



REVISTA CIENTÍFICA TRIMESTRAL DE CUBASOLAR

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

64

DIRECTOR GENERAL

Dr. Luis Bériz Pérez

EDITORA JEFA

Lic. Lourdes Tagle Rodríguez

EDITOR

Ing. Jorge Santamarina Guerra

CONSEJO EDITORIAL

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

DISEÑO Y COMPOSICIÓN

Alejandro F. Romero Ávila

WEB MASTER

Jesús Guillermo Gil Delgado

RELACIONES PÚBLICAS

Mabel Blanco de la Cruz

CONSEJO ASESOR

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

Eco Solar, no. 64 / 2017
Revista Científica de las
fuentes renovables de energía
Abril-junio, 2018
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

Calentador solar compacto FIMSOL: solución alternativa ecológica y sustentable.....	3
M.Sc. Ing. Ciro Bergues Ricardo, M.Sc. Ing. Martha Ferrer García y M.Sc. Lic. Carlos Bonne Martínez	
Cambio de la matriz energética en los organopónicos del municipio Morón.....	7
M.Sc. Ana Gloria Díaz de León y Aramis Guevara Delgado	
Conceptos claves en Agroecología.....	13
Dra. C. Leidy Casimiro Rodríguez	
El Arca del Gusto de Cuba, una opción hacia la sostenibilidad alimentaria y ambiental.....	22
M.Sc. Madelaine Vázquez Gálvez	
Peligros, vulnerabilidades y riesgos en parques fotovoltaicos.....	28
Ing. Rafael Martínez Silva	
Cálculo de la distancia entre filas de paneles solares fotovoltaicos.....	31
Dr. C. Luis Bériz Pérez y Lic. Manuel Álvarez González	

editorial
cubasolar

Calentador solar compacto FIMSOL: solución alternativa ecológica y sustentable

Por **M.Sc. Ing. Ciro Bergues Ricardo***, **M.Sc. Ing. Martha Ferrer García***
y **M.Sc. Lic. Carlos Bonne Martínez***

* Universidad de Oriente, Cuba.

cirob@uo.edu.cu; marthafg@uo.edu.cu; cbonne@uo.edu.cu

Resumen

El calentador solar tipo FIMSOL es un calentador de agua compacto que está hecho de materiales para la construcción; su costo oscila entre 2 y 6 USD/m². Además de su bajo costo puede llegar a 50 años de vida útil. Sus desechos pueden ser reutilizados o incorporados al medioambiente sin llegar a contaminarlo.

En este trabajo se presentan los parámetros resultantes de su evaluación técnico-económica y los índices de impacto, así como las bondades para su aplicación doméstica e industrial como sistema de apoyo térmico en sacadores y saunas solares.

Palabras clave: Calentador solar con materiales de construcción FIMSOL.

Solar heater type FIMSOL: alternative ecological and sustainable solution

Abstract

The solar heater type FIMSOL, is a compact water heater made of materials for construction, its cost ranges between 2 and 6 USD/ m². This paper presents the parameters resulting from its technical-economic evaluation and the impact indexes, as well as the benefits for its domestic and industrial application as a thermal support system in dryers and solar saunas.

Key words: Solar heater with construction materials FIMSOL.

Introducción

Para lograr equipos de calentamiento de agua viables en sitios donde exista crisis económica y material, como son los países del Tercer Mundo, se deben priorizar las tecnologías energéticas de producción nacional que permitan su construcción con materiales locales, de bajo costo al alcance de las masas y con mayor tiempo útil de explotación. Esa es la propuesta de este trabajo como una solución alternativa a los calentadores compactos convencionales que tienen eficiencias térmicas de 50 y 80 %, y cuyos precios oscilan entre 100 y 250 CUC/m² [<https://spanish.alibaba.com/g/solar-water-heater-price.html>]

La aplicación de los calentadores solares de agua alternativos de tipo compacto FIMSOL no está limitada al uso doméstico; pueden ser empleados en procesos tecnológicos e industriales que requieran temperaturas de 40 a 70 °C, así como instalación complementaria de los secadores y saunas solares.

Los estudios iniciales de esta tecnología comenzaron en investigaciones desarrolladas por especialistas de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Oriente y el Centro de Investigaciones de Energía Solar, entre los años 1990 y 2013, con el fin de lograr equipos baratos con una eficiencia térmica aceptable [Bergues *et al.*, 2013].

Según los datos disponibles de física ambiental, en los suelos homogéneos de las regiones tropicales expuestos a la radiación solar, como consecuencia de la conducción del calor en los materiales que lo componen se produce una estratificación horizontal de temperaturas; las mayores ocurren en la superficie, y estas van disminuyendo de 20 a 25 cm de profundidad, donde las temperaturas tienden a igualarse a la de la masa inferior en este espacio. Si se sitúa en el suelo una fina holgura llena de agua, esta se calentará, tendrá mayor temperatura en la parte superior de la holgura y la menor en la parte inferior. De estas experiencias preliminares surgió la idea de que una estructura de capas tipo sándwich de 2 cm de espesor de cada capa, con una holgura intermedia para el agua de unos 2 cm, daría una distribución similar de temperatura. Estas consideraciones originaron el diseño de los prototipos de calentador tipo FIMSOL [Bergues *et al.*, 2016].

Uno de los aspectos relevantes de este calentador es precisamente que sus costos son muy bajos: de 2 a 6 USD/m², manteniendo muy altos tiempos de vida útil: de 30 a 50 años. El objetivo principal de este trabajo es mostrar las ventajas del prototipo calentador FIMSOL para su generalización en aquellos sitios donde no sea posible el uso de los calentadores solares convencionales.

Materiales y métodos

1. Para el diseño y la construcción de la tecnología presentada se evaluaron varios prototipos de calentadores solares hechos de materiales de construcción. Los prototipos eran de mármol, mosaicos, cemento, arena y piedra caliza en diversas combinaciones con superficies de 0,5 a 2,0 m². El calentador tratado en este trabajo se muestra en la Figura 1. Se compone de una capa superior de lajas de piedra unidas con polvo de piedra y cemento de 20 mm de espesor, y una capa inferior de grava, arena y cemento de 20 mm de espesor.

El calentador puede no tener cubierta o tener una cubierta de polietileno de 125 micras de espesor que haga el efecto invernadero, como el de marca «Long date thermal». La cubierta puede ser también de vidrio de 4 mm de espesor. Se prefiere el polietileno por sus características ópticas similares a las del vidrio, pero con un costo mucho menor, de solo 0,50 USD/m² [Bergues, 2014].

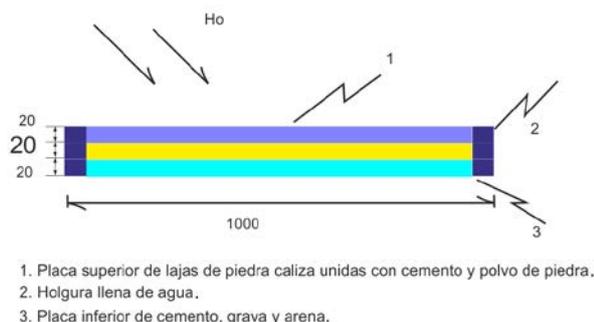


Fig. 1. Esquema del calentador FIMSOL 3.

Cuando existe cubierta esta se separa de la superficie captadora de materiales de la construcción por un espacio de 20 mm, para disminuir las pérdidas por convección, tensando la cubierta con separadores de madera. Las experiencias se realizaron con agua estacionaria en holguras horizontales entre 2 y 5 cm de espesor, rodeadas por capas de diversos materiales opcionales, como cemento, concreto, asfalto, chinas pelonas y lajas de piedra. El volumen de agua que puede ser almacenado en la holgura es entre 20 y 50 L/m², según el espesor de la holgura.

2. En la investigación los métodos utilizados son los de aplicación universal en la evaluación y análisis de equipos solares térmicos [Bérriz, 1993].

Las mediciones de temperatura y radiación solar se realizaron en días claros y otros de radiación solar media; se utilizaron instrumentos de alta precisión, como piranómetros y termómetros, con un error relativo máximo de 2 %.

Los resultados para la holgura de 2 cm de espesor daban temperaturas diurnas del agua entre 40 a 50 °C en horas pico de radiación, entre 11:00 a.m. y 3:00 p.m. Estos niveles de temperatura son adecuados para el calentamiento solar doméstico e industrial del agua.

El resultado de los balances térmicos correspondientes a la primera ley efectuados con estos datos experimentales de temperatura, y con la conductividad térmica de los materiales utilizados a las temperaturas obtenidas, fue que aproximadamente 10 % de la radiación solar incidente se utiliza para calentar el agua. Los experimentos previos se realizaron durante 2 años en días de radiación solar promedio de 4,5 a 5,5 kWh/m² día como corresponde a condiciones medias de la radiación solar global en Cuba, que tiene un valor de 5 kWh/m² día [Dennis, 2006].

Se hizo el análisis estadístico de los datos medidos; se eligieron los más representativos en las evaluaciones con cubierta y sin cubierta, determinándose que hay una respuesta térmica estable del equipo para días solares promedio en las condiciones de Cuba (Fig. 2).

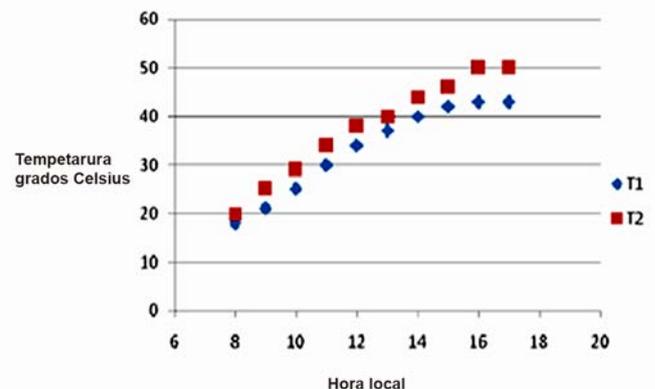


Fig. 2. Resultados de un día típico, sin cubierta. T1 temperatura capa superior, T2 temperatura capa inferior.

Por ejemplo, el día 9-3-2013, radiación 5,637 kWh/m² día, sin cubierta ni aislamiento en el piso; eficiencia térmica media 10 %. Se observa en la curva de las temperatura del agua que T1 sobrepasa los 38 °C y T2 los 35 °C alrededor

de las 12:00 m. (Con dos extracciones, las curvas vuelven a alcanzar 38 o 40 a las 5:00 p.m.).

El día 7-4-2013, radiación 6,296 kWh/m² día. Con cubierta de polietileno de 125 micras. (Con dos extracciones, las curvas alcanzan 55 o 60 °C a la 1:00 p.m.).

Las variantes de sauna solar con apoyo térmico de colectores solares baratos, forman parte del programa de desarrollo de equipos solares térmicos en Cuba, desarrollados desde 2005 hasta la actualidad.

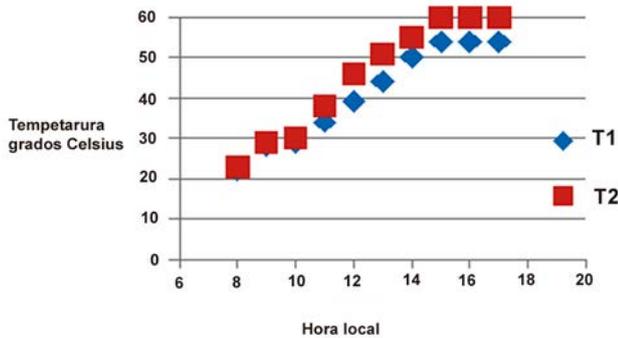


Fig. 3. Resultados de un día típico, con cubierta. T1 temperatura capa superior, T2 temperatura capa inferior.

En una sauna solar la aplicación de las fuentes renovables de energía, específicamente la energía solar térmica, con los calentadores tipo FIMSOL es una aplicación que contribuye al crecimiento de la cultura sobre fuentes renovables de energía en determinadas poblaciones y comunidades (Figs. 4 y 5). La cultura de la sauna es muy amplia y antigua en diversas regiones del planeta. En cambio, la utilización de la energía solar en la sauna es más reciente como fenómeno sociocultural en Cuba [Bergues, López, 2015].

Si se aplica el calentador solar para el apoyo térmico del proceso del secado de semillas, por ejemplo de maíz, calabaza y soja, la temperatura del agua no debe superar los 36 a 40 °C, que es la que puede soportar el endospermo de estas semillas sin degradarse y sin disminuir su capacidad germinativa [Bergues, Griñán, 2003].

Si se secan estos productos para el consumo directo, la temperatura de extracción del agua puede ser de 50 a 60 °C. Estos niveles de temperatura se alcanzan sin dificultad en el FIMSOL 3 en condiciones tropicales.

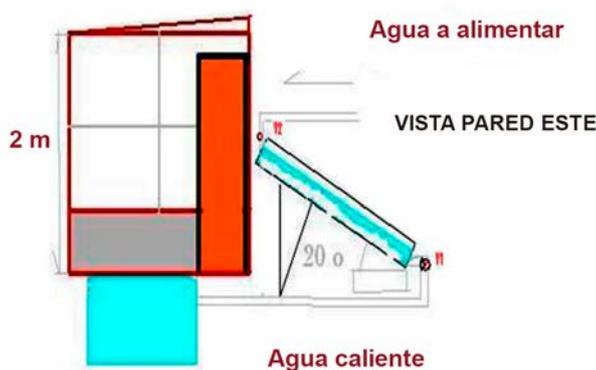


Fig. 4. Calentadores sobre piso de sauna; circulación por gravedad.

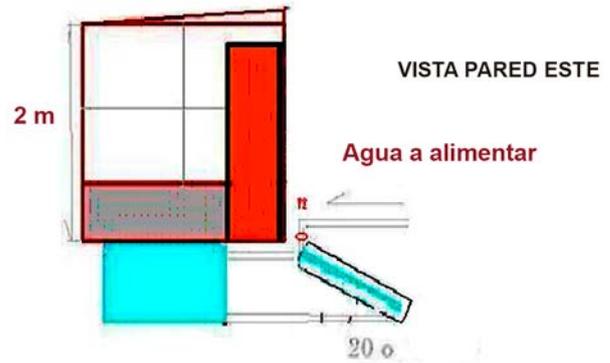


Fig. 5. Calentadores en talud con termosifón bajo piso de la sauna.

Resultados y discusión

FIMSOL es el prototipo de calentador solar compacto de muy bajo costo y de 2 a 6 CUC/m² [Bergues, Alonso, 2017]. A continuación se realiza un análisis económico y ambiental de este prototipo (Cuadro 1 y Tabla 1).

Cuadro 1. Costo del calentador solar FIMSOL 3

Concepto	Total
Costo total de materiales (2 placas)	0,706 USD/m ²
Poliuretano	0,5 USD /m ²
Costo de la energía	
Mano de obra	0,185 USD/m ²
Pintura	0,941 USD/m ²
Costo total	2,28 USD/m ²

El costo para el calentamiento del agua obtenida se puede calcular dividiendo el costo de la inversión total de la construcción del equipo más el costo del mantenimiento, por la cantidad total de agua calentada.

Para un calentador de 10 % de eficiencia y un coeficiente de utilización de 90 %, suponiendo un costo de mantenimiento igual a 20 % del costo inicial, tendríamos $(2,28 + 0,4) / 20 \times 365 \times 0,9 = 2,74 / 6570 = 0,0004$ USD/L de agua caliente el primer año.

Empleando electricidad para calentar la misma cantidad de agua, por metro cuadrado, a razón de 0,5 kWh/m² día ahorrados, esto será al año $(0,5 \times 0,25 \times 365 \times 0,9) / 6570 = 41,06 / 6570 = 0,00625$ USD/L de agua caliente, o sea el costo por calentamiento de agua solar por unidad de masa es cerca de veinte veces menor que el de calentamiento con calentador eléctrico.

Tabla 1. Ahorro energético kWh y disminución de emisiones de CO₂

Tiempo	Área 1 m ²	Área 4 m ²	Área 10 m ²	Área 25 m ² patio solar
kWh (kgCO ₂)				
1 día	0,5 (0,37)	2 (1,5)	5 (3,75)	25 (18,75)
1 mes	13,5 (10,12)	54 (40,5)	135 (101,25)	337,5 (253,1)
1 año	164,25 (123)	648 (486)	1620 (1215)	4050 (3037)

Actualmente se realiza el estudio de variantes en proyecto, de este calentador, en superficies de 25 y 10 000 m², que ofrecen perspectivas interesantes para el ahorro de energía y disminución de emisiones de gases contaminantes.

Conclusiones

Las evaluaciones demuestran la viabilidad técnica y económica de la propuesta. La eficiencia térmica lograda es de 10 % sin cubierta y hasta 15 a 20 % con cubierta de polietileno; el calentador puede ser perfeccionado, poniéndose aislamiento por piso y pared, y pudiendo llegar a 20-30 % de eficiencia térmica, que está en el orden de la eficiencia de los calentadores compactos tradicionales más baratos.

Es un calentador de muy bajo costo que puede llegar a 50 años de vida útil, y una vez finalizada esta los desechos pueden ser reutilizados o incorporados al medioambiente sin llegar a contaminarlo.

Se deben continuar los estudios para disminuir el tiempo entre las cargas y descargas del líquido, aumentar el rendimiento térmico y lograr su generalización en los asentamientos de poblaciones aisladas y en las cubiertas de los edificios.

Recomendaciones

Generalizar la experiencia del calentador de agua FIMSOL en zonas rurales, así como su aplicación conjunta con el secador solar de San Pillín y la sauna solar del Centro médico deportivo.

Continuar las investigaciones de esta tecnología y su empleo en el almacenamiento de calor.

Bibliografía

- ALTA, DENNIS, EMIN BILGILI *et al.* (2010). «Experimental investigation of three different solar air heaters: Energy and Exergy analyses». *Applied Energy*, vol. 87, pp. 2953-2973.
- BERGUES, C.; P. GRIÑÁN Y S. FONSECA (2013). «Sistema de secadores solares baratos y su apoyo térmico solar». *Fórum de ciencia y Técnica*, Santiago de Cuba.
- BERGUES, C. «Materiales de la construcción para la explotación de energía solar térmica en calentamiento de fluidos» (2014). *Fórum de Ciencia y Técnica*, Santiago de Cuba.
- BERGUES, C. Y E. LÓPEZ (2015). «Aspectos fundamentales para el diseño de saunas solares de bajo costo». Tesis de Maestría. CEFE. Universidad de Oriente.
- BERGUES, CIRO, PEDRO GRIÑÁN *et al.* (2013). «Concepción y evaluación de un secador solar de granos con cubierta de polietileno». *Tecnología Química*, vol. XXIII, No. 1.
- BERGUES, C. Y M. ALONSO (2017). «Patio solar: opción para el aprovechamiento de la energía solar térmica. Aplicaciones domésticas e industriales». *RTQ* vol. 37 No. 2, Santiago de Cuba. Versión On-line ISSN 2224-6185. www.scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-61852017000200010
- BÉRRIZ, L. Y M. ÁLVAREZ (1993). *Manual de calentadores solares*. La Habana: Ed. Cubasolar, Cuba.
- FIMSOL (2016). «Patente del modelo industrial No. 2314 de la Oficina Nacional de Invenciones, Información Técnica y Marcas». «Precios de calentadores solares de agua».

Cambio de la matriz energética en los organopónicos del municipio Morón

Por **M.Sc. Ana Gloria Díaz de León*** y **Aramís Guevara Delgado***

*Empresa Agroindustrial Ceballos
puesto.dir@ecca.co.cu

Resumen

«Desarrollo sostenible es la satisfacción, en tiempo y espacio, de las necesidades crecientes de la humanidad», por lo que resulta evidente que el desarrollo sostenible tiene que estar basado en una energética que sea también sostenible. Cuba puede llegar a ser una potencia energética solar, ya que posee los tres factores necesarios para ello: la fuente inagotable de energía, el potencial humano y la voluntad política de lograr el verdadero desarrollo sostenible. Teniendo como base lo anterior se realizó este trabajo; en él se detalla el concepto de energía solar fotovoltaica, sus ventajas y desventajas y se hace un análisis en dos organopónicos del consumo de energía eléctrica; se define eficiencia energética y se refiere el sistema de riego que debe utilizarse, con el cual damos respuesta a los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución en el acápite VIII, Política Industrial y Energética, Política Energética, Lineamiento 247, así como a la Tarea Vida: Plan de Estado para el enfrentamiento al cambio climático.

Palabras clave: Desarrollo sostenible, organopónico, energía solar fotovoltaica.

Change in the energy mix of the organic farms in Moron municipality

Abstract

Sustainable development is meeting, in time and space, the increasing needs of humanity; it is evident that sustainable development has to be based on a sustainable energy use. Cuba can become a solar energy power, because has the three necessary factors for it: the unlimited source of energy, the human capital and the necessary political will to achieve the true sustainable development. Based on the above this work came true where the concept of photovoltaic solar energy, its the advantages and disadvantages that are detailed, becomes an analysis in two Organoponicos of the energy consumption electric, energy efficiency is defined and the irrigation system that should be used is detailed. With this we are giving answer to the Guidelines of Economic Policy and Social of the Party and the Revolution in the paragraph VIII, Industrial Policy and Energetic, Energy Policy, Guideline 247, as well as to the Task Life: State Plan for climatic change mitigation and adaption.

Key words: Sustainable development, organic farm, solar photovoltaic, energy.

Introducción

El Sol nos lleva al verdadero desarrollo sostenible, es decir, a un desarrollo que mejora las condiciones de vida del pueblo y cuida a las generaciones de hoy y de mañana, manteniendo nuestro planeta en buen estado de salud [Colectivo de autores, 2010]; es por ello que se ha decidido

cambiar la matriz energética en nuestros organopónicos a favor de la producción de energías limpias, principalmente porque necesitamos incrementar, en la Empresa Agroindustrial Ceballos, nuestra independencia energética al sustituir la electricidad que se produce con combustible

fósil por energía solar (fotovoltaica) y con esto disminuir la contaminación ambiental.

La energía solar es limpia, renovable y está disponible en todo el planeta. Para usarla eficientemente es necesario tomar en cuenta factores tales como el desarrollo tecnológico y las variaciones de la cantidad de radiación solar; la energía solar es la energía obtenida mediante la captación de la luz y el calor emitidos por el sol, y para la obtención de energía eléctrica se emplean instalaciones denominadas «fotovoltaicas» (FV), cuyo funcionamiento se basa en el fenómeno fotoeléctrico interno en materiales semiconductores que conforman dichas instalaciones [Chacón, 2017].

El agua es indispensable para la humanidad, así como para todos los seres vivos que habitan el planeta. De ella no solo dependemos para vivir, sino que es esencial para la producción de alimentos, así como para un desarrollo económico sostenible; sin agua es completamente imposible que se dé vida en la Tierra, donde es un bien real; su uso adecuado y sostenible permite el desarrollo económico, y por el contrario, el difícil acceso al agua potable provoca enfermedades y diezma poblaciones [Chacón, 2017].

Aunque el agua cubre las tres cuartas partes de la Tierra, solo podemos utilizar las aguas dulces, ya que las aguas de los mares contienen grandes cantidades de sales que hacen imposible su uso; la escasez de agua que existe en muchos lugares del Mundo por los cambios climáticos que están sucediendo, y nuestro país no está ajeno a esto, es que el riego toma gran importancia.

Una de las limitaciones mundiales para la expansión de áreas agrícolas es la disponibilidad de tierras y de agua, ya que el área cultivable se reduce y la población casi se duplica; esto significa que para incrementar la producción de alimentos se requiere intensificar la agricultura por unidad de área, es decir, aumentar la intensidad de cultivo y los rendimientos, y el riego es clave para lograr este objetivo.

Actualmente el regadío contribuye a la producción mundial de alimentos con 40 %, sobre una superficie que representa 18 % del área cultivada; se espera que para 2030 contribuya con 47 % de la producción mundial [Chacón, 2017].

A finales de 1987 se comienza la generalización de los organopónicos, los cuales son una unidad intensiva de producción de hortalizas, condimentos frescos y otros cultivos de ciclo corto, desarrollada sobre canteros, protegidos lateralmente con «guarderas» y contruidos con disímiles tipos de materiales, tales como bloques, ladrillos, madera, planchuelas metálicas, piedras y bambú, entre otros, dotados de sustrato orgánico mezclado con capa vegetal que se microlocaliza en zonas donde los suelos no son fértiles o no existe suelo, en la cual se aplica un régimen intensivo de cultivo. Esta alternativa de producción puede ser desarrollada en lugares o ciudades donde exista alta disponibilidad de sustratos, compost y/o estiércol animal a costos asequibles, o contando con el apoyo de programas y con ello la implantación de la tecnología del manejo de los cultivos, la cual llevaba implícita el manejo y uso del agua (riego) [Pagés, 2007].

Nuestro país se caracteriza por un período húmedo (may.-oct.) y otro seco (nov.-abril) en el cual cae aproximadamente 20 % del total de las precipitaciones anuales; es en este donde se concentra la mayor producción de ali-

mentos, por lo que se hace imprescindible el uso del regadío para lograr garantizar producciones altas y estables. En el municipio Morón el volumen de lluvia anual es de 1374 mm; en el período húmedo deben caer 1114 mm para 81 %, y en período seco 260 mm para 19 %; como vemos se corresponde con la del país, lo que nos indica que el territorio no escapa a la utilización del riego si se quieren obtener altos rendimientos y buena calidad del fruto en los organopónicos.

La eficiencia del riego está en la maestría que puede tener el hombre en relacionar la necesidad de agua de los cultivos, según la fase de desarrollo en que se encuentran, con el potencial de fertilidad de un sustrato o suelo; la fertilidad está en fuerte dependencia con el grado de humedad que mantenga; por ello debe evitarse al máximo posible el sobrehumedecimiento y el resecaamiento.

Conocer cuándo, cuánto y cómo regar, unido a una buena operación y mantenimiento de los sistemas de riego y drenaje, posibilita el suministro adecuado de agua a los cultivos y una larga vida útil de los equipos.

¿Cuándo regar?

Si la precipitación es insuficiente se presentarán déficit de humedad que afectarán el desarrollo y rendimiento del cultivo. Para evitar esto se debe complementar el agua de lluvia con la suministrada mediante el riego.

El estado de desarrollo del cultivo desempeña un papel importante en el momento de entregar la cantidad de agua necesitada.

En la etapa inicial (siembra-estabilización) los riegos deben ser ligeros y frecuentes. En el momento de la siembra o trasplante se realiza un riego profundo. En esta etapa el riego tiene también la función de favorecer las condiciones ambientales, especialmente para regular las temperaturas.

La falta de agua en este período puede causar sensibles afectaciones en el desarrollo y rendimiento final del cultivo.

En la segunda fase (establecimiento-inicio de la floración) los intervalos de riego pueden alargarse y las normas aumentar paulatinamente para cubrir la profundidad radicular en su desarrollo continuo. Para algunas plantas cierto grado de estrés hídrico moderado es conveniente debido a que induce la floración y el desarrollo del sistema radical.

En la fase de floración-fructificación se produce el desarrollo de los frutos, como en el cultivo del tomate, y el engrosamiento de los tubérculos y raíces, como en la remolacha y la zanahoria, etc. En esta etapa cualquier deficiencia en el suministro de agua afecta sensiblemente la producción del cultivo. Este período «punta» es el de mayor consumo hídrico, por lo que resulta conveniente realizar los riegos en intervalos cortos y normas relativamente mayores. En la última fase de vida del cultivo las necesidades de agua se hacen paulatinamente menores y conviene, para muchos cultivos, cierta escasez para el secado de los granos, la maduración de los frutos, la concentración de jugos, etcétera.

En aquellos cultivos en que el desarrollo biológico no coincide con el desarrollo comercial como sucede en las hortalizas de hojas (col, lechuga y otras) el fruto comercial lo constituyen las partes verdes de la planta, y entonces el riego se realiza ascendentemente hasta la cosecha, para garantizar su calidad comercial.

¿Cuánto regar?

Es indispensable conocer la cantidad de agua que se necesita diariamente en la unidad de producción con vistas a valorar si el abastecimiento disponible cubre o no dicha demanda. La base de esto radica en el tipo de sustrato o suelo que predomina en el organopónico; en suelos ligeros las normas deben ser más pequeñas y frecuentes que en los pesados, y estas son diferentes en cada etapa de desarrollo del cultivo.

¿Cómo regar?

Este aspecto se refiere a la técnica de riego de que dispone la unidad, ya sea manguera, regadera, aspersión semiestacionario o variantes de sistemas localizados (microjet, goteo y otros). Hay que considerar la fuente de abasto, su ubicación y calidad de agua, pues la evapotranspiración del cultivo puede ser afectada de manera significativa por el método de riego si este no ha sido adecuadamente seleccionado.

El objetivo del presente artículo es dar a conocer las ventajas que tiene el cambio de la matriz energética en los organopónicos para el logro de la eficiencia energética y el uso racional del agua, fortaleciendo la seguridad alimentaria en el municipio de manera autogestionada, ambientalmente amigable, económicamente viable y socialmente justa.

Materiales y métodos

Este trabajo se realizó en la Unidad Básica Empresarial (UEB) Granja Urbana Morón, ubicada en el Batey Los Quemados, entidad estatal que pertenece a la Empresa Agroindustrial Ceballos y que atiende, en este municipio, los organopónicos El Centro, El Carmen, La Victoria, Patria 1 y Patria 2.

La energía eléctrica que abastece a estos organopónicos es tomada del Sistema Energético Nacional. Se utiliza para el riego y el alumbrado, por lo que se entiende que con un sistema fotovoltaico se pueden satisfacer las necesidades de cada lugar mediante proyectos acordes con las características de cada organopónico y así contribuir a la disminución de la contaminación ambiental.

La energía solar es limpia, renovable y está disponible en todo el planeta. Para usarla eficientemente es necesario tomar en cuenta factores tales como el desarrollo tecnológico y las variaciones de la cantidad de radiación solar. La energía solar es la obtenida mediante la captación de la luz y el calor emitidos por el sol [Chacón, 2017].

El sol nos da cada día la energía equivalente a 0,5 L de petróleo en cada metro cuadrado de la isla; si calculamos esa cantidad para 110 mil kilómetros cuadrados que tiene Cuba, llegamos a la conclusión que el país recibe diariamente en energía solar el equivalente a 55 millones de toneladas de petróleo. Esto, claro, es un potencial teórico (Cuadro 1).

La radiación solar varía muy poco de un lugar a otro del territorio nacional y de un mes a otro del año; tiene un valor promedio de 5 kWh por metro cuadrado al día [Bérriz, 2016].

La energía fotovoltaica (FV) es la que convierte la energía del sol en electricidad y la más eléctrica de todas las fuentes renovables, pues solo da electricidad. Cuba cuenta, como promedio, con 1825 kWh/m² al año, pero teniendo en cuenta las pérdidas de distintos tipos, para los cálculos se toman 1400 kWh/m² [Stolik, 2012].

Cuadro 1. Horario solar de la provincia de Ciego de Ávila

Descripción	Datos
Latitud (grados)	21,83
Longitud (grados)	78,75
Salida del Sol	
Equinoccio primavera: mar. 21, hora de verano	7 h 23 min
Solsticio verano: jun. 21, hora de verano	6 h 37 min
Equinoccio otoño: sept. 21, hora de verano	7 h 08 min
Solsticio invierno: dic. 21, hora normal	6 h 53 min
Puesta del Sol	
Equinoccio primavera: mar. 21, hora de verano	19 h 23 min
Solsticio verano: jun. 21, hora de verano	19 h 56 min
Equinoccio otoño: sept. 21, hora de verano	19 h 08 min
Solsticio invierno: dic. 2, hora normal	17 h 33 min

La transformación de energía solar en energía eléctrica puede realizarse en el propio lugar de consumo y es un recurso de uso universal, por lo que no se paga al utilizarla. La energía solar fotovoltaica constituye una de las fuentes renovables de energía con más futuro, ya que reduce la emisión de gases contaminantes y disminuye la dependencia de los combustibles fósiles.

Las ventajas de la energía FV son:

- Al ser una energía tomada directamente del sol no emplea combustible fósil, lo cual implica que económicamente en el largo plazo estos sistemas son más viables y estables.
- Es un recurso abundante e inagotable.
- Impacto ambiental prácticamente nulo.
- Al generar energía sin que exista un proceso de combustión no hay liberación de carbono ni se produce CO₂, gas de efecto invernadero; desde el punto de vista medioambiental es un procedimiento muy favorable por ser limpio y no producir contaminación.
- No produce ningún ruido cuando opera, pues no posee partes móviles.
- Se puede instalar sobre techos y azoteas, lo que contribuye a optimizar espacios.
- Tiene una larga vida útil (más de 20 años).
- La recuperación de la inversión se realiza en corto plazo con respecto a su vida útil (más de 20 años).
- La instalación de los sistemas fotovoltaicos individuales es simple, rápida y no requiere de equipos complejos.
- El mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos es simple y barato.
- Sus costos han ido disminuyendo en los últimos años y se pronostica que continúe dicha tendencia.

Las desventajas de la energía FV son:

- Necesitan gran cantidad de terreno para una instalación, la cual no puede combinarse con otros usos. Por ello, se recomienda instalar los sistemas fotovoltaicos en terrenos que no tengan asignados otros usos, como la agricultura, la ganadería, etcétera.
- Las cantidades de potencia y energía que se pueden obtener de un sistema fotovoltaico aislado están limitadas por la capacidad de generación y almacenamiento de los módulos y las baterías, y por la disponibilidad de recurso solar.
- Los sistemas fotovoltaicos no producen humo; sin embargo, durante el proceso de carga las baterías liberan hidrógeno al ambiente en cantidades moderadas.
- La contaminación ambiental provocada a lo largo de su ciclo de vida (desde la producción de la celda hasta la instalación del sistema), es considerable con respecto a otras fuentes renovables de energía. Aun así, resulta mucho menor si se compara con otras tecnologías convencionales.
- En los sistemas aislados el derrame ocasional de la solución de ácido sulfúrico de las baterías puede representar un peligro para las personas y el suelo.
- La energía solar disponible en el medio es variable y depende de las condiciones atmosféricas [Moreno, 2015].

Los paneles o módulos fotovoltaicos —llamados comúnmente paneles solares, aunque esta denominación abarca además otros dispositivos— están formados por un conjunto de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos mediante el efecto fotoeléctrico (Fig. 1). Su aplicación radica en centrales conectadas a la red para suministro eléctrico, sistemas de autoconsumo fotovoltaico, electrificación de pueblos en áreas remotas (electrificación rural), suministro eléctrico de instalaciones médicas en áreas rurales, corriente eléctrica para viviendas aisladas de la red eléctrica, sistemas de comunicaciones de emergencia; bombeo para sistemas de riego, agua potable en áreas rurales y abrevaderos para el ganado, etc. [Chacón, 2017].



Fig. 1. Panel solar fotovoltaico.

A continuación se presenta el esquema de un sistema solar fotovoltaico autónomo (SFA) (Fig. 2).



Fig. 2. Sistema fotovoltaico autónomo (SFA).

Como se puede apreciar, este tipo de sistema es el que se debe montar en los organopónicos, pues son pequeños y no han de ir conectados a la red nacional.

La eficiencia energética es una de las políticas esenciales para mitigar los efectos del cambio climático, hacia la consecución de sociedades sostenibles con un uso predominante de las fuentes renovables de energía; además, constituye la gestión que permite conservar y disponer de los recursos energéticos mediante el ahorro de energía, el cambio de estilos de vida, la adecuación de las formas de producción de bienes y servicios y el uso eficaz de los recursos disponibles.

El ahorro energético no consiste en dejar de consumir, sino en consumir con racionalidad, eficiencia y eficacia, es decir, tener una actitud económica y medioambiental; lo ahorrado por cada individuo de manera consciente constituye su aporte a la sostenibilidad de sus contemporáneos y de sus descendientes [Colectivo de autores, 2010].

Los métodos y técnicas de riego son los encargados de conducir y aplicar el agua para la irrigación y como exigencia fundamental deben satisfacer el régimen de riego definido para el cultivo que beneficiará. Se clasifican en superficial, aéreo y localizado (Cuadro 2).

Cuadro 2. Métodos y técnicas de riego

Métodos	Técnicas
Superficial	Riego por surco
	Riego por banda
Aéreo	Aspersión (portátil, semiestacionaria y estacionaria)
	Máquinas de riego (de pivote central y de desplazamiento frontal)
Localizado	Superficial (goteo y microaspersión)
	Subterráneo (goteo)

El método más utilizado en los organopónicos es el localizado con la técnica de riego superficial de microaspersión (microjet).

El método de riego localizado es la aplicación del riego en zonas concretas en torno a las plantas, humedeciendo solamente una parte del volumen del suelo (bulbo húmedo) donde se va fomentando el desarrollo radicular. La localización del riego limita las pérdidas de agua por evapotranspiración y siendo menor el volumen mojado se reduce la capacidad de almacenamiento, por lo que se precisan aplicaciones frecuentes a dosis reducidas.

Un adecuado manejo de estos sistemas incide en una plena disponibilidad para que las raíces puedan obtener el agua y los nutrientes esenciales para un óptimo crecimiento; el agua es aplicada para satisfacer la demanda hídrica diaria del cultivo y no con el objeto de crear un almacén de agua; una adecuada dosis y frecuencia de riego elimina las situaciones extremas de exceso y déficit hídrico, y mantiene el suelo con la humedad constante e idónea para que la planta encuentre no solo el agua, sino también el oxígeno y los nutrientes necesarios.

La técnica de riego por microjet se basa en el principio de la pulverización del chorro de agua bombeado a presión, de manera tal que produzca una lluvia artificial [Rodríguez, 2011].

En los organopónicos se utiliza el conjunto microjet de 2x140° de 1,00 mm, producción nacional, el cual con una presión de 15,0 metro de columna de agua (mca) entrega un caudal de 40,65 Lh-1. Estos emisores se disponen sobre el lateral cada 1,0 m, los cuales a su vez están espaciados cada 2 m, uno sobre cada cantero. La intensidad de aplicación que se consigue con este espaciamiento es de 20,32 mmh-1

Componentes del sistema

Estación de bombeo: Comprende el motor, la bomba y demás accesorios.

- Cabezal de riego: Dispositivo que permite el tratamiento de agua, filtrado, medición, control de presión.
- Tubería principal y secundaria: La primera conduce el agua hasta el cabezal de riego y la segunda desde el cabezal hasta la distribuidora.
- Distribuidora: Conduce el agua hasta los laterales de riego.
- Laterales: Tuberías que aportan a los emisores.
- Emisores: Dispositivos que derivan el agua desde la tubería al exterior (microaspersores).
- Válvulas, uniones y demás piezas especiales y accesorios.
- Normas para la conservación, mantenimiento y funcionamiento de los sistemas de riego localizados en organopónicos.

Resultados y discusión

A continuación se presentan las Tablas 1, 2 y 3 con el consumo de energía de los organopónicos El Centro y El Carmen, de 2015, 2016 y 2017.

Tabla 1. El Centro U/M: kW

Meses	2015	2016	2017	Promedio
Enero	161	135	421	239
Febrero	186	256	469	304
Marzo	352	338	303	331
Abril	277	252	262	264
Mayo	254	200	S/O	227
Junio	210	80	S/O	145
Julio	210	175	S/O	193
Agosto	178	50	S/O	114
Septiembre	126	175	45	115
Octubre	167	175	S/O	171
Noviembre	195	175	30	133
Diciembre	82	236	147	155
Consumo total	2398	2247	1677	2391

Tabla 2. El Carmen U/M: kW

Meses	2015	2016	2017	Promedio
Enero	138	72	112	107
Febrero	340	157	203	233
Marzo	340	236	156	244
Abril	156	160	180	165
Mayo	211	32	186	143
Junio	207	32	186	142
Julio	207	32	186	142
Agosto	89	187	186	154
Septiembre	71	74	70	72
Octubre	97	103	S/O	100
Noviembre	102	103	106	104
Diciembre	86	109	114	103
Consumo total	2044	1297	1685	1709

Tabla 3. Análisis de los datos obtenidos

Aspecto a evaluar	El Centro	El Carmen
Consumo promedio (kW/año)	2391	1709
Valor promedio del kW (CUC)	0,20	0,20
Gasto (CUC)	478,20	341,80
Petróleo (g/kWh)	2,15	2,15
Petróleo consumido energía (g)	1112	795
Valor promedio del g (CUC)	0,0005	0,0005
Gasto (CUC)	0,60	0,40
Total de gasto	478,80	342,20

A continuación se presentan algunos comentarios sobre los resultados obtenidos en los organopónicos El Centro y El Carmen.

El Centro

Si un módulo completo del sistema fotovoltaico tiene un valor aproximado de \$ 500,00 y el sistema de riego de \$ 2180,00, esto nos da un total de \$ 4680,00, al dividirlo por el gasto total de la energía consumida nos da el

tiempo en que recuperamos la inversión solo con el ahorro de energía que se tendrá, el cual en este caso es de $9,77 = 10$ años, se plantea que los módulos completos tienen más de 20 años de vida útil, tomando 20 años tenemos que la inversión se amortizaría en 10 años y quedarían 10 años de explotación sin amortiguación.

El Carmen

Si un módulo completo del sistema fotovoltaico tiene un valor aproximado de \$2 500,00, y el sistema de riego de \$2180,00; esto nos da un total de \$4 680,00 y al dividirlo por el gasto total de la energía consumida nos da el tiempo en que recuperamos la inversión solo con el ahorro de energía, el cual en este caso es $13,7 = 14$ años; se plantea que los módulos completos tienen más de 20 años de vida útil; tomando 20 años tenemos que la inversión se amortizaría en 14 años y quedarían 6 años de explotación sin amortización.

Como se aprecia, solo con el ahorro de energía se puede lograr amortizar la inversión, pero si se tiene en cuenta que el sistema de riego será nuevo, esto permitirá ganar en eficiencia y utilizando la tecnología orientada en los organopónicos se obtendrán mayores rendimientos por hectárea, lográndose la meta de $20 \text{ kg/m}^2/\text{año}$.

Conclusiones

A pesar de sus ciertas desventajas, la energía solar fotovoltaica es el camino que nos llevará a una agricultura sostenible y amigable con el medioambiente.

La inversión se puede amortizar en menor tiempo si es eficiente y eficaz en la utilización de los recursos que se instalen.

Recomendación

Que se comience a proyectar y desarrollar la instalación de sistemas fotovoltaicos en los organopónicos con riego eficiente en los municipios Morón y Ciro Redondo.

Bibliografía

- BÉRRIZ PÉREZ, L. (2016): «La política energética cubana en el camino del desarrollo sostenible». Revista *Energía y Tú*, No. 75 (julio-septiembre), pp. 4-11. La Habana: Ed. Cubasolar.
- COLECTIVO DE AUTORES (2010). *Solarización territorial, vía para el logro del desarrollo sostenible*. La Habana: Ed. Cubasolar, 173 pp.
- CHACÓN S., CONSTANZA (2017). «Diseño de un sistema de riego por microjet con el uso de energía solar fotovoltaica en el organopónico Roberto Rodríguez, del municipio Morón». Tesis de grado, 73 pp. UNICA, Ciego de Ávila, Cuba.
- MORENO FIGUEREDO, C. (2015). «Energías fotovoltaica y eólica: ventajas y desventajas». Revista *Energía y Tú*, No. 71 (julio-septiembre), pp. 18-22. La Habana: Ed. Cubasolar.
- PAGÉS, R. (2017). «Nunca he dejado de sembrar hortalizas». Revista *Agricultura Orgánica*, No. 3, pp. 4-5.
- RODRÍGUEZ, N. A. (2011). «Manual técnico para organopónicos, huertos intensivos y organoponía semiprotegida». La Habana.
- STOLIK NOVIGROD, D. (2012). «Cien preguntas y respuestas sobre la energía fotovoltaica (I)». Revista *Energía y Tú*, No. 58 (abril-junio), pp. 8-15. La Habana: Ed. Cubasolar.
- «Tipos de sistemas fotovoltaicos» (2014). Revista *Energía y Tú*, No. 66 (abril-junio), p. 35. La Habana: Ed. Cubasolar.

Conceptos claves en Agroecología

Por **Dra. C. Leidy Casimiro Rodríguez***

*Universidad de Sancti Spíritus, Cuba.

leidy7580@gmail.com

Resumen

Aún hoy existen dudas de la importancia de la agroecología para el desarrollo de sociedades sostenibles y del papel que esta desempeña como ciencia, práctica y movimiento social. Por tanto, el objetivo de este artículo es exponer algunos conceptos que emergen del enfoque agroecológico, tales como la soberanía y la resiliencia socioecológica. Como resultado se exponen elementos importantes de la conceptualización agroecológica y criterios propios de la autora, que contribuyen a enriquecer el análisis teórico y práctico de esta ciencia.

Palabras clave: Soberanía alimentaria, resiliencia, familias campesinas.

Key concepts on Agroecology

Abstract

Even today there are doubts about the importance of agroecology for the development of sustainable societies and the role that it plays as a science, practice and social movement. Therefore, the objective of this review article was to present some concepts that emerge from the agroecological approach, such as sovereignty and socio-ecological resilience. As a result, important elements of the agroecological conceptualization and the author's own criteria contribute to enrich the theoretical and practical analysis of this science.

Keywords: Food sovereignty, resilience, peasant families.

Introducción

La agroecología es un proceso de innovación en conocimientos y tecnologías que se construyen en constante reciprocidad con movimientos sociales y procesos políticos; por tanto, es reconocido su carácter tridimensional como ciencia, práctica y movimiento social [Wezel *et al.*, 2009; Altieri y Toledo, 2011; León, 2012; Toledo, 2012; Caporal, 2013; González de Molina y Caporal, 2013] (Fig. 1).

Como ciencia la agroecología se basa en «la aplicación de las ciencias agronómicas y ecológicas al estudio, diseño y manejo de agroecosistemas sustentables», culturalmente sensibles y socioeconómicamente viables, lo que implica un análisis y rediseño para el manejo de la diversificación agropecuaria, promoviendo positivamente interacciones y sinergias entre todos sus componentes y la dinámica compleja de los procesos socioecológicos, la restauración y conservación de la fertilidad del suelo, el mantenimiento de la productividad y la eficiencia y auto-

suficiencia en el largo plazo [van der Ploeg *et al.*, 2009; Nicholls *et al.*, 2016]. Para ello se fundamenta en principios básicos agroecológicos que pueden tomar diversas formas tecnológicas o prácticas –de acuerdo con el contexto histórico de una finca– y tener diferentes efectos sobre la productividad o resiliencia de esta, en dependencia del entorno local, ambiental y la disponibilidad de recursos [Nicholls *et al.*, 2016]. Estos principios, abordados por Gliessman [1998] y Altieri y Nicholls [2013], se fundamentan principalmente en procesos ecológicos; sin embargo, es de vital importancia el complemento social asociado a ello, como garantía real del desarrollo de fincas familiares agroecológicas y la continuidad de una cultura que se puede adquirir, mantener y enriquecer en ellas. Por esto se hace necesario el análisis de dichos principios y otros referidos a la viabilidad económica y justicia social en el fortalecimiento de familias campesinas (Tabla 1).

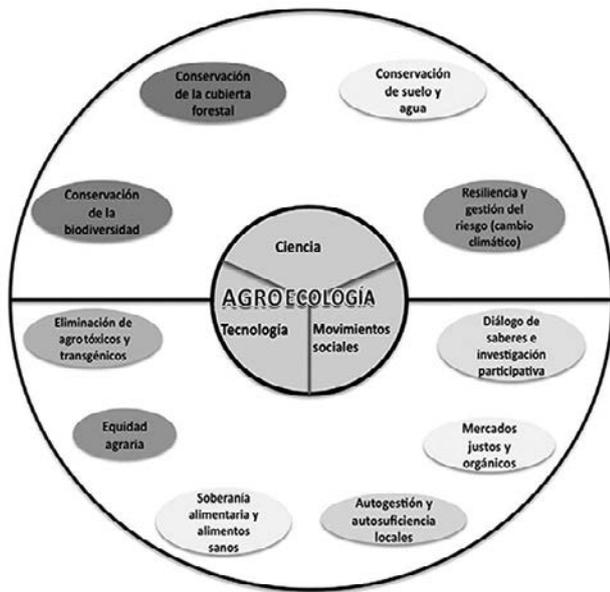


Fig. 1. La agroecología, en su triple significación, logra responder a diez demandas sociales y ecológicas. Fuente: Toledo [2012].

Las diferentes prácticas tienen un carácter preventivo y multipropósito, dando paso a diversos mecanismos que refuerzan la inmunidad del agroecosistema y responden a varios principios a la vez [Altieri y Nicholls, 2010]. Debido a la dependencia mínima de agroquímicos, combustibles fósiles y subsidios de energía –enfazando en sistemas agrícolas complejos que subsidien su propia fertilidad y productividad [Rosset y Martínez, 2013]– la agroecología se perfila como la opción más viable para la producción agropecuaria ante las actuales limitaciones energéticas, climatológicas y financieras [Altieri y Nicholls, 2010], apostando a las capacidades del pequeño agricultor y al conocimiento campesino.

No obstante, el diseño y manejo agroecológico no se logran mediante la simple implementación de una serie de prácticas (rotación de cultivos, aplicación de compost, cultivos de cobertura, lombricultura u otras), sino por su correcta aplicación considerando los principios de la agroecología para lograr efectos diferentes sobre la productividad, estabilidad y resiliencia de los sistemas agrícolas [Nicholls *et al.*, 2016].

La agroecología y sus procesos de generación de conocimiento teórico y práctico van alineados a los movimientos sociales; en este sentido se destacan la Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (Socla), el Movimiento Agroecológico Latinoamericano (Maela), la Vía Campesina y diversas ONGs, todos los cuales promueven la transición agroecológica (TA) y desempeñan un papel clave en la difusión de conocimientos, innovaciones e ideas [Altieri y Toledo, 2011].

Altieri y Toledo (2011) exponen que las nuevas propuestas científicas y tecnológicas de la agroecología son cada vez más aplicadas por un número importante de campesinos, ONGs, gobiernos e instituciones académicas, lo que está permitiendo logros trascendentes en temas como la soberanía alimentaria y el empoderamiento de organizaciones y movimientos campesinos, abriendo nuevas trayectorias políticas para el entorno rural de Latinoamérica y conformando una alternativa totalmente opuesta a las

políticas neoliberales basadas en la agroindustria y las agroexportaciones (Tabla 2).

Soberanía alimentaria y resiliencia socioecológica

«(...) la única riqueza inacabable de un país consiste en igualar su producción agrícola a su consumo»

José Martí.¹

La soberanía alimentaria (SA) es un concepto que fue desarrollado por la Vía Campesina y llevado al debate público en ocasión de la Cumbre Mundial sobre la Alimentación celebrada en Roma en 1996; desde entonces ha sido tema de debate agrario internacional.

En la Declaración Final del Foro Mundial sobre Soberanía Alimentaria (SA), realizado en La Habana, Cuba, en septiembre de 2001, la SA se expuso como «...el derecho de cada pueblo a definir sus propias políticas agropecuarias y en materia de alimentación, a proteger y reglamentar la producción agropecuaria nacional y el mercado doméstico, a fin de alcanzar metas de desarrollo sustentable; a decidir en qué medida quieren ser autosuficientes, a impedir que sus mercados se vean inundados por productos excedentarios de otros países que los vuelcan al mercado internacional mediante la práctica del dumping... La soberanía alimentaria no niega el comercio internacional, más bien defiende la opción de formular aquellas políticas y prácticas comerciales que mejor sirvan a los derechos de la población a disponer de métodos y productos alimentarios inocuos, nutritivos y ecológicamente sustentables» [Rosset, 2007].

En el citado evento la defensa de este derecho se expuso sobre la base de una agricultura con campesinos vinculada al territorio sobre bases agroecológicas, prioritariamente orientada a la satisfacción de las necesidades de los mercados locales y nacionales; que tome como preocupación central al ser humano y preserve, valore y fomente la multifuncionalidad de los modos campesinos de producción, con el reconocimiento y valorización de las ventajas para los países de la agricultura a pequeña escala de familias campesinas.

La soberanía alimentaria sostiene que la alimentación de un pueblo es un tema de seguridad y soberanía nacional, y debe tener sentido tanto para los agricultores como para los consumidores, pues todos enfrentan crisis rurales y la falta de alimentos asequibles, sanos, nutritivos y producidos localmente. Con su énfasis en la producción agroecológica familiar campesina y en los mercados y economías locales, difiere del concepto de seguridad alimentaria que se expone como la seguridad de que cada ciudadano cuente con el alimento suficiente cada día, pero sin abarcar la procedencia o cómo se produce este alimento [Rosset, 2007]. De aquí la importancia de la agroecología para el logro de la SA, al proveer fundamentos científicos y metodológicos en el desarrollo de agroeco-

¹“Siempre produce y fructifica la generosa madre tierra, la tierra nunca decae, ni niega sus frutos, ni resiste el arado, ni padece: la única riqueza inacabable de un país, consiste en igualar su producción agrícola a su consumo. La tierra continuará abriéndose en frutos. Esta es la previsión sensata, fundada en un equilibrio inquebrantable”. José Martí Pérez. *Escenas Latinoamericanas* (ed) Linkgua. ISBN 9788498978759. Pág.255.

sistemas sustentables independientes del mercado de insumos químicos y menos dependientes de combustibles fósiles, sobre la base del desarrollo de la agricultura familiar, mercados justos y la adopción –por parte de los gobiernos– de políticas públicas de apoyo económico y

tecnológico que fomenten estos procesos [Altieri y Toledo, 2011; Rosset *et al.*, 2011; Tittonell, 2013; León, 2014; Ponce *et al.*, 2015], los cuales apoyarían el desarrollo de fincas familiares agroecológicas e incrementarían sus niveles de biodiversidad, resiliencia y eficiencia.

Tabla 1. Principios agroecológicos y tecnologías o procesos socioecológicos asociados para el desarrollo de fincas familiares agroecológicas

Principios agroecológicos	Tecnologías o procesos socioecológicos asociados al desarrollo de fincas familiares
Reciclaje de nutrientes y materia orgánica, optimización de la disponibilidad y balances del flujo de nutrientes [Gliessman, 1998; Altieri y Nicholls 2013]	No generar desechos, cierre de ciclos, aprovechamiento de oportunidades, fomento de la biodiversidad en las capas inferiores del suelo y tratamiento de residuales. Proceso de capacitación, sensibilización, acción participativa y gestión del conocimiento por parte de familias campesinas y actores implicados en el desarrollo de la agroecología familiar (para todos los principios)
Diversificación vegetal y animal a nivel de especies o genética en tiempo y espacio [Gliessman, 1998; Altieri y Nicholls 2013]	Policultivos, rotaciones, integración ganadería-agricultura, máxima biodiversidad posible y fomento de la diversidad funcional
Optimización del flujo de nutrientes y agua [Gliessman, 1998; Altieri y Nicholls 2013]	Producción de abonos orgánicos a partir de los residuos de cosecha o excretas de animales, zanjas de infiltración, barreras de contención, cosechas de agua, laboreo mínimo, surcos en contorno, integración de cultivos y cría de animales
Provisión de condiciones edáficas óptimas para el crecimiento de cultivos, manejando materia orgánica y estimulando la biología del suelo [Gliessman, 1998; Altieri y Nicholls 2013]	Adición de abonos orgánicos, coberturas, abonos verdes, incorporación de Mulch, riego óptimo, uso de insumos biológicos
Minimización de pérdidas por insectos, patógenos y malezas mediante medidas preventivas y estímulo de fauna benéfica, antagonistas, alelopatía, etcétera. [Gliessman, 1998; Altieri y Nicholls 2013]	Coberturas, barreras de contención, terrazas, cortinas rompevientos, estímulo de fauna benéfica, cierre de ciclos
Explotación de sinergias que emergen de interacciones planta-planta, plantas-animales y animales-animales [Gliessman, 1998; Altieri y Nicholls 2013]	Policultivos y rotaciones, incorporación de árboles frutales o forestales, incorporación de animales, uso de las fuentes renovables de energía. Cada elemento realizando varias funciones y cada función soportada por varios elementos [Cruz y Cabrera, 2015]
Viabilidad económica	Uso de las fuentes renovables de energía y las tecnologías apropiadas para lograr la máxima eficiencia posible; independencia del mercado de insumos externos; innovación, experimentación campesina y diálogo de saberes; utilización óptima de los recursos disponibles. Precios de las producciones familiares ajustadas a los costos de producción Desarrollo de razas rústicas y cultivos adaptados al entorno y posibilidades locales, conservación de las semillas autóctonas o adaptadas, ajuste a las preferencias de la familia y al mercado de consumidores locales. Máximo valor agregado a las producciones Articulación de canales cortos de comercialización de las producciones familiares agroecológicas y políticas de mercado que las favorezcan
Justicia social	Articulación local, políticas públicas de fomento y apoyo, institucionalización de la agricultura familiar, mercados justos, economía solidaria, consumidores conscientes de la importancia del consumo de alimentos sanos y el desarrollo de la agricultura familiar, valorización de la calidad de los productos agroecológicos, «denominación de origen familiar», certificación popular, reconocimiento social de la ética de la agroecología

Varios autores exponen otros tipos de soberanía, como la tecnológica (ST) y la energética (SE), asumiendo una estrecha relación entre las tres (Fig. 2) y como resultado de la aplicación del diseño agroecológico, en agroecosistemas biodiversos, altamente eficientes en el uso de la energía, que determinan en conjunto la resiliencia de un agroecosistema [Gliessman, 1998; Altieri y Toledo, 2011; Suárez, 2015].

El concepto de soberanía se sugiere como un derecho, lo que no significa que se ejerza efectivamente por sus depositarios; tal es el caso del derecho a la alimentación con-

sagrado en la Declaración Universal de Derechos Humanos desde 1948 y el hecho de que miles de personas mueren de hambre cada día.

Las diferentes soberanías en el contexto de la agricultura familiar tienen un fuerte vínculo local, ya que todo debe contextualizarse a cada situación particular; por tanto, en el contexto de una finca campesina los conceptos de soberanía alimentaria, soberanía tecnológica y soberanía energética podrían materializarse de acuerdo con los elementos de la Tabla 3.

Tabla 2. Modelo dominante versus modelo agroecológico y de soberanía alimentaria

Tema	Modelo dominante	Modelo agroecológico y de soberanía alimentaria
Comercio	Librecomercio paratodos	Alimentos y agricultura fuera de los acuerdos comerciales
Prioridad productiva	Agroexportaciones	Alimentos para mercados locales
Precios de los cultivos	«Lo que el mercado dicte»	Precios justos que cubren los costos de producción
Acceso a los mercados	Acceso a los mercados externos	Acceso a mercados locales; evitar el desplazamiento de los agricultores de sus propios mercados
Subsidios	Mientras se trata de prohibirlos en el Tercer Mundo, están permitidos en EE. UU. y Europa, pero se pagan sólo a los agricultores más grandes	Los subsidios que no perjudican a otros países (vía dumping) son aceptables
Alimentos	Principalmente una mercancía, lo que significa alimentos procesados, con grasas, azúcar, jarabe de alta fructosa de maíz, y residuos tóxicos	Un derecho humano: deben ser saludables, nutritivos, asequibles, culturalmente apropiados y producidos localmente
Producir	Una opción para los más eficientes	Un derecho de los pueblos rurales
Hambre	Debido a la baja productividad	Un problema de acceso y distribución; debido a la pobreza y a la desigualdad
Seguridad alimentaria	Se logra importando alimentos desde donde son más baratos	Mayor cuando la producción de alimentos está en manos de campesinos y cuando se producen localmente
Control sobre los recursos productivos	Privatizado	Local, controlado por la comunidad
Acceso a la tierra	A través de los mercados	A través de una reforma agraria genuina
Semillas	Una mercancía patentable	Una herencia común de los pueblos, al servicio de la humanidad
Crédito e inversiones rurales	Del sector privado	Del sector público, dirigidos a la agricultura familiar
Dumping	No es un problema	Debe prohibirse
Monopolio	No es un problema	La raíz de la mayor parte de los problemas: deben ser prohibidos
Organismos Genéticamente Modificados (OGMs)	La onda del futuro	Peligrosos para la salud y el medioambiente; deben ser prohibidos
Tecnología agropecuaria	Industrial, monocultivo, requiere muchos agrotóxicos; usa OGMs	Métodos agroecológicos y sustentables
Agricultores	Anacronismos; el ineficiente desaparecerá	Guardianes de la biodiversidad de cultivos, administradores de los recursos naturales productivos; depositarios del conocimiento; el mercado interno y la base para un desarrollo amplio, incluyente y con equidad

Fuente: Rosset (2007).

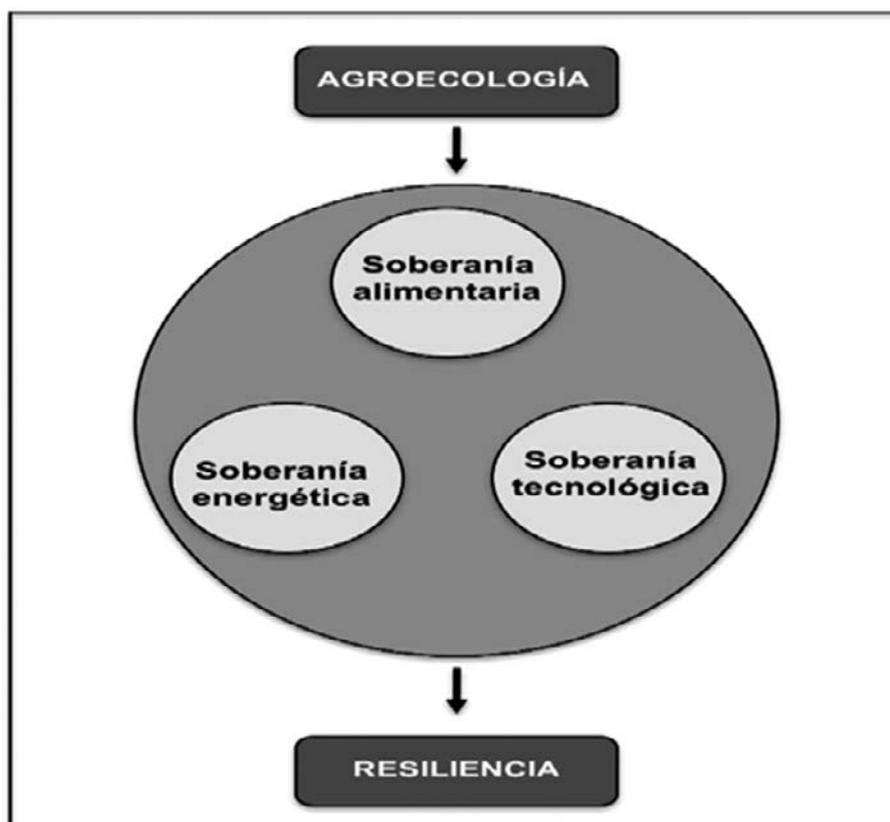


Fig. 2. Agroecología, resiliencia y los tres tipos de soberanías que deben ser impulsados en las comunidades rurales.

Fuente: [Altieri y Toledo, 2011].

Tabla 3. Conceptualización de las diferentes soberanías desde su materialización en una finca familiar

Soberanía	Literatura	Finca familiar
Alimentaria	Derecho de los pueblos a alimentos nutritivos y culturalmente adecuados, accesibles, producidos de forma sustentable y ecológica, y el derecho de decidir su propio sistema alimentario y productivo [FMSA, 2001; Rosset, 2003, 2007]	Producción agroecológica y consumo de la mayor cantidad de alimentos por parte de la familia desde su finca, incluyendo la alimentación animal, en la cual los excedentes se distribuyen cerca del territorio de una manera ecológicamente sostenible y eficiente
Tecnológica	Derecho de los campesinos a producir sin insumos externos, a partir del uso de los servicios ambientales derivados de los agroecosistemas biodiversificados y el manejo de los recursos disponibles a escala local, con la aplicación de tecnologías agroecológicas [Altieri y Toledo, 2011]	Producción eficiente de alimentos y servicios agropecuarios, bajo el diseño y manejo agroecológico, la gestión del conocimiento, la innovación y experimentación campesina Baja o nula utilización de insumos externos y la contextualización de tecnologías apropiadas para el máximo aprovechamiento de las fuentes renovables de energía Disponibilidad de tecnologías y posibilidades de adquisición a nivel local. Acceso permanente a servicios técnicos
Energética	Derecho de personas, cooperativas o comunidades rurales a tener acceso a la energía suficiente dentro de los límites ecológicos [Altieri y Toledo, 2011]	Máxima eficiencia energética haciendo uso de la energía necesaria para la producción agropecuaria proveniente fundamentalmente de las fuentes renovables de energía

En este contexto radica la importancia vital de la valoración de la articulación local y el enfoque participativo como procesos determinantes de la resiliencia socioecológica y de la economía familiar en su conjunto, debido a que una familia campesina, con la tecnología agroecológica apropiada puede ser capaz de autoabastecerse de alimentos y energía, pero no tener vínculos estrechos con la comunidad en el intercambio de conocimientos, bienes o servicios; estar desfavorecida por políticas públicas vigentes o no ser lo suficientemente próspera económicamente y eficiente como para no abandonar el sistema o modelo productivo si aparecen otras opciones que le permitan ventajas mayores, y por estas razones, no estar fundamentada la resiliencia socioecológica en una sociedad rural que dé continuidad a la cultura agroecológica (Fig. 3).

También los medios de vida son considerados elementos cruciales para la resiliencia, pues influyen en la vulnerabilidad o capacidad de adaptación de los sistemas socioecológicos; por tanto, actualmente existen programas internacionales dirigidos a proteger estos medios en las comunidades rurales y menos favorecidas, para incrementar tanto la resiliencia de sus sistemas de producción de alimentos como su capacidad de recuperarse y contrarrestar los efectos de choques externos [Pinto, 2011; FAO, 2013].

Los medios de vida son considerados como las condiciones y bases de sustentación de las personas y sociedades que permiten enfrentar situaciones adversas o críticas, a través de las cuales los hogares cubren sus necesidades y enfrentan situa-

ciones y/o momentos extremos [Pinto, 2011]; estos se encuentran compuestos por un conjunto de recursos que caracterizan y condicionan la capacidad adaptativa de los individuos frente a efectos externos, como el cambio climático (Fig. 4).

En este contexto y ante los desafíos del cambio climático entre otros aspectos se desarrolla en estos momentos el enfoque de la resiliencia socioecológica para determinar la sustentabilidad de los agroecosistemas, incorporando el concepto como la idea de adaptación, aprendizaje, innovación, novedad y auto-organización de los sistemas socioecológicos y su capacidad de recuperación ante situaciones de estrés o cambio [Montalba *et al.*, 2013], perspectiva que resulta adecuada para el estudio de los sistemas agrícolas porque en ellos las interacciones socioecológicas generan reajustes y cambios constantes en sus dinámicas y estructuras, siendo necesario que estas interacciones se ajusten adaptativamente [Montalba *et al.*, 2013; Ríos *et al.*, 2013] (Fig. 5).

La resiliencia y estabilidad de un sistema socioecológico no están determinadas solo por factores bióticos o ambientales, sino que las estrategias humanas de subsistencia y las condiciones económicas pueden ser tan determinantes como los dos primeros elementos mencionados. La caída de los precios, situaciones de mercado y cambios en la tenencia de las tierras, etc., pueden destruir los agroecosistemas tan bruscamente como una sequía, ataques de plagas o el deterioro de los suelos [Hecht, 1999; Zuluaga *et al.*, 2013; Vázquez, 2013a; Turbay *et al.*, 2014; Vázquez y Martínez, 2015].

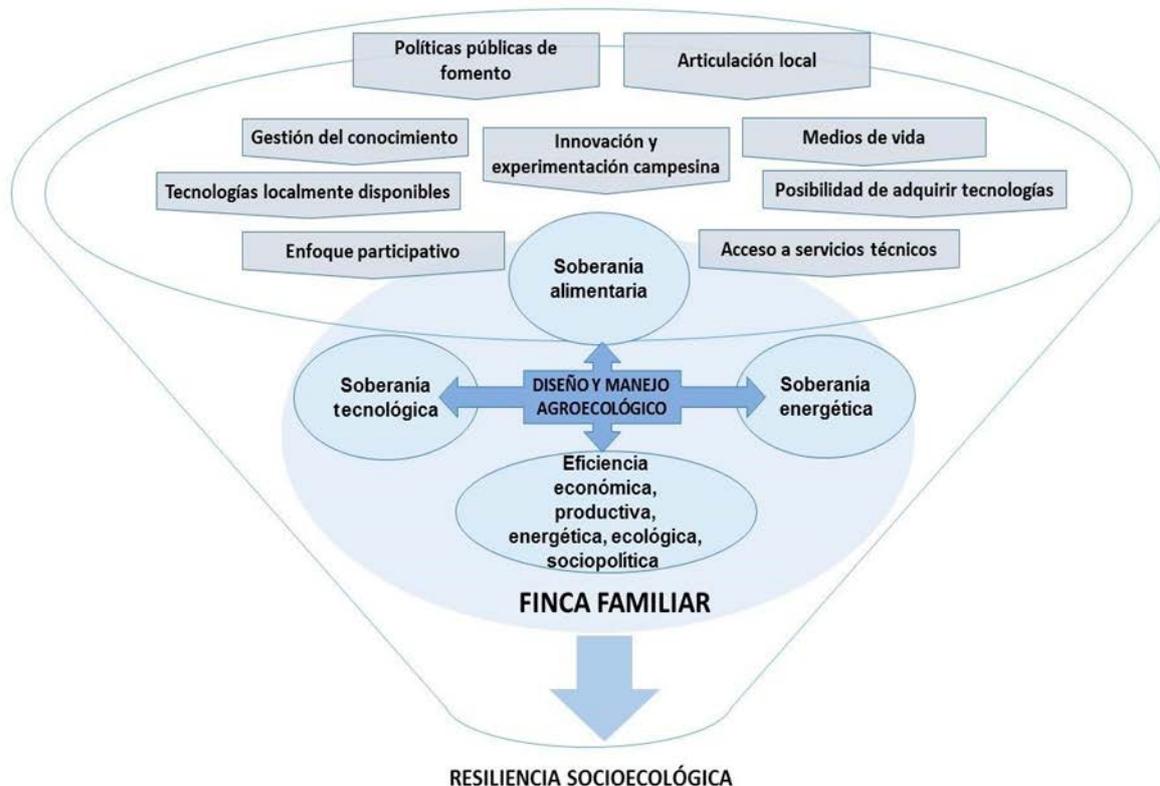


Fig. 3. Aspectos socioculturales, políticos, tecnológicos y de eficiencia determinantes de la resiliencia socioecológica en una finca familiar.

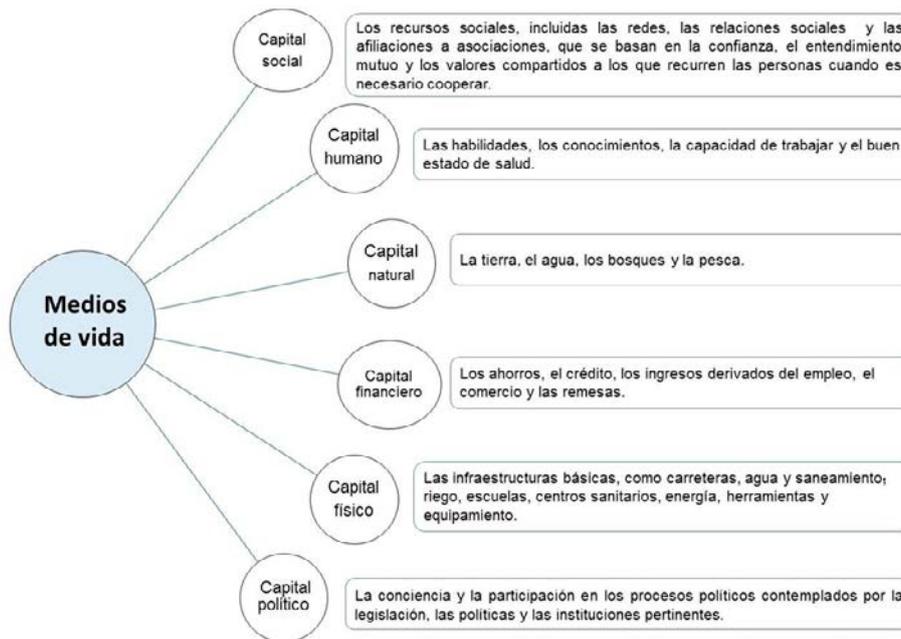


Fig. 4. Seis tipos de activos fundamentales en el enfoque medios de vida.
Fuente: Adaptado de [Pinto, 2011].

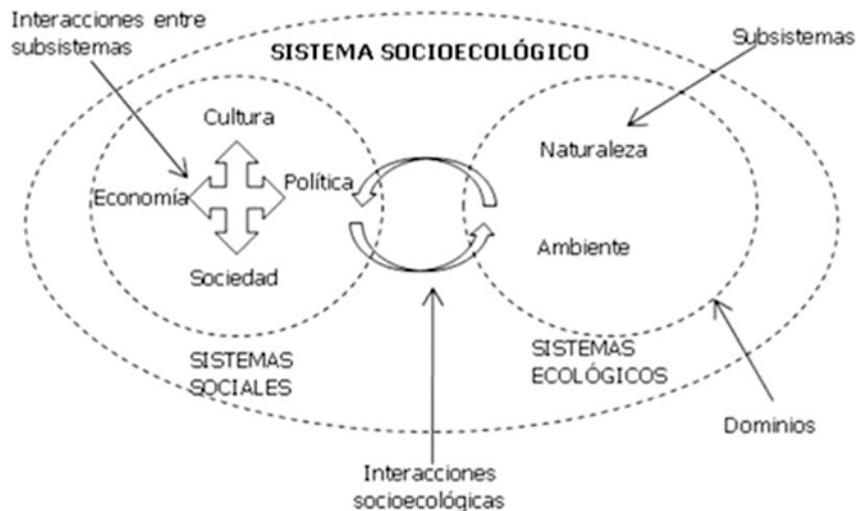


Fig. 5. Sistema socioecológico.
Fuente: [Ríos *et al.*, 2013].

Para la comprensión de la lógica de un sistema socioecológico y sus posibilidades de adaptación es necesario una perspectiva de análisis que no se circunscribe solamente a los límites físicos de una finca o a su dinámica biológico-ambiental; resultan fundamentales otros factores, como la disponibilidad de mano de obra, acceso y condiciones de los créditos, subsidios, riesgos percibidos, acceso a otras fuentes de ingresos [Scott, 1978; 1986; Chambers, 1983; Barlerr, 1984; todos citados por Hecht, 1999], número, estructura y roles de los miembros de la familia campesina, entorno sociopolítico, cercanía a vías principa-

les o a infraestructuras, tales como escuelas, hospitales y en general los medios de vida.

Para que una finca familiar –considerada como sistema socioecológico– pueda considerarse resiliente debe tener la capacidad de alcanzar cambios adaptativos para encontrar diferentes estados posibles y preservar sus atributos esenciales, luego de una perturbación dentro de un régimen socialmente deseable y ecológicamente posible, siendo de esta forma sostenible en el tiempo [Salas *et al.*, 2011].

Esta capacidad de autoorganizarse adaptativamente, que difiere para cada sistema socioecológico, significa

que las actividades humanas se ajustan a las características y dinámicas de los ecosistemas con los que se relacionan y, por lo general, está condicionada por cuatro rasgos comunes [Salas *et al.*, 2011]:

- **Conectividad modular:** Grado en el que los elementos de los sistemas sociales y ecológicos se conectan entre sí.
- **Diversidad:** Rango de opciones que tiene un sistema para responder a una perturbación y continuar con sus procesos cruciales.
- **Mecanismos de retroalimentación:** Son acoplamientos estímulo-respuesta que le permiten al sistema responder en su interior a las perturbaciones y a los efectos de su propio comportamiento [Levin *et al.*, 1998] citado por [Salas *et al.*, 2011].
- **Eficiencia:** Es la capacidad que tiene el sistema de llevar a cabo sus procesos principales sin agotar las fuentes de los recursos de los cuales depende [Fiksel 2003, citado por Salas *et al.*, 2011].

La adaptación tiene límites asociados con factores sociales más que naturales [Wolf *et al.*, 2013; Gordon *et al.*, 2013] e implica ajustes ecológicos, sociales y económicos por parte de los individuos, las comunidades y las instituciones, y un diálogo entre el conocimiento campesino y el científico [Turabay *et al.*, 2014]. Aquellas políticas públicas que fomenten la agricultura familiar con acceso a créditos, estabilidad de mercados justos, circuitos cortos, entre otros, que por esa vía reduzcan la pobreza rural generan resiliencia frente a las situaciones de crisis para las familias campesinas [Turabay *et al.*, 2014]; estos autores reafirman además que «...para construir una capacidad adaptativa efectiva es necesario atacar las causas de la vulnerabilidad y desarrollar políticas que minimicen los riesgos, pues la vulnerabilidad no tiene relación con el clima en sí mismo».

Por tanto, en la agricultura familiar (AF) desde la dimensión social, también desempeñan un papel fundamental los procesos cíclicos de innovación, la creatividad y el carácter proactivo de las familias campesinas que permiten mantener funciones, estructura e identidad, a pesar del cambio incesante e inherente a todo socioecosistema [Vázquez, 2015], pues la adaptación se concretará en contextos socioambientales cambiantes, por lo que las medidas de adaptación serán también específicas para cada grupo en determinados períodos [Zuluaga *et al.*, 2013].

La resiliencia socioecológica en una finca estará dada además por el hecho de que la familia afiance el conocimiento y la cultura de cada espacio predial en el que se desarrolla, permitiéndoles una mayor efectividad en cada proceso de experimentación, innovación o validación de tecnologías; siendo asumida la agroecología como proyecto de vida también por las nuevas generaciones; que opten por seguir el camino de sus antecesores, no solo por ética y convicción, sino porque además les resultará ventajoso desde todos los puntos de vista.

El conocimiento local es acumulativo y dinámico; se basa en las experiencias pasadas, pero se adapta a los cambios tecnológicos y sociales del presente. Por ello los

agricultores poseen una gran capacidad para enfrentar el cambio tecnológico, lo que constituye la base del diseño de sus estrategias de producción.

Si la capacidad de cambio no existiera, difícilmente podrían ajustar su actividad productiva a las permanentes variaciones ecológicas, sociales y económicas del contexto [Marasas *et al.*, 2014]. Por todo ello se considera la importancia de esa cultura intergeneracional que se va enriqueciendo con el pasar de los años de una familia en un mismo lugar, y que desempeña una importancia definitiva en los procesos de innovación, experimentación y transición agroecológica.

Consideraciones finales

La conceptualización agroecológica destaca el importante rol que puede desempeñar esta ciencia, práctica y movimiento social para la sostenibilidad y desarrollo de la agricultura familiar enfocada en la resiliencia socioecológica.

Los aportes conceptuales de este estudio aportan al entendimiento de las soberanías alimentaria, tecnológica y energética en la práctica de la agricultura familiar, así como la extensión de los principios agroecológicos en el contexto sociopolítico y económico.

Bibliografía

- ALTIERI, M. A. Y C. I. NICHOLLS (2010). «Agroecología: Potenciando la agricultura campesina para revertir el hambre y la inseguridad alimentaria en el mundo». *Revista de Economía Crítica* 10: 62-74, 2010.
- ALTIERI, M. A. Y C. I. NICHOLLS (2010). «Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas». M. A. Altieri, C. I. Nicholls y L. R. Ríos, eds. *Agroecología y cambio climático: metodologías para evaluar la resiliencia socioecológica en comunidades rurales*. Medellín: Socla, pp. 7-20, 2013.
- ALTIERI, M. A. Y V. M. TOLEDO (2011). «The Agroecological Revolution of Latin America: Rescuing Nature, Securing Food Sovereignty and Empowering Peasants». *The Journal of Peasant Studies* 38 (3): 587-612, 2011.
- CAPORAL, R. F. (2013). *Agroecología: ciencia para agriculturas más sostenibles*. ALAI. América Latina en Movimiento 487: 6-10, 2013.
- FAO (2013). *Resilient Livelihoods Disaster Risk Reduction for Food and Nutrition Security*. Roma: FAO, 48 pp., 2013.
- GLIESSMAN, S. R. (1998). *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. California: Sleeping Bear Press, 360 pp., 1998.
- GONZÁLEZ DE MOLINA, M. Y F. R. CAPORAL (2013). «Agroecología y política. ¿Cómo conseguir la sustentabilidad? Sobre la necesidad de una agroecología política». *Agroecología* 8 (2): 35-43, 2013.
- GORDON, J.; L. WRIGHT Y J. HOBBS (2013). *Farmer Beliefs and Concerns about Climate Change and Attitudes Toward Adaptation and Mitigation: Evidence of Iowa*. *Climatic Change* 118: 551-563, 2013.
- HECHT, S. B. (1999). «La evolución del pensamiento agroecológico». M. A. Altieri, ed. *Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable*. Montevideo: Nordan-Comunidad, pp. 15-30, 1999.

- LEÓN, T. E. (2014). «De la ciencia agroecológica a la agroecología como sistema de agricultura y como movimiento social». T. E. León, ed. *Perspectiva ambiental de la agroecología: La ciencia de los agroecosistemas*. Bogotá: Kimpres Ltda., pp. 283-373, 2014.
- MARASAS, M.; M. L. BLANDI, N. DUBROVSKY Y V. FERNÁNDEZ (2014). «Tran-sición agroecológica: De sistemas convencionales de producción a sistemas de producción de base ecológica. Características, criterios y estrategias». S. J. Sarandón y C. C. Flores, eds. *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*. La Plata: EDULP, pp. 411-436, 2014.
- MONTALBA, R.; M. GARCÍA, M. A. ALTIERI, F. FONSECA Y L. VIELI (2013). «Utilización del índice holístico de riesgo (IHR) como medida de resiliencia socioecológica en condiciones de escasez de recursos hídricos. Aplicación en comunidades campesinas e indígenas de la Araucanía, Chile». *Agroecología* 8 (1): 63-70, 2013.
- NICHOLLS, C. I.; M. A. ALTIERI Y L. L. VÁZQUEZ (2016). «Agroecology: Principles for the Conversion and Redesign of Farming Systems». *Journal of Ecosystems & Ecography* 5 (1): 1-8, 2016.
- PINTO, M. R. (2011). *Medios de vida y cambio climático*. La Paz: Lidema, 52 pp., 2011.
- PONCE, I.; J. NAHED, M. R. PARRA, N. FONSECA Y F. GUEVARA (2015). «Historical Changes in the Process of Agricultural Development in Cuba». *Journal of Cleaner Production* 96: 77-84, 2015.
- RÍOS, L. A.; W. A. SALAS Y J. A. ESPINOSA (2013). «Resiliencia socioecológica de los agroecosistemas. Más que una externalidad». En: C. I. Nicholls, L. A. Ríos y M. A. Altieri, eds. *Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático*. Medellín: Redagres, Cyted y Socla, pp. 60-76, 2013.
- ROSSET, P. M. (2007). «Mirando hacia el futuro: La Reforma Agraria y la Soberanía Alimentaria». *AREAS. Revista Internacional de Ciencias Sociales* 26: 167-182, 2007.
- ROSSET, P. M.; B. MACHÍN, A. M. ROQUE Y D. R. ÁVILA (2011). «The Campesino-to Campesino Agroecology Movement of ANAP in Cuba». *Journal of Peasant Studies* 38 (1): 161-191, 2011.
- ROSSET, P. M. Y M. E. MARTÍNEZ (2013). «Rural Social Movements and Diálogo de Saberes: Territories, Food Sovereignty, and Agroecology». F. First, ed. *Food Sovereignty: A Critical Dialogue*. International Conference Yale University. New Haven, EE. UU.: Food First/Institute for Food and Development Policy, pp. 1-29, 2013.
- SALAS, W. A.; L. A. RÍOS Y J. ÁLVAREZ (2011). «Bases conceptuales para una clasificación de los sistemas socioecológicos de la investigación en sostenibilidad». *Revista Lasallista de Investigación* 8 (2): 136-142, 2011.
- SUÁREZ, J. (2015). «Producción integrada de alimentos y energía a escala local en Cuba: bases para un desarrollo sostenible». *Pastos y Forrajes* 38 (1): 3-10, 2015.
- TITTONELL, P. (2013). «Hacia una intensificación ecológica de la agricultura para la seguridad y soberanía alimentaria mundial». *Ae* 14: 10-14, 2013.
- TOLEDO, V. M. (2012). «La agroecología en Latinoamérica: tres revoluciones, una misma transformación». *Agroecología* 6: 37-46, 2012.
- TURBAY, S.; B. NATES, F. JARAMILLO, J. J. VÉLEZ, Y O. L. OCAMPO (2014). «Adaptación a la variabilidad climática entre los caficultores de las cuencas de los ríos Porce y Chinchiná, Colombia». *Investigaciones Geográficas* 85: 95-112, 2014.
- VAN DER PLOEG, J. D.; C. LAURENT Y F. BLONDEAU (2009). «Farm Diversity, Classification Schemes and Multifunctionality». *Journal of Environmental Management* 90 (2): 124-131, 2009.
- VÁZQUEZ, L. L. (2015). «Diseño y manejo agroecológico de sistemas de producción agropecuaria». *Sembrando en Tierra Viva. Manual de Agroecología*. La Habana: Proyecto Tierra Viva, pp. 133-160, 2015.
- WEZEL, A.; S. BELLON, T. DORÉ, C. FRANCIS, D. VALLOD, Y C. DAVID (2009). «Agroecology as a Science, a Movement and a Practice». *Agronomy Sustainable Development* 29 (4): 503-515, 2009.
- WOLF, J.; I. ALLICE, Y T. BELL (2013). «Values, Climate Change and Implications for Adaptation: Evidence from Two Communities in Labrador, Canada». *Global Environmental Change* 23 (2): 548-562, 2013.
- ZULUAGA, G. P.; A. L. RUIZ, Y E. C. MARTÍNEZ (2013). «Percepciones sobre el cambio climático y estrategias adaptativas de agricultores agroecológicos del municipio de Marinilla, Colombia». C. I. Nicholls, L. A. Ríos y M. A. Altieri, eds. *Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático*. Medellín: Redagres, Cyted y Socla, pp. 43-59, 2013.

El Arca del Gusto de Cuba, una opción hacia la sostenibilidad alimentaria y ambiental

Por **M. Sc. Madelaine Vázquez Gálvez***

*Sociedad Cubana para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental, Cuba.
Email: madelaine@cubasolar.cu

Resumen

El Arca del Gusto es un catálogo de productos que pertenecen a la cultura y a las tradiciones de todo el mundo, los cuales se encuentran de algún modo amenazados, tanto desde el punto de vista biológico como cultural. El trabajo presenta el estado del arte de este proyecto en Cuba, liderado por la organización Slow Food International (SFI), con sede en Italia. En el caso de Cuba, desde 2012 comenzó a funcionar la Comisión Nacional del Arca, organizada por la Universidad Agraria de La Habana, el Centro de Desarrollo Agrario (Cedar), la Asociación Cubana de Producción Animal (ACPA) y varias fincas agroecológicas. Actualmente el grupo de trabajo es mucho más amplio, los cuales de manera voluntaria recogen las experiencias anteriores y trabajan por la catalogación de nuevos productos con la metodología orientada por (SFI). Se aplicó la metodología establecida, que regula los procesos de selección y argumentación. Los productos catalogados son especies vegetales, razas animales y productos transformados, representantes de la rica biodiversidad alimentaria de Cuba. Se presentan los resultados, con un total de 37 productos, aprobados por la comisión internacional creada al efecto y 15 en proceso. El trabajo llama la atención sobre la necesidad de la salvaguarda de los recursos alimentarios y las tradiciones de consumo, con un enfoque hacia la sostenibilidad.

Palabras clave: Especies vegetales, razas animales, productos transformados, sostenibilidad alimentaria.

The ark of taste of Cuba, an option for the food and environment sustainability

Abstract

The Ark of Taste is a catalog of products that belong to the culture and traditions of all nations, which are in some way threatened, both from a biological and cultural point of view. The work presents the state of the art of this project in Cuba, led internationally by the Slow Food organization (SFI), based in Italy. In the case of Cuba, since 2012, the National Commission of the Ark began to operate, organized by the Agrarian University of Havana, the Center for Agrarian Development (Cedar), the Cuban Association of Animal Production (ACPA) and several agro ecological farms. Currently the working group is much broader, which voluntarily collect the previous experiences and work for the cataloging of new products with the methodology guided by SFI. The established methodology was applied, which regulates the selection and argumentation processes. The cataloged products are vegetal species, animal races and transformed products, representatives of the rich alimentary biodiversity of Cuba. The results are presented, with a total of 37 products approved by the international commission, and 15 in process. The work draws attention to the need to safeguard food resources and consumer traditions, with a focus on sustainability.

Keywords: Vegetable species, animal breeds, processed products, food sustainability.

Introducción

El Arca del Gusto es un catálogo de productos que pertenecen a la cultura y a las tradiciones de todo el mundo, los cuales se encuentran de algún modo amenazados, tanto desde el punto de vista biológico como cultural. A bordo del Arca suben especies vegetales y animales, pero también alimentos transformados, como quesos, embutidos, bebidas, panes y dulces. El Arca del Gusto es un proyecto coordinado por Slow Food International.

Slow Food International (SFI), con sede en Italia, agrupa a más de 160 países con más de un millón de activistas, como cocineros, expertos, jóvenes, productores, pescadores y académicos. Es un movimiento internacional sin ánimo de lucro, creado en 1989, que se contrapone a las políticas de las transnacionales del alimento, y al fastfood como su manifestación más notable, cuyas acciones afectan la salud humana y planetaria. También se opone a la estandarización del gusto y promueve la difusión de una nueva filosofía del comer, operando por la salvaguarda de las tradiciones gastronómicas regionales, con sus productos y métodos de cultivo.

En particular, en octubre de 2012 Slow Food, en su Congreso internacional celebrado en la ciudad de Turín, Italia, destacó que el proyecto del Arca del Gusto devenía instrumento fundamental para la salvaguarda de los recursos naturales del planeta, las tradiciones y los saberes ancestrales. El Arca exhibe ya en estos días cerca de 5000 productos nominados por más de 140 países, y existen razones para pensar que sus «pasajeros» se puedan duplicar o triplicar en 2019. Muchas entidades, organizaciones y personas de la red de Slow Food de todo el mundo colaboran con este noble proyecto. En la web de la Fundación Slow Food para la Biodiversidad está ya disponible un nuevo formulario de nominación simplificado como base para el incremento de valiosas propuestas (<http://www.fondazioni-slowfood.com>). Slow Food decide incluir un producto en el catálogo del Arca del Gusto para indicar que hay que protegerlo y valorizarlo. El Arca solo señala que el producto está en peligro y no entraña ningún juicio añadido ni aprobación alguna de su sistema de producción.

En el caso de Cuba, desde 2012 comenzó a funcionar la Comisión Nacional del Arca, liderada por la Universidad Agraria de La Habana, el Centro de Desarrollo Agrario (Cedar), la Asociación Cubana de Producción Animal (ACPA) y varias fincas agroecológicas. Actualmente el grupo de trabajo es mucho más amplio, cuyos miembros, de manera voluntaria, recogen las experiencias anteriores y trabajan por la catalogación de nuevos productos con la metodología orientada por SFI. En la actualidad, el Movimiento de Alimentación Sostenible (MAS) de la Sociedad Cubana para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental, Cubasolar, coordina este proceso. El estado actual de los productos cubanos aprobados por la Comisión Internacional asciende a 37, y a 15 los que están en proceso de catalogación.

En los inicios fueron nominados seis productos: pru oriental, canistel, marañón, frijol caballero, caimito y chayote. Campesinos, productores, académicos, chefs, diversos especialistas, cocineros y cocineras de Cuba se unen a este encomiable objetivo.

El número de productos catalogados ha ido en aumento y se incluyen especies pertenecientes a la fauna endémica de Cuba, como la jutía conga y el tetís de Baracoa. Se suman otros elaborados de modo artesanal, como el casabe (alimento de la dieta aborígen cubana), las bolas de cacao de Baracoa y los buñuelos matanceros. Algunos productos pecuarios introducidos en el país desde su etapa colonial, como el cerdo criollo, el conejo pardo y la gallina de guinea también engrosan este listado. No pueden faltar los productos agrícolas y frutas con propiedades nutricionales y medicinales, como el marañón, frijol gandul, frijol caballero, chayote; plátanos Johnson, verdín, indio, burro y manzano; malanga morada, mangos Toledo y bizcochuelo, anón rojo, limón criollo, mamey amarillo, caña Media Luna; jaguay, el fruto del árbol del pan, entre otros. El vino de marañón, la chicha y el aliño son bebidas tradicionales que enriquecen esta iniciativa.

El Arca del Gusto en Cuba atraviesa por un buen momento de expansión y de reconocimiento, pero el camino es largo y faltan aún muchos productos por ser propuestos o aprobados. Como proyecto continuador se crearon los Baluartes, que permiten la concreción de salvaguarda de estos productos.

Materiales y métodos

El Comité Ejecutivo internacional ha encargado a la Fundación Slow Food para la Biodiversidad Onlus (organismo técnico de Slow Food Internacional), que desarrolle y coordine el proyecto del Arca del Gusto, recurriendo a un Comité Técnico Internacional, a la Universidad de Ciencias Gastronómicas de Pollenzo y a comisiones locales (nacionales, regionales u otros organismos reconocidos).

Para la catalogación de los productos se estableció una metodología de trabajo que sirve de base a la ficha de propuesta (Anexo 1). Una vez llenada la ficha del producto, esta se analiza por la Comisión Nacional/Regional. Luego se envía al Comité Técnico Internacional, que valora su aprobación. Si se necesitan más argumentos o datos, esta última los pide nuevamente al país que propone el producto [Fundación..., 2013], y lo somete a su aprobación.

El Arca nace para señalar la existencia de estos productos y denunciar el riesgo de su desaparición; asimismo, invita a todos a hacer algo para salvaguardarlos, buscarlos, comprarlos, comerlos y describirlos, para así ayudar a los productores y, en algunos casos (cuando los productos son especies silvestres en peligro de extinción), tutelarlos y favorecer su reproducción.

El objetivo del Arca no es crear un banco de semillas, una recolección de germoplasma ni un museo donde exponer los conocimientos tradicionales, sino redescubrir estos recursos y valorarlos. Para la continuidad del proyecto se crearon los Baluartes, proyecto nacido en Italia en el 2000 y en el mundo en el año 2002, que tiene como objetivo tutelar a los pequeños productores y defender los productos artesanales de calidad, así como garantizar un futuro a las comunidades locales a través de la organización de los productores, de la búsqueda de nuevas oportunidades de mercado, de la promoción y de la valorización de sabores y territorios.

Requisitos

1. Productos excelentes desde el punto de vista organoléptico. La calidad del producto es definida por las utilidades y las costumbres locales.
2. Productos ligados a la memoria y a la identidad de un grupo, y pueden englobar: especies domésticas (variedades vegetales, ecotipos, razas y poblaciones autóctonas); especies silvestres (solo si están vinculadas a técnicas de recolección, transformación y usos tradicionales) y productos transformados. Estos últimos se elaboran con productos locales.
3. Productos y productores están ligados a un territorio desde el punto de vista ambiental, socioeconómico e histórico.
4. Productos realizados en cantidades limitadas, desde grupos familiares de productores u organizaciones de pequeña escala.
5. Los productos han de estar en peligro de extinción, real o potencial.

De forma general, los pasos para la evaluación de los productos han sido:

1. Identificación del producto acorde a los requisitos establecidos.
2. Descripción de sus características etnobotánicas, biológicas y antropológicas.
3. Caracterización de su área de producción.
4. Entrevista a los productores para conocer aspectos relacionados con su cultivo, costumbres locales, recetas, formas de consumo y amenazas, entre otros.
5. Llenado de la ficha.
6. Envío a la Comisión Nacional para su análisis.
7. Envío al Comité Técnico Internacional.
8. Aprobación o rechazo.

Durante cinco años de trabajo la Comisión Nacional del Arca del Gusto de Cuba ha logrado catalogar más de 50 productos, 37 de los cuales ya han sido aprobados y 15 se encuentran en proceso de evaluación. Para ello se realizaron las indagaciones pertinentes en sus lugares de reproducción y/o elaboración; se aprecia una variada gama de productos, que incluyen vegetales, razas animales y productos transformados (Cuadro 1).

Cuadro 1. Productos evaluados por el Arca del Gusto de Cuba

No.	Nombre del producto	Clasificación
<i>Productos aprobados por el Comité Internacional</i>		
1.	Abejas meliponas	Raza animal
2.	Aliño	Bebida fermentada
3.	Anón	Fruta
4.	Anón rojo	Fruta
5.	Bolas de cacao, de Baracoa	Cacao
6.	Buñuelo matancero	Cereales y harinas
7.	Caimito	Fruta
8.	Calabaza china	Hortaliza
9.	Canistel	Fruta
10.	Caña Media Luna	Gramínea

No.	Nombre del producto	Clasificación
11.	Casabe	Cereales y harinas
12.	Cerdo criollo	Raza animal
13.	Chayote	Hortaliza
14.	Chicha	Bebida fermentada
15.	Chirimoya	Fruta
16.	Conejo pardo cubano	Raza animal
17.	Frijol caballero	Legumbre
18.	Frijol gandul	Legumbre
19.	Fruto del árbol el pan	Fruta
20.	Gallina guinea	Raza animal
21.	Jagua	Fruta
22.	Jutía conga	Raza animal
23.	Limón criollo	Fruta
24.	Malanga morada	Tubérculo
25.	Mamey amarillo	Fruta
26.	Mango bizcochuelo	Fruta
27.	Mango Toledo	Fruta
28.	Marañón	Fruta
29.	Papa romano	Tubérculo
30.	Plátano burro manzano	Fruta
31.	Plátano indio	Fruta
32.	Plátano Johnson	Fruta
33.	Plátano verdín	Fruta
34.	Pru oriental	Bebida fermentada
35.	Queso Nabacoa	Quesos
36.	Tetís	Raza animal
<i>En proceso de análisis y/o aprobación</i>		
1.	Anacahuita	Fruta
2.	Cidra	Fruta
3.	Conejo semigigante blanco	Raza animal
4.	Guagüí	Tubérculo
5.	Guayabita del Pinar	Bebida fermentada
6.	Jutía carabalí	Raza animal
7.	Limón mandarina	Fruta
8.	Miel de la tierra	Mieles
9.	Ñame	Tubérculo
10.	Oreganillo	Planta aromática
11.	Pan de maíz matancero	Cereal
12.	Plátano manzano	Fruta
13.	Raspadura	Conserva vegetal
14.	Vinagre de piña	Vinagre
15.	Limón chivo	Fruta

Conclusiones

Se han procesado más de 50 productos, de ellos 37 están aprobados a nivel internacional, los cuales reflejan la amplia diversidad alimentaria de Cuba. De ellos:

Frutas: 16
 Bebidas fermentadas: 4
 Raza animal: 5
 Cereales y harinas: 2
 Tubérculos: 2
 Hortalizas: 2
 Legumbres: 2
 Gramíneas: 1
 Cacao: 1
 Quesos: 1
 Vinagre: 1

Se prevé aumentar a 80 el número de productos catalogados. El Arca del Gusto Internacional tiene como continuidad natural la creación de Baluartes, iniciativa de Slow Food International (SFI), que consiste en la identificación y monitoreo de los territorios que protegen dichos productos.

El Arca del Gusto promueve la salvaguarda de miles de productos amenazados por la acción de las grandes transnacionales del alimento, las cuales agreden la sostenibilidad alimentaria y el paladar histórico de los pueblos. Sin

duda es un intento más para detener el cambio climático y propiciar la salvaguarda de los recursos alimentarios del planeta.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración de los colegas que de manera voluntaria hacen posible la construcción del Arca del Gusto de Cuba. En primer lugar a Yaquelín Herrera Valdés, responsable de la Comisión Nacional, así como al resto de los autores de las fichas nominadas.

Bibliografía

- CARSON, RACHEL (1962). *Primavera silenciosa*.
- CASIMIRO RODRÍGUEZ, LEIDY, JOSÉ ANTONIO CASIMIRO GONZÁLEZ Y JESÚS SUÁREZ HERNÁNDEZ (2017). *Resiliencia socioecológica de fincas familiares en Cuba*. Matanzas: Ed. Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey. Cuba. 254 pp. ISBN: 978-959-7138-29-7.
- FUNDACIÓN SLOWFOOD PARA LA BIODIVERSIDAD (ONLUS) (2013). «Reglamento del Arca del Gusto». Consultado en <https://www.slowfoodfoundation.com/ark>
- POLLAN, MICHAEL (2011). *El dilema del omnívoro*. Cuadernos Mugaritz de gastronomía.
- ROIG Y MESA, J. T. *Diccionario botánico de nombres vulgares cubanos*. La Habana: Ed. Científico Técnica. Tercera reimpresión, 1988.

Anexo 1. Ficha de candidatura de El Arca del Gusto

1. Nombre del producto:

2. Categoría alimentaria:

Aceites

- Cacao
- Café
- Cepas de uva
- Cereales y harinas
- Conservas de pescado
- Conservas vegetales
- Destilados
- Dulces
- Embutidos y productos cárnicos
- Fruta fresca
- Hortalizas
- Insectos
- Legumbres
- Miel y productos de la colmena
- Mostos y bebidas fermentadas
- Panes y productos salados de horno
- Pastas
- Pescado
- Quesos y productos lácteos
- Razas animales
- Sal
- Té
- Vinagre
- Vino
- Yervas aromáticas y especias

Otra categoría:

3. Descripción breve:

4. Área histórica de producción/conexiones con grupos e identidades locales:

5. ¿El producto sigue elaborándose en el área histórica de producción?

6. ¿El producto se encuentra actualmente en el comercio?

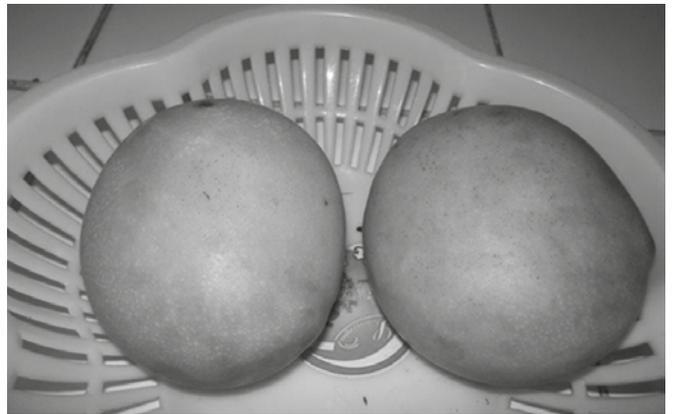
7. Si se encuentra, ¿en qué cantidad?

8. Nombre y apellidos de los contactos locales relevantes:

9. Nombre y dirección de contactos relevantes:

Bibliografía (opcional):

Anexos y fotos:



Peligros, vulnerabilidades y riesgos en parques fotovoltaicos

Por Dr. C. Rafael Martínez Silva*

*Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca
martinez@upr.edu.cu

Resumen

El sol nos da cada día la energía equivalente a 0,5 L de petróleo en cada metro cuadrado de la isla; si calculamos la cantidad para 110 mil kilómetros cuadrados que tiene Cuba, llegamos a la conclusión que el país recibe diariamente en energía solar el equivalente a 55 millones de toneladas de petróleo. Es evidente que esta energía se necesita utilizar para el desarrollo del país, lo que implica la construcción de parques fotovoltaicos, los cuales emplean paneles solares que transforman la energía solar en electricidad y tienen como peligro más inminente la ocurrencia de ciclones cuya categoría puede llegar a cinco en la escala Saffir Simpson. La instalación de paneles solares que permitan su utilización más eficiente y al mismo tiempo sean menos vulnerables a los ciclones tropicales constituye el problema que se debe resolver.

Palabras clave: Parque solar fotovoltaico, peligro, vulnerabilidad y riesgos.

Hazards, vulnerabilities and risks in solar farms

Abstract

The sun gives us every day the energy equivalent of 0.5 liters of oil on each square meter of the island, if we calculate the quantity for 110 thousand square kilometers that has Cuba, we came to the conclusion that the country receives in solar energy the equivalent daily to 55 million tons of oil. It's evident that he needs to use it said developmental energy of the country. This implicates the construction of photovoltaic parks which use solar panels that turn the solar energy into electricity and they have like more imminent danger the funny remark of cyclones whose category can come to five in the scale Saffir Simpson. The installation of solar panels that enable her most efficient utilization and at the same time are less vulnerable to the tropical cyclones constitutes the problem to take a resolution.

Keywords: Solar photovoltaic farm, hazards, vulnerabilities and risks.

Introducción

Para la Agenda 2030 relacionada con el desarrollo sostenible se plantea en su objetivo No. 9 desarrollar las innovaciones [ONU, 2015].

El desarrollo sostenible lleva implícito la preservación del medioambiente y es debido a esto que en los sectores priorizados para el quinquenio 2016-2021 el Partido Comunista de Cuba haya priorizado la utilización de las fuentes renovables de energía [Lineamientos, 2016].

Considerando la distancia que separa al Sol de la Tierra, la proporción de energía radiante que recibe nuestro planeta con respecto al total emitido por el sol es de apenas una mi-

lésima parte por millón, pero aun así, a la Tierra llegan 1,5 x 10¹⁸ kWh/año, cantidad que equivale a varios miles de veces la energía que utiliza toda la humanidad [Sarmiento, 2016].

El desarrollo de la energía fotovoltaica implica la construcción de «parques» que conectados al Sistema Nacional pueden constituir una importante ayuda para la sociedad cubana.

Los «parques» tienen como inconvenientes que en países, como Cuba, donde son frecuentes los huracanes tropicales su estructura se manifiesta vulnerable y es preciso trabajar en ellas. Por tanto, «La instalación de paneles solares que permitan su utilización más eficiente y al mismo tiempo sean lo menos vulnerables a los ciclones tropicales consti-

tuye el problema que hay que resolver». Para la solución de este problema se desarrollaron las tareas siguientes:

1. Influencia de los ciclones tropicales.
2. Prototipo de estructura variante.
3. Análisis de cimentación de las mesas en los sistemas fotovoltaicos.

1. Influencia de los ciclones tropicales [Villazón, 2017].

En la solución del problema se utilizó el Método de Gumbel para un período de 166 años (Tabla 1).

Tabla 1. Probabilidad y período de retorno de los ciclones tropicales en el extremo occidental de Cuba

Categoría	km/h	Cantidad	Período de retorno (años)	Probabilidad anual	Probabilidad en 25 años (%)
SS1	119-153	14	11,9	0,084	88,9
SS2	154-177	10	16,6	0,060	78,8
SS3	178-208	5	33,2	0,030	53,4
SS4	209-251	8	20,8	0,048	70,8
SS5	252 o mayor	1	166,0	0,006	14,0
≥SS3	≥ 178	14	11,9	0,084	88,9
Cualquiera	≥ 119	38	4,4	0,229	99,8

Según la norma internacional de fabricación de paneles solares (NC IEC 61215) adoptada en Cuba, las superficies frontal y trasera del módulo deben resistir una presión de 2400 pascal aplicada uniformemente, la cual corresponde a una presión de viento de 130 km/h (\cong 800 pascal), con un factor de seguridad de tres para las ráfagas de viento. Para los sistemas fotovoltaicos los valores de resistencia al viento dados por los fabricantes corresponden, generalmente, a velocidades de 150 a 160 km/h.

Es evidente que para la escala Saffir-Simpson (SS) y tomando en cuenta lo expresado en la Norma, se está anualmente en peligro de la ocurrencia de un ciclón tropical.

2. Prototipo de estructura variante [García, 2017].

Una estructura de este tipo se emplea en las obras subterráneas en aquellos lugares donde la presión minera no se estabiliza aumentando su intensidad. La estructura pierde su forma, pero no su capacidad portante [Martínez, 2000].

Tal idea se utiliza para la construcción de la que se propone en este epígrafe y disminuir la vulnerabilidad del parque.

Se necesita además utilizar el «ángulo más eficiente» en que debe inclinarse con relación a la incidencia del sol, y para ello se empleó el propuesto, que coincide con la latitud del lugar (Fig. 1).

En este caso, para una región con latitud 20° se observa que la inclinación que logra mayor captación de energía solar es la que coincide con la latitud del lugar. También se aprecia que para desviaciones de $\pm 10^\circ$ (inclinaciones de 10° y 30°), las

disminuciones relativas de la captación anual corresponden aproximadamente con 0,5 % y 2,0 %, respectivamente.

Con relación a la influencia del azimut (para inclinación constante e igual a la latitud del lugar), se aprecia que para el sitio del ejemplo, con inclinación de 20° para los receptores, existe una reducida influencia de las variaciones del azimut en la captación anual, ya que una desviación de $\pm 10^\circ$ en el azimut solo produce una disminución en la captación del orden de 1 % [Sarmiento, 2016].

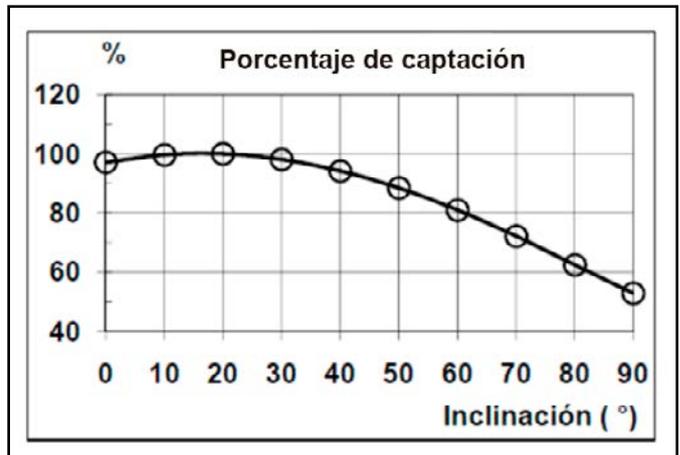


Fig. 1. Captación contra inclinación óptima.

El ángulo para Cuba es de 20° norte al encontrarse esta entre los 20° y 23° de latitud norte, como se observa en la Figura 2.



Fig. 2. Posición de trabajo (superior) y de seguridad (inferior).

3. Análisis de cimentación de las mesas en los sistemas fotovoltaicos [Borges, 2017].

Es necesario que la mesa pueda colocarse de forma tal que en posición de trabajo y de seguridad (ver Figs. 2 y 3) la zapata sirva de «pantalla» para evitar la penetración del viento, actuando en sentido vertical hacia arriba.

Además, la tecnología constructiva debe ser sencilla, adaptarse a cualquier tipo de suelo y que propicie mecanizar su construcción.

Para tal objetivo se utiliza el esquema de la Figura. 3.

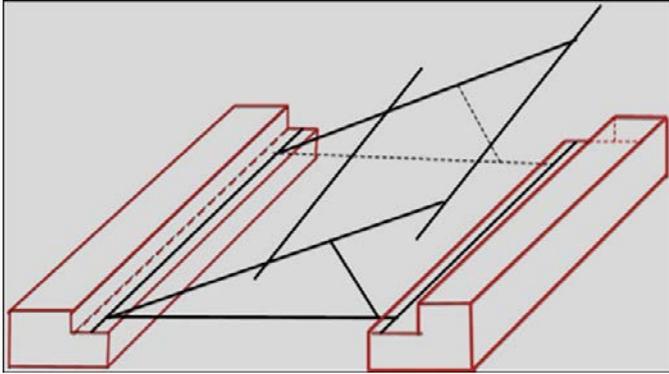


Fig. 3. Posición de la estructura en la zapata de cimentación.

Conclusión

El prototipo construido satisface las exigencias y debe someterse a prueba.

Recomendación

Continuar el trabajo de «maniobrabilidad» de la estructura para mejorar el tiempo en su posición de trabajo.

Agradecimientos

Para la realización del trabajo se agradece a: Rafael Martínez Silva, Roxana Villazón Denis, Daniel García Borrego, Olga Leivy Borges Castillo, Nilo Cecilia Simón, Francisco Lorenzo González, Juan Carlos Guzmán Canda, Yovany Hernández Hernández, Alberto Pérez Govea, José Antonio García Gutiérrez, Ángel René Díaz Deulofeu, Carlos R. Rosa Saavedra, Juan Ramón Acosta Vento, Jesús Hernández Azcuy y José Carlos Valdés Fernández.

Bibliografía

- BORGES CASTILLO, O. L. (2017). «Peligro, vulnerabilidad y riesgos (PVR) en los parques fotovoltaicos en la región occidental de Cuba (influencia de los ciclones tropicales)». Tesis en opción al título de ingeniero geólogo 2017. Universidad de Pinar del Río, Cuba.
- GARCÍA BORREGO, D. (2017). «Prototipo de estructura variante para soportes de sistemas fotovoltaicos». Tesis en opción al título de ingeniero mecánico. 2017. Universidad de Pinar del Río, Cuba.
- LINEAMIENTOS VII CONGRESO DEL PARTIDO COMUNISTA DE CUBA (2016). La Habana.
- MARTÍNEZ SILVA, R. (2000). «Construcciones subterráneas». Premio Anual de la Academia de Ciencias de Cuba, Universidad de Pinar del Río. Cuba.
- ORGANIZACIÓN DE NACIONES UNIDAS, (2015). «Septuagésimo período de sesiones de la Asamblea General. Temas 15 y 116 del Programa *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible*».
- SARMIENTO SERA, A. (2016). *Energía solar fotovoltaica*. C.d.E.d.T. Energéticas and R. (Ceter), Editors. La Habana, Cuba.
- VILLAZÓN DENIS, R. (2017). «Peligro, vulnerabilidad y riesgos (PVR) en los parques fotovoltaicos en la región occidental de Cuba (influencia de los ciclones tropicales)». Tesis en opción al título de ingeniero geólogo 2017. Universidad de Pinar del Río, Cuba.

Cálculo de la distancia entre filas de paneles solares fotovoltaicos

Por **Dr. C. Luis Bérriz Pérez*** y **Lic. Manuel Álvarez González****

*Sociedad Cubana para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental, Cubasolar.
berriz@cubasolar.cu

**Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía.
malvarez@cubaenergia.cu

Resumen

Las ecuaciones desarrolladas en este artículo sirven para determinar el valor óptimo de la potencia de una instalación solar fotovoltaica situada en un terreno determinado, tal como en la azotea de una nave o casa, así como en un lugar abierto sin límite de espacio.

En el artículo se demuestra la importancia de diferentes variables con relación al distanciamiento óptimo de los paneles solares.

Gran importancia tiene el estudio sobre el uso de los paneles fotovoltaicos, como techos de naves industriales y de almacenes, tanto para la optimización del uso de los techos como para la protección de las instalaciones contra los huracanes.

Palabras clave: Fuentes renovables de energía, energía solar, energía fotovoltaica.

Calculation of the distance between rows of photovoltaic solar panels

Abstract

The equations developed in this article are used to determine the optimum value of the power of a photovoltaic solar installation located in a certain land such as on the roof of a house or house, as well as in an open place with no space limit. The article demonstrates the importance of different variables in relation to the optimal distancing of solar panels. The study on the use of photovoltaic panels as roofs of warehouses and industrial warehouses is of great importance both for the optimization of the use of roofs and for the protection of facilities against hurricanes.

Keywords: Renewable sources of energy, solar energy, photovoltaic energy.

Introducción

Cada día adquiere mayor importancia la producción de electricidad con paneles solares fotovoltaicos. La disminución de los costos de los módulos fotovoltaicos, el mejoramiento de la calidad de los inversores y equipos de control de los sistemas solares, la introducción de innovaciones con la consecuente disminución de los costos de las bases portadoras de los paneles fotovoltaicos y la posibilidad tecnológica del uso de diferentes sistemas de acumulación de energía –tanto de electricidad como de calor y frío– han hecho posible el desarrollo de sistemas de producción de elec-

tricidad con recursos locales, en este caso el sol como fuente de energía.

Factores tales como el conocimiento de las posibilidades de uso de las fuentes renovables locales de energía, acompañado con el desarrollo de tecnologías que hacen posible su aprovechamiento económico y en primer lugar la necesidad de lograr la independencia energética en el más corto plazo han cambiado la política energética nacional, orientándola hacia la consecución del verdadero desarrollo sostenible.

En cuanto a los sistemas solares, existen diferentes criterios para la colocación de los paneles fotovoltaicos en instalaciones productoras de electricidad. Uno de ellos selecciona el día del solsticio de invierno al mediodía para definir el distanciamiento. Otro define una altura mínima del sol sobre el horizonte para empezar su aprovechamiento. Un tercero optimiza la producción de electricidad en el año. Pero en todo caso es imprescindible conocer la trayectoria solar para poder definir la sombra de los objetos obligatorios y los paneles de una fila sobre la superficie horizontal y determinar, según un criterio preestablecido, la distancia que debe tener la segunda línea de paneles solares con relación a la primera.

El conocimiento de la sombra de los paneles sobre el plano horizontal donde están situados es un factor muy importante, ya que influye notablemente en la producción de electricidad, aunque la sombra sea muy pequeña por efecto del corte del circuito eléctrico.

Existen varios factores que determinan la colocación de los paneles solares sobre determinada superficie para la producción de electricidad. En este trabajo se relacionan exclusivamente el factor de la trayectoria solar y la importancia de la sombra del panel sobre los paneles contiguos en dependencia del lugar, la época del año, la disponibilidad del terreno, la inclinación de los paneles sobre el horizonte, la influencia del ángulo de azimut de los paneles solares, la hora de día, y el ángulo de altura del sol sobre el horizonte. Otros factores no se consideran.

La sombra de los paneles solares fotovoltaicos

En el diseño de una instalación solar fotovoltaica es importante conocer la sombra que da cada módulo fotovoltaico, y en general el panel sobre el terreno para poder determinar la colocación más conveniente de los demás módulos fotovoltaicos y optimizar la producción de electricidad, en dependencia del terreno de que se disponga. Esto es muy importante principalmente cuando se emplean los techos de los edificios, los cuales están limitados y tienen distintas orientaciones.

En la Figura 1 se puede apreciar la sombra de un panel fotovoltaico de 5 m de largo por 2 m de ancho, compuesto por cinco módulos de 2 m de largo por 1 m de ancho cada uno, colocado en un plano horizontal con una orientación hacia el sur con un ángulo de inclinación de 15 grados en La Habana (con 23 ° de latitud norte). La sombra se aprecia en

cinco momentos diferentes de un día de solsticio de invierno (21 de diciembre), a las 7:00 y 8:00 a.m., a las 12:00 m. y a las 4:00 y 5:00 p.m., todo en horario solar.

En este día de solsticio se observa una diferencia muy grande entre la sombra de las 7:00 y las 8:00 a.m. igual que por la tarde de 4:00 a 5:00. Algo muy diferente ocurre en los días alejados del solsticio de invierno.

En la Figura 2 se puede apreciar la sombra que da el mismo panel fotovoltaico en un día de equinoccio. Es evidente que la situación crítica se da en el solsticio de invierno. En los equinoccios la sombra del panel sobre la superficie horizontal es muy reducida en el horario desde las 7:00 a.m. hasta las 5:00 p.m. hora solar.

En verano, como se puede apreciar en la Figura 3, las sombras del panel están en todo momento en la zona debajo del panel, por lo que no provoca ningún efecto negativo.

Los parques solares fotovoltaicos se sitúan normalmente en la dirección norte-sur, y específicamente en Cuba orientados hacia el sur con un ángulo de inclinación α que se suele escoger 15 grados en los sistemas incorporados a la red nacional para asegurar la autolimpieza. En algunos sistemas aislados se recomienda una altura α igual a 30 grados para garantizar la electricidad en invierno. Pero puede darse el caso de azoteas que no estén orientadas hacia el eje norte-sur, sino que tengan un ángulo de azimut γ con relación al sur local. En este caso también es necesario conocer la sombra de los paneles sobre el techo en dependencia del ángulo de azimut γ .

En la Figura 4 aparece la sombra de un panel similar a los anteriores con un ángulo de azimut de 10 grados. En esta figura se aprecia que la distancia Z_1 , que va desde un final del panel hasta la línea donde llega la sombra, se eleva con el aumento del ángulo de azimut γ .

Para lograr calcular la potencia de una instalación solar fotovoltaica y diseñarla es necesario conocer, en cada momento, la trayectoria solar dada por la sombra de cada punto del panel sobre el plano horizontal. De esta manera se puede inclusive optimizar la instalación en dependencia de sus requerimientos.

Para la colocación de los paneles solares se suele tener como premisa que las filas de atrás no tengan sombra en determinadas horas del día y del año. Sin embargo, esta distribución no tiene que ser la óptima desde el punto de vista energético.

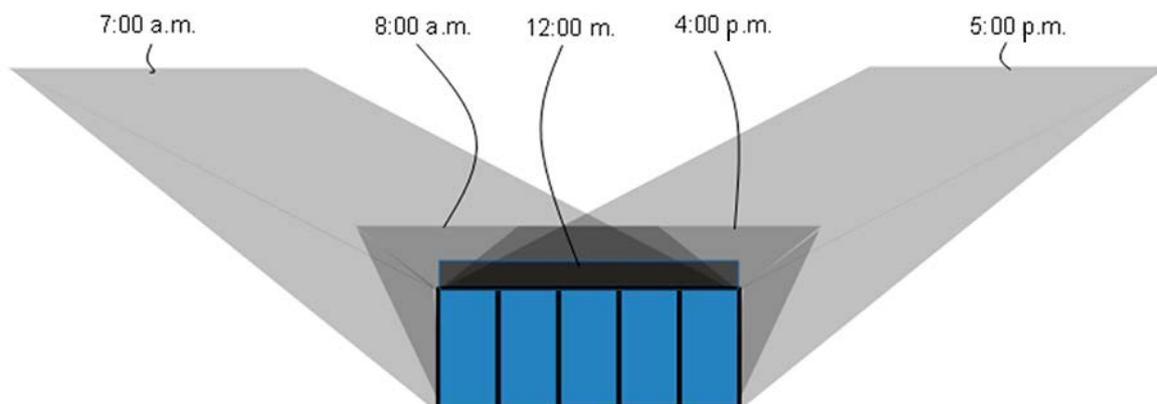


Fig. 1. Sombra de un panel solar fotovoltaico sobre una superficie horizontal (21 dic.).

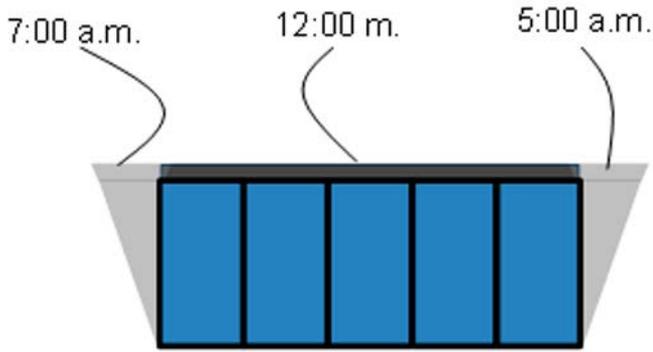


Fig. 2. Sombra de un panel solar fotovoltaico sobre una superficie horizontal (21 mar.).

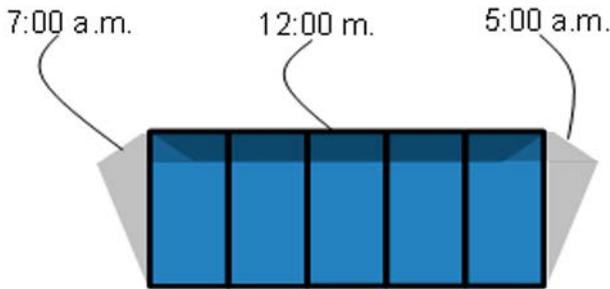


Fig. 3. Sombra de un panel solar fotovoltaico sobre una superficie horizontal (21 jun.).

Simbología

En la determinación de la trayectoria del sol y por lo tanto de la sombra sobre el plano horizontal de un objeto situado encima se utiliza la simbología siguiente:

XYZ: Sistema de coordenadas en el ecuador donde el eje Z coincide con el eje norte polar-sur polar, el eje Y es el eje este-oeste y el eje X es el eje cenital en el ecuador.

$X_0Y_0Z_0$: Sistema de coordenadas en un lugar con latitud ϕ donde el eje Z_0 coincide con el eje norte-sur local y el eje X_0 es el eje cenital local.

Hora: Hora solar local, la cual se puede diferenciar de la hora oficial por tres parámetros: la ecuación del tiempo, la diferencia entre el meridiano oficial del país y el meridiano local, y por el horario de verano.

ω : Ángulo horario, donde $\omega=(\text{Hora}-12)/15$. Al mediodía solar, el ángulo horario es cero, por la mañana es negativo y por la tarde es positivo.

δ : Declinación del sol, dada por el ángulo que forma el sol con el plano ecuatorial en dependencia del día del año. La declinación del sol varía entre $-23,45^\circ$ el 21 de diciembre (solsticio de invierno en el hemisferio norte) y $23,45^\circ$ el 21 de junio (solsticio de verano en el hemisferio norte).

ϕ : Latitud local, dada por el ángulo que forma el norte local con el norte polar.

α : Ángulo de inclinación del panel solar fotovoltaico.

β : Ángulo que forma la proyección del sol en el plano XZ con el eje cenital en un lugar del ecuador, o sea, con latitud igual a cero.

$\beta-\phi$: Ángulo que forma la proyección del sol en el plano X_0Y_0 con el eje cenital local, o sea, con una latitud igual a ϕ .

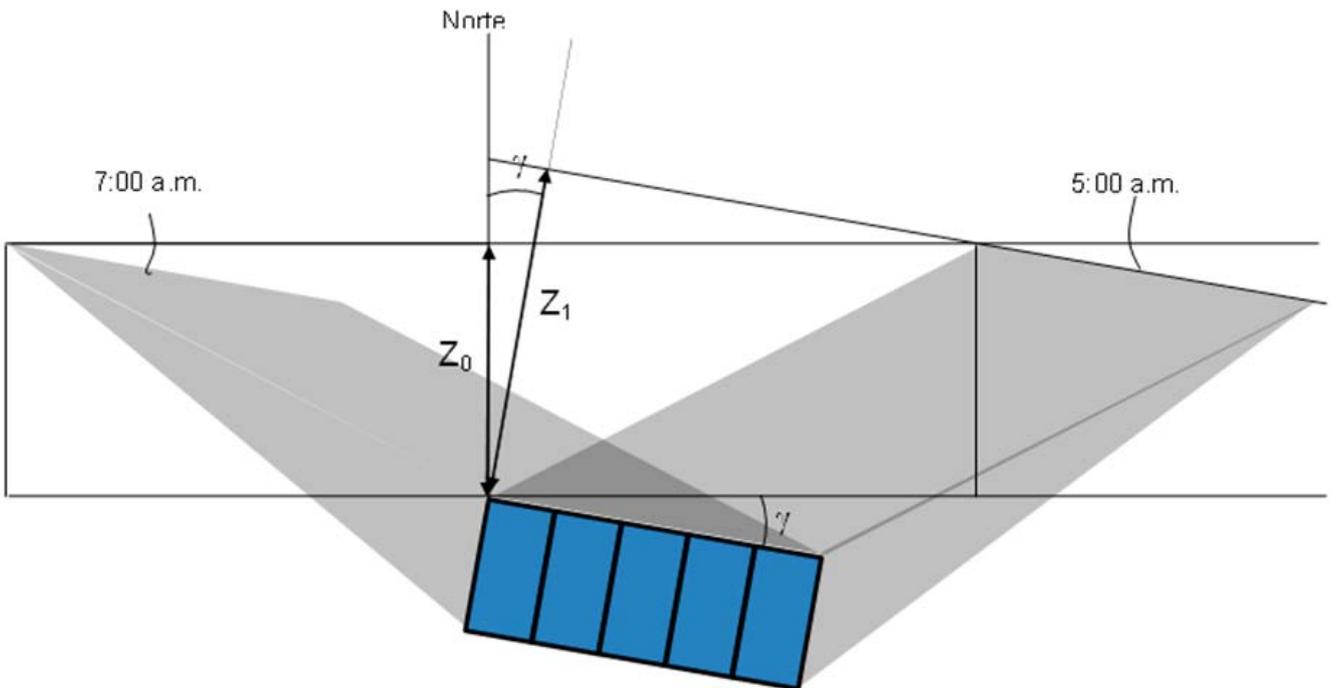


Fig. 4. Sombra de un panel solar sobre una superficie horizontal con azimut $g=10^\circ$.

L: Largo del módulo fotovoltaico o ancho del panel fotovoltaico en el caso de que este se halle compuesto por varios módulos.

L_N : Altura máxima del panel solar sobre el plano horizontal.

$$L_N = L \cdot \text{sen} \alpha$$

Z_0 : Valor en el eje norte-sur local de la trayectoria solar en el plano Y_0Z_0 horizontal local.

Y_0 : Valor en el eje este-oeste de la trayectoria solar en el plano Z_0Y_0 horizontal local.

L_0 : Valor total de la sombra en el eje Z_0 del panel en el plano Z_0Y_0 horizontal local.

γ : Ángulo de azimut en el plano Z_0Y_0 horizontal local con relación al norte-sur local o eje Z_0 . Con esta rotación de ejes alrededor del eje X_0 se forma un nuevo sistema: el $X_0Y_1Z_1$.

Z_1 : Valor de la trayectoria solar en el plano Y_1Z_1 con un ángulo de azimut γ (Fig. 5).

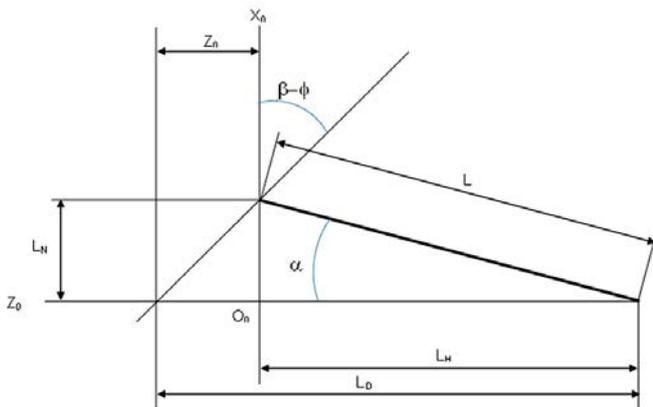


Fig. 5. Panel solar en el plano X_0Z_0 .

Trayectoria del sol en el plano horizontal

La trayectoria solar puede ser determinada por la sombra de un punto B (objeto) sobre determinado plano, el cual preferiblemente es horizontal. Este punto puede encontrarse a una altura OB de dicho plano.

El plano ecuatorial se caracteriza por contener el eje norte polar-sur polar (Fig. 6).

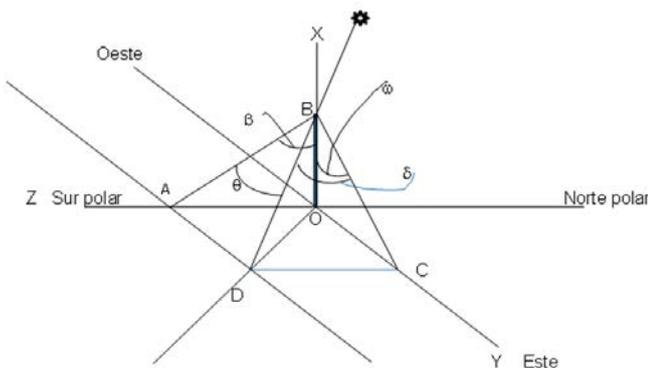


Fig. 6. Trayectoria solar en el plano ecuatorial en coordenadas XYZ.

Sea el punto B el que da la sombra y el punto D el punto del plano ecuatorial que define la trayectoria solar.

Sea el plano ecuatorial el plano YZ. En este plano las coordenadas del punto D quedan definidas por:

$$Y = OB \cdot \tan \omega \quad Z = OB \cdot \tan \beta = OB \cdot \tan \delta / \cos \omega$$

Donde: $\tan \beta = \tan \delta / \cos \omega$
 $\text{sen} \theta = \text{sen} \omega \cdot \cos \delta$

La trayectoria solar en el plano ecuatorial se determina relativamente fácil. Un poco más compleja es la determinación de la trayectoria solar en el plano horizontal local con una latitud ϕ (Fig. 7). Para esto es necesario hacer una rotación de los ejes de coordenadas alrededor del eje Y este-oeste y después una traslación de los ejes de coordenadas a través del eje Z_0 , norte-sur local.

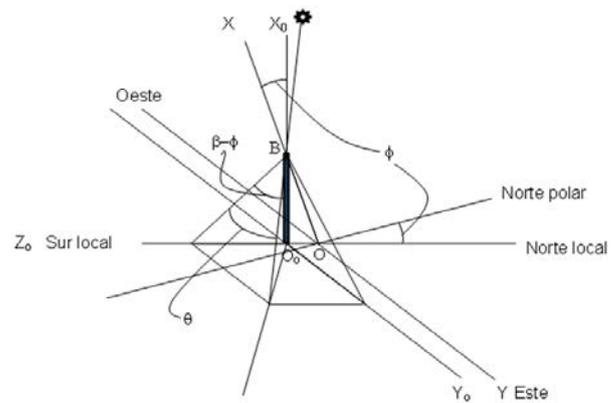


Fig. 7. Trayectoria solar en coordenadas $X_0Z_0Y_0$. Plano horizontal Z_0Y_0 con latitud ϕ .

Para determinar la altura del punto B en el plano Z_0Y_0 se aplica la fórmula:

$$L_N = O_0B = OB \cos \phi$$

La distancia de la base de L_N al eje este-oeste es:

$$O_0O = L_N \tan \phi$$

Las coordenadas del punto D_0 (sombra del punto B sobre el plano Z_0Y_0) están dadas por las ecuaciones:

$$Y_0 = L_N \tan \theta / \cos(\beta - \phi)$$

$$Z_0 = L_N \tan(\beta - \phi)$$

Donde: $\tan \beta = \tan \delta / \cos \omega$

$$\text{sen} \theta = \text{sen} \omega \cdot \cos \delta$$

Variación de la hora con la altura del sol y el día del año

La sombra varía mucho en los primeros minutos a la salida y a la puesta del sol y por eso es importante conocer la variación de la hora (solar) con relación a la altura del sol en cada momento, pues de la misma forma que la sombra

varía mucho cuando el sol está cerca del horizonte, también el valor energético de la radiación es muy poco.

Es un criterio universal que el valor energético del sol comienza con una altura solar igual a 15 grados. Por eso es conveniente conocer, en dependencia del día del año, el valor de la hora solar correspondiente a una altura solar determinada.

La dependencia de la hora solar con relación a la altura del sol puede ser calculada por la ecuación siguiente:

$$\cos\theta_z = \cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos\omega + \text{sen}\delta \cdot \text{sen}\phi$$

Donde θ_z es el ángulo cenital del sol, o sea, el complemento de la altura solar.

$$\text{Altura solar} = 90 - \theta_z$$

En la Tabla 1 se da el valor de la hora cuando el sol está a una altura determinada en el solsticio de invierno para los valores de la latitud entre 20 y 23 grados, que equivale a los valores de la latitud en Cuba.

Tabla 1. Altura y hora solar

Altura	ϕ	Hora	ϕ	Hora
0	20	6,6	23	6,7
1	20	6,7	23	6,8
2	20	6,8	23	6,9
3	20	6,8	23	6,9
4	20	6,9	23	7,0
5	20	7,0	23	7,1
6	20	7,1	23	7,2
7	20	7,2	23	7,3
8	20	7,2	23	7,4
9	20	7,3	23	7,4
10	20	7,4	23	7,5
11	20	7,5	23	7,6
12	20	7,6	23	7,7
13	20	7,7	23	7,8
14	20	7,7	23	7,9
15	20	7,8	23	8,0
16	20	7,9	23	8,0
17	20	8,0	23	8,1
18	20	8,1	23	8,2
19	20	8,2	23	8,3
20	20	8,2	23	8,4

Para el valor de una altura de 15 grados en el solsticio de invierno para La Habana, la hora es aproximadamente 8:00 a.m. hora solar. Como Cuba se encuentra aproximadamente entre los 20 y los 23 grados de latitud norte, la hora en que el sol se halla a determinada altura varía muy poco en otro lugar del país.

En la Tabla 2 se aprecia la variación del valor de L_D a las 8:00 a.m. hora solar en el solsticio de invierno con la latitud del lugar para Cuba. Se hace evidente que esta variación es poca.

Tabla 2. Variación de la trayectoria del sol con la latitud

Hora (a.m.)	α	ϕ	δ	ϕ	$L \frac{(m)}{Z_0}$	Y_0	L_D
8:00	15	20	-23,5	2	0,93	1,39	2,86
8:00	15	20,5	-23,5	2	0,95	1,42	2,88
8:00	15	21	-23,5	2	0,97	1,44	2,90
8:00	15	21,5	-23,5	2	0,99	1,46	2,92
8:00	15	22	-23,5	2	1,01	1,49	2,95
8:00	15	22,5	-23,5	2	1,04	1,51	2,97
8:00	15	23	-23,5	2	1,06	1,54	2,99

Es importante también determinar la influencia de la variación del día del año con la hora solar y con la altura solar. En la Tabla 3 se puede apreciar la variación de la hora solar a las 8:00 a.m. hora solar en los días cercanos al solsticio de invierno, o sea, con valores de la declinación entre $-22,5$ y $-23,45$ para un lugar como Camagüey, con latitud igual a 21,5 grados. La declinación está dada por:

$$\delta = 23,45 \cdot \text{sen} [360(284+n)/365]$$

O sea, la declinación varía sinusoidalmente y por lo tanto en los solsticios, cuando los valores del seno son cercanos a +1 y -1, los valores de la declinación varían muy poco. Así, en el mes donde está comprendido el solsticio de invierno, la declinación cambia solamente un grado, de $-23,5$ a $-22,5$; sin embargo, en los otros cinco meses varía 45 grados.

Como precisamente en el mes donde se encuentra el solsticio de invierno es el período crítico de la sombra del panel solar sobre la superficie horizontal, en la Tabla 3 se aprecia evidente que el valor de la hora solar correspondiente a una altura del sol de 15 grados, varía muy poco en dicho período, teniendo un valor cercano las 8:00 a.m. hora solar.

Tabla 3. Variación de la hora solar con δ para una altura solar de 15 grados

Altura	δ	Hora
15	-23,5	7,9
15	-23	7,9
15	-22,5	7,9

En la Tabla 4 se dan los valores de la latitud y la longitud de diversas ciudades de Cuba.

Tabla 4. Coordenadas de diferentes ciudades de Cuba

	Ciudad	Latitud	Longitud
1.	Cabo de San Antonio	21,9	85,0
2.	Pinar del Río	22,4	83,7
3.	Mariel	23,0	82,8
4.	Artemisa	22,8	82,8
5.	Nueva Gerona	21,9	82,8
6.	La Habana	23,0	82,4
7.	Batabanó	22,7	82,3
8.	San José de Las Lajas	23,0	82,2
9.	Matanzas	23,0	81,6
10.	Cárdenas	23,0	81,2
11.	Jagüey Grande	22,5	81,1
12.	Colón	22,7	80,9
13.	Cienfuegos	22,2	80,4
14.	Cumanayagua	22,2	80,2
15.	Sagua la Grande	22,8	80,1
16.	Santa Clara	22,4	80,0
17.	Manicaragua	22,1	80,0
18.	Trinidad	21,8	80,0
19.	Caibarién	22,5	79,5
20.	Sancti Spíritus	21,9	79,4
21.	Ciego de Ávila	21,8	78,8
22.	Morón	22,1	78,6
23.	Camagüey	21,4	77,9
24.	Niquero	20,0	77,6
25.	Nuevitas	21,5	77,3
26.	Manzanillo	20,3	77,1
27.	Las Tunas	21,0	77,0
28.	Puerto Padre	21,2	76,6
29.	Bayamo	20,4	76,6
30.	Holguín	20,9	76,3
31.	Santiago de Cuba	20,0	75,8

	Ciudad	Latitud	Longitud
32.	Guantánamo	20,1	75,2
33.	Moa	20,7	74,9
34.	Baracoa	20,3	74,5
35.	Maisí	20,2	74,2

Ejemplos

Los casos críticos de sombra se dan en los días de invierno, o sea, cuando el sol se encuentra más alejado del cenit local; por esta razón, a manera de ejemplo se dan todos los casos en el solsticio de invierno, que para Cuba es el 21 de diciembre, cuando el valor de la declinación $\delta = -23,45^\circ$. Los ejemplos se muestran en los anexos.

Conclusiones

El día del año más crítico con respecto a la sombra de un panel solar sobre el plano horizontal es el solsticio de invierno, que en el caso de Cuba la altura del sol al mediodía, hora solar, varía desde 44 grados (a la latitud de La Habana) hasta 47 grados (a la latitud de Santiago de Cuba).

En Cuba, como en todos los países tropicales, tiene mucha importancia el techo y la superficie horizontal. En los países de altas latitudes cobra importancia la radiación sobre las superficies verticales.

En el día crítico, o sea, en el solsticio de invierno, el sol se encuentra a una altura de 15 grados a las 8:00 a.m. hora solar. Tomar horas anteriores para la determinación de las sombras no tiene sentido práctico.

Para las condiciones de Cuba, y en defensa de grandes vientos y ciclones, es conveniente el estudio de la colocación de paneles a dos aguas, principalmente en la orientación este-oeste, aunque también en otras orientaciones. Esto es muy importante a la vez para la ubicación de paneles solares, como en techos de naves.

Bibliografía

- BÉRRIZ PÉREZ, LUIS Y MANUEL ÁLVAREZ GONZÁLEZ (2004). «Influencia del ángulo de inclinación de una superficie captadora solar sobre la radiación incidente». *Eco Solar*, No. 8: abr.-jun., 2004.
- DUFFIE, J. A. AND W. A. BECKMAN (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*. 2nd ed. New York: Wiley Interscience.
- BÉRRIZ PÉREZ, LUIS; MANUEL ÁLVAREZ GONZÁLEZ, WILFREDO PÉREZ BERMÚDEZ Y JESÚS MIGUEL IGLESIAS FERRER (2016). *Manual de calentadores solares*. 2nd ed. La Habana: Ed. Cubasolar.

Anexos
Ejemplos

Ejemplo 1:

Lugar	ϕ	α	δ	γ	L
La Habana	23	15	-23,45	0	2,00

HORA	α	ϕ	δ	L (m)	L_N (metro)	Z_0 (metro)	Y_0 (metro)	LD	γ	Z_1	L_{D1}
7,0	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-3,77	-7,27	5,70	0	3,77	5,70
7,5	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-1,55	-2,62	3,49	0	1,55	3,49
8,0	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-1,06	-1,54	2,99	0	1,06	2,99
8,5	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,84	-1,05	2,78	0	0,84	2,78
9,0	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,73	-0,76	2,66	0	0,73	2,66
9,5	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,65	-0,56	2,59	0	0,65	2,59
10,0	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,61	-0,41	2,54	0	0,61	2,54
10,5	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,58	-0,29	2,51	0	0,58	2,51
11,0	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,56	-0,19	2,49	0	0,56	2,49
11,5	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,55	-0,09	2,48	0	0,55	2,48
12,0	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,54	0,00	2,48	0	0,54	2,48
12,5	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,55	0,09	2,48	0	0,55	2,48
13,0	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,56	0,19	2,49	0	0,56	2,49
13,5	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,58	0,29	2,51	0	0,58	2,51
14,0	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,61	0,41	2,54	0	0,61	2,54
14,5	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,65	0,56	2,59	0	0,65	2,59
15,0	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,73	0,76	2,66	0	0,73	2,66
15,5	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,84	1,05	2,78	0	0,84	2,78
16,0	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-1,06	1,54	2,99	0	1,06	2,99
16,5	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-1,55	2,62	3,49	0	1,55	3,49
17,0	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-3,77	7,27	5,70	0	3,77	5,70

Cálculo de la distancia entre filas de paneles solares fotovoltaicos

Ejemplo 2:

Lugar		ϕ	α	δ	γ	L					
La Habana		23	15	-23,45	10	2,00					
HORA	α	ϕ	δ	L (m)	L_N (metro)	Z_o (metro)	Y_o (metro)	L_D	γ	Z_1	L_{D1}
7,0	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-3,77	-7,27	5,70	10	4,97	6,90
7,5	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-1,55	-2,62	3,49	10	1,99	3,92
8,0	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-1,06	-1,54	2,99	10	1,31	3,24
8,5	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,84	-1,05	2,78	10	1,01	2,95
9,0	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,73	-0,76	2,66	10	0,85	2,78
9,5	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,65	-0,56	2,59	10	0,74	2,67
10,0	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,61	-0,41	2,54	10	0,67	2,60
10,5	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,58	-0,29	2,51	10	0,62	2,55
11,0	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,56	-0,19	2,49	10	0,58	2,51
11,5	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,55	-0,09	2,48	10	0,56	2,49
12,0	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,54	0,00	2,48	10	0,54	2,47
12,5	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,55	0,09	2,48	10	0,56	2,49
13,0	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,56	0,19	2,49	10	0,58	2,51
13,5	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,58	0,29	2,51	10	0,62	2,55
14,0	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,61	0,41	2,54	10	0,67	2,60
14,5	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,65	0,56	2,59	10	0,74	2,67
15,0	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,73	0,76	2,66	10	0,85	2,78
15,5	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-0,84	1,05	2,78	10	1,01	2,95
16,0	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-1,06	1,54	2,99	10	1,31	3,24
16,5	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-1,55	2,62	3,49	10	1,99	3,92
17,0	15	23,00	-23,45	2,00	0,52	-3,77	7,27	5,70	10	4,97	6,90

Ejemplo 3

Lugar		ϕ	α	δ	γ	L					
Cienfuegos		22	15	-23,45	0	2,00					
HORA	α	ϕ	δ	L (m)	L_N (metro)	Z_o (metro)	Y_o (metro)	L_D	γ	Z_1	L_{D1}
7,0	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-3,33	-6,45	5,27	0	3,33	5,27
7,5	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-1,47	-2,49	3,40	0	1,47	3,40
8,0	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-1,01	-1,49	2,95	0	1,01	2,95
8,5	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,81	-1,02	2,74	0	0,81	2,74
9,0	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,70	-0,74	2,63	0	0,70	2,63
9,5	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,63	-0,55	2,56	0	0,63	2,56
10,0	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,59	-0,40	2,52	0	0,59	2,52
10,5	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,56	-0,29	2,49	0	0,56	2,49
11,0	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,54	-0,18	2,47	0	0,54	2,47
11,5	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,53	-0,09	2,46	0	0,53	2,46
12,0	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,53	0,00	2,46	0	0,53	2,46
12,5	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,53	0,09	2,46	0	0,53	2,46
13,0	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,54	0,18	2,47	0	0,54	2,47

Lugar		ϕ	α	δ	γ	L					
Cienfuegos		22	15	-23,45	0	2,00					
13,5	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,56	0,29	2,49	0	0,56	2,49
14,0	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,59	0,40	2,52	0	0,59	2,52
14,5	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,63	0,55	2,56	0	0,63	2,56
15,0	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,70	0,74	2,63	0	0,70	2,63
15,5	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,81	1,02	2,74	0	0,81	2,74
16,0	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-1,01	1,49	2,95	0	1,01	2,95
16,5	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-1,47	2,49	3,40	0	1,47	3,40
17,0	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-3,33	6,45	5,27	0	3,33	5,27

Ejemplo 4:

Lugar		ϕ	α	δ	γ	L					
Cienfuegos		22	15	-23,45	10	2,00					
Hora	α	ϕ	δ	L (m)	L_N (metro)	Z_o (metro)	Y_o (metro)	L_D	γ	Z_1	L_{D1}
7,0	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-3,33	-6,45	5,27	10	4,40	6,34
7,5	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-1,47	-2,49	3,40	10	1,88	3,81
8,0	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-1,01	-1,49	2,95	10	1,26	3,19
8,5	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,81	-1,02	2,74	10	0,98	2,91
9,0	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,70	-0,74	2,63	10	0,82	2,75
9,5	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,63	-0,55	2,56	10	0,72	2,65
10,0	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,59	-0,40	2,52	10	0,65	2,58
10,5	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,56	-0,29	2,49	10	0,60	2,53
11,0	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,54	-0,18	2,47	10	0,56	2,49
11,5	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,53	-0,09	2,46	10	0,54	2,47
12,0	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,53	0,00	2,46	10	0,52	2,45
12,5	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,53	0,09	2,46	10	0,54	2,47
13,0	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,54	0,18	2,47	10	0,56	2,49
13,5	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,56	0,29	2,49	10	0,60	2,53
14,0	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,59	0,40	2,52	10	0,65	2,58
14,5	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,63	0,55	2,56	10	0,72	2,65
15,0	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,70	0,74	2,63	10	0,82	2,75
15,5	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-0,81	1,02	2,74	10	0,98	2,91
16,0	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-1,01	1,49	2,95	10	1,26	3,19
16,5	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-1,47	2,49	3,40	10	1,88	3,81
17,0	15	22,00	-23,45	2,00	0,52	-3,33	6,45	5,27	10	4,40	6,34

Cálculo de la distancia entre filas de paneles solares fotovoltaicos

Ejemplo 5:

Lugar		ϕ	α	δ	γ	L					
Las Tunas		21	15	-23,45	0	2,00					
Hora	α	ϕ	δ	L (m)	L_N (metro)	Z_o (metro)	Y_o (metro)	L_D	γ	Z_i	L_{D1}
7,0	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-2,99	-5,80	4,92	0	2,99	4,92
7,5	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-1,39	-2,37	3,32	0	1,39	3,32
8,0	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,97	-1,44	2,90	0	0,97	2,90
8,5	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,78	-0,99	2,71	0	0,78	2,71
9,0	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,68	-0,73	2,61	0	0,68	2,61
9,5	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,61	-0,54	2,54	0	0,61	2,54
10,0	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,57	-0,40	2,50	0	0,57	2,50
10,5	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,54	-0,28	2,47	0	0,54	2,47
11,0	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,52	-0,18	2,45	0	0,52	2,45
11,5	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,51	-0,09	2,44	0	0,51	2,44
12,0	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,51	0,00	2,44	0	0,51	2,44
12,5	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,51	0,09	2,44	0	0,51	2,44
13,0	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,52	0,18	2,45	0	0,52	2,45
13,5	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,54	0,28	2,47	0	0,54	2,47
14,0	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,57	0,40	2,50	0	0,57	2,50
14,5	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,61	0,54	2,54	0	0,61	2,54
15,0	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,68	0,73	2,61	0	0,68	2,61
15,5	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,78	0,99	2,71	0	0,78	2,71
16,0	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,97	1,44	2,90	0	0,97	2,90
16,5	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-1,39	2,37	3,32	0	1,39	3,32
17,0	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-2,99	5,80	4,92	0	2,99	4,92

Ejemplo 6:

Lugar		ϕ	α	δ	γ	L					
Las Tunas		21	15	-23,45	10	2,00					
Hora	α	ϕ	δ	L (m)	L_N (metro)	Z_o (metro)	Y_o (metro)	L_D	γ	Z_i	L_{D1}
7,0	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-2,99	-5,80	4,92	10	3,95	5,88
7,5	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-1,39	-2,37	3,32	10	1,78	3,71
8,0	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,97	-1,44	2,90	10	1,21	3,14
8,5	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,78	-0,99	2,71	10	0,94	2,87
9,0	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,68	-0,73	2,61	10	0,79	2,72
9,5	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,61	-0,54	2,54	10	0,69	2,63
10,0	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,57	-0,40	2,50	10	0,63	2,56
10,5	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,54	-0,28	2,47	10	0,58	2,51
11,0	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,52	-0,18	2,45	10	0,54	2,48
11,5	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,51	-0,09	2,44	10	0,52	2,45
12,0	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,51	0,00	2,44	10	0,50	2,43
12,5	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,51	0,09	2,44	10	0,52	2,45
13,0	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,52	0,18	2,45	10	0,54	2,48
13,5	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,54	0,28	2,47	10	0,58	2,51

Lugar	ϕ	α	δ	γ	L						
Las Tunas	21	15	-23,45	10	2,00						
14,0	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,57	0,40	2,50	10	0,63	2,56
14,5	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,61	0,54	2,54	10	0,69	2,63
15,0	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,68	0,73	2,61	10	0,79	2,72
15,5	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,78	0,99	2,71	10	0,94	2,87
16,0	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-0,97	1,44	2,90	10	1,21	3,14
16,5	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-1,39	2,37	3,32	10	1,78	3,71
17,0	15	21,00	-23,45	2,00	0,52	-2,99	5,80	4,92	10	3,95	5,88

Ejemplo 7:

Lugar	ϕ	α	δ	γ	L							
Santiago de Cuba	20	15	-23,45	0	2,00							
Hora	α	ϕ	δ	L (m)	L_N (metro)	Z_o (metro)	Y_o (metro)	L_D	γ	Z_i	L_{D_i}	L_{D_i}
7,0	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-2,71	-5,27	4,64	0	2,71	4,64	
7,5	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-1,32	-2,26	3,25	0	1,32	3,25	
8,0	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,93	-1,39	2,86	0	0,93	2,86	
8,5	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,75	-0,97	2,68	0	0,75	2,68	
9,0	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,65	-0,71	2,58	0	0,65	2,58	
9,5	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,59	-0,53	2,52	0	0,59	2,52	
10,0	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,55	-0,39	2,48	0	0,55	2,48	
10,5	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,52	-0,28	2,45	0	0,52	2,45	
11,0	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,50	-0,18	2,43	0	0,50	2,43	
11,5	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,49	-0,09	2,43	0	0,49	2,43	
12,0	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,49	0,00	2,42	0	0,49	2,42	
12,5	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,49	0,09	2,43	0	0,49	2,43	
13,0	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,50	0,18	2,43	0	0,50	2,43	
13,5	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,52	0,28	2,45	0	0,52	2,45	
14,0	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,55	0,39	2,48	0	0,55	2,48	
14,5	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,59	0,53	2,52	0	0,59	2,52	
15,0	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,65	0,71	2,58	0	0,65	2,58	
15,5	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,75	0,97	2,68	0	0,75	2,68	
16,0	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,93	1,39	2,86	0	0,93	2,86	
16,5	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-1,32	2,26	3,25	0	1,32	3,25	
17,0	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-2,71	5,27	4,64	0	2,71	4,64	

Cálculo de la distancia entre filas de paneles solares fotovoltaicos

Ejemplo 8:

Lugar		ϕ	α	δ	γ	L					
Santiago de Cuba		20	15	-23,45	10	2,00					
Hora	α	20,00	δ	L (m)	L_N (metro)	Z_o (metro)	Y_o (metro)	L_D	γ	Z_i	L_{D_i}
7,0	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-2,71	-5,27	4,64	10	3,58	5,51
7,5	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-1,32	-2,26	3,25	10	1,69	3,62
8,0	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,93	-1,39	2,86	10	1,16	3,09
8,5	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,75	-0,97	2,68	10	0,91	2,84
9,0	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,65	-0,71	2,58	10	0,76	2,70
9,5	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,59	-0,53	2,52	10	0,67	2,60
10,0	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,55	-0,39	2,48	10	0,61	2,54
10,5	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,52	-0,28	2,45	10	0,56	2,49
11,0	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,50	-0,18	2,43	10	0,53	2,46
11,5	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,49	-0,09	2,43	10	0,50	2,43
12,0	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,49	0,00	2,42	10	0,48	2,42
12,5	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,49	0,09	2,43	10	0,50	2,43
13,0	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,50	0,18	2,43	10	0,53	2,46
13,5	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,52	0,28	2,45	10	0,56	2,49
14,0	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,55	0,39	2,48	10	0,61	2,54
14,5	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,59	0,53	2,52	10	0,67	2,60
15,0	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,65	0,71	2,58	10	0,76	2,70
15,5	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,75	0,97	2,68	10	0,91	2,84
16,0	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-0,93	1,39	2,86	10	1,16	3,09
16,5	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-1,32	2,26	3,25	10	1,69	3,62
17,0	15	20,00	-23,45	2,00	0,52	-2,71	5,27	4,64	10	3,58	5,51