



REVISTA CIENTÍFICA TRIMESTRAL DE CUBASOLAR

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

77

DIRECTOR GENERAL

Dr. C. Luis Bériz Pérez

EDITORES

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

CONSEJO EDITORIAL

M. Sc. Ramón Acosta Álvarez
Dr. C. Luis Bériz Pérez
M. Sc. Ricardo Bériz Valle
Dra. C. Leidy Casimiro Rodríguez
Ing. Otto Escalona Pérez
Dra. C. Dania González Couret
Ing. Miguel González Royo
Dr. C. José A. Guardado Chacón
Lic. Bruno Henríquez Pérez
Ing. Nilo Ledón Díaz
M. Sc. Martha Mazorra Mestre
Dr. C. Conrado Moreno Figueredo
Dr. C. Rafael Parúas Cuza
Dr. C. Daniel Stolik Novygrad
M. Sc. Madelaine Vázquez Gálvez
Dra. C. Elena Vigil Santos

DISEÑO Y COMPOSICIÓN

Alejandro F. Romero Ávila

WEB MASTER

Jesús Guillermo Gil Delgado
Omar Dieppa

RELACIONES PÚBLICAS

Mabel Blanco de la Cruz

Eco Solar, no. 77 / 2021

Revista científica de las
fuentes renovables de energía
julio-septiembre, 2021
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

LA QUINTA DE LOS MOLINOS HACIA UN NUEVO MODELO ENERGÉTICO SOSTENIBLE....3

Aldo Vega Calderín y Leonardo Pascual Mesa

EL CONTENIDO RUMINAL COMO RESIDUO DEL PROCESO FABRIL DE LA INDUSTRIA CÁRNICA Y LA OBTENCIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE Y ABONOS ORGÁNICOS.....9

Denny Rodríguez Alarcón

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE ESTUFAS HÍBRIDAS, ECOLÓGICAS, EFICIENTES, DE BAJO COSTO, CON GAS CARBURANTE DE HIDRÓGENO.....14

Ángel Eugenio Infante Haynes, Zoilo Bienvenido Suarez Pérez,
Gerardo Hernández Ramírez y Wilson Santos Guerrero

METODOLOGÍA PARA LA NOMINACIÓN DE FINCAS SLOW EN CUBA.....20

Leidy Casimiro Rodríguez, Luis L. Vázquez Moreno, Aurelia Castellanos Quintero y
Madelaine Vázquez Gálvez

MÉTODO DE CÁLCULO SIMPLIFICADO DE LOS CINCO PARÁMETROS DESCONOCIDOS PARA EL MODELO DE PANELES FOTOVOLTAICOS DE UN SOLO DIODO.....25

Rafael VillalónGarcía y Sergio G. Fuentes Cardona

CUBA, MATRICES DE ENERGÍA Y FOTOVOLTAICA (FV).....30

Daniel Stolik Novygrad

editorial
cubasolar

LA QUINTA DE LOS MOLINOS HACIA UN NUEVO MODELO ENERGÉTICO SOSTENIBLE

Por Ing. Aldo Vega Calderín* e Ing. Leonardo Pascual Mesa**

* Especialista de la Oficina del Historiador de la ciudad de La Habana.

** Director de la Quinta de los Molinos

E-mail: aldo@patrimonio.ohc.cu

Resumen

El trabajo expone la labor de educación ambiental y energética de La Quinta de los Molinos, de La Habana y su proyección de crear el primer Centro Demostrativo de Energías Renovables del país como parte de un proyecto de Cooperación Internacional que busca encaminar a este centro hacia un nuevo modelo energético sostenible, convirtiéndolo en un espacio cada vez más eficiente energéticamente. Cuando concluya el proyecto, la Quinta será capaz de generar 100% de la energía eléctrica que demanda a partir de un sistema fotovoltaico y habrá implementado un plan de medidas para un uso más eficiente de la energía. El proyecto se completa con una Estrategia de Formación y Capacitación relacionada con las Fuentes Renovables de Energía y el cuidado del medioambiente.

Palabras clave: Centro Demostrativo de Energías Renovables; educación energética y ambiental; independencia energética; fuentes renovables de energía.

LA QUINTA DE LOS MOLINOS TOWARDS A NEW SUSTAINABLE ENERGY MODEL

Abstract

The work exposes the environmental and energy education work of La Quinta de los Molinos, Havana and its projection of creating the first Demonstration Center of Renewable Energies in the country as part of an International Cooperation project that seeks to direct this center towards a new sustainable energy model, making it an increasingly energy efficient space. When the project is completed, the Quinta will be able to generate 100% of the electrical energy it demands from a photovoltaic system and will have implemented a plan of measures for a more efficient use of energy. The project is completed with a Training and Training Strategy related to Renewable Energy Sources and caring for the environment.

Keywords: Renewable Energy Demonstration Center; energy and environmental education; energy independence; renewable energy sources.

I. Introducción

La Quinta de los Molinos se localiza en el corazón de la ciudad de La Habana y es atendida por la Oficina del Historiador de la ciudad. Con casi 5 hectáreas de bosques y jardines, este pulmón verde de la capital también sobresale por su historia y debe su nombre a la existencia en el lugar (entre los siglos XVIII y XIX) de dos molinos de tabaco que funcionaron movidos por el agua de la Zanja Real, el primer sistema de acueducto habanero, y a que allí radicó, desde 1836 y hasta 1899, la Quinta de descanso de los Capitanes Generales de la Isla. Desde 1839 y hasta 1968 fue sede del primer jardín botánico de Cuba (Fig. 1).

En este espacio habanero se instaló el Generalísimo en Jefe del Ejército Libertador de Cuba, Máximo Gómez, tras su entrada en la Capital del país en febrero de 1899 y radicó la última sede del Estado Mayor del Ejército Libertador.

En 1906 es inscrita como sitio de referencia en el Sistema Mundial de Jardines Botánicos.

Atendiendo a los elevados valores históricos, patrimoniales y ambientales que posee, en 1981 la Quinta de los Molinos es declarada Monumento Nacional.

Actualmente, la Quinta de los Molinos funciona como un Centro para el Desarrollo de la Educación Ambiental. En sus espacios se realizan más de 50 actividades educativas como talleres, conferencias, círculos de interés y Festivales sobre distintos temas Ambientales dirigidos a toda la Comunidad, pero con énfasis en los niños y jóvenes de las escuelas aledañas de los municipios Centro Habana, Plaza y Cerro. A la vez lleva a cabo un proyecto especial que promueve la inclusión social, educativa y laboral de jóvenes con Discapacidades Intelectuales (fundamentalmente Síndrome de Down) a través del desarrollo en los mismos de nuevas habilidades y capacidades.

En consonancia con las actuales necesidades del planeta, temas como el consumo responsable, el cambio cli-

mático, las energías renovables y las políticas energéticas amigables con el medioambiente son imprescindibles en el campo de la educación (especialmente dirigidas a los jóvenes), y han de posibilitar el aprendizaje de comportamientos y valores sobre nuevos estilos de vida que promuevan un uso racional de la energía, el ahorro energético y el uso de las FRE.

Todo ello implica necesariamente importantes esfuerzos en actividades de promoción, divulgación, formación y capacitación.

El Proyecto que presentamos busca orientar los esfuerzos para encaminar a la Quinta de los Molinos hacia un nuevo modelo energético sostenible, convirtiéndola en un espacio cada vez más eficiente energéticamente, donde se generará 100 % de la energía eléctrica que consume a partir de una FRE, la creación de un Centro Demostrativo de las Energías Renovables y la implementación de un plan de acciones promocionales y de capacitación relacionado con las FRE y el cuidado del medioambiente.

Para la ejecución de este Proyecto se cuenta con el financiamiento de la Agencia Extremeña de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Aecid), el acompañamiento de las Fundaciones «Ciudadanía» y «ACPP» y con la colaboración, en su concepción y posterior funcionamiento, de especialistas de diferentes instituciones cubanas, entre las que destacan Cubasolar, el Laboratorio de Investigaciones Fotovoltaicas del Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (IMRE) de la UH, el Ministerio de Energía y Minas, el Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (Ceter) de la Universidad Tecnológica de La Habana José A. Echevarría, la Universidad Pedagógica Enrique José Varona y el Instec, también perteneciente a la UH.



Fig. 1. Imagen aérea de la Quinta de los Molinos.

En resumen, sus acciones se concretan en cuatro objetivos fundamentales:

1. Crear un Centro Demostrativo de las Energías Renovables.
2. Generar 100 % de la energía eléctrica demandada por la Quinta a partir de FRE.
3. Realizar actividades medioambientales, educativas y de formación para estudiantes, formadores, profesionales y grupos vulnerables.
4. Establecer un plan de medidas de ahorro, optimización y uso más eficiente de la energía en las actividades de la Quinta.

II. Desarrollo

El Centro Demostrativo de las Energías Renovables (Ceder)

Este Centro se concibe como un espacio destinado a la enseñanza y promoción de las Fuentes Renovables de Energías (FRE), como parte del Proyecto Educativo y como un espacio de difusión e intercambio de conocimientos. La idea central es crear una infraestructura expositiva y demostrativa de tecnologías, equipos y aplicaciones prácticas relacionadas con el aprovechamiento de las FRE que sirvan de apoyo a las actividades educativas y de promoción.

Los objetivos del Centro Demostrativo son los siguientes:

- Servir como impulsor del conocimiento y la divulgación de las FRE, el uso racional de la energía, la eficiencia energética y el respeto ambiental.
- Apoyar la formación en temas relacionados con las FRE, sirviendo como laboratorio de enseñanza práctica para estudiantes, profesores, profesionales, la comunidad y otros grupos interesados.
- Ser un espacio para probar nuevas tecnologías, experimentar y transferir conocimiento, tecnología, habilidades y destrezas relacionadas con las FRE.
- Convertirse en un espacio de intercambio entre profesionales del ramo; que incluya además a personas interesadas en la preservación del planeta.
- Ofrecer «visitas guiadas» para el público con un interés general en las FRE.

Con independencia de que se realizarán acciones en toda la Quinta de los Molinos, para ubicar el Centro Demostrativo se ha escogido su área norte, colindante con la calle Zapata y en el fondo de la Casa de Verano, donde se dispondrá de dos espacios:

El área exterior o *Jardín de las Energías*; un espacio de unos mil metros cuadrados donde se instalarán los equipos y aplicaciones prácticas que aprovechan las distintas FRE; cada uno acompañado de información gráfica explicativa de sus principales características y funcionamiento, de manera que se puedan apreciar tanto en las visitas dirigidas (con la orientación de especialistas) como en recorridos independientes.

Organizados por áreas temáticas para una mejor comprensión, como se muestra en la Figs. 2 y 3, se expondrán los equipos de FRE (Ver Anexo 1).

En un inmueble contiguo al Jardín de las Energías, al lado del estanque, se habilitará el «Aula de Energías Renovables», un espacio multifuncional para la realización de conferencias, cursos y talleres y para la exposición de equipos y nuevos productos relacionados con las FRE (Fig. 4).



Fig. 2. Vista en planta Ceder.



Fig. 3. Imagen 3 d Ceder.



Fig. 4. Foto Pabellón.

El plan de medidas de ahorro, optimización y uso más eficiente de la energía

Cualquier intervención de este tipo comienza por obtener un conocimiento fiable del consumo de energía de la instalación y caracterizarlo, detectar los factores que lo afectan, identificar los potenciales de ahorro e impulsar el uso eficiente de la energía.

Para ello se realizó una auditoría energética preliminar con el apoyo de la Oficina Nacional para el Control del Uso

Racional de la Energía (Onure), que permitió identificar, evaluar y ordenar las acciones idóneas para incrementar el ahorro y la eficiencia energética. Como resultado se elaboró un plan de medidas que tendrán un impacto visible en la reducción del consumo actual de la Quinta. Entre ellas destacan:

1. La sustitución tecnológica de todos los bombillos ahorradores y lámparas fluorescentes de las distintas áreas interiores y exteriores de la Quinta por lámparas de tecnología LEDs. En total son más de 400 unidades y esta acción no solo reduce un menor consumo energético, sino que también supone un ahorro por el incremento de la vida útil de esta nueva tecnología.
2. La sustitución tecnológica del equipamiento de bombeo y filtrado de los tres estanques y del equipamiento de bombeo de agua para el riego de las áreas verdes por otros similares, pero más eficientes.
3. El uso de interruptores de presencia para controlar la iluminación de los locales de trabajo y de temporizadores para el manejo de la iluminación exterior.
4. Establecer como norma el uso de equipos más eficientes energéticamente en las nuevas inversiones en la Quinta (Clase A o superior) y la sustitución de los aires acondicionados de mayor consumo por similares de tecnología inverter.

Como resultado de las medidas propuestas se considera que se obtendrá un ahorro de unos 28,18 MWh/año, lo que representa una reducción del consumo eléctrico en cerca de 20 %.

Generación de 100 % de la energía eléctrica demandada por la Quinta a partir de FRE

Una instalación energéticamente eficiente (o sustentable) es aquella donde, en el curso de un año promedio, la energía que se produzca a partir de una FRE sea mayor que la energía demandada para su funcionamiento. Al tener un balance positivo de energía, esto significa que su funcionamiento no representa emisión significativa de carbono a la atmósfera y su huella medioambiental es mucho menor.

Para esto se requiere combinar las tecnologías de generación de energía eléctrica a partir de FRE, con la implementación de medidas de ahorro y eficiencia energética (surgidas de la auditoría energética).

El primer paso en este propósito es conocer la demanda de energía eléctrica de la Quinta. A partir de la información proporcionada por la UNE del consumo eléctrico durante los años 2017 a 2019 (ver Tabla 1) se pudo considerar que el mismo asciende a unos 107 MWh/año:

Tabla 1. Comparación del Consumo eléctrico de la Quinta de los Molinos. Años 2017 a 2019 (MWh)

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Año 2017	14,82	6,97	7,15	7,13	9,61	5,20	7,22	6,88	6,73	6,54	8,09	8,15	94,48
Año 2018	8,65	8,21	8,99	7,84	8,55	8,42	9,07	9,40	9,42	9,09	9,74	9,33	106,71
Año 2019	7,45	6,58	7,94	9,41	9,94	9,58	10,04	8,42	9,42	9,09	9,74	9,33	106,93

Partiendo de las condiciones de la Quinta, el modo adecuado de generar esta energía a partir de una FRE es mediante el uso de Sistemas fotovoltaicos (SFV) de inyección a red.

Entre las principales ventajas de estos sistemas se encuentran:

- Al generar en el mismo punto en que se produce el consumo, se eliminan las pérdidas en la transmisión y distribución de la energía eléctrica.
- Se instalan fácil y rápidamente sobre cualquier edificio o área expuesta al sol.
- No producen ningún tipo de contaminación ni efecto nocivo, y su instalación conlleva a disminuir la contaminación de las plantas generadoras del SEN.
- Son sistemas modulares: permiten adicionar pequeñas inversiones de forma progresiva.
- Los costos de operación y mantenimiento son muy inferiores a los de las termoeléctricas.

Se identificaron dos áreas con condiciones para la instalación de los SFV: la cubierta del edificio socio-administrativo y la parcela al fondo de la Casa Museo, colindante con la calle Zapata.

La cubierta del edificio socio administrativo (en Carlos III e Infanta) tiene un área de unos 345 m² (15 x 23 m) y se ha diseñado un Sistema fotovoltaico (SFV) de inyección a red sobre cubierta compuesto por 72 paneles con orientaciones Este-Oeste (36 en cada dirección); con una potencia pico instalada de 28.8 KWp, este SFV representa una energía anual generada de unos 45,82 MWh/año (Fig. 5).



Fig. 5. Vista del edificio de la Quinta de los Molinos.

Para la parcela al fondo de la Casa Museo también se ha concebido un SFV compuesto por 72 paneles de 400 Wp con orientación Norte-Sur, con 15 grados de inclinación y separados del piso 50 cm, este sistema tendrá una potencia

cia pico instalada de 28,8 KWp y un estimado de generación anual de 49,12 MWh/año.

Como resultado, ambos SFV generarán unos 94,95 MWh/año a partir de energía fotovoltaica.

De manera resumida:

Consumo actual: 107,0 MWh/año

Ahorro estimado: 28,18 MWh/año

Demanda futura estimada: 78,82 MWh/año

Generación del SFV: 94,95 MWh/año

Reserva para crecimiento o aporte al SEN: 16,20 MWh/año

Distribuida a lo largo del año, la relación Generación FV contra Demanda estimada será (Fig. 6).

Las actividades medioambientales, educativas y de formación para estudiantes, profesionales y grupos vulnerables

Estamos viviendo el inicio de la era de las energías renovables. A pesar de ello, la matriz energética cubana está conformada, en su gran mayoría, por combustibles fósiles y las metas que nos hemos propuesto para finales de esta década son todavía insuficientes para nuestras necesidades.

El comportamiento de la humanidad ante la obtención, transmisión, transformación y utilización de la energía es un problema estrictamente cultural y se corresponde con una actitud que hasta hoy supuso como válida la explotación indiscriminada de los recursos naturales. Pero este estilo de vida ha comenzado a cambiar y cada día adquiere más relevancia la educación en valores para el desarrollo sostenible.

La educación en nuestro país tiene como uno de sus objetivos generales crear una conciencia sobre el ahorro y uso eficiente de la energía, en amplia coherencia con los objetivos y metas de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible.

La Oficina del Historiador de la ciudad de La Habana (OHCH) se ha propuesto contribuir a la formación y concientización en temas energéticos y medioambientales, no solo de los especialistas y actores implicados en este Proyecto, sino también de toda la sociedad, especialmente

en los jóvenes. Todo ello con una clara vocación hacia las soluciones sustentables, a la vez que se impulsen acciones que permitan cumplir con estos presupuestos en sus áreas e instalaciones.

La concepción y coordinación de las actividades promocionales y educativas dirigidas a distintos niveles educativos y grupos sociales es parte fundamental de este Proyecto con la mirada puesta en un claro objetivo: «Participar en el proceso de formación de conocimientos de niños, jóvenes y adultos en temas relacionados con el desarrollo sostenible, la eficiencia energética, las fuentes renovables de energías y su aprovechamiento y uso racional».

Para ello se ha elaborado una Estrategia de Formación y Capacitación y cuenta con la colaboración de un grupo importante de instituciones, entre estas destacan:

- Cubasolar,
- La Universidad Pedagógica Enrique José Varona,
- El Laboratorio de Investigaciones Fotovoltaicas del Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (IMRE),
- El Instec de la Universidad de La Habana.

Estos centros no solo harán uso de las instalaciones del Centro Demostrativo para la realización de actividades prácticas docentes de sus educandos, sino que también aportarán los especialistas necesarios para la realización de seminarios, talleres y actividades de apoyo a las temáticas de la sostenibilidad y las FRE.

En correspondencia con los objetivos planteados y con la base material de la que se dispondrá, prevemos el desarrollo de distintos tipos de actividades educativas:

- Conferencias.
- Talleres.
- Círculos de interés.
- Actividades prácticas de apoyo a asignaturas de pregrado.
- Actividades experimentales.
- Actividades de cursos de postgrado y diplomados.
- Recorridos guiados por el Ceder.
- Proyección y debate de materiales audiovisuales.



Fig. 6. Generación contra consumo.

- Concursos de conocimientos.
- Festival de las Energías.
- Sociedades Científicas Estudiantiles sobre temáticas de Educación Energética.
- Cursos en línea.
- Cursos prácticos de instalación, operación y mantenimiento de los equipos instalados en el Ceder.

Las actividades educativas se fundamentarán y complementarán los conocimientos ya adquiridos por los participantes en los distintos niveles del Sistema Educativo. Como es lógico el nivel de profundización del contenido estará en correspondencia con las edades y el nivel de enseñanza.

Se buscará combinar la impartición de conocimientos teóricos con la realización de actividades prácticas y experimentales.

No todas estas actividades se desarrollarán desde la primera etapa, sino que se irán incorporando en la medida en que el personal del Centro vaya fortaleciéndose y ganando en experiencia.

III. Conclusiones

Los esfuerzos de la Oficina del Historiador de La Habana han permitido que la ciudad vea recuperado uno de sus espacios verdes más simbólicos y que el mismo se dedique a la Educación Ambiental con un especial énfasis en la formación de las nuevas generaciones.

Ahora, el apoyo de un grupo importante de instituciones nacionales y extranjeras posibilitará el desarrollo de un proyecto de Cooperación Internacional dedicado a promover el conocimiento de las Fuentes Renovables de Energía y la Eficiencia Energética.

Como resultado se podrá contar en la Quinta de los Molinos con un Centro Demostrativo de las Energías Renovables, el que pretendemos sea también un lugar de intercambio entre los profesionales del sector, a la vez que se transforma a la Quinta de los Molinos en un recinto mucho más amigable con el medioambiente y que no consumirá energía eléctrica del SEN para su funcionamiento.

Aspiramos, además, a que las experiencias que se obtengan en relación con la aplicación de planes de medidas para un uso más racional y eficiente de la energía e incluso la instalación de SFV integrados en los inmuebles, puedan ser extendidas a otras edificaciones que, sin tener en si mismas un grado de protección patrimonial alto, están ubicadas en un entorno patrimonial como es la Habana Vieja.

Esta pudiera ser una proyección futura de esta experiencia, y es un tema todavía pendiente de nuestro país.

IV. Bibliografía consultada

- BÉRRIZ PÉREZ, LUIS Y MANUEL ÁLVAREZ GONZÁLEZ (2016). *Manual de calentadores solares*. La Habana: Ed. Cubasolar. 194 pp. ISBN: 978-959-7113-49-2.
- GUARDADO Y COL. (2017). *El Movimiento de Usuarios del Biogás en Cuba*. La Habana: Ed. Cubasolar. ISBN: 978-959-7113-50-8.
- STOLIK NOVYGRAD, DANIEL (2019). *Energía fotovoltaica para Cuba*. La Habana: Ed. Cubasolar. ISBN: 978-959-7113-56-0

Recibido: 20 de diciembre de 2020.

Aceptado: 30 de abril de 2021.

Anexo 1. Listado genérico de equipamiento del Centro Demostrativo de Energías Renovables Quinta de los Molinos

No.	Área	Genérico
1		Estación meteorológica automática
2	Medición y orientación	Reloj solar horizontal
3		Reloj solar vertical
4		Reloj solar techo
5	Solar	Sistema Fotovoltaico (DFV) de inyección a red de 20.8 kWp
6		Inversor SMA STP 2500UTL, 72 paneles de 400 Wp orientados N-S
7	Fotovoltaica	Kit demostrativo de bombeo solar
8		Sistema de bombeo solar con bomba sumergible
9		2 Paneles PV bifaciales con microinversor y sistema de tracker
10	Eólico	Aerogenerador de eje horizontal
11		Aerogenerador de eje vertical Darrieus
12		Aerogenerador de eje vertical Savonius (aerobombas)
13		Molino de viento multipaseo americano
14		Cocina Solar parabólica
15		Horno solar
16	Solar Térmica	Colector solar compuesto, sistema termosifónico
17		Colector solar de placa plana, sistema termosifónico
18		Colector solar de tubo al vacío (termosifónico)
19		Destilador Solar de agua
20		Secador Solar de granos y semillas
21		Secador Solar de plantas
22	Hidroenergía	Turbina hidráulica (microbomba)
23		Maqueta de Molino de agua
24		Bomba de agua hidráulica
25		Maqueta de Tornillo de Arquímedes
26		Bomba de agua
27	Biomasa	Maqueta de Biodigestor Tubo PVC
28		Maqueta de Biodigestor de Geomembrana (tipo almohada)
29		Maqueta de Biodigestor de Cúpula fija
30		Maqueta de Biodigestor de Cámara Flotante o Hindu
31		Maqueta de Biodigestor de Laguna Tapeda
32		Olla amojeba a biogás
33		Lámpara a biogás
34		Pequeño generador eléctrico a biogás
35		Calentador radiante a gas
36	Technologías	Maqueta demostrativa de aprovechamientos de la Energía Undeotrópica
37	Oscilatorias	Maqueta demostrativa de aprovechamientos de la Energía OTEC
38	Otra	Cargador solar de móviles
39		Sistema de visualización de información energética SolarFox

EL CONTENIDO RUMINAL COMO RESIDUO DEL PROCESO FABRIL DE LA INDUSTRIA CÁRNICA Y LA OBTENCIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE Y ABONOS ORGÁNICOS

Por M. Sc. Denny Rodríguez Alarcón*

* Dirección de Economía y Planificación. Poder Popular Granma, Cuba.

E-mail: denny@mzlllo.capgrm.co.cu

Resumen

La generación de los desechos orgánicos sólidos y agua residual del proceso industrial con altas cargas contaminantes es una problemática ambiental mundial, y en especial los que se generan en la industria cárnica; y al mezclarse estos en los efluentes del sistema de evacuación la carga orgánica se eleva más todavía, en valores que alcanzan los 1000 kg/ha y la problemática es mayor, siendo casi nulos el manejo y aprovechamiento.

Este trabajo realiza una descripción sobre el manejo de los desechos del proceso industrial, en especial la industria cárnica, es por ello que lejos de ver a los desechos como un contaminante, contenido ruminal unos 100 kg/ha , y un agua residual que alcanza un volumen promedio de unos $10.5 \text{ m}^3/\text{d}$, se le debe de prestar atención a la potencialidad que tienen los mismos para la obtención de biogás: unos $207.1 \text{ m}^3/\text{d}$, como fuente de energía renovable, la sustitución de abonos químicos convencionales por orgánicos unos $26,94 \text{ kg/ha}$ y su significado desde el punto de vista económico, unos $1807,93 \text{ CUP/ha}$, y la estimación de las contaminaciones que estos emiten al medioambiente 12044.1 kg CO_2 y 899 kg DBO_5 . En la mayoría de los casos el desarrollo de estas tecnologías en nuestro país se ha quedado en simples demostraciones.

Palabras clave: Contenido ruminal, energía no convencional, problemas medioambientales, bioabono.

THE RUMEN CONTENTS WASTE AS A MANUFACTURING PROCESS FOR PRODUCING MEAT INDUSTRY AND RENEWABLE ENERGY AND ORGANIC FERTILIZERS

Abstract

The generation of waste organic solids and residual water of industrial process with discharges loads pollutants are a world environmental problem, and especially, those generated by the meat industry, and when mixing the same ones in efluentes of evacuation system, the organic load rises, but still value that reach those and this problem is bigger, being almost null its handling and use.

At work a description on the handling of the waste matter of the industrial process comes true, specially instructs her meat, you are for it than far from seeing towards the waste matter like a contaminant, contents ruminal 100 kg/ha , and of residual water attains an average volume $10.5 \text{ m}^3/\text{d}$, they are supposed to pay attention to the potentiality that they have the same as to obtaining: of biogas $207.1 \text{ m}^3/\text{d}$, like source of renewable energy, the substitution of chemical conventional payments for organic ones $26,94 \text{ kg/ha}$ his significance from the economic approach $1807,93 \text{ CUP/ha}$, and the amount of the contaminations that these emit to the ambient 12044.1 kg CO_2 and 899 kg DBO_5 . For the most part the development of these technologies at our country has remained in simple demonstrations.

Keywords: Rumen contents, non conventional fuels, world environmental problem.

I. Introducción

Actualmente la generación de los desechos orgánicos es uno de los principales causantes de contaminación ambiental en nuestro país, debido a que se producen en grandes volúmenes, se acumulan en espacios inadecuados, muchas veces es necesario emplear combustible para llevarlos hasta el vertedero y de esta manera contribuir aún más a la contaminación ambiental [Marcos Hernández, 2016].

Por otra parte, en muchos países las empresas que conforman la industria cárnica y, en especial, los mataderos, se han clasificado dentro del grupo de empresas que presentan una alternativa valiosa de recursos energéticos para la industria, por medio de los desechos que se producen en estos lugares. Un uso adecuado de estos desechos no solamente redundará en beneficio de la producción fabril, sino que también contribuirá a la protección ambiental.

Con base a lo anterior, podemos hacer notar que todos los sectores productivos generan residuos propios de su sistema, que en algunos casos tienen alguna aplicación. Del total de residuos orgánicos, con respecto a su uso poco se ha avanzado, ya que su manejo es difícil al estar mezclado con otros materiales. Sin embargo, uno de los procesos que menos se emplea es el tratamiento anaeróbico de estos residuos; en el mismo no solo se elimina al desecho, sino que también se puede producir un material útil como abono agrícola.

El caso de estudio es la UEB Raúl Chacón Jorge, Combinado Cárnico donde el contenido ruminal es uno de los contaminantes con mayor impacto ambiental; este genera una alta carga orgánica en los efluentes de esta industria, que por su forma de depósito llegan a fosas sépticas, basureros municipales y sus aguas residuales penetran en el manto acuífero con un tratamiento poco eficaz, fomentando la contaminación. Sin embargo, el contenido ruminal en lugar de ser visto como un contaminante es una fuente valiosa de producción de energía cuando se incorpora a la

generación de biogás, debido a que representa el alimento no digerido ingerido por los poligástricos, que posee una gran cantidad microbiana que acelerará el proceso de digestión anaerobia.

II. Materiales y métodos

Recopilación, sistematización y análisis de la información recopilada de las fuentes secundarias. Caso de estudio Combinado Cárnico UEB Raúl Chacón Jorge, de Manzanillo.

Con el apoyo de los departamentos de Economía, Mantenimiento y los trabajadores de la entidad, se recopiló la información de los registros de residuos diarios que se generan en el proceso de la matanza del ganado mayor. Esto permite el procesamiento de datos cuantitativos y cualitativos, con el fin de obtener el porcentaje de residuos de forma general que genera esta institución; además, se tuvieron en cuenta documentos técnicos, medios de prensa, folletos informativos, hojas de cálculos, estudios de casos similares, software aplicados y documentos académicos relacionados con el área de estudio, entre otros.

Caracterización de residuos generados por el proceso fabril

El rumen en animales adultos puede contener hasta 100-120 Kg de materia en digestión, las partículas de fibra permanecen en él de 20 a 48 horas debido a que la fermentación bacteriana es un proceso lento [Marcos Hernández, 2016]. Inicialmente se realiza un análisis del porcentaje que representa el rumen como residuo generado, según [Colectivo de autores, 2006], arrojando así información cuantitativa y cualitativa de los datos con los cuales se interactúan.

Por lo observado en la tabla 1 se obtuvo en 2018 un promedio de 1006,45 toneladas de desperdicios, que van a parar al vertedero municipal e incrementan la contaminación ambiental.

Tabla1. Desperdicio ganado vacuno*

Desperdicio ganado vacuno (Año de referencia 2018) UM (Ton)							
Mes	Cant. vacas	Peso pie	Peso unitario	Banda	Cuero	Desperdicio	
						Día	Mes
Enero	448	5,77	0,31	2,59	0,37	2,30	55,29
Febrero	389	5,77	0,35	2,36	0,34	2,61	62,67
Marzo	662	9,40	0,21	3,92	0,53	4,17	100,16
Abril	661	8,95	0,21	3,87	0,54	3,76	90,33
Mayo	704	9,67	0,20	4,00	0,60	4,27	102,39
Junio	677	9,59	0,20	4,03	0,59	4,16	99,91
Julio	510	7,57	0,27	3,21	0,47	3,25	77,96
Agosto	579	8,24	0,24	3,54	0,51	3,48	83,51
Septiembre	513	7,61	0,27	3,27	0,51	3,17	76,20
Octubre	493	7,58	0,28	3,49	0,42	2,98	71,41
Noviembre	631	9,52	0,22	4,11	0,59	3,99	95,82
Diciembre	597	8,63	0,23	3,65	0,46	3,78	90,80
Total año	6864	98,30708		42,04	5,92		1006,45

*Datos obtenidos por el autor, in situ.

III. Resultados y discusión

Cálculo de la carga orgánica total que le aporta el rumen al agua que circula por el interior del recinto de la matanza.

Por estudios de laboratorio, que se le realizaron a una muestra determinada de rumen, se obtuvieron los resultados siguientes que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Caracterización del rumen

Peso rumen muestreado (g)	Peso seco (g)	% de sólidos totales
67,53	8,03	88,11
71,62	8,95	87,50
71,69	8,63	87,97
70,37	8,12	88,47
72,2	7,84	89,14

Según el peso promedio del rumen obtenido, 3,49 Ton, esto representa 0,38 Ton de material seco [Rodríguez Alarcón, 2012].

Caracterización de residuos sólidos de origen industrial y estimación del potencial de biogás

El contenido estomacal e intestinal, denominado contenido ruminal, tiene una alta carga contaminante [Marcos Hernández, 2016] y van al depósito de recogida. Se pudo establecer la cantidad que se dispone (Tablas 3 y 4). Para ello se utilizó el software de cálculo [Hilbert, 2011].

Caracterización del agua residual que se utilizara para la preparación de la mezcla

Para el cálculo se utilizan los datos obtenidos por el estudio realizado por GEOCUBA [Colectivo de autores, 2018] de las aguas residuales, y se propone un biodigestor UASB que alcanza una eficiencia de 70 % (Chernicharo de Lemus, 2007) y si tenemos en cuenta que las proporciones recomendadas para la preparación de la carga está entre 1÷3 veces la cantidad de agua por residuos, seleccionamos la mayor proporción al ser este un material que no se encuentra totalmente degradado y contiene gran contenido de material sólido.

Tabla 3. Características del contenido ruminal

Tipo de residuo	ST (g/kg)	MO (%ST)	Carga orgánica (kg _{ST} /m ³ d)	Índice de metano (m ³ /kg _{ST})
Contenido ruminal	115 - 120	90 - 95	3,6	0,27

Tabla 4. Generación de biogás según residuos generados

Tipo de residuos generada	Concentración	Rendimiento	Generación de biogás
Descripción	Sólidos volátiles Mínima % Máxima %	Mínimo l/ KgSV Máximo l/ KgSV	Mínima Máxima
Rumen sin tratamiento *	3495 12** 12,3***	16** 30** 60**	34,52 92,10

** Análisis de Laboratorio Empresa Comandante Manuel Fajardo.

***[Marcos Hernández, 2016].

Aplicando el procedimiento desarrollado (Chernicharo de Lemus, 2007):

$$S_{DQO_{(rumen)}} = 51,4 \frac{kg_{DQO}}{m^3} \quad S_{DQO_{(aguas)}} = 35,98 \frac{kg_{DQO}}{m^3}$$

[Colectivo de autores, 2009]

Caudal de agua residual $Q_w = 10,5 m^3/d$

Presión atmosférica $P = 1,07 atm$

DQO correspondiente a un mol de CH₄

$$K_{DQO} = 64 \frac{g_{DQO}}{mol}$$

Constante de los gases $R = 0,08206 \text{ atm lts mol}^{-1} K^{-1}$

Temperatura de trabajo $T = 25^\circ C$

Coefficiente de producción de sólidos en el sistema, en términos de DQO: $\mu_{s} = 0,11 - 0,25 \frac{kg_{DQO}}{kg_{DQO}}$, seleccionamos un valor medio 0,17.

Considerando que la cantidad de metano presente en el biogás de acuerdo a varios autores es del orden de 60 a 70 %.

Corrigiendo el factor de temperatura de operaciones del reactor, mediante la expresión siguiente:

$$f(T) = \frac{P \times K_{DQO}}{R \times (273 + T)} \quad (kg_{DQO} m^3) \quad (1)$$

Donde: $f(T)$ factor de corrección para la temperatura operacional del reactor y se obtiene que $f(T) = 2,74$

$$(kg_{DQO} m^3)$$

Cálculo de la DQO_{CH_4} producida en función de la carga contaminante, el caudal de agua y coeficiente de producción de sólidos en el sistema:

$$DQO_{CH_4} = Q_{in} \times (S_0 - S) - T_{in} \times Q \times S_0 \quad (kg) \quad (2)$$

Sustituyendo en la ecuación (2) obtenemos que

$$DQO_{CH_4} = 70.1 \text{ kg}$$

Por lo tanto, para calcular el volumen teórico de gas metano se utiliza ecuación la siguiente:

$$Q_{CH_4} = DQO_{CH_4} / (P) \quad (3)$$

Donde:

Q_{CH_4} Es la producción volumétrica de metano, y al sustituir los valores en la ecuación (3) se tiene que el volumen de metano es $Q_{CH_4} = 192 \text{ m}^3/\text{d}$

Como el gas metano representa aproximadamente 60 % del biogás, entonces el volumen teórico de biogás se obtiene por medio de la ecuación (4):

$$Q_{Biogas} = Q_{CH_4} / 0.6 = 115 \text{ m}^3/\text{d} \quad (4)$$

Donde: Q_{Biogas} Es la producción volumétrica de biogás m^3/d

El bioabono resultante

Como resultado del proceso de digestión anaerobia, además de biogás se obtiene un residual líquido y un lodo

digerido, ambos con muy buenas propiedades fertilizantes [Marcos Hernández, 2016], y utilizando la hoja de cálculo [Hilbert, 2011], se obtienen los resultados que se muestran en las Tablas 5 y 6.

Con un porcentaje de pérdidas (%) para el

$$N_{Total} \rightarrow 60, P_2O_5_{Total} \rightarrow 40'$$

$$N_{Total\ Generado} = N_{Total} * \left(\frac{100 - \% \text{ Pérdidas } N}{100} \right)$$

Valoración de los impactos medioambientales y socio-económicos

Contrariamente a lo que sucede con los combustibles fósiles, el uso de la biomasa como alternativa en los combustible garantiza que el CO_2 , liberado a la atmósfera forme parte del ciclo natural del carbono, por lo que para este análisis no se toman las concentraciones emitidas como válidas; sin embargo, teniendo en cuenta que el CH_4 producido será quemado, convirtiéndose en CO_2 y agua, es decir $1 \text{ Ton}_{CH_4} = 32 \text{ Ton}_{CO_2 \text{ Dias}}$. Ver Tabla 7

Si consideramos estos servicios obtenidos en función de los acuerdos de compras de CERs por el Banco Mundial, obtendríamos lo siguiente (Tabla 8):

Tabla 5. Residual líquido y un lodo digerido según tipo de animal

Residuo	Cant.	Producción $\frac{\text{kg}}{\text{d}}$					
		Residual húmedo		Bioabono líquido		Bioabono sólido	
		$\frac{\text{kg}}{\text{d animal}}$	Año (MTon)	(Litros)	Año (MTon)	$\frac{\text{kg}}{\text{d animal}}$	Año (MTon)
Rumen	3494,63	21,2	26 939,38	8,44	10 765,55	12,67	16 161,1

Tabla 6. Concentración de nutrientes (en % de sólidos totales) encontrados en efluentes de biodigestores con diferentes tipos de excretas

Tipo de excreta	N_{RAG}	N_T	$N_{Total\ Generado}$	P_2O_5	P_2O_{5T}	$P_2O_{5Total\ Generado}$
Rumen	20,00	183,96	73,60	7,00	64,38	38,63

Tabla 7. Tabla de resultados de la disminución de carga contaminante y toneladas de CO2 dejadas de emitir a la atmósfera

Por uso de biodigestor UASB	Disminución de la carga contaminante	Toneladas de CO_2 dejadas de emitir a la atmósfera
	Kg/día	Ton/día
Contenido ruminal	12 564	4912
Agua residual	70,1	3680
Total	12 634,1	8592

Tabla 8. Precios de ventas a los diferentes derivados del biogás al Banco Mundial [International Price, 2016]

Producto	Precios	Producción y ventas de CERs al Banco Mundial
Biogás	0,18 $\left(\frac{\$_{USD}}{m^3}\right)$	207,1 (m^3) 37,30 $(\$_{USD})$
Lodos fertilizantes	67,11 $\left(\frac{\$_{USD}}{Ton}\right)$	26,94 $(MMTon/año)$ 1'807,9 $(MM\$_{USD})$
Certificado CERs	4 $\left(\frac{\$_{USD}}{Ton_{o_2}}\right)$	8,6 $(MTon/año)$ 34,4 $(M\$_{USD})$

IV. Conclusiones

Beneficios económicos, aporte social comunitario y al entorno laboral

- Una inversión muy rentable, no un gasto.
- Mejor conservación de las instalaciones de evacuación del residual y menor intensidad en su necesidad de mantenimiento, al no ser necesario quitar las costras, que no existen, ni limpiar las fosas y no atacarlas los gases.
- Es una alternativa de las PML al convertirse el proceso completo en un ciclo cerrado y aportándole un valor agregado a los residuos, los cuales se convierten a su vez en materia prima para el proceso de producción de combustible y fertilizante orgánico.
- Ahorro de tiempo-dinero en el reparto del fertilizante al conseguir la licuación, mayor cantidad de nutrientes por tonelada y no ser necesario recurrir a echar agua a las fosas, para que no se formen costras.
- Obtención de un gas noble con posibilidades de utilizarlo en la industria y sustituir combustibles convencionales.
- Incrementa puestos de trabajo al necesitar mano de obra encargada del buen funcionamiento de la planta y distribución del fertilizante propuesto

V. Bibliografía

COLECTIVO DE AUTORES (2006). «Manual de Indicadores Principales de Rendimiento y Merms del establecimiento Raúl Chacón

Jorge. Manual de Indicadores Principales de Rendimiento y Merms del Minal». La Habana: Minal. Edición actualizada 2017.CD.

COLECTIVO DE AUTORES (2018). «Estudio Físico Químico de la laguna de oxidación». Bayamo: GEOCUBA: 20.CD.

CHERNICHARO DE LEMUS, C. A. (2007). «Principios do tratamiento biológico de aguas residuarias». DESA. Minas de Gerais, DESA. 1.

HILBERT, J. I. H. (2011). «Matriz de cálculo económico energético para biodigestores rurales». INTA 1.

INTERNATIONAL PRICE (2016). www.eia.doe.gov/emeu/international/prices.html. Retrieved enero, 2016, from www.eia.doe.gov/emeu/international/prices.html.

MARCOS HERNÁNDEZ, ALFONSO (2016). «Biodegradación de los residuos de un matadero mediante un digestor continuo». Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura. Programa de Doctorado en modelización y experimentación en ciencia y tecnología. Grupo de Investigacion Aplicaciones Industriales de la Inteligencia Artificial.

RODRÍGUEZ ALARCÓN, D. (2012). «Propuesta de un sistema de tratamiento de los residuales del combinado cárnico Raúl Chacón de Manzanillo, como alternativa de las producciones más limpias». Santiago de Cuba: Ceefe, Oriente: 84.

Recibido: 10 de febrero de 2021

Aceptado: 15 de abril de 2021

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE ESTUFAS HÍBRIDAS, ECOLÓGICAS, EFICIENTES, DE BAJO COSTO, CON GAS CARBURANTE DE HIDRÓGENO

Por M. Sc., Ing. **Ángel Eugenio Infante Haynes**, Ing. **Zoilo Bienvenido Suarez Pérez****,
Ing. Gerardo Hernández Ramírez*** y **Wilson Santos Guerrero*****
Facultad de Ingeniería, Universidad de Holguín, Ministerio de Educación Superior, MES, Cuba.

* Profesor auxiliar. Universidad de Holguín, Cuba.

E-mail: ehaynes@uho.edu.cu

** Universidad de Holguín, Cuba.

E-mail: zsuarezp@uho.edu.cu

*** Facultad de Ingeniería, Universidad de Holguín, Ministerio de Educación Superior, MES, Cuba.

Resumen

En el presente trabajo se realizó el diseño de una cocina eficiente, ecológica y de bajo costo, con la novedad del uso como gas carburante el hidrogeno, a partir de su obtención en celdas de separación electrolítica a partir del agua, aplicando el software Solidword, para dar respuesta, en primer lugar, a la cocción de alimentos como alternativa al suministro de gas licuado del petróleo, keroseno y al ahorro de electricidad, dadas las condiciones de bloqueo impuestas por la administración norteamericana; en segundo lugar, al saneamiento de los residuales de carpinterías y otros lugares que existen en la ciudad de Holguín; y en tercer lugar, darle solución a otro problema ambiental, la acumulación de sargazos en la playas del país, con alto grado de metales pesados y arsénico, y que afecta esos entornos turístico. Esta biomasa pudiera convertirse en briquetas, con un alto valor calorífico y pudiera ser una opción de ayuda a las familias que viven cerca de las costas y con bajos ingresos, teniendo en cuenta que además, con la cocina se ahorraría 50 % de lo utilizado en las cocinas convencionales de leña. Por otro lado, se pudieran aprovechar las briquetas de serrín y papel como resultado de los residuos sólidos de las empresas. Otras de las variantes de esta estufa que la hace híbrida, es cuando se diseñan con dos hornillas: una trabajaría con biomasa sólida y la otra con biogás, o hidrógeno, o ambos combustibles juntos. Se debe destacar también que no solo es una solución para los hogares, sino también para unidades militares, tanto en puntos fijos como en maniobras, así como para las empresas, escuelas, seminternados, círculos infantiles y unidades de salud públicas. Se detalla un circuito en dos variantes para uso como gas carburante el hidrógeno, así como las características de diseño de sus partes y componentes.

Palabras clave: Solidword, biomasa, agroenergía, gas carburante hidrógeno.

DESIGN AND FABRICATION OF ECO-FRIENDLY, EFFICIENT AND LOW-COST HYBRID COOKSTOVES; WITH USE OF HIDROGEN FUEL GAS

Abstract

The generation of waste organic solids and residual water of industrial process with discharges loads polln the present paper, the design of an efficient, ecological and low cost stove was carried out, with the novelty of using hydrogen as fuel gas, from its obtaining in electrolytic separation cells from water, applying the Solidword software, to give an answer, firstly, to the cooking of food as an alternative to the supply of liquefied petroleum gas, kerosene and to the saving of electricity, given the blockade conditions imposed by

the North American administration; secondly, to the sanitation of waste from carpentry shops and other places in the city of Holguin; and thirdly, to provide a solution to another environmental problem, the accumulation of sargassum on the country's beaches, with a high level of heavy metals and arsenic, which affects these tourist environments. This biomass could be converted into briquettes, with a high calorific value and could be an option to help families living near the coasts and with low income, taking into account that in addition, the stove would save 50% of what is used in conventional wood stoves. On the other hand, sawdust and paper briquettes could be used as a result of solid waste from companies. Another variant of this stove that makes it hybrid, is when it is designed with two burners: one would work with solid biomass and the other with biogas, or hydrogen, or both fuels together. It should also be noted that it is not only a solution for homes, but also for military units, both at fixed points and on maneuvers, as well as for companies, schools, boarding schools, children's circles and public health units. A circuit in two variants for the use of hydrogen as fuel gas is detailed, as well as the design characteristics of its parts and components.

Keywords: Solidword, biomass, agroenergy, hydrogen fuel gas.

I. Introducción

Según la Agencia Internacional de Energía, la dependencia de energía basada en combustibles fósiles no es sostenible, tanto en términos de seguridad del suministro como de sus efectos ambientales [FAO, 2008]. Sin embargo, la agroenergía dispone del potencial para contribuir a satisfacer, al menos en parte, la creciente demanda energética. En este sentido ello exige el desarrollo de nuevos conocimientos y políticas que promuevan el acceso a la energía mediante técnicas de energía del agro, pero logrando una seguridad alimentaria sin afectaciones al medioambiente; por tanto, las iniciativas que se desarrollen pueden ofrecer nuevas oportunidades a las comunidades rurales. Una de ellas es la producción de energía a partir de la biomasa en sistemas agroforestales integrados, que permitan compatibilizar la seguridad alimentaria y la protección ambiental; en 2007 la biomasa se utilizó para satisfacer alrededor de 10 % de la demanda mundial de energía primaria [FAO, 2008].

En los últimos 20 o 30 años, la presión causada por el crecimiento demográfico y la explotación comercial de los bosques en el Tercer Mundo, han causado que la leña sea cada día más escasa. Son muchas las comunidades, tanto urbanas como rurales, que están enfrentando problemas de escasez de biomasa para la cocción y, por su alto costo, no pueden darse el lujo de otras fuentes de energía como el kerosene, electricidad o gas. Teniendo en cuenta estas últimas tecnologías para mejorar la salud, el sustento y la calidad de la vida al reducir la exposición a la contaminación del aire intradomiciliario, sobre todo entre mujeres y niños, debido al uso de combustible en la casa. Por lo que se debe trabajar para aumentar el uso de prácticas limpias, confiables, comprobables y eficientes de cocción y calefacción en el hogar, que reduzcan la exposición de las personas a la contaminación del aire en el interior de la vivienda, principalmente en países en vías de desarrollo

La contaminación del aire intradomiciliario causa serios problemas de salud para dos mil millones de personas en todo el mundo que usan biocarburantes tradicionales para sus necesidades de cocción y calefacción, según la Organización Mundial de la Salud (OMS). En los últimos años han crecido la sabiduría sobre el costo ambiental y social del uso de combustibles tradicionales y de estufas, y los conocimientos

sobre formas de reducir las emisiones de estas cocinas. No obstante, las estufas mejoradas actualmente disponibles a los clientes pobres no siempre representan la mejor práctica, o un concepto del diseño que se base en la ingeniería moderna, es por eso que se debe tener en cuenta: que se use menos material de combustión (leña, briquetas) para hacer fuego y que el humo tóxico salga afuera del lugar donde se cocine, que no haya accidentes por volcamiento de las cazuelas, que no afecte el cuerpo por la posición de agachados, que no se irriten los ojos por el humo, que la preparación de la comida sea higiénica, y que tenga buen sabor.

II. Materiales y métodos

Materiales

1. Tubo de acero de 2000x100x3 mm
2. Platinas de acero 1000x500 mm
3. Barra de acero 1000x10 mm
4. Bisagras de metal, 6
5. Plancha de madera 1000x500x10 mm
6. Ruedas de gomas, 2
7. Perfil L 2000x150 mm
8. Electrodo para acero, 1 kg

Métodos

Diseño con Software Profesional Solidworks Premium 2016.

III. Desarrollo

Lo basamentos preliminares del trabajo de las cocinas eficientes y su desarrollo histórico, se encuentran publicados en Haynes y col. [2019].

En particular en ese artículo se expresaron los principios del Dr. Larry Winiarski, a tener en cuenta a la hora del diseño, fabricación y puesta en marcha de una estufa, y ellos son:

1. *En la medida de lo posible, es necesario aislar alrededor del fuego con materiales livianos y resistentes al calor. Si es posible, no use materiales pesados como la arcilla y la arena.*
2. *Instalar una chimenea corta y aislada directamente encima del fuego. Esa chimenea estimula una*

fuerte corriente de aire y hace que el fuego queme caliente y feroz. La chimenea debe ser aproximadamente tres veces más alta que su diámetro.

3. *Calentar y quemar las puntas de los palos a medida que se expongan al fuego.* Si únicamente la madera que se quema está caliente, habrá mucho menos humo. Intente que el resto del madero esté tan frío que no pueda estar incandescente ni hacer humo.
4. *Crear temperaturas altas y bajas según la cantidad de leña que se expone al fuego.* Ajuste la cantidad de gas y el fuego creado conforme a la tarea prevista. (La madera se calienta y emite gas. El gas prende fuego y crea calor).
5. *Mantener una corriente de aire buena y rápida en todo el carburante.* Justo como soplar el fuego o el carbón puede crear calor, tener una corriente apropiada ayudará a mantener altas temperaturas en su estufa. Un fuego caliente es un fuego limpio.
6. *La falta de corriente de aire en el fuego resulta en humo y exceso de carbón.* Sin embargo, demasiado aire enfría al fuego y no es útil. Aberturas más pequeñas en el fuego ayudan a reducir el exceso de aire. Mejorar la eficiencia del intercambio térmico a la olla o plancha es el factor más importante que reducirá el uso de combustible en una estufa de cocina. Mejorar la eficiencia de combustión reduce la contaminación, pero es menos importante cuando se pretende ahorrar leña.
7. *La abertura al fuego, el tamaño de los espacios dentro de la estufa por donde pasan los gases calientes y la chimenea externa deben ser aproximadamente del mismo tamaño.* Esto se llama mantener una superficie transversal consistente y ayuda a mantener una corriente pareja en la estufa. Una buena corriente no solo mantiene el calor del fuego, sino que también es esencial para que el aire caliente creado por el fuego pueda transferir efectivamente su calor a la olla.
8. *Usar una reja debajo del fuego.* No ponga los maderos en el piso de una cámara de combustión; tiene que pasar aire por debajo de los que se queman, por el carbón y dentro del fuego.
9. *Aislar la trayectoria del aire caliente.* Los materiales aislantes en una estufa mantienen calientes los gases de combustión para que calienten mejor la olla o la plancha.
10. *Aumentar el intercambio térmico de la olla con espacios adecuados.* Transmitir calor a una cazuela o a una plancha es más fácil con canales pequeños. Los gases calientes de combustión están forzados por estos canales estrechos, donde rozan las cazuelas o la plancha. Si los canales son muy grandes, los gases pasan por el centro y no transfieren todo su calor a la superficie apropiada.

Forzar que los gases de combustión pasen por la superficie de una olla o plancha por un canal angosto es una estrategia de diseño popularizada por el Dr. Samuel Baldwin y el Dr. Larry Winiarski. En 1982, el Dr. Winiarski creó una falda para ollas, un cilindro de metal delgado que

rodea la olla, formando un canal estrecho y mejorando la eficiencia del intercambio térmico.

Reducción de emisiones de dióxido de carbono

Una de las contribuciones más relevantes del uso de estufas eficientes está relacionada con el potencial de reducir la degradación de los bosques existentes, asociado a prácticas extractivas insostenibles y su impacto sobre el cambio climático global. De acuerdo al IPCC [2007], 17 % de las emisiones mundiales de CO₂ se deben a la deforestación, y aunque de acuerdo a FAO [2008] el consumo de combustibles leñosos ha fluctuado entre 1800 y 1900 millones de metros cúbicos en la última década, no se tiene certeza de qué porcentaje de las emisiones de dióxido de carbono corresponde a la utilización de leña para propósitos domésticos. Como en cualquier combustible, el carbono y el hidrógeno le confieren las propiedades térmicas a la madera que, al incinerarse eficientemente, generan dióxido de carbono y vapor de agua como productos residuales del proceso; sin embargo, cuando se produce una combustión ineficiente se generan gases no deseados como el metano (CH₄), el monóxido de carbono (CO) y óxido nitroso (N₂O), los cuales presentan un potencial de efecto invernadero mucho mayor que el CO₂.

Uso del hidrógeno como vector energético y gas carburante

Esta estufa tiene la novedad del hidrógeno como vector energético y gas carburante. Es posible diseñar y construir equipos y dispositivos que puedan aprovechar el hidrógeno como vector energético, es decir, como una fuente potencial de energía renovable que evitará el deterioro del medioambiente y que en un futuro cercano transformará las relaciones sociales y económicas en todo el planeta hacia una economía energética sostenida [Aguinaga, 2009].

La situación energética actual, con problemas de contaminación, cambio climático, conflictos internacionales motivados por el acceso a los recursos, y agotamiento de combustibles fósiles, precisa nuevas tecnologías, entre ellas se destaca el hidrógeno, al que muchos le asignan el papel de desplazar a los combustibles fósiles para llegar a basar nuestro futuro en la «economía del hidrógeno».

Todo indica que el futuro de la energía pasa por el hidrógeno, el combustible más limpio que existe, versátil y muy eficaz, un combustible revolucionario, ya que transformará las relaciones sociales y económicas en todo el mundo, y que también supone una esperanza en la conquista de una economía energética sostenida.

Las ventajas de la utilización del hidrógeno como carburante son loables: es una fuente de energía abundante y su combustión sólo origina vapor de agua y calor, además de ser un sistema energético no contaminante y silencioso.

El mecanismo para obtener hidrógeno es un dispositivo (electrolizador) que puede utilizarse de forma híbrida, energía eléctrica producida por la energía renovable solar y eólica para producir hidrógeno mediante la electrólisis del agua.

Ese hidrógeno puede utilizarse como gas natural directamente para cocinar, calentar agua o para climatización del hogar, o en pilas de combustible para regenerar energía eléctrica de usos domésticos común (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales propiedades físicas del hidrógeno

Propiedades físicas del hidrógeno	
Símbolo químico	H ₂
Peso molecular	2,016
T. ebullición (1 atm)	-252,8 °C
T. crítica	-239,9 °C
Presión crítica	1 atm
Densidad estado gaseoso (20 °C, 1 atm)	0,08342 kg/m ³
Densidad en estado líquido (p.e. 1 atm)	70,96 kg/m ³
Peso específico (aire=1)	0,0696

Breve reseña de electrólisis del agua y la producción de hidrógeno gaseoso

Uno de los métodos más utilizado, la electrólisis, proceso mediante el cual se hace pasar una corriente eléctrica, en nuestro caso directa, entre electrodos inertes sumergidos en agua, y así separar sus moléculas en sus elementos constitutivos: hidrógeno y oxígeno, como se muestra en la Fig. 1.

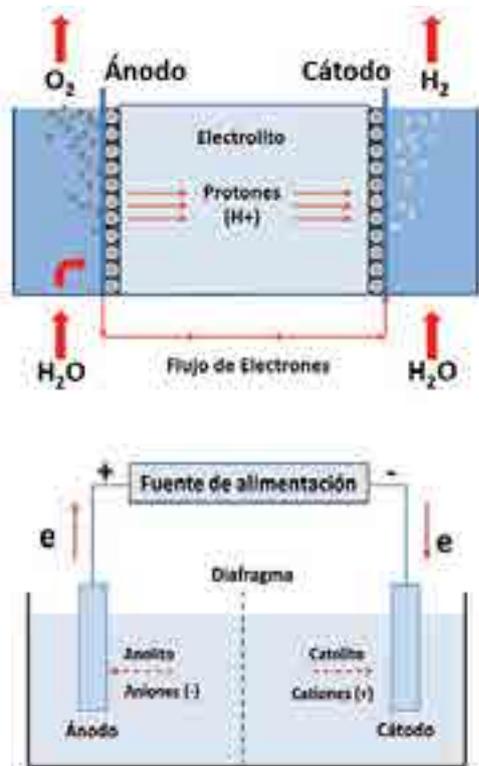


Fig. 1. Electrólisis del agua y la producción de hidrógeno gaseoso.

Entre los inconvenientes hay que señalar que es un gas muy inflamable y que sería muy costosa la construcción de las infraestructuras para su distribución, y requiere sistema de cortafuegos o parallas dobles para garantizar la seguridad operacional de su uso como gas carburante. En este trabajo están concebidos estos sistemas dobles en las variantes del circuito local de generación del gas carburante.

Resultados de la discusión

Los planos de ensamble de las cocinas híbridas, ecológicas, eficientes y de bajo costo se presentan en las Figs. 2 y 3.

Primera versión:

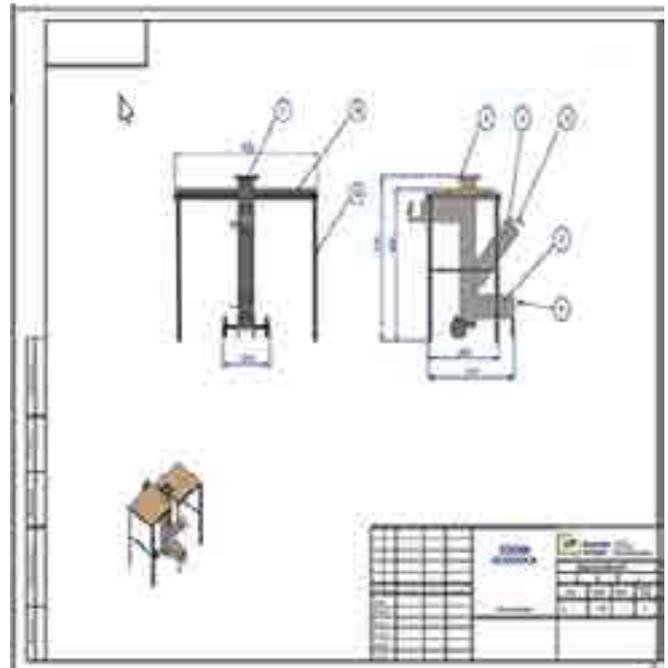


Fig. 2. Plano de ensablaje de la cocina en primera versión.

Segunda versión:

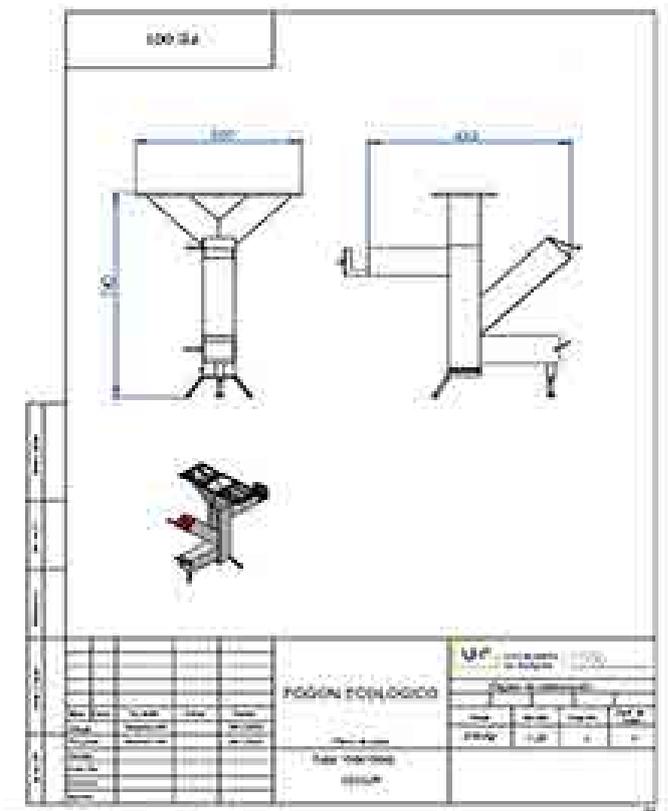


Fig. 3. Plano de ensablaje de la cocina en segunda versión.

A continuación, el diseño de celda de hidrógeno y circuito de generación de hidrógeno a partir de la separación electrolítica del hidrógeno del agua en una celda electrolítica de placas de acero níquel, con sus

correspondientes parallasas, como seguridad para evitar una explosión por el posible retroceso de la llama (Fig. 4).

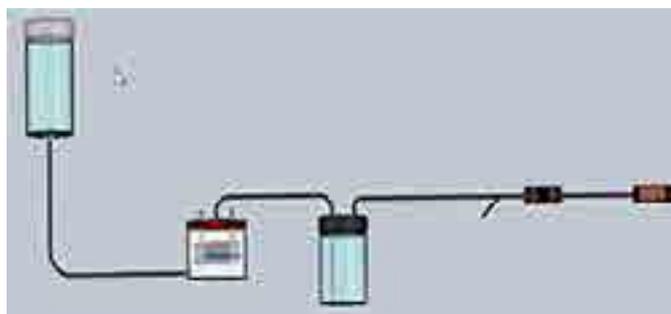


Fig. 4. Esquema del circuito de generación del hidrógeno.

A continuación detalles de las partes del circuito de generación de hidrógeno (Fig. 5-7):

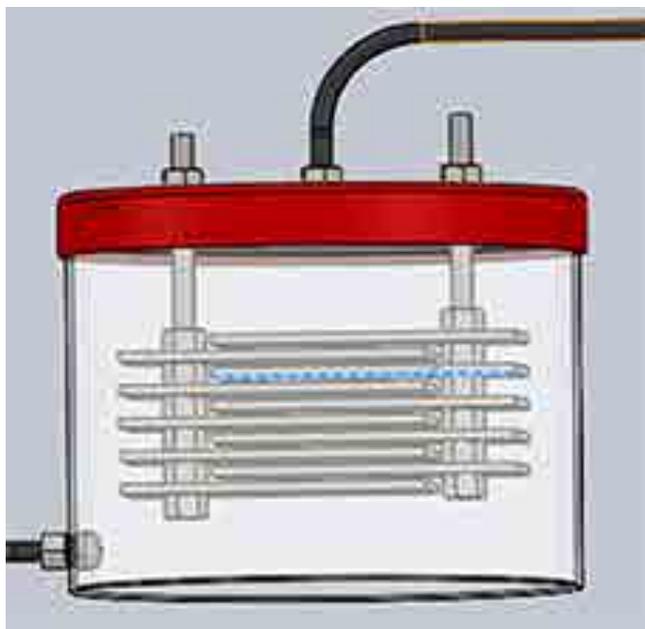


Fig. 5. Esquema de la celda electrolítica de generación de hidrógeno de acero 316.



Fig. 6. Parallama mecánico con agua.



Fig. 7. Parallama o cortafuegos laberíntico.

A continuación, se muestra la variante del circuito de generación e inyección de hidrógeno carburante con compresión del gas en sistema de refrigeradores domésticos (Fig. 8).

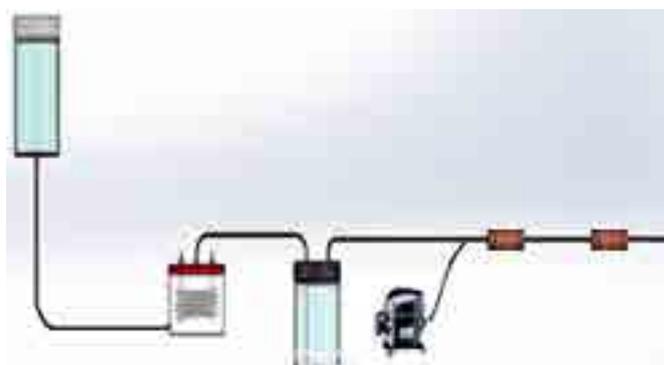


Fig. 8. Esquema del circuito de generación del hidrógeno con compresión del gas.

IV. Conclusiones

1. Este trabajo ofrece solución a diferentes problemáticas socioeconómicas que se presentan en el país, por ejemplo, la falta de combustibles para la cocción de alimentos para la población.
2. De fácil utilización en las comunidades aisladas recientemente electrificadas y donde la cocción de los alimentos hoy es un tema pendiente.
3. La energía para la celda de hidrógeno pudiera generarse con paneles fotovoltaicos de las viviendas de las comunidades aisladas, así como pequeños generadores para el proceso de hidrólisis, solamente con 12 volt de corriente continua.
4. Igualmente, como solución a los vertederos de residuales de carpinterías, como briquetas de serrín o biomasa sólida, que existen en los alrededores de las ciudades.
5. Y no menos importante como solución, igualmente, en las viviendas cercanas a las costas, para la eliminación de los vertimientos de sargazos en las playas, que es un serio problema para el turismo, a gestionar por la Tarea Vida en todo el territorio nacional.

V. Bibliografía

- APROVECHO RESEARCH CENTER (2005). *Design principles for wood burning cookstoves*. Aprovecho Research Center – Shell Foundation. Eugene. 40 p.
- ARRIAZA CASTRO, LUIS ALEJANDRO (1998). «Estimación del impacto ecológico y económico por el uso de estufas mejoradas en la

- comunidad de El Jicarito», Departamento de Francisco Morazán, Honduras.
- BARNES, D., K. OPENSHAW, K. SMITH, & R. VANDER PLAS (1994). *What makes people cook with improved biomass stoves?* The World Bank. Washington D.C. 45 p.
- BROWN, S. (1997). *Estimating biomass and biomass change of tropical forests. A primer*. FAO. Roma. 55 p.
- BRYDEN, DR. MARK; DEAN STILL, PETER SCOTT, GEOFF HOFFA, DAMON OGLE, ROB BAILIS Y KEN GOYER (2006). «Principios de diseño para estufas de cocción con leña».
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (2008). *Bosques y energía: cuestiones clave*. FAO, Roma. Italia. 69 p.
- GONZÁLEZ EXPÓSITO, JAVIER ORKI (2006). «Estudio comparativo de cocinas mejoradas en Nicaragua».
- HAMILTON, L. (2008). «Growing plantation firewood». Agriculture Notes. AG1106. Disponible en: [http:// new.dpi.vic.gov.au/notes/foetry/farm-forestry/ag1106-growing-plantation-firewood](http://new.dpi.vic.gov.au/notes/foetry/farm-forestry/ag1106-growing-plantation-firewood).
- HAYNES Y COL. (2019). «Diseño y fabricación de estufas híbridas, ecológicas, eficientes y de bajo costo». En *Eco Solar 70*. La Habana: Ed. Cubasolar. Publicado en www.cubasolar.cu
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2003). *Orientación del IPCC sobre buenas prácticas para UTCUTS*. IPCC. Geneve. 628 p.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2007). «Climate change 2007: Synthesis report IPCC». Geneve. 22 p.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2006). *World energy outlook*. IEA. Paris. 596 pp.
- JUÁREZ, F. (2002,?). «Estufas ahorradoras de leña tipo plancha». Proderqui. Ciudad de Guatemala. Disponible en: http://www.rimisp.org/fida_old/getdoc.php?docid=1324.
- OCAÑA, R. E. (2005). «Especies vegetales dentro energéticas utilizadas por los pobladores del Encino–Santander». Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. Bogotá. 50 p.
- OSPINA, C.; F. ARISTIZABAL, J. GODOY, D. GÓMEZ, R. HERNÁNDEZ, J. MEDINA & J. PATIÑO (2005). «Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina Colombiana: El aliso o cerezo». Cenicafe – Federación Nacional de Cafeteros. Manizales. 37 p.

Recibido: 20 de febrero de 2021

Aceptado: 15 de abril de 2021

METODOLOGÍA PARA LA NOMINACIÓN DE FINCAS SLOW EN CUBA

Por Dra. C. Leidy Casimiro Rodríguez*, Dr. Cs. Luis L. Vázquez Moreno**, Lic. Aurelia Castellanos Quintero*** y M. Sc. Madelaine Vázquez Gálvez****

* Universidad de Sancti Spíritus. Finca del Medio de Taguasco, Cuba.
E-mail: leidy7580@gmail.com

** Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales, Actaf.
E-mail: llvazquezmoreno@yahoo.es

*** Asociación Cubana de Producción Animal, Acpa Filial Habana.
Email: Aurelia.cuba.2015@gmail.com

**** Sociedad Cubana para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental, Cubasolar.
E-mail: madelainev12@gmail.com

Resumen

El trabajo expone los basamentos para la concepción y aplicación de la metodología de nominación de Fincas Slow en Cuba, a partir de la evaluación de diferentes indicadores de diseño y manejo. Las acciones realizadas posibilitaron la caracterización de las fincas, con criterios integradores sustentados en aspectos tecnológicos, educativos, culturales y ambientales. Se abordan los principios que conforman la Metodología, así como los resultados de su aplicación en tres fincas cubanas. Los resultados muestran la validez del instrumento aplicado y su acción transformadora, y la posibilidad de recomendaciones que permitirán a estos espacios productivos el logro de mejores indicadores en su gestión agroecológica. Es un instrumento que contribuye al fomento de nuevas Fincas Slow y al fortalecimiento de una red que integra a estas fincas en un movimiento regional.

Palabras clave: Agroecología, soberanía alimentaria, red.

METHODOLOGY FOR THE NOMINATION OF SLOW FARMS IN CUBA

Abstract

The paper exposes the basis for the conception and application of the Methodology for the nomination of Slow Farms in Cuba, based on the evaluation of different design and management indicators. The actions carried out made possible the characterization of the farms, with integrating criteria based on technological, educational, cultural and environmental aspects. The principles that make up the methodology are discussed, as well as the results of its application in three Cuban farms. The results show the validity of the applied instrument and its transforming action, and the possibility of recommendations that will allow these productive spaces to achieve better indicators in their agroecological management. It is an instrument that contributes to the promotion of new Slow Farms and the strengthening of a network that integrates these farms in a regional movement.

Keywords: Agroecology, food sovereignty, network.

Introducción

Slow Food es un movimiento que nació contra la homogenización del gusto en la comida y a favor de la diversidad ecológica y cultural de los territorios, en contraposición al Fast Food (comida rápida) y en el fomento y «respeto por la calidad organoléptica, cultural y ecológica de los alimen-

tos, y una justicia social tanto desde el punto de vista del productor como desde el punto de vista del consumidor» (Palabras de Carlo Petrini en una charla en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, 2014). Carlo Petrini es su fundador; Slow Food representa en la actualidad un movimiento global que implica a miles de personas

por proyectos en más de 160 países, participando en diferentes eventos, programas y acciones que reconozcan las fuertes relaciones existentes entre los alimentos, el planeta, las personas, la política y la cultura.

Hace diez años Slow Food inició un esfuerzo tendiente a incrementar su presencia en América Latina y el Caribe, con el fin de contribuir al fortalecimiento de las distintas iniciativas socioculturales compatibles con su filosofía de promoción del alimento «bueno, limpio y justo», y la posibilidad de aunar esfuerzos en desafíos similares, y causas y problemáticas comunes.

A finales de 2016 Petrini, acompañado de otros especialistas y consejeros del Movimiento, realizó un viaje a Cuba para conocer algunas experiencias. Entre ellas visitó fincas de referencia por su enfoque agroecológico y participación en Slow Food, como la Finca del Medio (Taguasco, Sancti Spíritus), Finca Vista Hermosa (Guanabacoa, La Habana), Finca La Martha (Caimito, Artemisa) y el Organopónico de Alamar (Habana del Este, La Habana). En la Finca del Medio, al constatar una soberanía alimentaria, tecnológica y energética que acompañaba a una diversidad gastronómica «kilómetro cero», surgió la idea de crear una red de Fincas Slow, avalado también por los perfiles de las fincas visitadas. Por su valor y riqueza cultural, cada finca podía, desde su contexto, exponer principios y valores extrapolables y relacionados con la sostenibilidad, la soberanía alimentaria y la educación nutricional.

En ese sentido surgió la necesidad de crear una metodología en Cuba para considerar una Finca Slow, que pudiera replicarse al resto de la región con las características propias de cada territorio. Ello permitiría fomentar una red de fincas con reconocidos aportes a la salud humana y planetaria, y otros aspectos de índole política y sociocultural, en la búsqueda de la seguridad y la soberanía alimentarias.

Por tanto, el objetivo de este trabajo fue diseñar una Metodología de Fincas Slow Food en Cuba, con vistas a crear una red de fincas familiares articuladas en las distintas regiones del país, como parte del trabajo del Movimiento de Alimentación Sostenible, MAS [Vázquez, 2019].

MAS es un grupo de trabajo en Cuba, cuyos miembros promueven la integración de los procesos de producción y consumo de alimentos, considerando fundamentos como la agroecología y la permacultura, el uso de las fuentes renovables de energía y la elaboración y conservación de alimentos, sobre bases culturales, socioeducativas y la defensa del medioambiente.

Con la Metodología de Fincas Slow Food se contribuye a valorizar las relaciones culturales del binomio producción-alimentación, bajo los principios de la Agroecología y la sostenibilidad alimentaria, con un alcance local, regional e internacional. Su creación favorece el fomento de buenas prácticas integradas en una red de fincas latinoamericanas y del Caribe, hacia una alimentación buena, limpia y justa.

Materiales y métodos

La Metodología se concibió a partir del trabajo con un panel de seis expertos cubanos, basada en sus experiencias, la bibliografía disponible [L. Vázquez y Martínez,

2015; Mendieta y col., 2017] y la defensa de los principios o valores comunes siguientes:

- Promoción de sistemas de cultivo diversificados, con un quehacer que aborda aspectos tecnológicos, educativos, culturales y ambientales.
- Compromiso con la sustentabilidad ambiental y la inclusión social.
- Autonomía de los territorios en la definición de sus modelos productivos.
- Promoción de la equidad de género y el trabajo intergeneracional.
- Pleno protagonismo de campesinos en todos los niveles de desarrollo del programa.
- Integración familiar y comunitaria.
- Fortalecimiento de la identidad local.
- Consumo de alimentos, acordes a las tradiciones locales.
- El manejo agroecológico de sistemas de cultivo y de ganadería.
- Añadidura de valores agregados a las producciones.
- Articulación con los programas y campañas de Slow Food (Arca del Gusto, Mercados de la Tierra y Alianza de Cocineros, entre otros).
- Reducción y optimización del uso del agua.
- Uso de energías renovables y técnicas ancestrales (apicultura, tracción animal, etc.).
- Fomento de alianzas y articulaciones con otros sectores de la sociedad civil (academias, organizaciones no gubernamentales, grupos de consumidores o coproductores).
- Búsqueda de la incidencia global por la defensa y fortalecimiento de las fincas campesinas.
- Promoción de colaboraciones entre países.
- Rescate y conservación de variedades y razas tradicionales.

La Metodología se aplicó de inicio en tres fincas cubanas que desde etapas anteriores estaban insertadas en el Movimiento de Alimentación Sostenible (Tabla 1).

Tabla 1. Relación de fincas a nominar

Nombre de la finca	Área (ha)	Provincia	Municipio
Finca del Medio	11	Sancti Spíritus	Taguasco
Finca La China	7,10	La Habana	La Lisa
Finca Vista Hermosa	47	La Habana	Guanabacoa

La selección de las fincas para aplicar la Metodología se sostuvo sobre la base de que ya fueran fincas insertadas en el MAS, y que por sus características fuesen referencias con relación al resto de las fincas que pudieran conformar la red.

La Metodología se socializó en el Terra Madre 2018 en diferentes países de la región, y se establecieron diferentes intercambios para su contextualización en otros países que pudieran conformar la red.

Resultados y discusión

El programa de Fincas Slow Food para América Latina y el Caribe se concibe como una red ciudadana que asume

las fincas campesinas e indígenas tradicionales como columna vertebral de los sistemas agroalimentarios de Latinoamérica y baluartes de la alimentación buena, limpia y justa de la humanidad. Fincas Slow Food asegura el protagonismo de los productores campesinos e indígenas en la creación de sus propios modelos productivos y concita el apoyo de los sectores urbanos y de coproductores hacia la conquista de sistemas agroalimentarios sustentables para sus territorios.

Esta propuesta articula los esfuerzos que se impulsan por la salvaguarda de la agricultura familiar desde los países latinoamericanos y las organizaciones del mundo que comparten la causa de una alimentación ambientalmente sustentable y socialmente incluyente.

Por tales motivos, se requirió de un instrumento de trabajo en forma de metodología o protocolo para la identificación, integración y desarrollo de estas fincas, que fue diseñado inicialmente por Cuba y luego socializado en otros países de América Latina y el Caribe [Mendieta y col., 2017].

En Cuba se creó un grupo de trabajo para establecer dicho protocolo con la participación de un panel de expertos. A partir de la aplicación de los talleres e intercambios entre estos expertos se definió la Metodología de Fincas Slow Food en Cuba.

Argumentación

En aras de contribuir a la estrategia de desarrollo de Slow Food International, se propone la categoría de Fincas Slow de Cuba, cuyas características configuran un segmento especial de fincas en el que convergen diversas manifestaciones con carácter sistémico. La aplicación de prácticas agroecológicas, la conservación de clones y cultivares de cultivos y razas de animales, la añadidura de valores agregados a las producciones y la salvaguarda de estos agroecosistemas, entre otras, colocan a este modelo de fincas cubanas familiares en una posición de relevancia.

Objetivo general

Promover la Red de Fincas Slow en Cuba y la región, como espacio metodológico y práctico que incentive buenas prácticas integradas a la producción y consumo de alimentos sobre bases sostenibles.

Objetivos específicos

- Nominar Fincas Slow en Cuba que reúnan las características y puedan integrar la Red de Fincas Slow Food.
- Propiciar el intercambio solidario, socio-cultural y científico-tecnológico de la Red de Fincas Slow, en los ámbitos local, regional e internacional.

Requisitos de las Fincas Slow

La categorización de Fincas Slow en Cuba designará a las fincas que obtengan una puntuación mayor de 65 puntos en indicadores obligatorios; y una puntuación general mayor de 80 puntos al tomarse en cuenta otros indicadores opcionales. Para su aprobación se necesita el aval de la Comisión creada de antemano.

Las escalas para otorgar la puntuación en cada indicador serán confeccionadas a partir de los resultados en la evaluación que se obtengan en las fincas al realizar entrevistas y recorridos de campo, y según el criterio de la comisión, siendo 1 el peor resultado y 6 el mejor.

Indicadores Obligatorios:

1. Diversidad e integración de producción animal, vegetal, árboles frutales y maderables: Presentar producciones diversificadas en estos renglones; realizar sistemas de cultivo mixtos (policultivos) y silvopastoreo, propiciar el bienestar animal.
2. Manejo de semillas y pie de crías: Disponer de sus propias semillas y pie de crías que posibiliten la independencia de la finca, conservar variedades y razas autóctonas y tradicionales.
3. Arca del Gusto: Tener productos nominados para el Arca del Gusto o en proceso, y favorecer la introducción de los productos categorizados y nominados en otras fincas acorde a sus ecosistemas.
4. Autoabastecimiento en alimentos: Lograr cubrir las necesidades alimentarias parcial o totalmente, en productos animales, hortalizas, frutales, conservas y plantas condimentarias. Incluye alimento para animales.
5. Intercambio solidario: Establecer nexos de colaboración con la comunidad, restaurantes, centros educativos y asistenciales, entre otros. Lograr alianzas con cooperativas y actores que favorezcan el comercio justo.
6. Uso de energías renovables y tecnologías apropiadas: Aplicar las fuentes renovables de energía, mediante el uso de biodigestores, biogás para cocción, iluminación y refrigeración, molinos, paneles fotovoltaicos, arietes hidráulicos, bombas vaqueras, cocinas y hornos eficientes, secado solar, calentadores solares, reciclaje, tracción animal e implementos para el arado, viviendas bajo los principios de arquitectura bioclimática, entre otras. Innovación tecnológica.
7. Estudio, conservación y mejoramiento de suelo: Rotación de cultivos, integración de abonos verdes, laboreo de conservación.
8. Integración de bioproductos: Uso de fertilizantes orgánicos, microorganismos nativos, control biológico, entre otros.
9. Reducción y optimización del uso del agua: Aplicar tecnologías apropiadas (describir). Acceso a diferentes fuentes de abasto (seguridad, estabilidad), capacidad de almacenamiento, eficiencia en la distribución (conducción), utilización óptima (sistema de riego, otros), capacidad de retención en el sistema suelo-cultivo.
10. Integración familiar y participativa: Lograr que la familia resida en la finca; propiciar su participación en la toma de decisiones; favorecer la asimilación de los saberes ancestrales y tradicionales. Mantener relaciones solidarias con el colectivo de trabajo.
11. Condiciones de trabajo y socio ambientales favorables: Disponer de una vivienda en buenas condiciones, espacios para la recreación, descanso y

alimentación de trabajadores, baños, un diseño de jardinería, entre otras.

12. Equidad de género: Garantizar espacios de trabajo y reconocimiento a las mujeres.
13. Finca socio cultural y educativa: Desarrollar actividades de educación ambiental y alimentaria con diversos segmentos educacionales (niños, jóvenes y adultos mayores). Desarrollar intercambios culturales con la comunidad, con acercamiento a los medios de comunicación local o nacional. Propiciar el rescate patrimonial y la celebración de actividades como Terra Madre Day, Disco Sopa, etc., acorde a los rasgos identitarios de la localidad o región.

El uso de fertilizantes químicos y de Organismos Genéticamente Modificados invalida la nominación de Fincas Slow. La obtención de 2 puntos en un indicador obligatorio invalida la propuesta.

Opcionales:

14. Apicultura: Desarrollo de la producción apícola (meliponas principalmente) fundamentalmente para la polinización.
15. Conservación de alimentos: Desarrollar producciones con valor agregado (conservas, productos secos, vinos, quesos, mieles, embutidos, etc.).
16. Manejo de arvenses: Prácticas de laboreo mínimo, cobertura viva y muestra, rotación de cultivos multifuncional, incluyendo abonos verdes.
17. Bioseguridad y sistema de vigilancia: Sistema de control de entrada de personas y vehículos, seguridad de material de siembra y pie de crías que sean adquiridos, seguridad de los procesos de producción agrícola y pecuario, registros de operaciones (trazabilidad).
18. Integración funcional de la vegetación auxiliar: Diseño agroecológico de cercas vivas perimetrales, cercas vivas internas, arboledas, barreras vivas, entre otros.

Funcionamiento de la comisión

La red funcionará con una comisión de cinco a nueve integrantes, liderada por un(a) coordinador(a) general en los diversos niveles (local, país, región o internacional). Se prevé la participación de activistas. En el caso de Cuba dicha aprobación se realizó mediante una propuesta de los miembros de MAS, y quedó conformada por seis integrantes y un responsable.

Tendrá como funciones las siguientes:

- Promocionar las bases para pertenecer a la red de Fincas Slow.
- Identificar las fincas posibles y aplicar la metodología para la categorización, previo intercambio con sus propietarios o administradores y visita al lugar.
- Evaluar si se cumplen los requisitos establecidos.
- Aprobar las fincas que cumplen con los requisitos.
- Informar a la Oficina de SFI para su promoción en una plataforma común.

- Realizar inspecciones parciales para el monitoreo; entender dicha nominación cada tres años.
- Actualizar el protocolo de forma anual, o cuando las condiciones lo requieran.
- Disponer de un expediente consultable, con todos los datos de las fincas.

Luego de la intervención de la comisión en cada finca, se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados de la aplicación de la Metodología en las fincas propuestas al inicio de su aplicación

No	Indicadores obligatorios (1 a 6 puntos cada uno)	Evaluación de la comisión por puntos		
		Finca del Medio	Finca La China	Finca Vista Hermosa
1	Diversidad e integración de producción animal, vegetal, árboles frutales y maderables	6	6	6
2	Manejo de semillas y pie de crías	6	6	6
3	Arca del Gusto	6	6	6
4	Autoabastecimiento en alimentos	6	6	5
5	Intercambio solidario	6	6	6
6	Uso de energías renovables y tecnologías apropiadas	6	5	3
7	Estudio, conservación y mejoramiento de suelo	6	6	4
8	Integración de bioproductos	6	4	3
9	Reducción y optimización del uso del agua	6	5	5
10	Integración familiar y participativa	6	6	6
11	Condiciones de trabajo y socioambientales favorables	5	6	6
12	Equidad de género	6	6	6
13	Finca Socio cultural y educativa	6	6	6
Puntuación obtenida (valor máx. 78)		77	74	68
No.	Indicadores opcionales			
14	Apicultura (5 puntos)	5	4	5
15	Conservación de alimentos (5 puntos)	5	4	3
16	Manejo de arvenses (4 puntos)	4	4	4
17	Bioseguridad y sistema de vigilancia (4 puntos)	2	4	4
18	Integración funcional de la vegetación auxiliar (4 puntos)	4	4	4
Puntuación obtenida (valor máx. 22)		20	20	20
Total General		97	94	88

De la aplicación de la Metodología en las tres fincas, todas se nominaron como Fincas Slow Food y son las primeras que integran la red. Son fincas agroecológicas que presentan rasgos comunes, cuyo funcionamiento les otorga un carácter sistémico e integrador. Desarrollan características específicas en las cuales se combinan la aplicación de técnicas tradicionales, comunión familiar, defensa de la biodiversidad, protección de los ecosistemas, variedad de cultivos y de crías de animales, autoabastecimiento familiar, resiliencia socioecológica, justicia social, intercambio comunitario y uso de fuentes renovables de energía y de tecnologías apropiadas, entre otras, que sin dudas son referencias para la red en particular y para el movimiento de SlowFood en general.

La Metodología contribuye a la determinación también de puntos críticos y a la propuesta de estrategias que contribuyan a mejorar los resultados a partir de espacios de reflexión y construcción colectiva.

El conjunto de aspectos que se evalúan y proponen como requisitos para considerar una Finca Slow, contribuye a la construcción de una red a nivel local e internacional que puede traer los beneficios siguientes:

- Visibilizar las buenas prácticas.
- Lograr intercambios de experiencias.
- Garantizar la inserción de estas fincas en redes y proyectos internacionales con objetivos afines.
- Promover visitas de agroturismo.
- Participar en talleres y eventos nacionales e internacionales.
- Categorizar el quehacer de fincas que promueven un sistema de cultivación diversificado, y aborda aspectos tecnológicos, educativos, culturales y ambientales.
- Recibir apoyo financiero para el desempeño de sus funciones sobre bases de sostenibilidad.
- Potenciar el factor humano, mediante intercambios culturales, educación agroalimentaria, comunión familiar y rescate patrimonial, entre otros, que tengan como base la centralidad del alimento.
- Favorecer la equidad de género y el empleo local.
- Promover y fortalecer la identidad local.

Las actividades a desarrollar pueden ser:

- Talleres de intercambio.
- Ferias.
- Visitas guiadas.
- Eventos.
- Docencia e investigación.
- Categorización de productos para el Arca del Gusto.
- Promoción, apoyo y realización de actividades propias de SFI (campañas, Terra Madre Day, Terra Madre, entre otras).

En el Terra Madre de 2018, celebrado en Turín, Italia, se marcó una pauta importante de este proceso. Representantes de las tres fincas nominadas en Cuba y delegados de Slow Food de ocho países de Latinoamérica considera-

ron fundamental potenciar la Red de Fincas Slow y crear un programa destinado a salvaguardar las fincas campesinas e indígenas tradicionales (fincas, chacras, milpas o granjas), como base para la seguridad y soberanía alimentaria de los pueblos del continente americano. En la búsqueda de iniciativas comunes de la región, se identificaron las fincas Slow en Cuba y la propuesta de 10 000 fincas agroecológicas en Colombia, por lo que se inicia un proceso de creación de la red que integra a estas fincas en un Movimiento regional.

La multiplicidad de rasgos que las caracterizan se enfoca en la diversificación agraria, el uso de bajos insumos, el liderazgo del campesinado y el empleo intensivo de los recursos naturales disponibles, compatibles con la filosofía de SFI. Finalmente, en reunión celebrada el 16 de abril de 2021, la red de SlowFood Latinoamérica y el Caribe, ratifica a las Fincas Slow como un eje integrador del Movimiento, y una necesidad para lograr la soberanía alimentaria de los territorios. En la actualidad se crean otros puntos en Uruguay y Chile.

Conclusiones

La conformación de una Metodología cubana para aplicar en fincas familiares posibilitará la creación de redes de fincas agroecológicas, que cumplan parámetros integradores como base para la sustentabilidad alimentaria. Su aplicación permite incentivar y desarrollar valores socio-productivos de gran vigencia en el contexto actual, en el que la agricultura cubana busca las vías para el logro de la soberanía alimentaria. La diversidad de indicadores que la conforman favorece una visión holística del modelo de finca a alcanzar para el desarrollo de una agricultura próspera y eficiente, sin menoscabo del medioambiente.

La inclusión de conceptos como Agroecología, productos de proximidad, empleo de prácticas agroecológicas, género, equidad, educación nutricional, conservación de recursos naturales, entre otros, contribuirá a la realización de acciones transformadoras para la obtención de mejores indicadores en la gestión agroecológica.

Bibliografía

- MENDIETA NÉSTOR Y COL. (2017). «Protocolo del programa de fincas Slow Food para América Latina y el Caribe». En www.slowfood.com/es/nuestra-red/fincas-slow/
- VÁZQUEZ GÁLVEZ, MADELAINE Y LEIDY CASIMIRO RODRÍGUEZ (2019). «Cultura alimentaria en fincas familiares beneficiadas por el proyecto Biomás Fase III». En revista *Eco Solar* 67. La Habana: Ed. Cubasolar.
- VÁZQUEZ GÁLVEZ, MADELAINE (2019). «Basamentos de la alimentación sostenible. Estudio de caso: Movimiento de Alimentación Sostenible de Cubasolar». En revista *Eco Solar* 68. La Habana: Ed. Cubasolar.
- VÁZQUEZ L.L. Y H. MARTÍNEZ (2015). «Propuesta metodológica para la evaluación del proceso de reconversión agroecológica». *Agroecología*, 2015, 10 (1): 33-47.

Recibido: 10 de marzo de 2021

Aceptado: 15 de abril de 2021

MÉTODO DE CÁLCULO SIMPLIFICADO DE LOS CINCO PARÁMETROS DESCONOCIDOS PARA EL MODELO DE PANELES FOTOVOLTAICOS DE UN SOLO DIODO

Por Ing. **Rafael VillalónGarcía*** e Ing. **Sergio G. Fuentes Cardona****

* Empresa Eléctrica Santiago de Cuba

E-mail: rafaelv@elecstg.une.cu

** Laboratorios Farmacéuticos

E-mail: sergio@lfo.biocubafarma.cu

Resumen

Las energías renovables han recibido un importante impulso y respaldo tras el Acuerdo de París de 2015. Este Acuerdo entró en vigor en 2020 y, por primera vez, estableció un objetivo global vinculante para todos los países firmantes.

Entre las fuentes de energía renovables se encuentra la solar, aprovechada a través de paneles fotovoltaicos. Distintos desarrollos e investigaciones han permitido la creación de vehículos y embarcaciones marítimas impulsadas a través de energía solar, y también encontramos los calentadores solares de agua.

Este artículo presenta la forma de calcular los cinco parámetros desconocidos para el modelo de paneles fotovoltaicos de un solo diodo α (las resistencias R_s y R_p , la corriente fotogenerada I_{ph} , el factor de idealidad del diodo, y la corriente de saturación I_o), mediante el Método de Cálculo simplificado. Se caracteriza el Modelo de una celda solar de un diodo, se realiza el cálculo de estos parámetros y se lleva a cabo una comparación con otros métodos numéricos para validar sus resultados.

Palabras clave: Energía fotovoltaica, diodos, celda solar.

SIMPLIFIED CALCULATION METHOD OF THE FIVE UNKNOWN PARAMETERS FOR THE SINGLE-DIODE PHOTOVOLTAIC PANEL MODEL

Abstract

Renewable energies have received a significant boost and support after the 2015 Paris Agreement. This Agreement entered into force in 2020 and, for the first time, established a binding global target for all signatory countries.

Among the renewable energy sources the solar energy, harnessed through photovoltaic panels. Various developments and research have allowed the creation of marine vehicles and vessels powered by solar energy, and we also find solar water heaters

This article presents the way to calculate the five unknown parameters for the single-diode photovoltaic panel model (the R_s and R_p resistors, the photogenerated current I_{ph} , the ideality factor of the diode, and the saturation current I_o), by the Simplified Calculation Method. The model of a solar cell of a diode is characterized, the calculation of these parameters is performed and a comparison is made with other numerical methods to validate its results.

Keywords: Photovoltaic energy, diodes, solar cell.

I. Introducción

El objetivo del artículo es presentar una metodología que permita calcular los parámetros del circuito equivalente de simple diodo con cinco parámetros (las resistencias R_s y R_p , la corriente fotogenerada I_{ph} , el factor de idealidad del diodo α , y la corriente de saturación I_0), a partir de los datos aportados por el fabricante. El cálculo de estos parámetros es indispensable para realizar la simulación de una celda fotovoltaica.

Los datos suministrados por los fabricantes en las hojas características de los paneles fotovoltaicos son la corriente de corto-circuito (I_{sc}), la tensión de circuito abierto (V_{oc}), la potencia en el punto de máxima potencia (P_{mp}), la tensión de máxima potencia (V_{mp}), la corriente de máxima potencia (I_{mp}), así como el número de celdas conectadas en serie (N_s) y en paralelo (N_p). Otros datos que brindan los fabricantes son el coeficiente de variación de la tensión con la temperatura (K_v) y el coeficiente de variación de la corriente con la temperatura (K_i). Todos estos datos están referidos a las condiciones de pruebas (STC), o sea, que estos datos están determinados durante pruebas realizadas bajo una radiación solar de 1000 W/m^2 y a una temperatura de 25°C .

Para la simulación del comportamiento de una celda fotovoltaica, ya sea empleando el modelo de un solo diodo como el de dos diodos, los datos brindados por los fabricantes no son suficientes, por lo que se hace necesario determinar los valores de los parámetros del circuito equivalente de la celda solar con los datos brindados por los fabricantes, a partir de métodos analíticos [Callegaro *et al.*, 2015; Cubas *et al.*, 2014; Cubas *et al.*, s/a; Efstratios, 2019; Efstratios, 2015; Haider *et al.*, 2017] o métodos numéricos [Callegaro *et al.*, 2015; Bogning *et al.*, 2012; Echeverría *et al.*, 2014; Madi *et al.*, 2017; Hussein, 2017; Ma *et al.*, 2013; Abbassi *et al.*, 2018].

II. Desarrollo

La energía fotovoltaica

La energía fotovoltaica es obtenida directamente a partir de la radiación solar, y se transforma en electricidad mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica. Tiene diversos usos y van desde la producción de electricidad a gran escala a través de redes de distribución, pasando por alimentar innumerables aplicaciones y aparatos autónomos, hasta abastecer de energía a viviendas aisladas de la red eléctrica.

Durante el diseño de una Central Fotovoltaica los diseñadores seleccionan diferentes opciones de módulos fotovoltaicos para obtener el mejor, antes de dimensionar el generador fotovoltaico, y por otra parte estiman la dimensión del sistema requerido para suministrar la energía necesaria. Por tanto, la predicción de la respuesta eléctrica del generador fotovoltaico en cualquier condición de operación es vital para predecir el comportamiento del sistema fotovoltaico desde su etapa de diseño y para lograr los mejores índices energéticos en explotación [Arias *et al.*, 2018].

Modelo de una celda solar de un diodo

El modelo matemático simplificado de una celda solar con un solo diodo es representado por el circuito equivalente que se muestra en la figura 1.

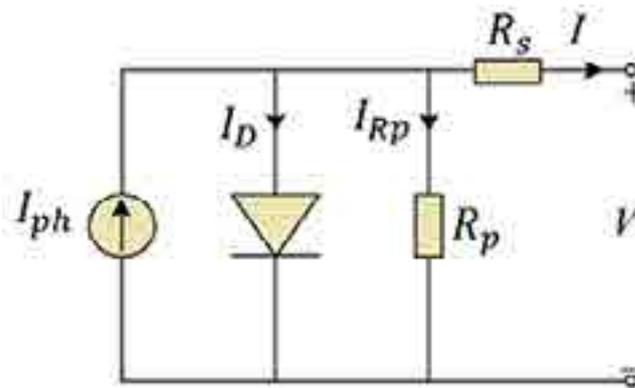


Fig. 1. Modelo de una celda solar de un diodo.

Las ecuaciones que describen este modelo son las siguientes:

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (1)$$

$$I_{ph} = \frac{S}{S_{ref}} * [I_{sc} + u_{ref}(T_c - T_{ref})] \quad (2)$$

$$I_{sh} = \frac{V + R_s * I}{R_p} \quad (3)$$

$$I_d = I_0 * \left(e^{\left(\frac{V + R_s * I}{a * V_T} \right)} - 1 \right) \quad (4)$$

$$V_T = \frac{k * T}{q} \quad (5)$$

$$I_0 = I_{oref} * \left(\frac{T}{T_{ref}} \right)^3 * e^{\left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right) * \frac{q * E_g}{a * k}} \quad (6)$$

$$I_{oref} = \frac{I_{sc}}{e^{\left(\frac{q * V_{oc}}{a * T * k} \right)} - 1} \quad (7)$$

$$I_d = I_0 * \left(e^{\left(\frac{V + R_s * I}{a * V_T} \right)} - 1 \right) \quad (8)$$

Método para la determinación de los cinco parámetros desconocidos del circuito equivalente

El método numérico propuesto para la determinación de los cinco parámetros desconocidos del circuito equivalente de una celda o panel solar, se basa en dos algoritmos iterativos, el primero de ellos permite obtener el valor de I_{sc} y a partir del segundo algoritmo se obtienen los restantes parámetros del modelo.

Los cinco parámetros son evaluados a partir del comportamiento de la corriente y la tensión en tres puntos operacionales: el punto de cortocircuito, el circuito abierto y el punto de máxima potencia [Bogning *et al.*, 2012].

En el punto de cortocircuito: $V=0, I=I_{sc}$ (9)

$$I_{sc} = I_{ph} - I_0 * \left(e^{\left(\frac{R_s * I_{sc}}{a * V_T} \right)} - 1 \right) - \frac{R_s * I_{sc}}{R_p}$$

En el punto de circuito abierto: $V=V_{oc}, I=0$, (10)

$$0 = I_{ph} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{V_{oc}}{a \cdot V_T}} - 1 \right) - \frac{V_{oc}}{R_p}$$

En el punto de Máxima Potencia: $V=V_{mp}, I=I_{mp}$,

$$I_{mp} = I_{ph} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{V_{mp} + R_s \cdot I_{mp}}{a \cdot V_T}} - 1 \right) - \frac{V_{mp} + R_s \cdot I_{mp}}{R_p} \quad (11)$$

Para estimar el valor de la resistencia R_s se parte de la expresión 10, despreciando el efecto de la resistencia en paralelo R_p , por lo que se obtiene:

$$I_{ph} = I_0 \cdot \left(e^{\frac{V_{oc}}{a \cdot V_T}} - 1 \right) \quad (12)$$

Sustituyendo 12 en 9 se obtiene:

$$I_0 = \frac{I_{sc}}{\left[e^{\frac{V_{oc}}{a \cdot V_T}} - e^{\frac{V_{mp}}{a \cdot V_T}} \right]} \quad (13)$$

La expresión para el cálculo de la resistencia para la resistencia R_s es obtenida imponiendo que en el punto de máxima potencia P_{mp} la derivada de la potencia con respecto a la tensión es cero. La ecuación para el cálculo de la potencia se obtiene multiplicando (11) por V_{mp} . La derivada de la potencia con respecto a la tensión se obtiene como [Cubas *et al.*, 2014; Stornelli *et al.*, 2019]:

$$\frac{dP}{dV} = \left\{ I_{ph} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{V + R_s \cdot I}{a \cdot V_T}} - 1 \right) \right\} + V \cdot \left[-\frac{I_0}{a \cdot V_T} \cdot e^{\frac{V + R_s \cdot I}{a \cdot V_T}} \right] = 0 \quad (14)$$

La expresión para el cálculo de R_s se obtiene sustituyendo los valores de I_0 e I_{ph} en la ecuación 14 y despejando:

$$R_s = \frac{V_{oc}}{I_{mp}} + \frac{V_T}{I_{mp}} \ln \left(\frac{V_T}{V_T + V_{mp}} \right) - \frac{V_{mp}}{I_{mp}} \quad (15)$$

A partir de la ecuación (8), despreciando el efecto de la resistencia R_p , sustituyendo $V = V_{mp}$ y despejando, se obtiene la ecuación de la tensión en el punto de máxima potencia como:

$$V_{mp} = V_T \cdot \ln \left(\frac{I_{ph} + I_0 - I_{mp}}{I_0} \right) - (R_s \cdot I_{mp}) \quad (16)$$

Debido a que el cálculo de a y R_s se realiza despreciando el efecto de la resistencia en paralelo R_p , es necesario encontrar el valor de esta resistencia de forma que los valores de las corrientes I_{mp} e I_{sc} calculados con estos tres parámetros sean iguales a los datos brindados por el fabricante.

El procedimiento para determinar el valor de R_p inicia calculando un valor inicial de resistencia a partir de la ecuación de potencia máxima que se presenta en la expresión siguiente:

$$R_p = \frac{V_{oc} \cdot (I_{sc} - I_{mp})}{I_{sc} \cdot (I_{sc} - I_{mp}) - (I_{sc} - I_{mp})^2} \quad (17)$$

Despejando en la ecuación anterior se obtiene la expresión para determinar R_p como:

$$R_p = \frac{V_{oc} \cdot (I_{sc} - I_{mp})}{I_{sc} \cdot (I_{sc} - I_{mp}) - (I_{sc} - I_{mp})^2} \quad (18)$$

De las condiciones de operación en los puntos de circuito abierto y corto circuito, se obtienen las expresiones para el cálculo de las corrientes I_0 e I_{ph} , teniendo en cuenta el efecto de la resistencia shunt R_p como:

$$I_{ph} = I_0 \cdot \left(e^{\frac{V_{oc}}{a \cdot V_T}} - 1 \right) + \frac{V_{oc}}{R_p} \quad (19)$$

$$I_0 = \frac{I_{sc} \cdot \left(1 + \frac{R_s}{a \cdot V_T} \right) - \frac{V_{oc}}{R_p}}{\left[e^{\frac{V_{oc}}{a \cdot V_T}} - 1 \right] - e^{\frac{V_{mp}}{a \cdot V_T}}} \quad (20)$$

El algoritmo para la determinación de los cinco parámetros del modelo se muestra en la Fig. 2. El algoritmo inicia con la estimación del factor de idealidad del diodo, para calcular los valores iniciales de R_s , I_{ph} , I_0 y $V_{mp-calc}$. Con el valor de la tensión de máxima potencia calculada, se calcula el error; si el valor de $V_{mp-calc}$ es menor que el de V_{mp} dado por el fabricante en la hoja característica del panel, se disminuye el valor de a , pero si es mayor entonces se aumenta el valor de a . El proceso iterativo continúa hasta que el error calculado sea menor o igual a 0,1. Una vez calculado el valor de R_s , se calculan los valores iniciales de R_p , I_{ph} , I_0 e $I_{mp-calc}$, para dar inicio al segundo proceso iterativo.

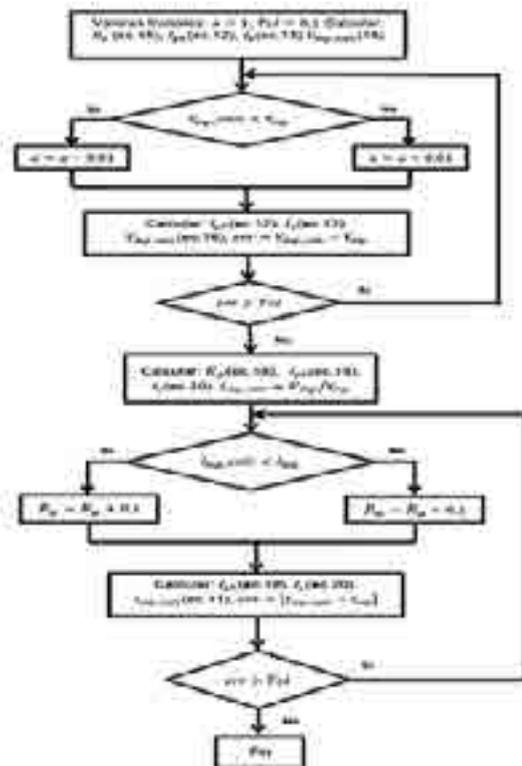


Fig. 2. Diagrama de flujo para la determinación de los parámetros desconocidos del circuito equivalente de una celda o panel fotovoltaico.

En el segundo proceso iterativo se compara el valor de la corriente de máxima potencia calculada $I_{mp-calc}$, con la corriente dada por el fabricante en la hoja característica del panel solar; si la corriente calculada es menor que la máxima potencia del panel solar entonces se incrementa el valor de R_p , en caso contrario se disminuye el valor de R_p . Luego de calcular el valor de la resistencia en paralelo, se calculan I_{ph} , I_o e I_{mp} . El proceso iterativo continua hasta que la diferencia entre las corrientes $I_{mp-calc}$ e I_{mp} sea menor que el valor de tolerancia establecido.

Validación del método implementado

Para la validación del método expuesto, se comparan los valores de los cinco parámetros del modelo, calculados de tres paneles solares empleando el algoritmo propuesto con los valores obtenidos por otros autores en trabajos previos empleando métodos analíticos y numéricos.

Tabla 1. Características eléctricas de los paneles empleados para la validación de los resultados obtenidos

	KC200GT	BP SX-150	MSX-60
I_{sc}	8,21	4,75	3,87
V_{oc}	32,9	43,5	21,0
I_{mp}	7,61	4,35	3,56
W_{mp}	26,3	34,5	16,8
P_m	200,0	150,0	60
N_s	60	72	36
K_j	0,0032	0,065	0,0065
K_v	-0,123	-0,16	-0,08

Tabla 2. Parámetros calculados del Panel Solar KC200GT empleando el método propuesto y otros métodos desarrollados en trabajos previos

Método	KC200GT				
	a	$R_s (\Omega)$	$R_p (\Omega)$	$I_{ph} (A)$	$I_o (A)$
Propuesto	1,28	0,1765	903,57	8,212	$4,61 \times 10^{-7}$
Chan & Phang [Callegaro et al., 2015]	1,13	0,26	135	8,22	$4,61 \times 10^{-9}$
Femia (Newton-Raphson) [Callegaro et al., 2015]	1,08	0,21	214	8,21	$4,61 \times 10^{-9}$
Can & Ickilli [Callegaro et al., 2015]	1,34	0,22	952	8,21	$4,61 \times 10^{-9}$
N. Echeverría (Algoritmos Genéticos) [Echeverría et al., 2014]	1,29	0,2016	213,13	-	$8,5 \times 10^{-9}$

Cubas (Analítico) [Cubas et al., 2014]	1,3	0,231	594,851	8,213	$9,699 \times 10^{-8}$
Jieming Ma (Algoritmo Cuckoo Search) [Ma et al., 2013]	1,009	0,2665	140,48	8,1729	$4,23 \times 10^{-10}$

Tabla 3. Parámetros calculados del Panel Solar BP SX-150 empleando el método propuesto y otros métodos desarrollados en trabajos previos

Método	BP SX-150				
	a	$R_s (\Omega)$	$R_p (\Omega)$	$I_{ph} (A)$	$I_o (A)$
Propuesto	1,66	0,3001	1089,51	4,751	$3,361 \times 10^{-6}$
Ahmed Hussein (Newton-Raphson) [Hussein, 2017]	1,64	0,3125	1799,37	4,75	$2,801 \times 10^{-6}$
Trabajos previos [Hussein, 2017]	1,64	0,343	-	4,75	$2,83 \times 10^{-6}$

Tabla 4. Parámetros calculados del Panel Solar MSX-60 empleando el método propuesto y otros métodos desarrollados en trabajos previos

Método	MSX-60				
	a	$R_s (\Omega)$	$R_p (\Omega)$	$I_{ph} (A)$	$I_o (A)$
Propuesto	1,46	0,1936	697,31	3,871	$6,86 \times 10^{-7}$
Ahmed Hussein (Newton-Raphson) [Hussein, 2017]	1,387	0,2234	406,34	3,872	$2,97 \times 10^{-6}$
Trabajos previos [Hussein, 2017]	1,27	0,2165	274,93	3,812	$6,45 \times 10^{-7}$
Dominique Bonkoungou [Hussein, 2017]	1,36	0,180	360,002	3,811	$1,859 \times 10^{-7}$

III. Conclusiones

La importancia de este artículo radica en la propuesta de un algoritmo mediante el cual es posible determinar los valores de los parámetros desconocidos del módulo solar fotovoltaico en condiciones estándar (STC), a partir de los datos aportados por el fabricante mediante el análisis del circuito equivalente de un diodo de un panel solar.

Este artículo tiene como principal aporte que para la aplicación del método numérico propuesto no se hacen consideraciones adicionales para realizar el cálculo de cada uno de los parámetros, sino que se trabaja con las mismas expresiones que describen el comportamiento de un módulo fotovoltaico, además de que no se requiere de una elevada carga computacional para obtener los resultados.

IV. Referencias bibliográficas

ABBASSI, RABEH; ATTIA BOUDJEMLINE, ABDELKADER ABBASSI, AHMED TORCHANI, HATEM GASMI AND TAWFIK GUESMI (2018). «A Numerical-Analytical Hybrid Approach for the Identification of SDM Solar Cell

- Unknown Parameters». *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 2018, Vol. 8, No. 3.
- ARIAS GARCÍA, RODOLFO MANUEL E IGNACIO PÉREZ ABRIL (2018). «Nueva metodología para determinar los parámetros de un módulo fotovoltaico». *Revista de Ingeniería Energética*, 2018, Enero/Abril, vol. 39, n. 1, p. 38-47.
- ASITIMBAY REGALADO, MAYRA (2018). «Método de Detección de Puntos Calientes en Paneles Solares». Ecuador.
- BOGNING DONGUE, SAKAROS; DONATIEN NJOMO, JEAN GASTON TAMBA AND LESSLY EBENGAI (2012). «Modeling of Electrical Response of Illuminated Crystalline Photovoltaic Modules Using Four- And Five-Parameter Models». *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, November 2012.
- CALLEGARO, LEONARDO; CIBOTARU MIHAI, AND AGELIDIS VASSILIOS G. (2015). «Analysis and Comparison of Electrical PV Modeling Techniques Based on Datasheet Values». Australian Energy Research Institute, School of Electrical Engineering and Telecommunications, University of New South Wales, September, 2015.
- CUBAS, JAVIER; SANTIAGO PINDADO Y ASSAL FARRAHI (s/a). «New Method for Analytical Photovoltaic Parameter Extraction». Instituto de Microgravedad Ignacio da Riva Universidad Politécnica de Madrid, Spain.
- CUBAS, JAVIER; SANTIAGO PINDADO Y CARLOS DE MANUEL (2014). «Explicit Expressions for Solar Panel Equivalent Circuit Parameters Based on Analytical Formulation and the Lambert W-Function». 1st International e-Conference on Energies, 2014.
- EACHEVERRÍA, NOELIA; M. P. CERVellini, R. GARCÍA RETEGUI, SERGIO ALEJANDRO GONZÁLEZ, M. FUNES Y DANIEL CARRICA (2014). «Extracción de Parámetros de un Panel Solar Utilizando Algoritmos Genéticos». Acta de la XXXVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 2, pp. 04.49-04.56, 2014.
- EFSTRATIOU, BATZELIS (2015). «A Method for the Analytical Extraction of the Single-Diode PV Model Parameters». National Technical University of Athens, Athens 15780, Greece.
- EFSTRATIOU, BATZELIS (2019). «Non-Iterative Methods for the Extraction of the Single-Diode Model Parameters of Photovoltaic Modules: A Review and Comparative Assessment». Department of Electrical and Electronic Engineering, Imperial College London, Energies 2019.
- HAIDER, IBRAHIM; ANANI NADER (2017). «Evaluation of Analytical Methods for Parameter Extraction of PV modules». 9th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB-17, 5-7, July 2017, Chania, Crete, Greece.
- HUSSEIN, AHMED (2017). «A simple approach to extract the unknown parameters of PV modules». *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 2017.
- MA, JIEMING; T. O. TING, KALOK MAN, NAN ZHANG, SHENG-UEI GUAN AND PRUDENCE W. H. WONG (2013). «Parameter Estimation of Photovoltaic Models via Cuckoo Search». *Hindawi Publishing Corporation Journal of Applied Mathematics*, Volume, 2013.
- MADI, SAIDA; KHELDOUN, AISSA (2017). «A Novel Mathematical Model for Photovoltaic Module». *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 8, Issue 5, May 2017.
- STORNELLI, VINCENZO; MIRCO MUTTILLO, TULLIO DE RUBEIS AND IOLE NARDI (2019). «A New Simplified Five-Parameter Estimation Method for Single-Diode Model of Photovoltaic Panels». Department of Industrial and Information Engineering and Economics (DIIIE), University of L'Aquila, Piazzale Pontieri 1, Montelucio di Roio, I 67100, 67100 L'Aquila, Italy, Energies 2019.

CUBA, MATRICES DE ENERGÍA Y FOTOVOLTAICA (FV)

Por Dr. C. **Daniel Stolik Novygrad***
* Profesor Titular de la Universidad de La Habana.
E-mail: stolik@imre.uh.cu

Resumen

Se muestra el comportamiento de una buena distribución de radiación solar mundial, la notable disminución de los costos de los sistemas y el kWh FV en forma sostenida durante 50 años. Se hace especial énfasis en los costos de los módulos y en el aumento de las instalaciones de nivel *utility*. La velocidad de desarrollo de la FV es mayor comparada con otras fuentes de generación eléctrica. Como dificultad se argumenta la extrema dependencia del mix en Cuba de los combustibles fósiles, así como la falta de liquidez en MLC para la importación de combustibles fósiles. Desde el punto de vista estratégico es necesario aumentar a mediano y largo plazos las instalaciones FV en el país en función de su soberanía energética.

Palabras clave: Costos, utility, soberanía energética.

CUBA, POWER ARRAYS AND PHOTOVOLTAICS (PV)

Abstract

The behavior of a good distribution of world solar radiation, the remarkable decrease of system costs and PV kWh in a sustained way during 50 years is shown. Special emphasis is given to module costs and the increase in utility-scale installations. The speed of development of PV is higher compared to other sources of electricity generation. The extreme dependence of the Cuban mix on fossil fuels, as well as the lack of liquidity in MLC for the import of fossil fuels, is argued as a difficulty. From the strategic point of view, it is necessary to increase in the medium and long term the number of PV installations in the country in order to achieve energy sovereignty.

Keywords: Costs, utility, energy sovereignty.

I: Introducción

El planeta recibe una gran cantidad de radiación solar, entre unos 800 y 2400 kWh/m²/año. En total, 93 % de la población mundial vive en países que tienen un potencial solar fotovoltaico (FV) diario medio de entre 3,0 y 5,0 kWh/kWp/día. En alrededor de 70 países la producción diaria media supera los 4,5 kWh por kWp de capacidad instalada. Un 86 % de la población mundial vive en 150 países en los que la diferencia entre la producción máxima y mínima en las diferentes estaciones es inferior a un factor de dos, y la producción diaria media es superior a 3,5 kWh/kWp. Además de sus bondades para el medioambiente, la energía solar FV es económicamente atractiva inclusive para países con un menor potencial de recurso solar, debido a los costos FV relativamente más bajos que los precios de la electricidad existente no de fuentes renovables de energía

(FRE), y también a una mayor carga diurna de la industria, entre otros factores.

Mundialmente se destaca el gran desarrollo FV tecnológico alcanzado, alto nivel de economía de escala, disminución de los costos, aumento de la eficiencia y penetración, integración, creciente volumen de instalaciones en muchos países, variedad de mejores prácticas e innovaciones, cambio de paradigma en generación–consumo de electricidad y liderazgo de producciones FV por parte de China, entre otros aspectos.

La vigilancia tecnológica, la consultoría FV y los Talleres de CUBAFV de la Universidad de La Habana, inicialmente en el Laboratorio FV de la Facultad de Física y posteriormente en el Instituto de Materiales y Reactivos (IMRE), han contribuido primero al convencimiento de las oportunidades que brinda la FV para su aporte eléctrico al MIX en Cuba, y después

al desarrollo FV alcanzado, aún incipiente pero sumamente importante, logrado en los últimos años por el Ministerio de Energía y Minas (Minem) y la Unión eléctrica (UNE) de Cuba.

La barrera más importante que presenta el país es la falta de liquidez monetaria para el financiamiento de las instalaciones FV, aspecto complejo que debe tener un cuidadoso análisis integral.

Desarrollo

La disminución de costos FV no es un comportamiento de hace pocos años, ha sido sostenido desde su comienzo en la década de los años 50 del pasado siglo xx, cuyo comportamiento del costo promedio aproximado para los módulos de silicio cristalino, primeramente mono y después poli, es el siguiente (Tabla 1):

Tabla 1. Comportamiento del costo promedio aproximado para los módulos

Año	USD/Watt	Año	USD/Watt	Disminución en 20 años
1956	300	1976	80	> 200 USD Watt FV
1977	80	1997	5	75 USD Watt FV
1998	5	2018	0,30	≤ 30 centavos USD/Watt FV

Nota: En 2020 era de 0,166 (16,6 centavos de USD/ Watt FV).

En un principio los costos de la celda y los módulos FV constituían la mayor parte del costo de las instalaciones FV, ya que los aportes de inversores, estructuras, cableados, instalación etc., eran comparativamente muy pequeñas, pero eso también fue cambiando. El aporte de la celda FV de silicio cristalino al costo del kWh FV final generado por una gran parte de las instalaciones FV es actualmente menor de un centavo de USD/kWh. Los costos records más bajos del kWh FV son actualmente los siguientes (Tabla 2):

Tabla 2. Costos más bajos del kWh FV en instalaciones FV de nivel utility

País	Centavos USD/kWh	Año
Portugal	1,32	2020
UAE	1,35	2020
Quatar	1,45	2020
Portugal	1,66	2019
Brasil	1,75	2019
México	2,06	2017
Chile	2,15	2017
UAE	2,42	2016
Chile	2,44	2016

Para Cuba hemos argumentado como podríamos bajar a menos de 5 centavos de USD/kWh FV, y tender a tres o menos en próximos años.

El abaratamiento y la producción en economía de escala produjeron espectaculares incrementos de la producción FV (Tabla 3).

Tabla 3. Producción anual mundial de módulos FV de 1993 a 2019

Año	MW	Año	MW	Año	MW	Año	MW
1993	52	2000	238	2007	3978	2014	45 965
1994	-	2001	319	2008	7050	2015	62 664
1995	56	2002	482	2009	11 261	2016	78 060
1996	-	2003	667	2010	21 400	2017	105 142
1997	100	2004	1160	2011	36 600	2018	115 973
1998	126	2005	1532	2012	36 487	2019	140 297
1999	169	2006	2068	2013	39 869	2020	

La hidroenergía ha sido y es la FRE con más generación de energía eléctrica, seguida por la eólica, mientras que la FV se ha continuado incrementando, tal como se muestra en la Fig. 1 de instalaciones anuales en términos de potencia:



Fig. 1. Evolución de instalaciones de FRE (sin hidroenergía).

En términos de energía, debido a la diferencia por el factor de planta, la participación de generación eléctrica por fuente añadida durante 2019, sin hidroenergía, fue de (Fig. 2):



Fig. 2. Producción de electricidad de FRE durante 2019.

El aporte de la generación acumulada, más hidroenergía (suma de lo anterior al 2019 + lo añadido) es el siguiente:

Hidroenergía: 15,9 %; Eólica: 5,9 %; FV: 2,8 %,
 Bio: 2,2 %; Otros: 0,4 %,
 Total 2019: 27,3 %

Los pronósticos mundiales a largo plazo de crecimiento de la FRE planteados desde hace varios años son disímiles, pero todos apuntan a una presencia mayor de la eólica y la FV, tendencias expuestas anteriormente (ver en libro *Energía FV para Cuba*, Stolik 2019).

La paridad (costo menor del kWh vs. el fósil) FV y eólica comenzó con el diésel, posteriormente se fue extendiendo este comportamiento y generalizándose al resto los combustibles fósiles, en dependencia del nivel de radiación solar y de la velocidad del viento promedio in situ.

Comportamiento de la matriz eléctrica en regiones vs. Cuba

La energía primaria se refiere a todos los tipos de consumos energéticos, como: calor, electricidad y transporte, cuyas matrices energéticas se muestran a continuación (Fig. 3).



Fig. 3. Distribución porcentual regional por tipos de energía primaria en 2019.

Las matrices energéticas específicas de generación eléctrica han ido dependiendo menos del petróleo (genérico que incluye los fósiles líquidos: crudo, fuel y diésel). Ver Fig. 4.

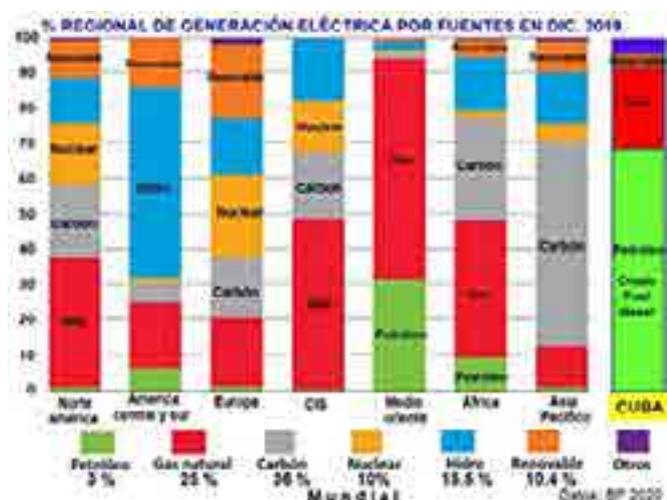


Fig. 4. Porcentaje regional de generación eléctrica por fuentes, 2019.

El propósito de estas comparaciones es demostrar la enorme dependencia de Cuba del petróleo para su generación eléctrica. Nótese que se parece más a la matriz de los países grandes productores de petróleo y gas natural del Medio Oriente, solo que inclusive utilizamos más petróleo y menos gas natural que ellos. Esta es una de las causas del encarecimiento de la generación eléctrica en Cuba (Fig. 5).

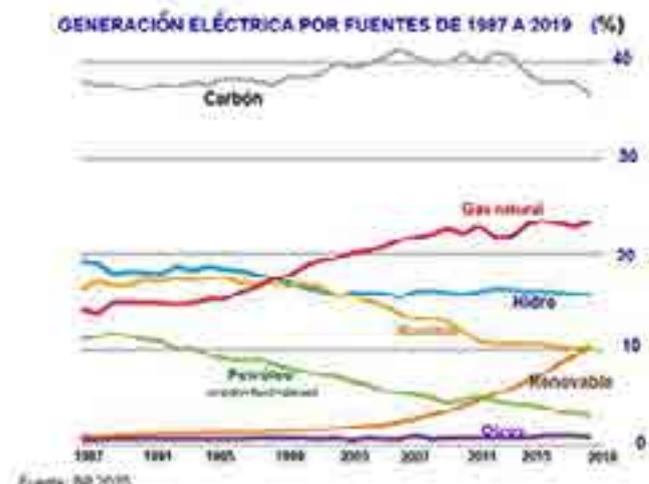


Fig. 5. Generación mundial eléctrica por fuentes (1987-2019).

Mundialmente la generación eléctrica por quema de petróleo (crudo, fuel y diésel) es aproximadamente solo de 3%. En la figura anterior (línea verde) se muestra cómo ha ido disminuyendo. El aumento de la renovable (línea naranja) ha sido por la evolución de la eólica más la FV. Podría interpretarse que ese comportamiento va tributando mundial y paulatinamente con buena velocidad a la ansiada y necesaria descarbonización del planeta, pero en realidad para lograr 100 % de la sustitución de los combustibles fósiles planteadas por muchos países en varias decenas de años, muchas de ellas para 2050, es necesario multiplicar por lo menos tres veces las instalaciones anuales de FRE, con énfasis en la eólica y la FV.

En la *Vitecfv* No. 10 [Stolik, 2021] mostramos que los niveles de penetración de la FV en Cuba son todavía muy pobres comparados con otros países; además de que el desarrollo industrial y agrícola del país requerirá, aunque logremos una buena eficiencia energética, mayores consumos de energía eléctrica.

III. Conclusiones

Lograr solo 24 % de generación eléctrica por FRE para el 2030 no tributa a una disminución de la utilización de combustibles fósiles; es un enorme reto, que ya no es tanto de carácter tecnológico, sino financiero, sobre lo cual continuaremos abundando en próximas publicaciones de *Vitecfv* (www.cubasolar.cu).

La FV, con las oportunidades, ventajas y potenciales que tienen en el país, puede brindar un gran aporte, con la combinación de la generación centralizada más descentralizada, utilizando la flexibilidad de las plantas térmicas, las posibilidades de utilizar el mínimo técnico de las de crudo nacional en función del pico eléctrico fatal

vespertino nocturno, el desarrollo FV en todos los sectores (utility, industrial, comercial, social y residencial), la correspondencia carga-radiación solar, el autoconsumo FV, el aumento paulatino del almacenamiento, entre otros factores (ver argumentos y análisis en *Energía fotovoltaica para Cuba*, que acaba de obtener Premio Nacional a la Crítica Científico Técnica, otorgado por el Instituto del Instituto Cubano del Libro.

Realmente ya pasó el tiempo y el proceso de convencimiento de que la energía FV es buena y muy necesaria, que se ha impuesto, aunque más bien debido a la disminución de sus costos, que por la lucha llevada a cabo para el muy necesario cuidado del medioambiente y la mitigación del calentamiento global.

La sustitución de los combustibles fósiles es un proceso largo y paulatino que depende de las características de cada país, entre otros aspectos. Para Cuba es necesario precisar aún más: qué hacer, cómo, cuándo, rutas críticas, metas, alternativas de financiamientos, entre otros mu-

chos aspectos específicos para llevar a vías de hecho una estrategia integral mayor, conducente a la sustitución de los combustibles fósiles para la generación eléctrica y el transporte, aspecto que depende de precisar aún más los términos en la política energética del país.

IV. Bibliografía

STOLIK NOVYGRD, DANIEL (2017). «Los costos de la energía fotovoltaica (FV)». En revista *Eco Solar* 60, abr.-jun., 2017. La Habana: Ed. Cubasolar.

STOLIK NOVYGRD, DANIEL (2019). *Energía fotovoltaica para Cuba*. La Habana: Ed. Cubasolar. ISBN: 978-959-7113-56-0.

STOLIK NOVYGRD, DANIEL (2019). «Disminución de los costos del kWh fotovoltaico». En revista *Eco Solar* 70, oct.-dic., 2019. La Habana: Ed. Cubasolar.

STOLIK NOVYGRD, DANIEL (2021). *Vitecfv*. No. 10. En www.cubasolar.cu

Recibido: 10 de enero de 2021

Aceptado: 15 de abril de 2021