electricidad por la tarifa Grupo C Tarifas de compra de energía eléctrica a cogeneradores independientes nacionales, que corresponde a 0,10 CUC/kW.hr, se obtiene:

$$E_p\$ = E_p \cdot \text{Tarifa}_C = 520\,121 \text{ kW.hr/año} \cdot 0,10 \text{ CUC/kW.hr} = 52\,012,10 \text{ CUC/año}$$

Donde:  $E_p\$$  –Dinero posible a cobrar por la energía eléctrica producida, CUC/año

Si se suma el ahorro que se obtiene en la caldera que es de 7 657,13 CUC/año (ver anexo 6), se obtiene una entrada monetaria total entre ahorro y ventas de:

$$A_{ht} = A_{e\$} + E_p\$ + A_t = 53\,637,94 + 52\,012,10 + 7\,657,13 = 113\,307,17 \text{ CUC/año}$$

Donde:  $A_{ht}$  –Entrada monetaria total, en CUC/año

$A_t$  –Ahorro por las mejoras en la caldera

### 3. Cálculo medioambiental

La cantidad de energía eléctrica que se deja de producir en los generadores primarios de energía que utilizan combustible fósiles, después de ejecutada la inversión propuesta, se calcula como:

$$E_{eT} = A_{eT} + E_p = 223\,491,4 + 520\,121 = 743\,612,4 \text{ kW.hr/año}$$

Donde:  $E_{eT}$  –Energía eléctrica total que se deja de producir en las centrales termoeléctricas, kW.hr/año

El combustible ahorrado por este concepto se calcula multiplicando este valor por el consumo específico de combustible medio del país, de 280 g/kW.hr (gramos de combustible por kW.hr producido)

$$C_{ah} = E_{eT} \cdot B_c = \frac{743\,612,4 \text{ kW.hr/año} \cdot 280 \text{ g/kW.hr}}{1000000 \text{ g/Tn}} = 178,5 \text{ ton/año}$$

Donde:  $C_{ah}$  –Combustible fósil ahorrado al año, Ton/año  
 $B_c$  –Consumo específico de combustible del país, g/kW.hr

Lo cual equivale a que gracias a la inversión propuesta, además de dejarse de consumir 178,5 toneladas de combustibles fósiles anuales, o sea, aproximadamente 170 000 litros de hidrocarburos al año, por este concepto se dejan de emitir a la atmósfera 624 toneladas de dióxido de carbono anuales.

### 4. Movimiento de fondos

El movimiento de fondos de una inversión consiste en determinar en cada uno de los períodos en que se dividió el horizonte, cuántos cobros y cuántos pagos se realizan. Para facilitar su confección y análisis se realiza este movimiento en forma de tablas con los cobros y pagos a partir del momento en que se debe culminar la inversión; la resultante de esta tabla va a ser el movimiento de fondos, y se confecciona por períodos, teniendo en cuenta que todo lo que se ahorra se va a cobrar a más tardar al finalizar el año, y todo lo que se compra se va a pagar a más tardar al finalizar el año.

El valor resultante puede ser positivo o negativo; el positivo es lo que se desea y el negativo significa que la inversión no es recuperable en el horizonte determinado; esto ocurre generalmente cuando el valor de la producción que se logra con la inversión se encuentra por debajo del punto de isorrentabilidad de la empresa.

Si no se realiza el movimiento de fondo no se pueden determinar y evaluar con todo rigor las inversiones. Es aconsejable antes de acometer una inversión realizar un estudio de mercado previo, que permita tener en cuenta todas las posibilidades de ofertas; en este caso se utiliza un solo proveedor por cada equipamiento, por lo restringido del mercado cubano actual de esos equipamientos, y en algunos casos con ofertas públicas en Internet, por no existir otra opción.

En resumen se tiene una sola variante, de la cual se poseen los datos siguientes (Tabla 1):

Tabla 1: Datos de la variante

Características	Nomenclatura	Variante
Costo fijo anual = Depreciación [\$/año]	D	38 920,3
Ahorro anual [\$/año]	Ah	113 307,17
Inversión inicial [\$/]	CI	389 203,02

La depreciación se calcula como tiene normada la Empresa y se encuentra regulado por el fisco, a 10 % anual del costo de la inversión; sustituyendo en la ecuación 4 se obtiene el valor de la depreciación, que también se calcula para la variante en la tabla 2:

$$D = 0,10 \cdot CI = 38\ 920,3 \text{ CUC/año} \quad (4)$$

El movimiento de fondos de la variante se encuentra en la tabla 2 del anexo 7.

Se puede observar que en los costos fijos se tiene en cuenta la depreciación del equipamiento, y su falta de inclusión falsearía los resultados, el resto de los costos fijos y las variables son los mismos. El total de cobros son los ahorros que se pueden lograr.

A continuación se calculan los diferentes criterios de selección para alternativas de inversión, estos son:

### Período de recuperación de la inversión.

Se calcula en función de los costos y los ingresos promedios anuales durante el horizonte analizado; para ello se utilizó la ecuación siguiente adaptada para una inversión que va a durar menos de un año; además, tiene en cuenta que todos los cobros y los pagos anuales son iguales.

$$Tri = \frac{CTI}{[\text{Cobros} - \text{Pagos} \cdot (Ib + 1)] \cdot (1 - Isr)} \quad (5)$$

Donde: Tri –Período de recuperación de la inversión, en años.

Ib –Intereses a pagar por préstamos en el año k, o intereses dejados de cobrar por extraer dinero del banco; ya se había tomado 0,02.

n –Horizonte analizado, 10 años.

Isr –Impuesto sobre la renta, es la parte de lo ahorrado que se paga como impuesto a la ganancia de la empresa; para la Empresa es 30 % de la ganancia.

Estos cálculos se realizaron mediante el auxilio de una hoja de cálculo insertada de Microsoft Excel, basándose el cálculo en una función financiera del propio Excel, según se observa en la tabla 2, anexo 7. En la variante propuesta la Empresa recupera el dinero invertido a los 8,62 años, que equivale a 8 años y 6 meses, inferior al horizonte de 10 años, lo cual para inversiones en energía renovable es beneficioso.

Con respecto a todo el ahorro que recibe el país el tiempo de recuperación de la inversión se determina por la expresión siguiente:

$$Tr = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorro}} = \frac{389203,02 \text{ \$}}{113307,17 \text{ \$/año}} = 3,43 \text{ años} = 3 \text{ años y 5 meses}$$

### Valor actual neto.

Este criterio tiene en cuenta que el dinero invertido pierde valor con el tiempo, debido fundamentalmente al interés bancario. En su cálculo se actualizan todos los flujos de fondo de un año base, y se compara el flujo equivalente; si es mayor que cero es económico realizar la inversión, ya que permite obtener una mayor cantidad que el dinero invertido inicialmente. Todos los cálculos se realizan sobre la base de un interés conocido. Estos cálculos se realiza-

ron mediante el auxilio de una hoja de cálculo insertada de Microsoft Excel, ver tabla 2, anexo 7.

Su ecuación es la siguiente:

$$VAN = \sum_{k=0}^n \frac{Stk}{(1+i)^k} \quad (6)$$

Donde: St –Movimiento de fondos, en \$.  
k –Período analizado, en este caso el año.

Con esta variante se obtienen 219 554,99 \$, después de haber transcurridos 10 años de haberse realizado la inversión.

### Tasa interna de retorno

Consiste en la tasa de interés calculada cuando la ecuación del valor actual neto se iguala a cero. Se aplica generalmente para determinar qué interés máximo se debe aceptar de los créditos propuestos o existentes en el mercado financiero; o sea, cualquier interés de crédito o préstamo menor que el calculado es aceptable para realizar la inversión. Se calcula despejando el interés en la ecuación siguiente.

$$0 = \sum_{k=1}^n \frac{Stk}{(1 + TIR)^k} \quad (7)$$

Donde: TIR –Tasa interna de retorno, en fracción.

Estos cálculos se realizaron mediante el auxilio de una hoja de cálculo insertada de Microsoft Excel, según se observa en la tabla 2, anexo 7. Como puede observarse para la variante propuesta la tasa interna de retorno es mucho mayor a 2 % definido con anterioridad, que es lo que deja de obtener la Empresa por extraer el dinero del banco, lográndose 10,67 % al invertirlo en las propuestas de mejoras expuestas.

### Conclusiones

- Sustituir primero las dos bombas sumergibles actuales por las bombas sumergibles propuestas con alimentación fotovoltaica, ya que es la propuesta más rentable con respecto a su inversión.
- La inversión propuesta le va a incrementar la ganancia de la Empresa en 113 307,17 CUC anuales, lo cual tiene en cuenta los ahorros que se logran y los pagos por la generación de energía eléctrica totalmente limpia.  
La inversión propuesta se recupera en 8 años y 6 meses para la Empresa, obteniéndose en el horizonte previsto un valor actual neto de 219 554,99 CUC. Con respecto a todo el ahorro que recibe el país la inversión se recupera en tres años y cinco meses.
- De solicitarse créditos para ejecutar la inversión, estos no deben aceptarse con un interés superior a 10, 67 %.

- Con la inversión propuesta, además de dejarse de consumir 178,5 de toneladas de combustibles anuales en las centrales termoeléctricas, o sea, aproximadamente 170 000 litros de combustibles al año se dejan de emitir a la atmósfera 624 toneladas de dióxido de carbono.

### Recomendaciones

- Diseñar e instalar un sistema de control automático que permita un trabajo con menos consumo de energía eléctrica, agua y diésel en la caldera, y además dar una respuesta óptima, rápida y segura a todas las posibles variaciones que tenga que soportar el sistema tecnológico, garantizando en todo momento los parámetros de temperatura de agua caliente que se envía al proceso.
- Garantizar, como se ha hecho hasta el momento, los mantenimientos preventivos planificados a las bombas y a la caldera, lo cual no solo incrementa la vida útil de esos equipamientos, sino que también se ahorran diésel y energía eléctrica por bombeo.
- Garantizar el suministro de las sales y reactivos a los sistemas de tratamiento químico del agua, lo cual permite alargar los períodos de limpieza y por tanto disminuir sus costos; además de reducir las incrustaciones en el equipamiento, las tuberías y los aditamentos que utilizan el agua caliente, reduciendo su rotura y reposición, y por tanto los costos de mantenimiento.

### Aclaraciones

- Las propuestas realizadas están basadas en mediciones realizadas en el terreno y en información estadística facilitada por la Empresa, así como los cálculos económicos son basados en precios de productos que se encuentran en el mercado nacional (cuando están en CUC) y del mercado internacional (cuando están en euros), por lo que se acepta internacionalmente hasta un rango de 10 % de error en las estimaciones realizadas.
- El presente estudio solo puede considerarse un anteproyecto de una propuesta técnica; el proyecto detallado de la inversión debe realizarse en unión con los proveedores y montadores del equipamiento pro-

puesto y en función de sus características técnicas y de diseño.

- Los resultados obtenidos en este Estudio están basados en mediciones y cálculos realizados en un sistema y bajo condiciones técnicas específicas de su utilización en otros sistemas, instalaciones o Empresas, sin la aprobación de los autores, además de infringir las leyes de Derecho de Autor de la República de Cuba, pueden provocar resultados que impliquen riesgos y accidentes, con los cuales los autores del presente Estudio no se responsabilizan.

### Bibliografía

- IDEA, INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA (2019). «Instalaciones de Energía Solar Térmica. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura». PET-REV-enero 2019. Disponible en Internet: <http://www.idae.es>  
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia19/HTML/articulo07.htm> (Revisado septiembre, 2018).  
[http://www.solartermica/componentes/CAPTADOR\\_SOLAR](http://www.solartermica/componentes/CAPTADOR_SOLAR). (Revisado septiembre, 2019).  
<http://energiasolar.11omb.com/?a=colector-solar.html>. (Revisado diciembre, 2019).
- ISACHENKO, V. ET AL. (1987). *Transmisión de Calor*. La Habana: Ed. Pueblo y Educación.
- Donald Q. Kern *Procesos de transferencia de Calor*. Trigésima cuarta reimpresión, México, 2019.
- SÁNCHEZ ÁVILA, J. L. Y MARLENE ORAMA ORTEGA (2017). «Instalaciones de refrigeración y climatización». Página Web de la Maestría en Termoenergética Industrial, Matanzas, Cuba, 2017. <http://www.fiqm.umcc.cu/dptos/cecyen/maestria/11master.html#invitacion>.
- SÁNCHEZ ÁVILA, J. L. (1999). «Desarrollo y aplicación del diagnóstico y pronóstico técnico al mantenimiento de los sistemas centralizados de aire acondicionado». Tesis de Doctorado. Universidad de Matanzas. Matanzas, 129 Páginas, 1999.
- BORROTO NORDELO, ANÍBAL Y ÁNGEL RUBIO GONZÁLEZ (2007). *Combustión y Generación de vapor*. Editorial UNIVERSO SUR, 2007.  
[http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/energia\\_y\\_ciencia/2016/06/02/152590.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2016/06/02/152590.php). (Revisado septiembre, 2019).

Recibido: 1ro de noviembre 2019.

Aceptado: 15 de noviembre de 2019.

## Anexo 1: Determinación de la cantidad de paneles fotovoltaicos Labiofam

Uso Simultaneo

Consumo diario de Corriente de CA (Ah) **3 908,46** A/día  
 Consumo Total corregido: **4 598,19** A/día

Energía total diaria **229 909,61** W/día  
 Tensión CD del sistema (generalmente 12 ó 24 V) 12 Vcd  
 Carga diaria corriente 19 159,13 A/día  
 Multiplicar con el factor de seguridad 20% 1,2  
 Carga diaria corriente corregida 22 990,96 A/día  
 Promedio de horas de pico de sol por día. **5**  
 Amperaje que el sistema tendrá que producir en 7 horas **4 598,19** A/día

### Cálculo del número de paneles

Consumo Total corregido: 4 598,19 A/día  
 Amperaje máximo del modulo solar seleccionado 7,74 Panel Policristalino 12Vdc/7,74A/250W  
 Horas sin o poco Sol **11**  
 Eficiencia del Panel 0,1395  
 Profundidad de Descarga de la Baterías 0,87  
 Coeficientes Multiplicados 10,33  
 Numero de módulos **Paralelos** que se necesita **445 Paneles**  
 Numero de módulos en **Serie** que se necesita 12/12=1 **1,00 Paneles**  
 Area disponible para ubicar paneles (m2) **801,00** m2  
 Area de un solo panel fotovoltaico (m2) 1,8 m2

### Cálculo del número de baterías (opcional)

Carga total diaria 22 990,96 A/día  
 Días de reserva 2 (tiempo funcionando sin sol)  
 Capacidad nominal del banco de baterías 11 495,48 Ah  
 Factor de profundidad de descarga 0,8 (20% de reserva en las Baterías)  
 Capacidad corregida del banco de baterías 14 369,35 Ah  
 Capacidad nominal de batería 75 Ah (SOLAR BLOC 75 GEL)  
 Número de baterías en Paralelo de 12Vcd 192,00  
 Número de baterías en Serie de 12Vcd 1,00  
**Total de Baterías a Instalar 192,00**

### Calculo de Potencia del Inversor (Solo para 220AC)

Total de Potencia Instantaneo del Inversor (Pts) **45 981,92** Wh  
 TOTAL de Potencia Inversor Regimen Continuo **50 580,11** Wh  
 Factor pico de arranque por Motor 1,25% **63 225,14**  
 Uso no Simultaneo (Aprox. 1/3) **47 418,86** Wh  
 Agregar 10% del Total Inversor **4598,192165**  
**Pni= 47,5 KW.h Pni > Pts**

### Calculo del Regulador de Carga para 12Vcd

Numero de Paneles en paralelo 445,00  
 Intensidad maxima del Panel 7,74 A  
 Coeficiente de Pérdidas 1,25  
 Intensidad maxima del Regulador **4305,375** A

## Anexo 2: Cálculo de los 4 biodigestores de Labiofam

### 1. Cálculo de UEB La Estrella

Aporte orgánico de la población animal.					
Tipo / Especie	Cant. de Cabezas	PVp Kg.	PVe Kg.	Cant. Excreta Prom Kg/día	Te Horas/día
Cerdos	756	45	50	3% PV 2,25	24
Vacas	0	400	350	3% PV 10	6

*PVp : Peso Vivo promedio de la población animal de diseño*

*PVe: Peso Vivo Equivalente de la especie animal*

*Te: Horas del día que el animal permanece estabulado*

Calculo de la cantidad de estiércol por especie

$$Ee = [ Nc * (PVp/PVe) Ce * (Te/24) ]$$

*Ee : Estiércol Total por día de la especie animal*

*Nc : Numeros de cabezas por especie*

*Ce : Cantidad de Excreta*

*SS : Sólidos en Suspensión*

**Cerdos**

$$Eec = 1530,9 \text{ Kg Estiércol/Día}$$

$$SSc = Eec * 0,2$$

$$SSc = 306,18 \text{ Kg Solidos Susp./día}$$

**Vacas**

$$Eev = 0$$

$$SSv = 0$$

$$\text{Estiercol Total} = \text{Est.c} + \text{Est.v} = 1530,9 \text{ Kg Estiércol/Día}$$

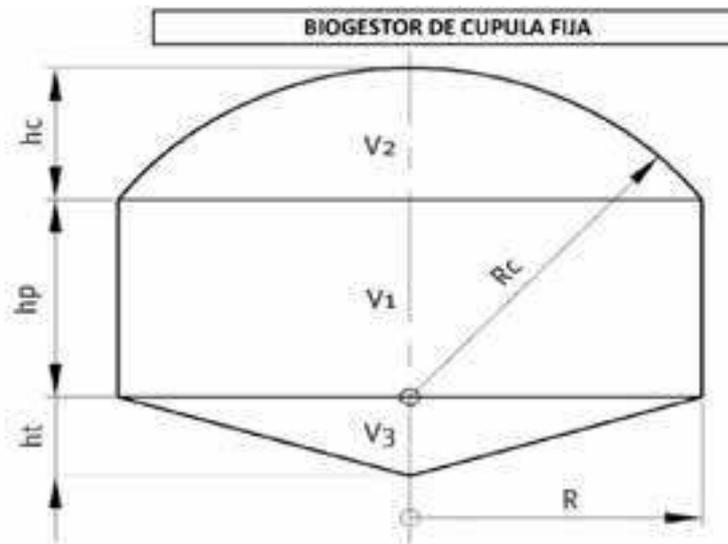
**Cálculo del Volumen Total del Biogestor**

$$Vt = [(SSc * Meac) + (SSv * Meav)] * Tr$$

	Excreta/Agua	T de Retención para 25 °C	Mezcla/día (kg)	Carga orgánica
Cerdo	3,00	40	60,75	20,25
Vacas	1,00	40	17,10	17,10
	<b>Mea</b>	<b>Tr</b>		

$$Vt = 183,71 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen a Estimar} = 180 \text{ m}^3$$



U: Unidad  
 hc: Altura de la cúpula  
 hp: Altura de la pared  
 R: Radio básico  
 Rc: Radio de la cúpula  
 D: Diámetro del cilindro  
 ht: Altura del cono base

La constante 1,121 es válida para la unidad de medida dada en metro.

Volumen del digestor  
 $V_{tot} = V_1 + V_2 + V_3 = R^3 \cdot \pi \cdot 1,121$

Proporciones  
 $R_c = 5 \cdot U$   
 $D = 8 \cdot U$   
 $hc = 2 \cdot U$   
 $hp = 3 \cdot U$   
 $ht = 0,15 \cdot D$

Volúmenes parciales  
 $V_{1.....} = R^2 \cdot hp \cdot \pi$   
 $V_{2.....} = hc^3 \cdot \pi \cdot [Rc \cdot (hc/3)]$   
 $V_{3.....} = R^2 \cdot \pi \cdot (ht/3)$

Unidad proporcional  
 $U = R/4$

Radio básico  
 $R = \sqrt[3]{V_{tot} / (\pi \cdot 1,121)}$

R=	3,71	metros			
U=	0,93	metros			
Rc=	4,64	metros			
D=	7,42	metros			
hc=	1,86	metros			
hp=	2,78	metros	Profundidad o		
ht=	1,11	metros	Altura Total=	5,75	metros

Criterio de Diseño para Carga Orgánica < 2,0 Kg/M3/día  
 $20,25 \text{ Kg} + 0 \text{ Kg} = 20,25 \text{ Kg} / 184 \text{ m}^3 = 0,11 < 2,0 \text{ Kg/M}^3/\text{Día}$

Relacion de Biogestores Estándares

	12	24	36	42	Propuesto
VOLUMEN DEL BIODIGESTOR (M3)	12	24	36	42	180
VOLUMEN DE ALMACENAJE DEL GAS (M3)	3,75	7,15	8,14	10,3	36,8
RELACION VOLUMEN DEL BIODIGESTOR/VOLUMEN DE ALMACENAJE DEL BIOGÁS	3,2	3,4	4,4	4,1	4,9

## 2. Cálculo de UEB Petrona

Aporte orgánico de la población animal.					
Tipo / Especie	Cant.	PVp	PVe	Cant. Excreta	Te
	de Cabezas	Kg.	Kg.	Prom Kg/día	Horas/día
Cerdos	900	45	50	3% PV 2,25	24
Vacas	0	400	350	3% PV 10	6

*PVp : Peso Vivo promedio de la población animal de diseño*

*PVe: Peso Vivo Equivalente de la especie animal*

*Te: Horas del día que el animal permanece estabulado*

Calculo de la cantidad de estiércol por especie

$$Ee = [ Nc * (PVp/PVe) Ce * (Te/24) ]$$

*Ee : Estiércol Total por día de la especie animal*

*Nc : Numeros de cabezas por especie*

*Ce : Cantidad de Excreta*

*SS : Sólidos en Suspensión*

Cerdos

Vacas

Eec= 1822,5 Kg Estiércol/Día      Eev= 0

SSc= Eec\*0,2

SSc= 364,5 Kg Solidos Susp./día      SSv= 0

Estiercol Total= Est.c + Est.v = 1822,5 Kg Estiércol/Día

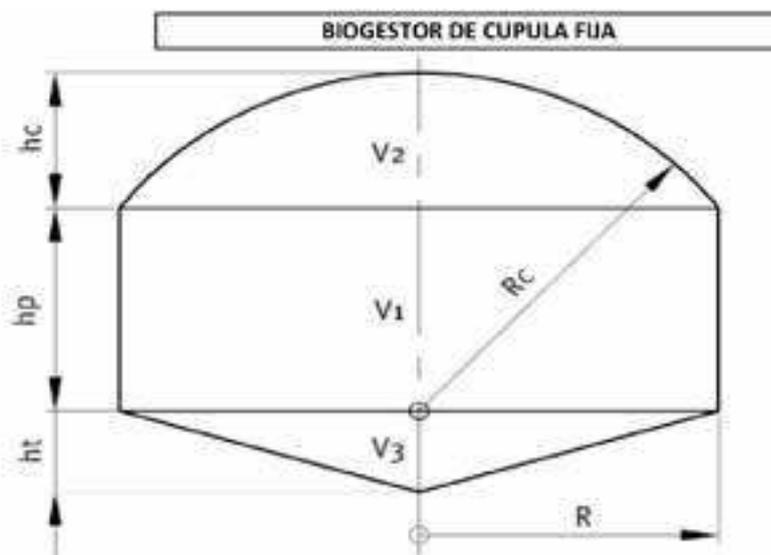
Cálculo del Volumen Total del Biogestor

$$Vt = [(SSc * Meac) + (SSv * Meav)] * Tr$$

	Excreta/Agua	T de Retención para 25 °C	Mezcla/día (kg)	Carga orgánica
Cerdo	3,00	40	60,75	20,25
Vacas	1,00	40	17,10	17,10

**Vt= 218,70 m3**

<b>Volumen a Estimar = 220 m3</b>
-----------------------------------



U: Unidad  
 hc: Altura de la cúpula  
 hp: Altura de la pared  
 R: Radio básico  
 Rc: Radio de la cúpula  
 D: Diámetro del cilindro  
 ht: Altura del cono base

La constante 1,121 es válida para la unidad de medida dada en metro.

Volumen del digestor  
 $V_{tot} = V_1 + V_2 + V_3 = R^3 \cdot \pi \cdot 1,121$

Proporciones

$R = 5 \cdot U$   
 $D = 8 \cdot U$   
 $hc = 2 \cdot U$   
 $hp = 3 \cdot U$   
 $ht = 0,15 \cdot D$

Volúmenes parciales

$V_{1_{cilindro}} = R^2 \cdot hp \cdot \pi$   
 $V_{2_{cúpula}} = hc^3 \cdot \pi \cdot [Rc \cdot (hc/3)]$   
 $V_{3_{cono}} = R^2 \cdot \pi \cdot (ht/3)$

Unidad proporcional  
 $U = R/4$

Radio básico

$$R = \sqrt[3]{V_{tot} / (\pi \cdot 1,121)}$$

R=	3,97	metros			
U=	0,99	metros			
Rc=	4,96	metros			
D=	7,94	metros			
hc=	1,98	metros			
hp=	2,98	metros	Profundidad o		
ht=	1,19	metros	Altura Total=	6,15	metros

Criterio de Diseño para Carga Orgánica < 2,0 Kg/M3/día

$$20,25 \text{ Kg} + 0 \text{ Kg} = 20,25 \text{ Kg} / 184 \text{ m}^3 = 0,11 < 2,0 \text{ Kg/M}^3/\text{Día}$$

#### Relacion de Biogestores Estándares

	12	24	36	42	Propuesto
VOLUMEN DEL BIODIGESTOR (M3)					<b>220</b>
VOLUMEN DE ALMACENAJE DEL GAS (M3)	3,75	7,15	8,14	10,3	<b>44</b>
RELACION VOLUMEN DEL BIODIGESTOR/VOLUMEN DE ALMACENAJE DEL BIOGÁS	3,2	3,4	4,4	4,1	<b>5,0</b>

### 3. Cálculo de UEB Casualidad

Aporte orgánico de la población animal.					
Tipo / Especie	Cant.	PVp	PVe	Cant. Excreta	Te
	de Cabezas	Kg.	Kg.	Prom Kg/día	Horas/día
Cerdos	800	45	50	3% PV 2,25	24
Vacas	0	400	350	3% PV 10	6

*PVp : Peso Vivo promedio de la población animal de diseño*

*PVe: Peso Vivo Equivalente de la especie animal*

*Te: Horas del día que el animal permanece estabulado*

Calculo de la cantidad de estiércol por especie

$$Ee = [ Nc * (PVp/Pve)Ce*(Te/24)]$$

*Ee : Estiércol Total por día de la especie animal*

*Nc : Numeros de cabezas por especie*

*Ce : Cantidad de Excreta*

*SS : Sólidos en Suspensión*

**Cerdos**

**Eec= 1620 Kg Estiércol/Día**

**SSc= Eec\*0,2**

**SSc= 324 Kg Solidos Susp./día**

**Estiercol Total= Est.c + Est.v = 1620 Kg Estiércol/Día**

**Vacas**

**Eev= 0**

**SSv= 0**

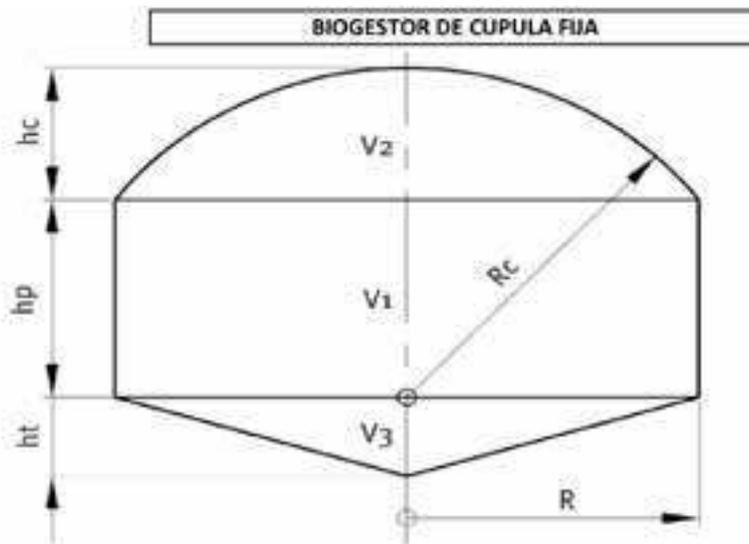
**Cálculo del Volumen Total del Biogestor**

$$Vt = [(SSc*Meac)+(SSv*Meav)]*Tr$$

	Excreta/Agua	T de Retención para 25 °C	Mezcla/día (kg)	Carga orgánica
Cerdo	3,00	40	60,75	20,25
Vacas	1,00	40	17,10	17,10
	<b>Mea</b>	<b>Tr</b>		

**Vt= 194,40 m3**

**Volumen a Estimar = 200 m3**



U: Unidad  
 hc: Altura de la cúpula  
 hp: Altura de la pared  
 R: Radio básico  
 Rc: Radio de la cúpula  
 D: Diámetro del cilindro  
 ht: Altura del cono base

Proporciones  
 $R = 5 \cdot U$   
 $D = 8 \cdot U$   
 $hc = 2 \cdot U$   
 $hp = 3 \cdot U$   
 $ht = 0,15 \cdot D$

Unidad proporcional  
 $U = R/4$

La constante 1,121 es válida para la unidad de medida dada en metro.

Volumen del digestor  
 $V_{tot} = V1 + V2 + V3 = R^3 \cdot \pi \cdot 1,121$

Volúmenes parciales  
 $V1_{cilindro} = R^2 \cdot hp \cdot \pi$   
 $V2_{cúpula} = hc^3 \cdot \pi \cdot [Rc \cdot (hc/3)]$   
 $V3_{cono} = R^2 \cdot \pi \cdot (ht/3)$

Radio básico  
 $R = \sqrt[3]{V_{tot} / (\pi \cdot 1,121)}$

R=	3,97	metros			
U=	0,99	metros			
Rc=	4,96	metros			
D=	7,94	metros			
hc=	1,98	metros			
hp=	2,98	metros	Profundidad o		
ht=	1,19	metros	Altura Total=	6,15	metros

**Criterio de Diseño para Carga Orgánica < 2,0 Kg/M3/día**  
**20,25 Kg+0 Kg=20,25 Kg/184m3= 0,11 < 2,0 Kg/M3/Día**

**Relacion de Biogestores Estándares**

	12	24	36	42	Propuesto
VOLUMEN DEL BIODIGESTOR (M3)	12	24	36	42	<b>220</b>
VOLUMEN DE ALMACENAJE DEL GAS (M3)	3,75	7,15	8,14	10,3	<b>44</b>
RELACION VOLUMEN DEL BIODIGESTOR/VOLUMEN DE ALMACENAJE DEL BIOGAS	3,2	3,4	4,4	4,1	<b>5,0</b>

#### 4. Cálculo de UEB La Conga

Aporte orgánico de la población animal.					
Tipo / Especie	Cant.	PVp	PVe	Cant. Excreta	Te
	de Cabezas	Kg.	Kg.	Prom Kg/día	Horas/día
Cerdos	80	45	50	3% PV 2,25	24
Vacas	0	400	350	3% PV 10	6

*PVp : Peso Vivo promedio de la población animal de diseño*

*PVe: Peso Vivo Equivalente de la especie animal*

*Te: Horas del día que el animal permanece estabulado*

Calculo de la cantidad de estiércol por especie

$$Ee = [ Nc * (PVp/Pve)Ce * (Te/24)]$$

*Ee : Estiércol Total por día de la especie animal*

*Nc : Numeros de cabezas por especie*

*Ce : Cantidad de Excreta*

*SS : Sólidos en Suspensión*

**Cerdos**

$$Eec = 162 \text{ Kg Estiércol/Día}$$

$$SSc = Eec * 0,2$$

$$SSc = 32,4 \text{ Kg Sólidos Susp./día}$$

**Vacas**

$$Eev = 0$$

$$SSv = 0$$

$$\text{Estiércol Total} = \text{Est.c} + \text{Est.v} = 162 \text{ Kg Estiércol/Día}$$

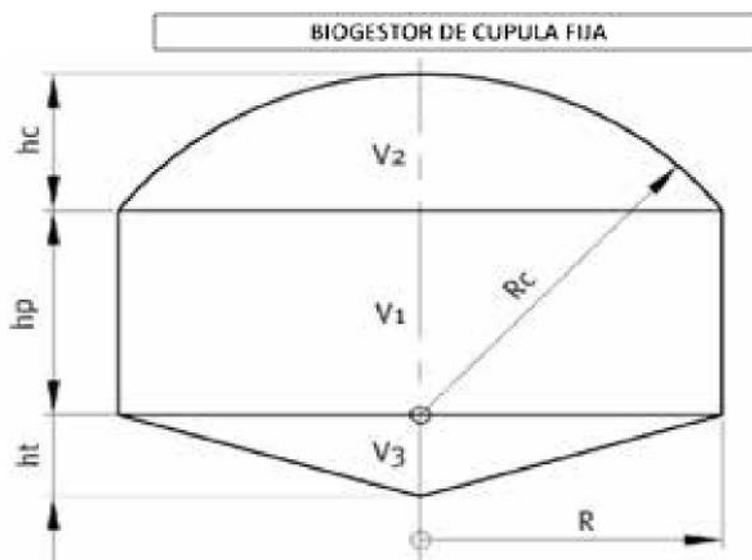
Cálculo del Volumen Total del Biogestor

$$Vt = [(SSc * Meac) + (SSv * Meav)] * Tr$$

	Excreta/Agua	T de Retención para 25 °C	Mezcla/día (kg)	Carga orgánica
Cerdo	3,00	40	60,75	20,25
Vacas	1,00	40	17,10	17,10
	<b>Mea</b>	<b>Tr</b>		

$$Vt = 19,44 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen a Estimar} = 24 \text{ m}^3$$



U: Unidad  
 hc: Altura de la cúpula  
 hp: Altura de la pared  
 R: Radio básico  
 Rc: Radio de la cúpula  
 D: Diámetro del cilindro  
 ht: Altura del cono base

La constante 1,121 es válida para la unidad de medida dada en metro.

Volumen del digestor  
 $V_{tot} = V_1 + V_2 + V_3 = R^2 \cdot \pi \cdot 1,121$

**Proporciones**

$R_c = 5 \cdot U$   
 $D = 8 \cdot U$   
 $hc = 2 \cdot U$   
 $hp = 3 \cdot U$   
 $ht = 0,15 \cdot D$

**Volúmenes parciales**

$V_{1_{cilindro}} = R^2 \cdot hp \cdot \pi$   
 $V_{2_{segmento esférico}} = hc^2 \cdot \pi \cdot [Rc \cdot (hc/3)]$   
 $V_{3_{cono base}} = R^2 \cdot \pi \cdot (ht/3)$

Unidad proporcional  
 $U = R/4$

**Radio básico**

$$R = \sqrt[3]{V_{tot} / (\pi \cdot 1,121)}$$

R=	1,90	metros		
U=	0,47	metros		
Rc=	2,37	metros		
D=	3,79	metros		
hc=	0,95	metros		
hp=	1,42	metros	Profundidad o	
ht=	0,57	metros	Altura Total=	2,94 metros

Criterio de Diseño para Carga Orgánica < 2,0 Kg/M3/día  
 $20,25 \text{ Kg} + 0 \text{ Kg} = 20,25 \text{ Kg} / 184 \text{ m}^3 = 0,11 < 2,0 \text{ Kg/M}^3/\text{Día}$

**Relacion de Biogestores Estándares**

		Propuesto		
VOLUMEN DEL BIODIGESTOR (M3)	12	<b>24</b>	36	42
VOLUMEN DE ALMACENAJE DEL GAS (M3)	3,75	<b>7,15</b>	8,14	10,3
RELACION VOLUMEN DEL BIODIGESTOR/VOLUMEN DE ALMACENAJE DEL BIOGÁS	3,2	<b>3,4</b>	4,4	4,1

**Anexo 3: Cálculo y selección de un bombeo fotovoltaico de Agua para Labiofam**

Caudal diario promedio necesario: Total= Qd = 7 m<sup>3</sup> = 7000 Lts/Día

Sistema de Bombeo Sumergible LORENTZ (Controlador, Sensor de Pozo, Cables incluidos)

**Modelo PS200 HR-04 7,300 L/Día 24-48V 0-50m**

Radiación Solar 5 KWh/m<sup>2</sup>/día

Altura Total = 40m

Caudal Diario = 6,0 m<sup>3</sup>

Profundidad del pozo: 20 m

Altura del tanque: 10 m

**HT = Ht + Hp=20m + 10m =30m    Qmax = 1,25 Qd = 7,5 m<sup>3</sup>/Día**

**Pot Hidraulica (PH) = 10000\*Qmax\*HT/86400 = 0,116Qmax\*HT [W]= 261 W**

**Pot Solar (Ps) = (24/5) 5 horas de sol(0,116Qmax)\*HT/Hb (Eficiencia Bomba)**

**Ps = (4,8\* 8,7 )(30/0,4) = 41,76 \* 75 = 3132 W**

**Arreglo de Paneles Fotovoltaico 12,5 Paneles de 250W**

**Normalizando cantidad de Paneles Fotovoltaico: 13 Paneles de 250W**

### Anexo 4: Determinación de la cantidad de agua a destilar para Labiofam

Cantidad de agua caliente desechada diaria $C_a$ :	2200	litros
Cantidad de agua a recuperar: $C_r = C_a * (1 - (\%cont * C_s))$	2002	litros
$\%cont$ : Por ciento de contaminantes en fracción	0,08	fracción
$C_s$ : Coeficiente de seguridad para evitar residuos	0,03	fracción

Cálculo del área necesaria del destilador:

Datos medidos

Agua caliente hacia el proceso a una temperatura de: 155 oC  
 Agua caliente que retorna del proceso desechada o vertida a: 100 oC  
 Flujo de gua al proceso: 440 lt/hr  
 Horas de trabajo de la caldera al día: 5 hrs/día

$$Ad = Cr / ltm \qquad Ad = 80,08 \text{ m}^2 \qquad \text{Normalizando} \qquad 80 \text{ m}^2$$

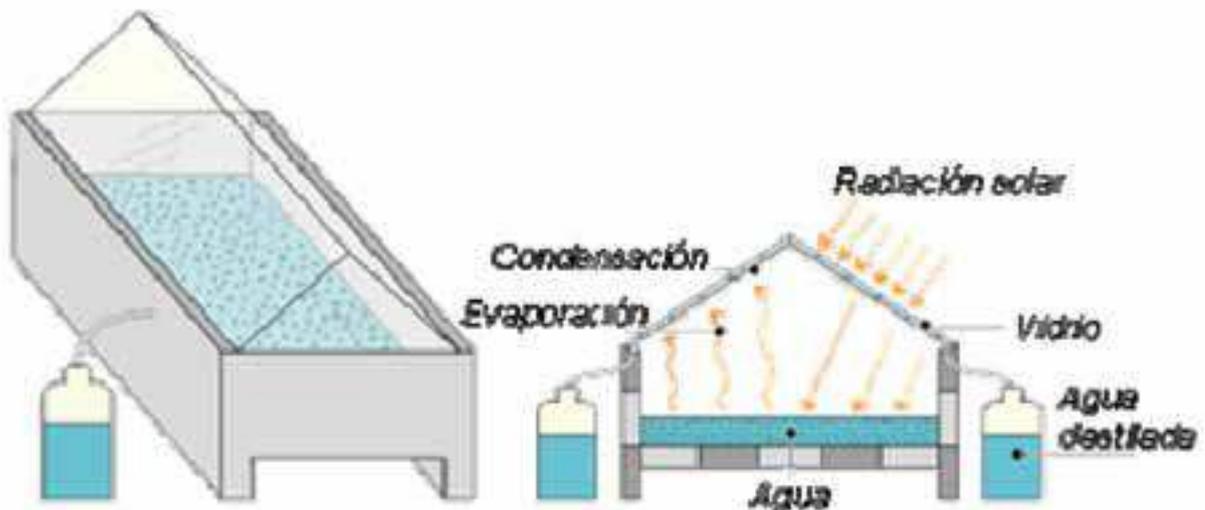
Dimensionamiento

Se propone un destilador a dos aguas de 10 metros de largo con inclinación del techo de 20 grados lo cual permitirá destilar al menos 2000 litros diario de agua desechada, recuperandose agua tratada para volver a utilizarla como agua de alimentar a la caldera a 90 oC

Con la longitud y el angulo prefijado, y conociendo que la hipotenusa es de 4 metros, se calcula el ancho del destilador:

$$\text{Ancho} = 2 * \text{COS}(\text{angulo}) * \text{hipotenusa} = 7,5 \text{ m}$$

### Esquema del destilador propuesto



Anexo 5: Cálculo de la inversión total para la aplicación de la energía renovable en Labiofam Matanzas

Nº	Actividades	Recursos	UM	Cant	Precio EUROS	Importe EUROS	Precio CUC	Importe CUC
1	ASESORIA sobre Tecnología de Paneles Solares	Viajes de Intercambio Profesional	U	1	0,00	0,00	1000,00	1000,00
	ASESORIA sobre Tecnología de Bombeo Fotovoltaico	Viajes de Intercambio Profesional	U	1	0,00	0,00	500,00	500,00
	ASESORIA sobre Tecnología de los Biogestores	Viajes de Intercambio Profesional	U	1	0,00	0,00	1000,00	1000,00
	<b>SubTotal</b>					<b>0,00</b>		<b>2500,00</b>
2	3era Etapa							
	<b>Construcción de un Biogestor de 180 m3</b>	Bloques de 20x10x50	U	2400	0,00	0,28		672,00
		Cemento P350	U	400	0,00	6,60		2640,00
		Ladrillos de barro	U	600	0,00	0,15		90,00
		Arena	M3	16	0,00	6,40		102,40
		Piedra	M3	12	0,00	8,00		96,00
		Grava	M3	4	0,00	8,00		32,00
		Cal	U	80	0,00	5,00		400,00
		Barra de Acero	Tiras	80	0,00	3,25		260,00
		Tuberías 1/2"	m	400	0,00	1,52		608,00
		Impermeabilizantes y Pintura	U	60	0,00	100,00		6000,00
		Filtro de SH	U	1	0,00	40,00		40,00
		Manómetro 6 bar D-80mm 1/2"	U	2	0,00	12,52		25,04
		Válvula de bola 1/2"	U	2	0,00	9,18		18,36
	<b>Subtotal</b>					<b>0,00</b>		<b>10983,80</b>
3	3era Etapa							
	<b>Construcción de un Biogestor de 220 m3</b>	Bloques de 20x10x50	U	3600	0,00	0,28		1008,00
		Cemento P350	U	600	0,00	6,60		3960,00
		Ladrillos de barro	U	900	0,00	0,15		135,00
		Arena	M3	24	0,00	6,40		153,60
		Piedra	M3	18	0,00	8,00		144,00
		Grava	M3	6	0,00	8,00		48,00
		Cal	U	120	0,00	5,00		600,00
		Barra de Acero	Tiras	120	0,00	3,25		390,00
		Tuberías 1/2"	m	600	0,00	1,52		912,00
		Impermeabilizantes y Pintura	U	90	0,00	100,00		9000,00
		Filtro de SH	U	1	0,00	40,00		40,00
		Manómetro 6 bar D-80mm 1/2"	U	2	0,00	12,52		25,04
		Válvula de bola 1/2"	U	2	0,00	9,18		18,36
	<b>Subtotal</b>					<b>0,00</b>		<b>16434,00</b>
4	3era Etapa							
	<b>Construcción de un Biogestor de 200 m3</b>	Bloques de 20x10x50	U	3000	0,00	0,28		840,00
		Cemento P350	U	500	0,00	6,60		3300,00
		Ladrillos de barro	U	750	0,00	0,15		112,50
		Arena	M3	20	0,00	6,40		128,00
		Piedra	M3	15	0,00	8,00		120,00
		Grava	M3	5	0,00	8,00		40,00
		Cal	U	100	0,00	5,00		500,00

## Estudio para la aplicación de la energía renovable en la Empresa Labiofam Matanzas

**Anexo 5: Cálculo de la inversión total para la aplicación de la energía renovable en Labiofam Matanzas**

	Barras de Acero	Tiras	100		0,00	3,25	325,00
	Tuberías 1/2"	m	500		0,00	1,52	760,00
	Impermeabilizantes y Pintura	U	75		0,00	100,00	7500,00
	Filtro de 5H	U	1		0,00	40,00	40,00
	Manómetro 6 bar D-80mm 1/2"	U	2		0,00	12,52	25,04
	Válvula de bola 1/2"	U	2		0,00	9,18	18,36
	<b>Subtotal</b>				<b>0,00</b>		<b>11708,90</b>
5	1era Etapa						
	Construcción de un Biogestor de 24 m3	Bloques de 20x10x50	U	600	0,00	0,28	168,00
		Cemento P350	U	100	0,00	6,60	660,00
		Ladrillos de barro	U	150	0,00	0,15	22,50
		Arena	M3	4	0,00	6,40	25,60
		Piedra	M3	3	0,00	8,00	24,00
		Grava	M3	1	0,00	8,00	8,00
		Cal	U	20	0,00	5,00	100,00
		Barras de Acero	Tiras	20	0,00	3,25	65,00
		Tuberías 1/2"	m	100	0,00	1,52	152,00
		Impermeabilizantes y Pintura	U	15	0,00	100,00	1500,00
		Filtro de 5H	U	1	0,00	40,00	40,00
		Manómetro 6 bar D-80mm 1/2"	U	2	0,00	12,52	25,04
		Válvula de bola 1/2"	U	2	0,00	9,18	18,36
	<b>Subtotal</b>				<b>0,00</b>		<b>2808,50</b>
6	2da Etapa	Sistema de Bombeo Fotovoltaico				0,00	0,00
	Compra del Sistema Bombeo Fotovoltaico	Modelo: PS200 NR-04 7.300 L/Día 24-48V 0-50m	U	2	1348,00	2696,00	0,00
		Con arreglo de 10 Paneles Solares	U	28	326,00	9128,00	0,00
		Accesorios para Montaje del modelo	U	2	2500,00	5000,00	0,00
	<b>Subtotal</b>				<b>16172,00</b>		<b>4740,90</b>
7	3da Etapa					0,00	0,00
	Compra del Destilador	Cristales o policarbonato transparente	m2	100	0,00	5,00	500,00
		Planchas de paneles plásticos	m2	120	0,00	10,00	1200,00
		Uniones para cristales y plástico	U	1280	0,00	0,55	704,00
		Vigas L de aluminio para soporte, 1 pulg	m	1200	0,00	1,15	1380,00
		Bases de hormigón prefabricadas	U	12	0,00	75,00	900,00
	<b>Subtotal</b>				<b>32344,00</b>		<b>12316,80</b>
8	3da Etapa					0,00	0,00
	Compra de colectores solares para el calentamiento del agua de alimentar la caldera	Colectores solares térmicos de 1,2 m2	U	2	0,00	250,00	500,00
		Tuberías	m	120	0,00	2,60	312,00
		Accesorios para Montaje del modelo	U	20	0,00	5,55	111,00
		Tanque termoculación de agua caliente	U	1	0,00	175,00	175,00
	<b>SubTotal</b>				<b>0,00</b>		<b>4684,00</b>
9	3ra Etapa						
	Inversión Sistema Paneles Fotovoltaico						
	Paneles Fotovoltaicos	Panel Policristalino 12Vdc/7,74A/250W	U	445	326,00	145070,00	0,00
	Batería SOLAR BLOC 75 GEL	12 Vdc a 75Ah	U	6	426,50	2559,00	0,00
	Cargador Baterías Fotovoltaico Monofásico	12Vdc / 60W Marca TUDOR	U	0	839,50	0,00	0,00
	Inversor de Red	FRONIUS 1060 150/5,30v - 4500/5000W	U	1	3500,00	3500,00	0,00
	<b>SubTotal</b>				<b>148570,00</b>		<b>0,00</b>
10	Compra de un Refrigerador Gas para cada UEB	Capacidad 7,8 pie cu/ft	U	4	0,00	500,00	2000,00
	Consumo 700 Btu/hora	Válvula de Seguridad Automática	U	4	0,00	50,00	200,00
	Equivalente a 2 Bajas de 25 Lbs por 12 días				0,00	0,00	0,00
	<b>SubTotal</b>				<b>0,00</b>		<b>2200,00</b>
11	Compra de Compresor de Gas Metano Simple	Compresor de Biogas	U	1	600,00	600,00	0,00
	Compra de alumbrado con biogas	Lámparas	U	500	2,00	1000,00	0,00
	<b>SubTotal</b>				<b>1600,00</b>		<b>0,00</b>
12	Modulo de Informatizacion (Laptop)	Laptop Core i3/750Gb HD0/4Gb DDR3	U	1	700,00	700,00	0,00
13	Computadora de control con periféricos		U	1	1500,00	1500,00	0,00
	<b>SubTotal</b>				<b>2200,00</b>		<b>0,00</b>
	<b>SubTotal general</b>				<b>200886,00</b>	<b>0,00</b>	<b>70376,90</b>
14	Trabajos de Montaje de los Proyectos	30% del Total	U	1		60265,80	21113,07
	<b>TOTAL</b>				<b>261151,80</b>		<b>91489,97</b>

## Anexo 6: Propuesta de mejora de la caldera de Labiofam

Rule
;Anexo 6: Propuesta de mejora de la caldera de Labiofam
$ie = \text{SENTHALPY}(1; \text{WATER}; 'T; Te; 'P; Pe)/1000$
$is = \text{SENTHALPY}(1; \text{WATER}; 'T; Ts; 'P; Ps)/1000$
$\zeta = (Da * (is - ie)) / (VCI * Bc) * 100$
$Te = te + 273,15$
$Ts = ts + 273,15$
$Pe = Ps$
$Tec = tec + 273,15$
$iec = \text{SENTHALPY}(1; \text{WATER}; 'T; Tec; 'P; Pe)/1000$
$Bec = (Da * (is - iec)) / (VCI * \zeta) * 100$
$Rcc = Bec / Bc$
$Cdc = Bc * htd$
$Rcdc = Rcc * Cdc$
$Ahc = Rcdc * 365$
$AhcS = Ahc * \text{Precio}$
$Ca = Da * htd$
$Cad = Ca * \%Ar$
$Caa = Cad * 365$
$CaS = Pa * Caa / 1000$
$At = CaS + AhcS$

Input	Name	Output	Unit	Comment
25	te		oC	Temperatura de entrada del agua
155	ts		oC	Temperatura de salida del agua
610000	Pe		Pa	Presion de entrada
43100	VCI		kJ/kg	Valor calorico del Diesel
440	Da		lt/hr	Flujo de agua
8	Bc		lt/hr	Consumo de combustible
80	tec		oC	Temperatura de entrada agua calentada
5	htd		hr/dia	Horas de trabajo al dia de la caldera
,8	Precio		S/lt	Precio del combustible
1,2	Pa		S/m3	Precio del agua
,91	%Ar		Fraccion	Por ciento de agua que se puede recuperar
	Tec	353,15	K	Temperatura del agua calentada a la entrada
	ie	105,39	kJ/kg	Entalpia del agua a la entrada
	is	653,83	kJ/kg	Entalpia del agua a la salida
	icc	335,46	kJ/kg	Entalpia de entrada del agua calentada
	Te	298,15	K	Temperatura de entrada del agua
	Ts	428,15	K	Temperatura de salida del agua
	Ps	610000	Pa	Presion de salida
	ç	69,99	%	Eficiencia de la caldera
	Bcc	4,64	lt/hr	Consumo de combustible
	Rec	,58	Fraccion	% Reduccion del consumo de combustible
	Cdc	40	lt/dia	Consumo diario de combustible
	Redc	23,22	lt/dia	Reduccion diaria del consumo de combustible
	Ahc	8475,32	lt/anual	Ahorro anual de combustible
	Ahc\$	6780,26	S/anual	Ahorro de dinero anual de combustible
	Cad	2002	lt/dia	Cantidad de agua que se puede recuperar diario
	Caa	730730	lt/anual	Cantidad de agua que se puede recuperar anual
	Ca	2200	lt/dia	Cantidad de agua que se vierte diario
	Ca\$	876,88	S/anual	Ahorro de dinero anual de agua
	At	7657,13	S/anual	Ahorro total de dinero anual

**Anexo 7: Movimiento de fondos de la variante**

Tabla 2: Movimiento de fondos de la variante

Conceptos	Años										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión (CTI)	444 237,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costos fijos (D)	0,00	38 920,30	38 920,30	38 920,30	38 920,30	38 920,30	38 920,30	38 920,30	38 920,30	38 920,30	38 920,30
Total de pagos	444 237,80	38 920,30	38 920,30	38 920,30	38 920,30	38 920,30	38 920,30	38 920,30	38 920,30	38 920,30	38 920,30
Total de cobros	0,00	113 307,17	113 307,17	113 307,17	113 307,17	113 307,17	113 307,17	113 307,17	113 307,17	113 307,17	113 307,17
Mov. de fondos	-444 237,80	74 386,87	74 386,87	74 386,87	74 386,87	74 386,87	74 386,87	74 386,87	74 386,87	74 386,87	74 386,87
Mov. acumulado	-444 237,80	-369 850,93	-295 464,06	-221 077,20	-146 690,33	-72 303,46	2083,41	76 470,28	150 857,14	225 244,01	299 630,88

Tri=	8,62	años
VAN=	219557,42	\$
TIR=	10,67	%

Datos

Tasa de interés	%	2
Impuesto sobre renta	%	30
Costo de inversión	\$	389203,02
Ahorro	\$/año	113307,17

# CONVOCATORIA XIV Taller Internacional CUBASOLAR 2020

Del 4 al 8 de mayo de 2020  
Cayo Coco, Ciego de Ávila, Cuba



<http://www.cubasolar.cu> <http://www.eventocubasolar.com>

La Sociedad Cubana para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental (Cubasolar) convoca a la decimocuarta edición del Taller Internacional CUBASOLAR 2020, a celebrarse en el hotel Playa Paraíso, situado en la cuarta isla más grande del archipiélago cubano, nombrada Cayo Coco, perteneciente a la provincia de Ciego de Ávila.

El evento tiene como objetivo contribuir a la construcción consciente de un sistema energético sostenible basado en las fuentes renovables de energía y el respeto ambiental, propiciar y promover el diálogo e intercambio de experiencias y prácticas entre especialistas y personas interesadas en las temáticas de energía, agua y alimentación, así como en la cooperación y la transferencia de conocimientos y tecnologías.

En el Taller se incluyen conferencias magistrales y talleres, en los que participarán autoridades de gobierno, investigadores, educadores, especialistas, gestores, empresarios, profesionales, productores, usuarios de tecnologías y demás personas que trabajan por la sostenibilidad de nuestro planeta.

## Temas centrales del evento

La soberanía alimentaria y las fuentes renovables de energía.  
El abasto de agua y las fuentes renovables de energía.  
El turismo y las fuentes renovables de energía.  
Soberanía energética, medioambiente y desarrollo local sostenible.  
Educación, cultura e información energéticas para la sostenibilidad.

## Curso taller

Contenido esencial del Taller será el desarrollo de cursos talleres sobre las temáticas de agua, energía y alimentación, asociadas al uso de fuentes renovables de energía, y la educación y comunicación energética y ambiental. El curso se ofrece sin costo adicional, se acredita en coordinación con la Universidad de la provincia sede y se estructura a partir de diferentes formas organizativas que se integran como parte del programa del evento: conferencias magistrales, tres talleres y visitas de campo, favoreciendo un aprendizaje activo que permite la amplia participación y el intercambio sobre las temáticas, y el conocimiento de la experiencia cubana en el actual contexto de desarrollo social y económico del país.

## Taller 1: Energización local

- Tecnologías renovables para el desarrollo local.
- Redes energéticas locales.
- Ahorro y eficiencia energética.
- Hábitat inclusivo, sustentable y resiliente.
- Programa de energía sustentable en la Estrategia de Desarrollo Municipal; autoabastecimiento energético municipal con fuentes renovables de energía (FRE).
- El turismo y las fuentes renovables de energía.
- Comunicación y educación energéticas para la sostenibilidad.

## Taller 2: Movimientos o Redes de Biogás, agua y saneamiento

- Biogás como fuente renovable de energía, para pequeña, mediana y gran escalas: Incidencia en los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) y la Tarea vida.
- Aplicación del biol y biosol en los sistemas de producción agroecológicas con FRE.
- Cosecha de aguay tratamiento de las aguas residuales empleando las FRE.
- Uso racional del agua y la energía en armonía con el medio ambiente.
- Saneamiento ambiental y drenaje pluvial en el autoabastecimiento local.
- Vinculación Universidad-Sociedad-Tecnología, para potenciar el empleo del biogás, reúso y la gestión del agua en los sistemas a ciclo cerrados.
- Promoción, comunicación, género, equidad, cultura y jóvenes profesionales, en el contexto de las redes y movimientos relacionados con los temas de biogás, agua y saneamiento ambiental.

## Taller 3: Alimentación sostenible: agroecología, resiliencia y consumo responsable

- Soberanía alimentaria y fuentes renovables de energía.
- Biodiversidad, agroecología y resiliencia socioecológica.
- Educación gastronómica y consumo responsable.
- Permacultura, reciclaje, conservación de alimentos y ciclos cerrados.
- Alimentación, salud y nutrición.
- Comunicación, género, equidad, educación y cultura alimentaria, en el contexto de las redes y movimientos de la alimentación buena, limpia y justa.

Los delegados nacionales deben dirigir sus trabajos al correo siguiente:  
[cubasolar2020@cubasolar.cu](mailto:cubasolar2020@cubasolar.cu).

Los delegados extranjeros deben visitar la página web del evento  
<http://www.eventocubasolar.com>

Seguir las instrucciones de la misma para el envío de sus trabajos.

