



REVISTA CIENTÍFICA TRIMESTRAL DE CUBASOLAR

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

**72**

DIRECTOR GENERAL

Dr. Luis Bériz Pérez

EDITORES

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

CONSEJO EDITORIAL

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

DISEÑO Y COMPOSICIÓN

Alejandro F. Romero Ávila

WEB MASTER

Jesús Guillermo Gil Delgado

RELACIONES PÚBLICAS

Mabel Blanco de la Cruz

CONSEJO ASESOR

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

*Eco Solar*, no. 72 / 2020

Revista científica de las  
fuentes renovables de energía  
abril-junio, 2020  
ISSN-1028-6004  
RNPS-2220



**CETER**



DIRECCIÓN

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



**CONTENIDO**

<b>ESTRATEGIA DE FACTIBILIDAD DE LA INSTALACIÓN DE FLOTANTES EN LOS CONTADORES COLECTIVOS EN LA HABANA.....</b>	<b>3</b>
Anira Díaz-Padrón Camejo y Mario Ramos Joseph	
<b>ESTRATEGIAS LOCALES PARA LA PRODUCCIÓN INTEGRADA DE ALIMENTOS Y ENERGÍA: EXPERIENCIAS EN SU FORMULACIÓN.....</b>	<b>11</b>
Jesús Suárez, Arq. Oscar Bellido, Maikel Hernández, Valentina Savran y Guillermo González	
<b>PRONÓSTICO ESPECIALIZADO PARA LOS PARQUES EÓLICO HERRADURA I Y HERRADURA II DE LA PROVINCIA LAS TUNAS.....</b>	<b>15</b>
Wilber Ramírez Espinosa, Armando Carracedo Velázquez y Yaira Pérez Calzada	
<b>BIODIGESTORES TUBULARES Y SU CONTRIBUCIÓN A LA MEJORA AMBIENTAL Y CALIDAD DE VIDA EN EL ÁREA RURAL: SISTEMATIZACIÓN DE UNA EXPERIENCIA EXITOSA EN EL MUNICIPIO DE PLACETAS.....</b>	<b>21</b>
Omaida Cruz Montesino	
<b>APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA CINÉTICA DE LAS CORRIENTES DE LAS MAREAS DE LOS CANALES ENTRE LOS CAYOS DEL NORTE DEL MUNICIPIO DE MARTÍ, PARA GENERAR ELECTRICIDAD. PROPUESTA DE PROYECTO.....</b>	<b>27</b>
José Luis Sánchez Ávila	
<b>FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SECADOR SOLAR DE PLANTAS AROMÁTICAS.....</b>	<b>33</b>
Yanoy Morejón Mesa, Ismael Lázaro Jiménez Rodríguez, Yarián Reyes Suárez y Raúl Torres Cepero	
<b>CONVOCATORIA.....</b>	<b>43</b>

editorial  
cubasolar

# ESTRATEGIA DE FACTIBILIDAD DE LA INSTALACIÓN DE FLOTANTES EN LOS CONTADORES COLECTIVOS EN LA HABANA

Por **M. Sc. Ing. Anira Díaz-Padrón Camejo\*** y **M. Sc. Ing. Mario Ramos Joseph\***

\* Empresa de Acueducto y Alcantarillado Aguas de La Habana, Reparto Palatino, Cerro, La Habana.

E-mail: adiazp@ahabana.co.cu

## Resumen

A finales de 2018 el Instituto Nacional de Recursos Hidráulico (INRH), manifestó la preocupación para gestionar el volumen que se pierde por el reboso de las cisternas y reservorios a las entradas de los clientes, ya sean residencias o estatales, haciendo énfasis en aquellos que, estando o no contabilizadas sus acometidas, no podemos cobrar el volumen que esta consume, y aún más, no tenemos control del volumen que se pierde por el reboso de esos reservorios causados por el desperfecto del aditamento que limita la entrada a las cisternas y tanques, conocido como válvula flotante.

La Empresa Aguas de La Habana, comprometida con el uso sostenible y racional del agua en esa provincia, distribuye en la población y organismos estatales estratégicos válvulas flotantes para ser instalados en las cisternas.

Con esta experiencia, practicada inicialmente en sectores pilotos con características idóneas para ser analizados, se expresa una idea de lo que representa la instalación masiva de este dispositivo para el ahorro del volumen no facturado, no consumido y producido por la fuente.

*Palabras clave: Sectores pilotos, reboso y válvula flotante.*

---

## FEASIBILITY STRATEGY FOR THE INSTALLATION OF FLOATS IN COLLECTIVE METERS IN HAVANA

### Abstract

At the end of 2018, the National Institute of Hydraulic Resources (INRH), expressed concern to manage the volume that is lost due to the overflow of cisterns and reservoirs at the entrances of customers, either residences or State, emphasizing those who, even if their connections are not counted or not, cannot charge the volume that it consumes and even more, we do not have control of the volume that is lost due to the overflow of these reservoirs caused by the damage to the accessory that limits the entrance to the cisterns and tanks known as a floating valve.

The Aguas de la Habana Company, committed to the sustainable and rational use of water in the Havana Province, is required to distribute floating valves to the population and strategic state agencies to be installed in the tanks.

With this experience, initially practiced in pilot sectors with suitable characteristics to be analyzed, an idea is expressed of what the massive installation of this device represents to save the volume not invoiced, not consumed and produced by the source.

*Keywords: Pilot sectors, overflow and floating valve.*

---

### Introducción

En la actualidad la gestión de los recursos naturales adquiere cada vez mayor importancia, dentro de estos el agua se convierte en uno de los más controvertidos y esto se debe a que es una fuente de materia prima en innumerables procesos industriales, siendo un recurso que por sí mismo garantiza la existencia de la especie humana.

Estos aspectos propician que la gestión y uso racional del agua sea un objetivo natural del programa de Naciones Unidas, que aplican y comparten las mejores prácticas a nivel mundial para lograr este objetivo.

Nuestro país no está exento de estos intereses y es por eso que desde los primeros años de la década de los 60 hasta nuestros días, ha estado invirtiendo recursos y capital de todo tipo para cumplir esa encomienda.

Para la empresa Aguas de La Habana, la cual gestiona los servicios de acueducto, alcantarillado y drenaje pluvial de los 15 municipios de la capital, este objetivo es parte de su quehacer cotidiano. Dentro de los principales programas para su gestión, se destaca el programa de instalación de flotantes.

Este programa, concebido por especialistas de la empresa, tiene como objetivo eliminar el derroche que se produce en las cisternas o depósitos intradomiciliarios debido a la ausencia en muchos de ellos de una válvula de control que garantice un cierre hermético cuando los mismos se llenan. El desborde de estos elementos provoca afectaciones dentro de las que se encuentran:

- Grandes volúmenes de agua corriendo por las calles en el horario de agua que se pierden y no cumplen su función.
- Propicia la aparición de baches y anomalías en el pavimento urbano.
- Molestias a los vecinos y mala imagen para la empresa de acueducto.

Se origina un patrón de consumo a niveles residencial, de sector y de ciudad completamente tergiversado, lo que distorsiona los trabajos de planeamiento y gestión de la demanda futura, provocando sustanciales pérdidas de todo tipo a las empresas de abasto y al país.

En la dirección Técnica, desde la creación de la sectorización ha manifestado su preocupación por el volumen que se pierde (no contabilizado) por el rebose de las cisternas, que marcan la línea de propiedad de la entrada a los clientes plurifamiliares, formando parte del Agua No Registrada (ANR); por otra parte, y esta si se ha podido contabilizar, está el volumen que se pierde por el rebose de la entrada de los tanques antes de suministrar la demanda de los clientes.

### Objetivo

Demostrar el efecto que se deriva de la instalación de las válvulas flotantes, para eliminar el rebose excesivo del volumen de entrada a los clientes.

### Desarrollo técnico

Por estudios hechos por el departamento de gestión tecnológica, se ha podido demostrar que esta diferencia

entre lo que se contabiliza a la entrada de las cisternas de edificios, y el consumo de los clientes que abastecen, es más de 40 %, representando aproximadamente un volumen de 813 769 m<sup>3</sup>/mes, donde el rebose de la entrada de los tanques elevados por falta de flotantes tienen la máxima responsabilidad.

Esto es lo que hace imprescindible evitar el volumen de agua no registrada, que además de que no se puede facturar, se pierde sin ser almacenado.

Estas razones propiciaron la creación del programa de instalación de flotantes. El mismo comenzó en Aguas de La Habana desde principios de septiembre de 2018 y continúa hasta la fecha.

### I. Plan de trabajo trazado por la Empresa para la instalación de flotantes

En función de los antecedentes del comienzo de esta actividad durante 2018, para 2019 la empresa Aguas de La Habana se plantea la instalación de flotantes con el objetivo fundamental de «recuperar agua» a partir de tres líneas de trabajo.

En la Empresa se comienzan los trabajos de instalación de flotantes en septiembre. Para cumplir esta tarea se destinaron cuatro brigadas de la dirección de Acueducto, que laboraron en dos sectores, Punta Brava y Barbosa.

Desde el comienzo de los trabajos se detectaron un grupo de dificultades, se encontraron cisternas con el flotante instalado en buen estado, en otros casos no siempre se tenía pleno acceso a las instalaciones, por lo que era necesario más de una visita para lograr realizar el trabajo, y finalmente afectó la carencia de algunos accesorios fundamentales para la instalación, los que fueron incluidos en el plan de 2019. Estas causas han provocado inestabilidad y baja productividad, se ha trabajado con el material de mantenimiento de la empresa y se ha priorizado su importancia como una herramienta más en el proceso de lograr un uso racional del recurso agua.

Las entregas de los flotantes a los territorios comenzaron el 11 de febrero, entregados según los diámetros existentes.

El departamento de Gestión Tecnológica ha estado haciendo esa entrega y ha hecho verificaciones de la instalación de los flotantes en las cisternas.

1. La prioridad de la sectorización.
  - a. Como complemento de la actividad de metraje: En conjunto con la actividad del metraje masivo se hace entrega a clientes individuales metrados y la instalación a los colectivos por parte de la base de metraje. Responsable / Dirección Técnica.
  - b. En los sectores ya metrados: Se va trabajar en los colectivos, tarea que comenzó en Punta Brava y Barbosa y se continuará en Santa Fé. Responsable / Dirección Acueducto.

2. Resolución de incidencias: Aplica sobre aquellas áreas que presenten salideros visibles de cisternas, conjuntos de edificios con dificultades, se entrega fundamen-

almente por el territorio a sus clientes. Responsable / Atención al Cliente.

3. Por concepto de clientes estatales: Dirigido a entregar a los clientes estatales que no tienen flotantes en cisternas y presenten salideros, excesos de consumos y otras anomalías. Responsable / Dirección Comercial.

4. Aguas de La Habana, en simultáneo con el plan de metraje masivo instala flotantes a las acometidas colectivas y entrega flotantes, con compromiso de instalación, a los residenciales independientes a los que se les instale contador. Por este camino el máximo potencial a instalar es de 14 000 u.

5. Hasta enero de 2019 existen en base de datos de la empresa 12 000 acometidas colectivas metradas. La propuesta de solución es con un 2do frente de acción comenzar a instalar flotantes en todas aquellas cisternas que lo necesiten. El potencial mínimo estimado es de 7200 u.

Una vez terminadas las dos etapas anteriores aún quedan 91 700 clientes residenciales y 15 300 estatales, los cuales una vez revisados deben aportar un potencial de flotantes a instalar. El total de flotantes que se instalará en cada caso depende de los resultados que aporte el levantamiento, el cual tributará los números finales de instalación.

Los trabajos comenzaron en dos sectores pilotos, Punta Brava y Barbosa, donde se obtuvieron resultados satisfactorios. Al cierre de enero de 2019 se había logrado concluir que en las acometidas de estos sectores donde se habían instalado flotantes, se apreciaba una disminución del consumo medio mensual en alrededor de 19 m<sup>3</sup>/acometida.

La Tabla 1 refleja el valor promedio de flotantes estimado por el certificado de obra de Instalación de flotantes por el departamento de inversiones; en la (Fig. 1) se ven ejemplos de válvulas flotantes en cisternas.

Tabla 1. Estimado valor de instalación de flotantes

	MN	USD	UM
Costo flotante promedio	3,7	4,16	7,86



Fig. 1. Fotos de flotantes Instalados.

A partir de estos resultados satisfactorios se generalizó la experiencia de forma escalonada a los 15 municipios. En la Tabla 2 se presentan, hasta el momento, los resultados acumulados al cierre de la primera quincena de mayo.

La Base de Metraje debe colocar flotantes en las cisternas colectivas que estén en la zona del metraje masivo y a la par entregar flotantes a los clientes que tienen cister-

Tabla 2. Control de entrega de flotantes

Control de entrega de Flotantes			17/5/2019	Comparativo			
Municipio	Recibidos Acumulado	Entregados Acumulado	Instalados Acumulado	Entregados/Recibidos	Instalados/Entregados	Entregados-Recibidos	Instalados-Entregados
10 de Octubre	1120	945	900	84,4	95,2	-175	-45
Arroyo Naranjo	540	526	521	97,4	99,0	-14	-5
Boyereros	540	480	474	88,9	98,8	-60	-6
Centro Habana	400	382	375	95,5	98,2	-18	-7
Cerro	500	440	393	88,0	89,3	-60	-47
Cotorro	304	284	259	93,4	91,2	-20	-25
Guanabacoa	490	454	431	92,7	94,9	-36	-23
La Habana del Este	280	262	186	93,6	71,0	-18	-76
La Habana Vieja	395	377	321	95,4	85,1	-18	-56
La Lisa	345	338	323	98,0	95,6	-7	-15
Marianao	516	434	367	84,1	84,6	-82	-67
Playa	390	350	315	89,7	90,0	-40	-35
Plaza de la Rev.	680	591	560	86,9	94,8	-89	-31
Regla	455	454	439	99,8	96,7	-1	-15
San Miguel del Padrón	400	332	303	83,0	91,3	-68	-29
<b>Total</b>	<b>7355</b>	<b>6649</b>	<b>6167</b>	<b>90,4</b>	<b>92,8</b>	<b>-706</b>	<b>-482</b>
	%	90,4	92,8				

nas, dentro de la zona del metraje, después de colocado el contador. Por otra parte la dirección Comercial, en especial el departamento que atiende los clientes estatales, también tiene la responsabilidad de entregar los flotantes a los clientes, con un plan trazado y verificar posteriormente que hayan sido colocados.

## II. Valoración del efecto que representa la entrega de flotantes en Sector Piloto

Para hacer una demostración de la importancia de enmendar las entradas de cisternas y reservorios con válvulas flotantes que impidan su reboso, se contabilizaron los resultados en una muestra de acometidas colectivas de un sector existente en Punta Brava-Guatao, sector piloto.

Del total de acometidas colectivas existentes en estos sectores, se tomaron en la muestra aquellas con consumos contabilizados en varios meses, que permitiera constatar la diferencia en el consumo a la entrada de las cisternas antes y después de instalados los flotantes, teniendo en cuenta la fecha en que se comenzaron los trabajos de instalación de válvulas flotantes, y que se vea representado su periodo de medición.

Del resultado de los primeros flotantes instalados en el sector Punta Brava Guatao, se arrojaron los resultados siguientes (Tabla 3):

Tabla No. 3. Resultado de los primeros flotantes instalados en el sector Punta Brava-Guatao

<b>Total de clientes con flotantes</b>	<b>65</b>
<b>Sin metro contador</b>	<b>14</b>
<b>Con metro contador</b>	<b>51</b>
Metro levantado	2
Lectura ilegible	2
M/C parado	2
M/C Roto	1
M/C funcionando	44
M/C lectura	40

De los 40 clientes colectivos en los que se pudieron tomar lecturas en los contadores a la entrada de la cisterna a la que se le colocaron flotantes (Tabla 4).

En los resultados de la tabla 4 se puede apreciar un impacto positivo en el consumo de las cisternas después de colocada las válvulas reguladoras, en una muestra con 85 % de impacto efectivo, con un ahorro considerable de 1,391 m<sup>3</sup> en dos meses, lo que implicaría un ahorro de 19 m<sup>3</sup>/acometidas/mes.

A la par de la entrega de flotantes, el Departamento GIS de la Dirección Técnica permite visualizar en el mapa

por municipios la instalación puntual de los flotantes ya instalados. Hasta el mes de mayo se han colocado en el GIS 437 (Fig. 2).



Fig. 2. Visualizar GIS flotantes instalados.

Es importante recordar que el efecto de la instalación de los flotantes en las acometidas no se ve de inmediato, y las causas frecuentes son:

- La instalación de las acometidas no metradas (base de metraje) se hace con prioridad del metraje masivo en las zonas predeterminadas.
- La instalación de los flotantes que se entregan por los territorios, se realiza según la posibilidad y disponibilidad de accesorios que tienen los clientes.
- La facturación y las lecturas de los clientes se hacen con una frecuencia bimestral, lo que hace necesario de al menos dos lecturas para contabilizar el consumo en dichas acometidas.

Algo que llama la atención y no es para despreciar, es el hecho de que en la campaña de instalación de flotantes, a través de los territorios, se le da la posibilidad de adquirir flotantes a los clientes que lo necesitan en reservorios que son cisternas y tanques elevados propios, que no están en los clientes colectivos y si en los clientes independientes residenciales y estatales.

El Departamento de gestión tecnológica ofrece una información más detallada de la base de datos de la empresa, a través del informe de parámetros que se reporta en el departamento con un período bimensual, tomando los datos que ofrece el AS400.

En la Tabla 5 se presenta una comparación entre el volumen consumido por los contadores de acometidas co-

Tabla 4. Resultados de las lecturas en los metros colocados a la entrada de las cisternas de 40 acometidas colectivas

	Acom. colect.	Csmo prom. sin flotantes	Csmo prom. con flotante	Difer. csmo sin flotante/con flotante	Difer. csmo prom m <sup>3</sup> /mes	Difer. csmo promed. m <sup>3</sup> /acomet/mes
revisados	40	8184	6793	1391	695	19
exceden cconsumo	6 (15 %)	2476	4112	-1636		

lectivas y el consumo medido y estimado de los clientes asociados en las tres bases de datos.

En la tabla 5 se puede ver una diferencia de poco menos de 2 millones de m<sup>3</sup> en dos meses, lo que da un rendimiento en metros colectivos (R) de 12 %. Si tenemos en cuenta que este volumen de las acometidas plurifamiliares está dentro del volumen contabilizado y no facturado, tenemos un volumen nada despreciable de ANR, que es bombeada y transportada, pero que no puede for-

mar parte de la facturación. Esto es importante tener en cuenta porque hay un volumen que representa un costo en el bombeo y no podemos facturar; si esto fuera posible, solo a una facturación promedio del m<sup>3</sup> consumido en residencial de 0,50 CUP, la facturación representa un valor de 486,055 \$/mes.

Se hace evidente el aumento en la instalación de metros colectivos y la paulatina disminución del volumen consumido por metros colectivos, lo cual se ve en las Tablas 6 y 7.

Tabla 5. Rendimiento y pérdidas en las acometidas colectivas

	Metros Colectivos	Asociados tarifados		Asociados metrados	
		Residencial	Estatad-Div	Residencial	Estatales-Div
Cientes	10,162	7,441	14	5,406	49
Usuarios	37,930	20,477		17,453	
Volumen m <sup>3</sup> /bimes	2,214,511	145,073	183	123,649	1,386
Comparación	2,214,511	145,256		125,035	
		270,291			
Rendimiento %	12.2				
Pérdidas m <sup>3</sup> /bimes	1,944,220				

Tabla 6. Informe Parámetros, mes de marzo

Parámetros	Enero	Febrero	Total
Total de clientes			681,135
Total de clientes Tarifados			558,730
Cientes tarifados estatal	7,288	7,289	
Cientes tarifados divisa	1,201	1,201	
Cientes tarifados residencial	241,870	308,370	550,240
Total de clientes metrados			122,405
Cientes metrados estatal	9,132	9,139	
Cientes metrados divisa	6,2116	6,220	
Cientes metrados residencial	28,491	65,189	93,680
Metros colectivos	1,427	11,939	13,366
Metros colectivos rotos o parados			11,012
Volumen total producido en m <sup>3</sup>	45,149,463	45,246,334	90,395,797
Volumen de agua en bloque	530,068	620,681	1,150,749
Volumen total consumido en m <sup>3</sup>			34,588,422
Volumen total consumido tarifados en m <sup>3</sup>			16,474,377
Volumen consumido tarifados estatal en m <sup>3</sup>	580,358	580,538	1,160,896
Volumen consumido tarifados divisa en m <sup>3</sup>	49,622	49,622	99,244
Volumen facturado consumido residencial en m <sup>3</sup>			15,214,237
Volumen total consumido metrados en m <sup>3</sup>			18,114,045
Volumen consumido metrados estatal en m <sup>3</sup>	3,230,223	3,319,943	6,550,166
Volumen consumido metrados divisa en m <sup>3</sup>	1,421,276	1,223,390	2,644,666
Volumen consumido metrados residencial en m <sup>3</sup>	893,365	2,160,097	3,053,462
Vol. Consumido residencial con metros colectivos m <sup>3</sup>	294,923	5,570,828	5,865,751
Total de población en hab.			1,866,266
Población residencial metrados individual	94,525	217,423	311,948

## Estrategia de factibilidad de la instalación de flotantes en los contadores colectivos en La Habana

Parámetros	Enero	Febrero	Total
Población residencial metrados colectivos	87	37,921	38,008
Población residencial tarifados	725,372	828,946	1,554,318
Rendimiento general en %			39
Rendimiento clientes metrados individual en %			14
Rendimiento clientes con Metros colectivos en %			7
Rendimiento clientes tarifada en %			18
Dotación por volumen producido en lppd			794
Dotación en población metrada en lppd			160
Dotación en población tarifada en lppd			160

Tabla 7. Informe Parámetros, mes de mayo

Parámetros	Marzo	Abril	Total
Total de clientes			696,875
Total de clientes tarifados			575,910
Cientes tarifados estatal	7,221	7,240	
Cientes tarifados divisa	1,195	1,205	
Cientes tarifados residencial	259,313	308,152	567,465
Total de clientes metrados			120,965
Cientes metrados estatal	9,189	9,173	
Cientes metrados divisa	6,234	6,234	
Cientes metrados residencial	26,373	65,719	92,092
Metros colectivos	1,157	12,309	13,466
Metros colectivos rotos o parados			
Volumen total producido en m <sup>3</sup>	40,704,159	43,595,853	84,300,012
Volumen de agua en bloque	586,276	63,036	649,312
Volumen total consumido en m <sup>3</sup>			32,602,444
Volumen total consumido tarifados en m <sup>3</sup>			16,523,226
Volumen consumido tarifados estatal en m <sup>3</sup>	567,135	567,917	1,135,052
Volumen consumido tarifados divisa en m <sup>3</sup>	55,899	61,303	117,202
Volumen facturado consumido residencial en m <sup>3</sup>	7,294,627	7,976,346	15,270,972
Volumen total consumido metrados en m <sup>3</sup>			16,079,218
Volumen consumido metrados estatal en m <sup>3</sup>	3,373,098	3,147,168	6,520,266
Volumen consumido metrados divisa en m <sup>3</sup>	1,279,233	1,278,630	2,557,863
Volumen consumido metrados residencial en m <sup>3</sup>	818,984	2,113,262	2,932,246
Vol. consumido residencial con metros	149,965	3,181,203	4,068,843
Total de población en hab.			1,908,196
Población residencial metrados individual	86,981	219,185	306,166
Población residencial metrados colectivos	612	37,930	38,542
Población residencial tarifados	774,733	827,297	1,602,030
Rendimiento general en %			39
Rendimiento clientes metrados individual en %			14
Rendimiento clientes con metros colectivos			5
Rendimiento clientes tarifada en %			20
Dotación por volumen producido en lppd			724
Dotación en población metrada en lppd			157
Dotación en población tarifada en lppd			156

En la tabla de Parámetros se ve claramente que el consumo de los metros colectivos, en clientes plurifamiliares, es de 5,865,751 m<sup>3</sup>/bimes, para un total de 13,366 acometidas colectivas, lo que ofrece una demanda de 438,8 m<sup>3</sup>/bimes/acometida, y al mes representa 219,4 m<sup>3</sup>/mes/acometida. Recordando que ese volumen, aunque está contabilizado, no se puede facturar a los clientes.

Es importante también puntualizar que estos clientes asociados a las acometidas colectivas, en su mayoría, se facturan como tarifados a razón de una tarifa fija de 1,30 pesos/usuario/mes; mientras que el consumo no facturado y medido a las entradas de las cisternas es 17 % de lo consumido y 7 % de lo producido por las fuentes de abasto.

En la tabla 6 se presenta una valoración minuciosa de los parámetros generales que se evalúan en el informe de sectorización de la empresa Aguas de La Habana en marzo.

En los datos de la Tabla 7 de Parámetro de mayo, se observa una disminución del consumo promedio por acometida del volumen per cápita por mes, o sea, el volumen registrado, y no facturado, de las acometidas a clientes plurifamiliares es de 4,068,843 m<sup>3</sup>/bimes, para un total de 13,466 acometidas colectivas, lo que da un consumo promedio de 302,2 m<sup>3</sup>/bimes/acometida colectiva, 151,1 m<sup>3</sup>/mes/acometida colectiva, 68,3 m<sup>3</sup>/acometidas al mes menos que en el informe del bimestre anterior. Este valor resulta más llamativo sabiendo que esta campaña de instalación de flotantes comenzó en este año.

### III. Valoración económica del impacto de la instalación de flotantes, en acometidas colectivas (Tabla 8 y Figs. 3 y 4)

Como se pueden apreciar en la figura 4, el consumo per cápita por acometida disminuye en 68,3 m<sup>3</sup>/acometida/mes, que representa un valor considerable entre todas las acometidas de 1,796,908 m<sup>3</sup>/bimes, que representa en el año un valor superior a 10,7 mm<sup>3</sup> de agua. Teniendo en cuenta un valor de dotación promedio de 360 lppd, se puede abastecer una población de 81,430 habitantes.

Teniendo en cuenta que para bombear en las fuentes la demanda de todos los clientes, hay que consumir energía eléctrica a razón promedio de 0,36 kW/m<sup>3</sup>, en el año, lo cual representa 3,852,000 kW de energía que se consume en volumen de ANR.

Es importante señalar que existe una Resolución aprobada por el Consejo de Estado y de Ministros, que comenzará a aplicarse gradualmente desde el primer trimestre de 2020, la que aprueba facturar de manera favorable los consumos de las acometidas colectivas a los clientes plu-

rifamiliares asociados a las mismas. La forma en que se facturará se tomó de diferentes propuestas de la Dirección Comercial de La Empresa Aguas de La Habana.

Hasta la fecha de hoy, aun no se factura este gran volumen de Agua No Registrada (ANR), pero teniendo en cuenta lo que se factura por m<sup>3</sup> consumido en el sector residencial, a razón de 0,5 pesos por m<sup>3</sup> facturado, y demostrado en la Tabla 7, que la eficiencia del volumen contabilizado en los metros colectivos es de 12 %, estamos dejando de

COMPARACIÓN CSMO POR ACOMETIDA

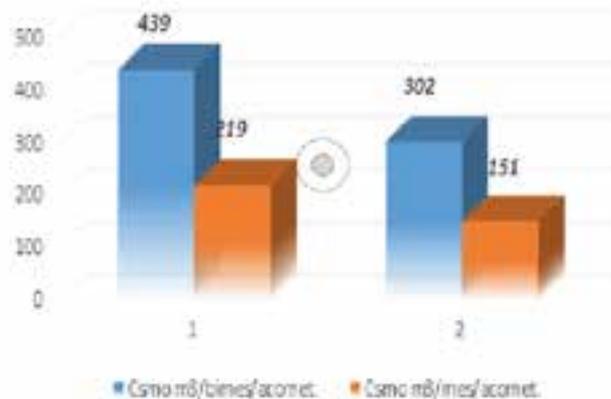


Fig. 3. Comparación de volumen colectivo.

COMPARACIÓN CSMO POR ACOMETIDA

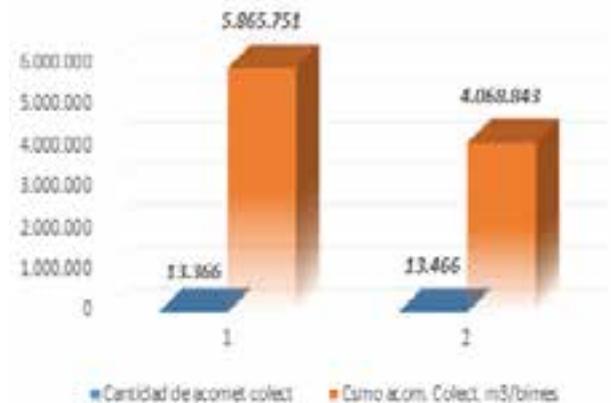


Fig. 4. Comparación de consumo por acometidas.

Tabla 8. Comparación de consumo entre informes bimensuales, de acometidas colectivas

Informe Mes	Periodo	Cantidad de acomet. colect.	Csmo acom. Colect. M³/bimes	Csmo M³/bimes/acomet.	Csmo M³/mes/acomet.	Diferenc. M³/mes/acomet.
Marzo	ene-feb	13,366	5,865,751	439	219	68
Mayo	marz-abril	13,466	4,068,843	302	151	

facturar un valor promedio de 486,055 \$/mes, que representa un volumen de ANR de 972,110 m<sup>3</sup>/mes.

### Conclusiones

Quedó demostrada, a través de un ejemplo, la repercusión de la instalación de válvulas flotantes en los reservorios de los clientes con acometidas colectivas, disminuyendo un volumen no despreciable contabilizado, no facturado y que también forma parte del ANR.

El desarrollo de este proyecto representa para la Empresa un ahorro de 10,7 mm<sup>3</sup> al año, volumen que abarca la demanda de un consumo per cápita de 81,000 habitantes, con una dotación promedio de 360 lppd.

### Recomendaciones

Por la importancia de la instalación de flotantes y ante el efecto que se ha podido demostrar que produce en ANR, recomendamos seguir con esta campaña de instalación de vál-

vulas y, a la par, concientizar a la población de la importancia que esto representa en la gestión eficiente del recurso.

### Bibliografía

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS (2012). «Política Nacional del Agua. La Habana».

IGLESIAS GRANADO, ALFONSO ORDÁS (2013). «Diplomado de Dirección y Gestión Empresarial». Centro Gerencial de la Construcción. GERCONS.

RAMOS JOSEPH, M. (2007). «Gestión integral de pérdidas de agua». La Habana: ISPJAE.

UNESCO. PARIS, FRANCE (2003). «Water For People, Water For Life». Executive United Nations Educational, Scientific And Cultural Organization.

Recibido: 1ro de febrero 2020.

Aceptado: 15 de febrero de 2020.

# ESTRATEGIAS LOCALES PARA LA PRODUCCIÓN INTEGRADA DE ALIMENTOS Y ENERGÍA: EXPERIENCIAS EN SU FORMULACIÓN

Por Dr. C. Jesús Suárez Hernández\*, Arq. Oscar Bellido\*\*, M. V. Maikel Hernández Aguilera\*\*\*, M. Sc. Valentina Savran\*\*\*\* y M. Sc. Guillermo González\*\*\*\*\*

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

\*\* Dirección Provincial de Planificación Física, Holguín, Cuba.

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

\*\*\*\* Comité Operativo Local del Proyecto Biomás-Cuba, Cabaiguán, Sancti Spiritus, Cuba.

\*\*\*\*\* Filial Universitaria Municipal en Martí, Universidad de Matanzas, Cuba.

## Resumen

La Fase II del proyecto Biomás-Cuba (2013-2016) se enfocó en la formulación e implementación de estrategias municipales de producción integrada de alimentos y energía (EMPIAE) en seis territorios cubanos, dirigidas a lograr seguridad alimentaria, generar energía a partir de la biomasa, tratar y aprovechar residuales contaminantes, mejorar suelos degradados y generar ingresos, empleos, capacidades locales e impactos socio-económicos en grupos rurales con menor acceso a la energía, así como mejorar las condiciones de vida en el medio rural. Ello contribuye a mejorar la calidad de vida de la población mediante la implementación de políticas y estrategias nacionales, sectoriales y locales para la producción integrada de energía renovable y alimentos, en armonía con el medioambiente.

*Palabras clave: Estrategia, desarrollo local, producción integrada de alimentos y energía.*

---

## LOCAL STRATEGIES FOR THE INTEGRATED PRODUCTION OF FOOD AND ENERGY: EXPERIENCES IN THEIR FORMULATION

### Abstract

Phase II of the Biomás-Cuba project (2013-2016) focused on the formulation and implementation of municipal strategies for integrated food and energy production (EMPIAE) in six Cuban territories, aimed at achieving food security, generating energy from the biomass, treating and taking advantage of polluting residuals, improving degraded soils and generating income, jobs, local capacities and socio-economic impacts in rural groups with less access to energy, as well as improving living conditions in rural areas. This contributes to improving the quality of life of the population through the implementation of national, sectorial and local policies and strategies for the integrated production of renewable energy and food, in harmony with the environment.

*Keywords: Strategy, local development, integrated food and energy production.*

---

### Introducción

La Fase I del proyecto Biomás-Cuba (2009-2012) se enfocó en la demostración de tecnologías de bioenergía en escenarios productivos (biogás, biodiésel y gasificación); sin embargo, en su segunda fase (2013-2016) se genera un tránsito desde el sistema productivo al municipio, para la formulación e implementación de estrategias municipales de producción integrada de alimentos y energía (EMPIAE). Esta estrategia se formuló e implementó en los seis municipios donde actuó Biomás-Cuba en la fase II, de forma integral: Martí y Calimete (provincia de Matanzas), Cabai-guán (Sancti Spíritus), Manatí (Las Tunas), Urbano Noris (Holguín) y Guantánamo (Guantánamo).

La EMPIAE es un componente de la Estrategia Integral de Desarrollo Local de cada municipio, y es elaborada por los actores clave del territorio, para su aprobación en la Asamblea Municipal del Poder Popular (el poder legislativo local), y contiene: 1) la definición de los escenarios productivos con las principales potencialidades para producir y consumir energía a partir de fuentes renovables, ubicados en un programa estratégico a corto y mediano plazos; 2) la selección de las tecnologías de producción y utilización de fuentes energéticas más apropiadas para cada escenario seleccionado; y 3) la consideración de las potenciales fuentes y modalidades de financiamiento que pueden ser apropiadas para cada una de las acciones a desarrollar.

El resultado final es disponer de un programa estratégico, con sus acciones, que sirva de instrumento de apoyo a la toma de decisiones de los Consejos de Administración Municipal (CAM) y de los organismos estatales en el territorio, y de esa forma contribuir al desarrollo local e incidir en los cambios de políticas energéticas locales y nacionales, que promuevan la producción y uso de las fuentes renovables de energía y faciliten la replicación de experiencias en otros municipios.

Al respecto, la EMPIAE se define, para las condiciones cubanas, como «un proceso que permite definir metas, objetivos, políticas y planes a mediano y largo plazos para promover la producción integrada de alimentos y energía a partir de fuentes renovables a escala local, que implica tomar decisiones y asignar recursos, considerando las capacidades y recursos, distintivos o no, que posee el municipio y su entorno. Dicho proceso es aplicado por el Gobierno en sinergia con otros actores locales, para impulsar la producción de alimentos, reducir los costos productivos y energéticos, así como mejorar el medioambiente, la gobernabilidad y la calidad de vida de la población» [Suárez, 2013], definición que se considera un aporte conceptual del Proyecto.

### Aspectos conceptuales y metodológicos para la formulación de la EMPIAE

Para el proceso de formulación se consideró que las EMPIAE deben cumplir tres premisas: 1) la Estrategia debe ser efectiva y abierta; 2) el Método utilizado tiene que ser coherente y articulado; y 3) el Documento resultante es claro y práctico [Bellido y Hernández, 2015]. Asimismo, se concibió que la Gestión se entiende como el proceso completo de conducción de los actores locales hacia el logro del Triple Fin y de la Visión de la Estrategia; se trata de un

ciclo compuesto por los procesos de: a) planificación de fines, investigación y medios (el plan estratégico o estrategia, que es el proceso central del ciclo de gestión); b) organización, coordinación y cooperación para la ejecución de todos los procesos del ciclo de gestión; c) ejecución de lo planificado y lo emergente, y d) monitoreo y evaluación de todos los procesos del ciclo de gestión.

Los Problemas y Potencialidades no se asumen como elementos independientes; es decir, que un problema identificado se convierte en una potencialidad para la mejora, mientras que una potencialidad desaprovechada equivale a un problema que espera por su solución. Los problemas son clasificados en tres tipos, ya que tienen formas de solución distintas: los problemas subjetivos son los relacionados con aspectos intrínsecos de actores individuales y se solucionan básicamente con acciones de capacitación, información, motivación, involucramiento y empoderamiento; los problemas materiales se relacionan con la producción integrada de alimentos y energía, y se solucionan, sobre todo, con recursos; por último, los problemas de mediación tienen que ver con aspectos de la interacción entre actores colectivos o individuales y se solucionan esencialmente con medidas de mejora de la gestión, la coordinación, la cooperación y la integración.

La Estrategia o Plan Estratégico es un sistema de objetivos interconectados de largo, mediano y corto plazos, en función de la Visión que se desea materializar, organizada en un orden que va desde lo general hasta lo particular, de lo cualitativo a lo cuantitativo, en una secuencia articulada y coherente donde cada objetivo juega su rol integrado con los que están en el nivel superior, en el nivel inferior y en el mismo nivel que el suyo.

La formulación (la Visión y el Triple Fin) facilita una perspectiva global, integradora y motivadora de lo que se quiere alcanzar y contribuye a esclarecer los propósitos perseguidos, mientras que el diseño de la implementación precisa las acciones para avanzar hacia dichos propósitos y permite la medición del avance, contiene los objetivos estratégicos que definen el modo de avanzar hacia el Triple Fin, y los objetivos concretos que detallan las acciones a realizar. Ello incluye los objetivos de política, marco obligatorio al que debe articularse el Plan, y los objetivos de investigación, para identificar los problemas/potencialidades que se encuentran en el camino a recorrer.

El denominado Triple Fin [Bellido y Hernández, 2015] es relacionar la Necesidad a satisfacer con la Finalidad a lograr, utilizando como vía para la solución a la Articulación a crear entre ambas.

La formulación de la EMPIAE comienza por una caracterización del municipio y la elaboración del árbol de problemas/potencialidades, que considera las causas de esos problemas/potencialidades y sus condicionantes, tanto subjetivas como materiales, y de mediación en ambos casos.

En las EMPIAE, dicha necesidad es resolver los problemas que limitan y puede aprovechar las potencialidades que favorecen la producción de alimentos, la generación de energía a partir de fuentes renovables y el autoabastecimiento municipal; la finalidad es contribuir a la mejora de la calidad de vida de la población y al desarrollo local

sostenible del municipio; mientras que la articulación se enfoca a una gestión municipal integral, eficiente y creativa en la producción integrada de alimentos y energía; todo ello considerando las políticas nacionales y sectoriales, que tienen que incluir los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, la Conceptualización del Modelo Económico y Social Cubano de Desarrollo Socialista, y el Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta 2030.

### Formulación de la EMPIAE

Las EMPIAE se formularon a partir de 2013 en seis municipios, con especificidades en cada uno:

- En Guantánamo se concentró en la granja Paraguay y el Grupo Empresarial Labiofam, para fomentar áreas de *Jatropha curcas* asociada a cultivos alimenticios y a la mejora de la planta de producción de biodiésel instalada a partir del fruto de esta arbórea.
- En Urbano Noris y Manatí, el énfasis fue promover la producción de alimentos de origen animal y vegetal, así como la utilización del biogás.
- En Cabaiguán se continuó priorizando la producción agropecuaria, la construcción de biodigestores para el tratamiento de residuales animales y la utilización del biogás como fuente de energía, así como su distribución a diversas comunidades rurales.
- En Calimete la estrategia se concentró en la producción agropecuaria y los biodigestores, y se añadió la gasificación de la cáscara de arroz para la generación de energía.
- En Martí, la prioridad fue la construcción de grandes biodigestores de laguna tapada para el tratamiento de residuales en centros de producción porcina y la generación de electricidad, así como la gasificación de la cáscara de arroz para generar calor destinado al secado de este grano.

Por ejemplo, en Urbano Noris el problema principal identificado fue Insuficiencias en la producción de alimentos, la generación de energía a partir de fuentes renovables, su integración, el autoabastecimiento municipal y el aprovechamiento de potencialidades locales; y se identificaron las causas subjetivas, materiales y de mediación de este problema. Asimismo, se consideró que la principal condicionante de las causas subjetivas son la existencia de deficiencias en el proceso de implementación de los Lineamientos de la Política Económica y Social.

Referente a las condicionantes de las causas materiales, estas se subdividieron en condicionantes naturales y económicas. Las primeras abarcan las siguientes: i) predominio de suelos poco o muy poco productivos; ii) alta afectación de los suelos por erosión, salinidad y drenaje; iii) bajo promedio histórico de lluvia, pero se producen inundaciones por intensas lluvias en zonas llanas, bajas y de suelos poco permeables en la cuenca del río Cauto; iv) elevada vulnerabilidad por peligros de sequía y aridez; y v) incidencia de plagas y enfermedades.

Las condicionantes económicas identificadas fueron las siguientes: 1) insuficientes incentivos económicos y

limitaciones financieras; 2) afectaciones del bloqueo económico, comercial y financiero de los EE.UU., altos precios de combustibles en el mercado internacional y crisis económica mundial; 3) migración de fuerza calificada del municipio hacia sectores más atractivos; 4) existencia de deudas en unidades productivas agropecuarias, y 5) falta de personal calificado en la agricultura. Las principales condicionantes de causas de mediación fueron: existencia de un marco de leyes, normas y regulaciones que no se corresponde con las exigencias de los actuales cambios económicos, y centralización en decisiones relacionadas con estructuras, precios y financiamiento en divisas.

Con estos insumos se inicia el Diseño de implementación, que incluye la formulación de los objetivos estratégicos, las soluciones integradas y las soluciones para los problemas subjetivos y de mediación. Los objetivos estratégicos se orientaron a la solución de la Necesidad a satisfacer, a la creación de la Articulación y al logro de la Finalidad, o sea, al Triple Fin [Bellido y Hernández, 2015].

#### *Objetivos Estratégicos orientados a la solución de la Necesidad:*

1. Fomentar la agricultura sostenible, la generación de energía con fuentes renovables (FRE), la diversificación de los renglones productivos y las soluciones integradas, en lo esencial con recursos y otros medios locales. Ello incluye el reforzamiento de las redes de productores y actores relacionados en varios niveles, mediante la promoción del uso de las FRE, el desarrollo de experiencias para promover el biodiésel, el biogás y la gasificación de la biomasa, así como la demostración de la factibilidad económica y ambiental de la producción integrada de energía y alimentos.
2. Reforestar los suelos de alta fragilidad y las cuencas de los ríos, particularmente de esta Cauto, sobre todo con bambú y piñón botija (*Jatropha curcas*), utilizar las semillas de esta en la producción de biodiésel y emplear bioabonos producidos a partir de los efluentes de biodigestores.

#### *Objetivos Estratégicos orientados a la creación de la Articulación:*

1. Fortalecer las capacidades de actores locales para la gestión integrada (planificación, organización, ejecución, monitoreo y evaluación) de la estrategia de desarrollo local, y la implementación de una política pública con enfoque local e integrador que permita masificar el uso de las FRE.

#### *Objetivos Estratégicos orientados al logro de la Finalidad:*

1. Mejorar el nivel de vida de mujeres y hombres mediante el incremento de empleos e ingresos, el acceso a equipos e insumos productivos, superiores condiciones de trabajo, la disponibilidad del servicio de cocción con biogás y la mejora de las condiciones ambientales del hábitat en los asenta-

mientos, cooperativas y fincas integrantes del Plan Estratégico.

Asimismo, la propuesta de soluciones integradas sigue el flujo siguiente: identificar cada recurso a aprovechar y su ubicación, propuestas de soluciones tecnológicas y de financiamiento, su aporte al incremento en la producción de alimentos, la generación de energía y la reducción del consumo de combustibles, así como de la población que se beneficia y las mejoras en la calidad de vida y del medioambiente, con lo que se vuelve a iniciar este ciclo; cada solución integrada dispone de una ficha, que incluye todos los datos antes mencionados. Además, se establecieron las soluciones para los problemas subjetivos y de mediación, con sus responsables y participantes.

El Monitoreo y Evaluación local del Plan Estratégico asociado a la EMPIAE se concibe como uno de los cuatro procesos interdependientes del ciclo de gestión (planificación-organización-ejecución-control/evaluación), y consiste en: 1) un seguimiento operativo quincenal, por parte del Equipo Gestor y el CAM, de la marcha de las acciones y el presupuesto planificados; 2) un control técnico y de retroalimentación mensual; y 3) una evaluación-reflexión integral trimestral de los resultados del Plan (los dos últimos pasos se realizan con la presencia de los actores principales).

Esta labor generó la EMPIAE del municipio Urbano Noris (DMPF-MINAG-CAM, 2014), formulada por actores locales, catalizada por Biomás-Cuba y aprobada en la Asamblea Municipal del Poder Popular para otorgar su institucionalización. Dicha estrategia se plasma en un documento que contiene los aspectos siguientes: i) caracterización del municipio; ii) potencialidades y restricciones del desarrollo socio-económico local; iii) síntesis de la problemática, con las potencialidades y restricciones del espacio físico y socio-económico que intervienen en el desarrollo del municipio; iv) el análisis externo del sistema agropecuario municipal; v) propuesta de ordenamiento territorial para el desarrollo municipal; vi) líneas estratégicas para la base económica-productiva; y vii) Plan de Acción para la base económica-productiva 2015-2020, que previó construir 15 biodigestores financiados por Biomás-Cuba, con capacidad total de 310 m<sup>3</sup>, pertenecientes a siete cooperativas, para tratar excretas vacunas y porcinas y producir energía y bioabonos, lo cual se cumplió.

A la formulación de la EMPIAE contribuyó una guía metodológica [Suárez, 2013], la cual utiliza como insumos la estrategia de desarrollo local, la estrategia municipal de producción alimentaria, las prioridades de fomento de FRE (fuentes renovables de energía) -y sus programas de inversiones previstos-, la demanda de alimentos y de energía en el medio rural a mediano plazo, así como características y proyecciones de desarrollo de cada escenario agropecuario y las fuentes de biomasa aprovechables para producir energía.

Dicha guía, como apoyo a la implementación de la EMPIAE, sugiere las acciones siguientes: i) definir los escenarios productivos con potencialidades para producir y con-

sumir FRE; ii) seleccionar cuáles tecnologías de producción y utilización de las FRE son más apropiadas para cada escenario; y iii) evaluar qué capacidades y recursos existen y cuáles son necesarios resolver/potenciar/aprovechar, para promover la producción integrada de alimentos y energía, reduciendo/eliminando el consumo de energía fósil e incluso generar para el sistema electroenergético, en muchos casos.

Referente al plan estratégico y sus acciones concretas a corto, mediano y largo plazos que permita la implementación de la EMPIAE; la guía sugiere: i) analizar acciones para producir y consumir energía a partir de las FRE, definidas en cada escenario productivo, y ubicar cada una en un programa estratégico a corto, mediano y largo plazos; ii) considerar las potenciales fuentes y modalidades de financiamiento que pueden ser apropiadas para cada una de las acciones; y iii) elaborar la matriz energética municipal actual, así como de las principales organizaciones productivas agropecuarias.

El mismo enfoque se utilizó por los actores locales en Manatí, Martí, Calimete, Cabaiguán y Guantánamo; de ellos, los cuatro primeros territorios disponían de una estrategia de desarrollo local.

### Conclusiones

La formulación de EMPIAE, en la Fase II de Biomás-Cuba, permitió dotar a los CAM de seis municipios de una herramienta para contribuir a la seguridad alimentaria, al fomento de las FRE, a controlar la contaminación, a mejorar las condiciones de vida en el medio rural y al desarrollo local.

### Agradecimientos

Se agradece la elaboración del trabajo al Dr. C. Giraldo Martín Martín de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Universidad de Matanzas, Cuba, y del Lic. Abel Peña Alfonso, Centro de Desarrollo Local, Gobierno Municipal de Manatí, Las Tunas, Cuba. De igual forma, se reconoce la imprescindible ayuda de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (Cosude).

### Referencias bibliográficas

- BELLIDO, O. Y HERNÁNDEZ, M. (2015). «Plan estratégico para la producción integrada de alimentos y energía renovable en el municipio Urbano Noris». Dirección Provincial de Planificación Física y Consejo de la Administración Municipal, Urbano Noris, Holguín, Cuba, 38 pp.
- DMPF-MINAG-CAM (2014). «Estrategia municipal de producción integrada de alimentos y energía del municipio Urbano Noris». Urbano Noris, Holguín, Cuba: Dirección Municipal de Planificación Física, Delegación Municipal de la Agricultura y Consejo de la Administración Municipal, 67 pp.
- SUÁREZ, J. (2013). «Guía metodológica para la elaboración de la estrategia municipal de producción integrada de alimentos y energía». Proyecto Biomás-Cuba. Matanzas, Cuba: Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, 8 pp.

Recibido: 1ro de febrero 2020.

Aceptado: 15 de febrero de 2020.

# PRONÓSTICO ESPECIALIZADO PARA LOS PARQUES EÓLICO HERRADURA I Y HERRADURA II DE LA PROVINCIA LAS TUNAS

Por Lic. Wilber Ramírez Espinosa\*, Ing. Armando Carracedo Velázquez\* y Lic. Yadira Pérez Calzada\*

\* Instituto de Meteorología, Centro Meteorológico Provincial Las Tunas.

E-mails: wilber.ramirez@ltu.insmet.cu; armando.carracedo@ltu.insmet.cu; yadira.calzada@ltu.insmet.cu

## Resumen

En este trabajo se presenta el resultado del pronóstico especializado del viento a diferentes alturas y otras variables meteorológicas de interés, para la ejecución y puesta en marcha de los parques eólicos La Herradura I y II, de la Provincia Las Tunas, empleando las velocidades de viento a partir de datos meteorológicos obtenidos de la herramienta XyGrib a una altura de 10 metros y el parámetro de rugosidad en la zona, empleando la hoja de cálculo para hallar las velocidades de viento medias a diferentes alturas, teniendo en cuenta los modelos basados en la teoría de la similitud de Monin-Obukhov (MOST), que son los utilizados más frecuentemente en los problemas aplicados del viento en la climatología eólica. Además, se utilizó el programa de mareas Wxtide32 apoyado en tabla de mareas de 2018, para la estimación de la marea astronómica en la costa norte aledaña al área de los parques.

*Palabras clave:* Velocidad del viento, herramienta XyGrib, marea astronómica, Wxtide32

---

## SPECIALIZED FORECAST FOR THE HERRADURA I AND HERRADURA II WIND FARMS IN LAS TUNAS PROVINCE

### Abstract

This work presents the result of the specialized wind forecast at different heights and other meteorological variables of interest, for the execution and start-up of the La Herradura I and II wind farms in the Las Tunas Province, using wind speeds from meteorological data obtained from the XyGrib tool at a height of 10 meters and the roughness parameter in the area, using the spreadsheet to find average wind speeds at different heights, taking into account models based on theory of the Monin-Obukhov (MOST) similarity, which are the most frequently used in applied wind problems in wind climatology. In addition, the Wxtide32 tide program supported by the 2018 tide table was used to estimate the astronomical tide on the north coast surrounding the parks area.

*Keywords:* Wind speed, XyGrib tool, astronomical tide, Wxtide32.

---

### Introducción

Cuba, enfrascada en avanzar de manera sostenible, prioriza y promueve un mayor uso y diversificación de las fuentes renovables en su esquema energético, en lo cual ya cuenta con un programa dirigido a incrementar la independencia en esa rama, reducir los costos y aumentar la

eficiencia y seguridad en el suministro de electricidad a todos los sectores de la economía y a la población.

También la mayor de las Antillas considera primordial su apuesta por el empleo de las Fuentes Renovables de Energía (FRE) en su afán de contribuir a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, en corres-

pondencia con los compromisos pactados en los acuerdos internacionales sobre el cambio climático.

El director de Energía Renovable del Ministerio cubano de Energía y Minas, Rosell Guerra Campaña, en la Cumbre internacional efectuada en La Habana, el 27 de enero de 2018, se refirió a la política aprobada para el desarrollo de las FRE y la eficiencia energética, como una de las prioridades en el proceso de actualización del modelo económico cubano, y cuya meta para 2030 es lograr 24 % de participación de dichas fuentes en la producción de electricidad del país (actualmente apenas alcanza 4,5 %) [Casado, 2016].

La instalación y operación de los Parques Eólicos La Herradura 1 y La Herradura 2 es un proyecto único en el país. Sin experiencias previas, cada tarea se ha enfrentado como parte de un cronograma de trabajo detallado: la magnitud de estas labores así lo requiere.

Este tipo de actividad ingeniera y constructiva se realiza por primera vez en Cuba y ha tenido que sortear obstáculos como la inestabilidad de un terreno cársico, el comportamiento del clima y los retos que supone asumir un proyecto millonario de este tipo en un país subdesarrollado [Redacción Cubahora, 2018].

Las extensas llanuras y la vegetación baja de la región, resultan ideales para aprovechar los vientos alisios que soplan desde el océano Atlántico por la costa norte. Estudios de prospección eólica, desarrollados por el Centro Provincial de Meteorología y otras instituciones, confirmaron la existencia allí de corrientes de aire sostenidas de aproximadamente 6,8 metros por segundo a más de 50 metros de altura, lo cual demostró la factibilidad de la propuesta.

Según los directivos de la obra, en La Herradura-1 emplazarán 34 máquinas de 1,5 megawatt (MW) de potencia y estará compuesto por cinco circuitos. Sus aerogeneradores, con una altura de 65 metros, cuentan con palas de 37 metros. A su vez, La Herradura-2 lo integrarán 20 equipos de 2,5 MW, casi el doble de potencia, con altura de 80 metros y aspas de 54 metros [Parra & Fernández, 2018].

Esta obra se encuentra ubicada en el litoral norte de la Provincia de Las Tunas, desde la Playa Las Azules hasta Playa Caliente, al norte-noreste del asentamiento de Chapparra, en áreas perteneciente a la Empresa Forestal; su vinculación se realizará por la carretera Lora-La Herradura y demás viales existentes [Dirección Provincial de Planificación Física, 2013].

Por todo lo expuesto se propuso como objetivo confeccionar un pronóstico especializado del viento a diferentes alturas y otras variables meteorológicas de interés, para la ejecución y puesta en marcha de estos parques eólicos, para dotar a la DIP (como Inversionista) y a las empresas que brindarán servicios a las obras (de construcción, transportación, almacenamiento, izajes, montajes y otros) de un pronóstico de mediano y corto plazos sobre el comportamiento de las principales variables meteorológicas y del estado general del tiempo, que les permitan planificar con mayor objetividad las actividades que realizarán; prever acciones para preservar los suministros tecnológicos y hacer el uso más eficiente y seguro de los medios técnicos y recursos humanos a su disposición; anticipar (dentro de los márgenes de incertidumbres admisibles para los pro-

nósticos) las posibles afectaciones en tiempo y reajustar con objetividad sus plazos de ejecución.

### Materiales y métodos

Para la realización de esta investigación se utilizaron como fuentes de información los trabajos de Díaz, G., & Manuel, J. [2013]; Lighezzolo, A., De Elía, M. E., Tauro, C. & Torres, G. A. [2014]; Gassmann, M. I. [2015]; Soler-Torres, E., Sánchez-Suárez, L. M., & Borrego-Díaz, R. [2015]; Roque-Rodríguez, A., Carrasco-Díaz, M., & Reyes-Martínez, P. [2015].

Se utilizó el modelo numérico de predicción meteorológica Sistema Global de Predicción (GFS) desarrollado por National Centers for Environmental Prediction (NCEP) USA, que corre cuatro veces al día y produce pronósticos de hasta 16 días. Básicamente el modelo corre en dos partes. La primera tiene alta resolución y pronostica 192 horas (ocho días), mientras que la segunda parte corre desde la hora 192 hasta la 384 (16 días) en baja resolución. La resolución del modelo varía en cada parte del modelo: horizontalmente la resolución varía desde 35 a 70 km, verticalmente divide la atmósfera en 64 capas y temporalmente produce pronósticos cada tres horas en las primeras 192 horas y cada 12 horas hasta las 384 horas. El GFS es un modelo acoplado compuesto por cuatro modelos separados, un modelo de atmósfera, uno de océano, uno de tierra/suelo y uno de hielo marino. Estos cuatro modelos trabajan juntos para proveer mayor precisión en la representación de las condiciones climáticas. Para inicializar los pronósticos (Análisis) el GFS utiliza información que proviene del Global Data Assimilation System (GDAS). Este es el componente operativo del Grid point Statistical Interpolation (GSI), el cual es un sistema de asimilación de datos variacional tridimensional (3D\_VAR) [The GFS Atmospheric Model, 2003].

Se empleó la herramienta XyGrib que es un paquete de visualización de datos meteorológicos de código abierto con soporte a varios modelos de pronósticos. Este software se comunica con el servidor de archivos grib de OpenGribs, proporcionando una selección de modelos atmosféricos y de oleaje de alcance global. XyGrib también utiliza otras fuentes gratuitas y de acceso abierto de modelos regionales de alta resolución que se encuentran en el sitio asociado OpenSkiron.org [XyGrib, GRIB, GRIB reader, weather visualization, open source, GRIB files, zygrib, n.d.].

### Resultados y discusión

Para la confección del pronóstico especializado se fijó un área y dentro de ella se establecieron las coordenadas correspondientes a los parques eólicos La Herradura. Se emplearon las velocidades de viento a partir de datos meteorológicos obtenidos de la herramienta XyGrib (Anexo 2) a una altura de 10 metros y el parámetro de rugosidad en la zona, teniendo en cuenta la clasificación del Proyecto internacional de Evaluación del Potencial de Energía Eólica y Solar (siglas en inglés SWERA), ya que para el fin práctico de pronósticos meteorológicos y el comportamiento de variables para la región de los parques eólicos, es suficiente considerar la rugosidad de las áreas que concentran la mayor cantidad de Ags, en franjas alejadas de la costa con vegetación abundante, que se ajusta aceptablemente a la Clase Rugoso, con rugosidad de 0,25.

Se empleó la hoja de cálculo Excel para hallar las velocidades de viento medias a diferentes alturas, teniendo en cuenta los modelos basados en la teoría de la similitud de Monin-Obukhov (MOST), que son los utilizados más frecuentemente en los problemas aplicados del viento en la climatología eólica.

En la capa atmosférica superficial se conoce desde mucho tiempo que la velocidad del viento tiende a incrementarse a medida que se asciende, y que la superficie terrestre ejerce una acción de fricción o de retardo sobre la velocidad del viento. La representación de este comportamiento de la velocidad del viento con la altura, es lo que se conoce como el perfil vertical del viento o simplemente el perfil del viento y es expresado mediante fórmulas matemáticas, unas empíricas, como los modelos exponencial y logarítmico del viento, y otras con fundamentos teóricos, como la basada en la teoría de similitud de Monin-Obukhov [1954], mejor conocida internacionalmente por la abreviación de MOST. [Díaz, G., & Manuel, J., 2013].

$$V_z = V_{ref} \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_0}\right)} \quad (1)$$

Donde:

Z<sub>0</sub>: parámetro de rugosidad (Z<sub>0</sub>= 0,25 para el área del parque)

V<sub>ref</sub>: velocidad del viento a 10 m de altura

Z: altura a que se quiere estimar el viento sobre el nivel del suelo

V<sub>z</sub>: velocidad del viento a diferentes alturas

Además se utilizó el programa de mareas Wxtide32 (Anexo 3) apoyado en tabla de mareas de 2018, para la estimación de la marea astronómica en la costa norte aledaña al área de los parques.

### 1. Validación del pronóstico

Los datos meteorológicos utilizados en el presente trabajo han sido validados y revisados con el Sistema Automatizado de Revisión de las Observaciones Meteorológicas (SAROM), según las normas para la realización de observaciones meteorológicas de la Organización Meteorológica Mundial, y de la metodología aprobada por el Instituto de Meteorología (Insmet). Se utilizaron datos de la estación meteorológica 78 358 y se compararon con

De los resultados alcanzados con el índice de Pearson concluimos que existe correlación positiva entre la fuerza del viento observada y la pronosticada, de modo que a valores altos de viento observado corresponden valores altos en viento pronosticado, existiendo la misma correspondencia para valores bajos.

### 2. Análisis estadístico del Viento Observado y Pronosticado para la Estación de Puerto Padre

Para realizar el análisis se tomaron 912 observaciones de los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2018, y enero de 2019.

Tabla 1. Comparación de la fuerza del viento

Meses	Superior	Inferior	Igual	Total
Octubre	147	35	2	184
Noviembre	210	21	1	232
Diciembre	189	58	1	248
Enero	205	43	0	248
Total	751	157	4	912

Comparación de la fuerza del viento pronosticada contra la observada

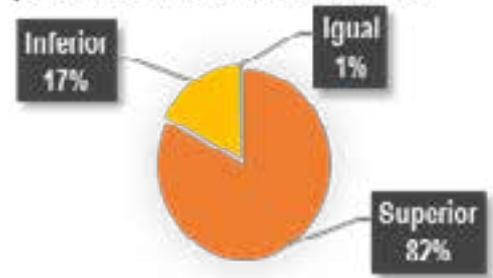


Fig. 1. Comparación de la fuerza del viento pronosticada contra la observada.

De la tabla 1 y la figura 1 se infiere que el modelo de pronóstico en la mayoría de los casos pronostica un valor de fuerza del viento superior al observado. A partir de esto se calculó el valor de la diferencia para cada observación y se promedió esta diferencia, dando como resultado 1,8 m/s de diferencia promedio entre la fuerza del viento pronosticada y la observada.

### 3. Análisis de Correlación

Se aplicó el Índice de Pearson como prueba de correlación estadística para probar este tipo de relación estadística. O sea según el valor del índice podemos inferir si un grupo de valores aumenta, disminuye o no cuando otro grupo también lo hace (Tabla 2 y Fig. 2).

Tabla 2. Relación estadística

VARIABLES DEL ÍNDICE	RESULTADO	CONCLUSIÓN
Coefficiente de correlación (r)	0,722	Correlación positiva entre viento observado y pronosticado
Significación Bilateral (p)	< 0,001	Los resultados alcanzados son significativos
Grados de Libertad	910	

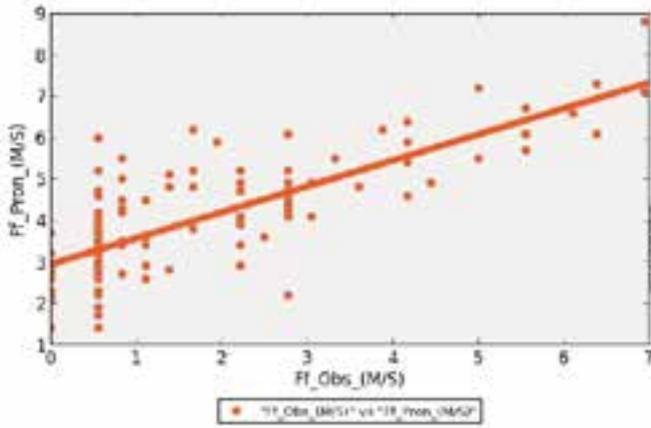


Fig. 2. Relación estadística.

#### 4. Análisis por observaciones

Se realizó un análisis comparando lo observado y pronosticado por horas, tomando en cuenta que los valores entre observaciones varían entre sí (Fig. 3).



Fig. 3. Promedio de fuerza del viento por observación.

De este análisis se concluye que en los horario de 15-Z, 18-Z, 21-Z y 00-Z los valores de fuerza del viento observado y pronosticado son más cercanos entre sí que en el resto de las observaciones.

#### 5. Análisis de la dirección del viento

Se analizó también la dirección del viento para ver cómo se correspondían los valores observados y pronosticados de esta variable, observándose un alto grado de correspondencia entre lo observado y lo pronosticado (Fig. 4).

#### 6. Aporte económico

En cuanto a la parte económica, el pronóstico especializado contribuye al ahorro de materiales (acero, cemento y otros) en el momento de la construcción de las bases, ya que se tienen en cuenta los datos de bajamar y pleamar, lo cual permite planificar las bombas de achique necesarias para mantener las bases sin agua durante todo el proceso de su fundición.

El montaje mecánico de los aerogeneradores solo se permite con velocidades de viento menor o igual a 8 m/s, lo cual se tiene en cuenta en el pronóstico de viento para el desarrollo de esta actividad.

Además, permite planificar el horario de montaje, lo cual contribuye a racionalizar el tiempo, los recursos humanos y materiales, ya que todo ese personal y equipos solo permanecerían en la obra en los horarios recomendados; fuera de este horario sería un gasto innecesario de combustible, alimentación al hombre, etcétera.

#### Conclusiones

La realización del pronóstico sobre la velocidad del viento y la marea astronómica permitió planificar con mayor objetividad las actividades a realizar; prever acciones para preservar los suministros tecnológicos y hacer el uso más eficiente y seguro de los medios técnicos y recursos humanos; anticipar las posibles afectaciones en tiempo y reajustar con objetividad sus plazos de ejecución.

Se constató que el modelo de pronóstico en la mayoría de los casos pronostica un valor de fuerza del viento superior al observado, siendo el promedio de esa diferencia de 1,8 m/s. Al realizar la correlación estadística con el índice de Pearson se comprobó que existe una correlación positiva entre la fuerza del viento observada y la pronosticada, de modo que a valores altos de viento observado corresponden valores altos en viento pronosticado, existiendo la misma correspondencia para valores bajos. Al analizar los datos por horarios se observó que durante el día los valores de fuerza del viento observado y pronosticado son más cercanos entre sí que durante la noche.

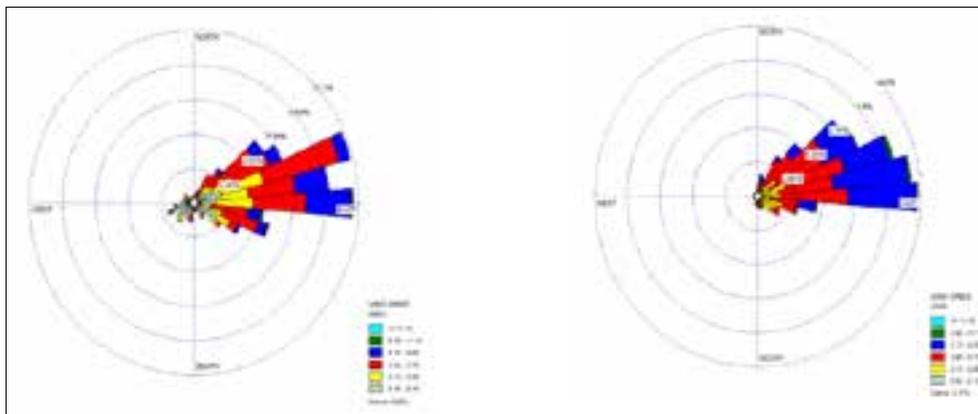


Fig. 4. Análisis de la dirección del viento.

## Bibliografía

- CASADO, L. C. (2016, September 6). «Cuba en el camino de renovar su matriz energética. Opciones». Retrieved from <http://www.opciones.cu/cuba/2016-09-06/cuba-en-el-camino-de-renovar-su-matriz-energetica/>
- DÍAZ, G., & J. MANUEL (2013). «Cuantificación del perfil del viento hasta 100 m de altura desde la superficie y su incidencia en la climatología eólica». *Terra*, 29(46), 81–101.
- Dirección Provincial de Planificación Física (2013). «Reubicación del Parque Eólico Herradura No. 2 Las Tunas y Holguín (Informe Técnico)». Las Tunas.
- ESTELA, L. B. L. (2017). *Pinceladas Meteorológicas*. La Habana: Ed. Científico-Técnica.
- «Feria de Energía Renovable en Cuba por nuevas oportunidades de negocios». (2018, January 27). Retrieved February 5, 2018, from <http://www.cadenagramonte.cu/articulos/ver/76682:feria-de-energia-renovable-en-cuba-por-nuevas-oportunidades-de-negocios>
- GARCÍA, M. I. B. G. I. B. & S. P. LITRÁN (2017). «Influencia de la rugosidad de la superficie del mar en la producción energética de los aerogeneradores marinos». Presented at the 21th International Congress on Project Management and Engineering, Cádiz.
- GASSMANN, M. I. (2015). «Variabilidad del parámetro de rugosidad sobre una cobertura vegetal». *Meteorológica*, 40(2), 59–72.
- HERRERO NOVOA, C. (2016). «Estudio de la velocidad del viento: análisis espacial y ajuste a una función de distribución (Tesis de Grado)». Universidad de Valladolid.
- LIGHEZZOLO, A. M. E. DE ELÍA, C. TAURO & G. A. TORRES (2014). «Integración de modelos numéricos de predicción meteorológica en sistemas de alerta temprana a emergencias (Tesis de Maestría)». Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.
- PARRA, E. D. & J. A. FERNÁNDEZ (2018, May 7). «Energía eólica en Las Tunas: atrapando el viento». *Periódico 26*. Retrieved from <http://www.periodico26.cu/index.php/es/deporte/item/9669-energia-eolica-en-las-tunas-atrapando-el-viento-video-mapa-infografia>
- REDACCIÓN CUBAHORA (2018). «Energía eólica en Cuba: lo que trae el viento» [Revista Digital]. Retrieved January 24, 2018, from <http://www.cubahora.cu/ciencia-y-tecnologia/lo-que-trae-el-viento>
- ROQUE-RODRÍGUEZ, A. M. CARRASCO-DÍAZ & P. REYES-MARTÍNEZ (2015). «Características del perfil vertical del viento en la capa superficial atmosférica sobre Cuba, atendiendo a la estratificación térmica de la atmósfera». *Ciencias de La Tierra y El Espacio*, 16(2), 189–200.
- ROQUE-RODRÍGUEZ, A. E. U. MONTENEGRO-MORACÉN & A. PEÑA-DE LA CRUZ (2018). «Particularidades del viento en la región oriental del país». En *Revista Cubana de Meteorología*, 24(3), 335–348.
- SANTANA, M. E. M. (2011). «Parámetros de rugosidad representativos de terrenos naturales (Tesis de Maestría)». Universidad de Granada.
- SOLER-TORRES, E. L. M. SÁNCHEZ-SUÁREZ & R. BORREGO-DÍAZ (2015). «Caracterización del viento para evaluar su potencial energético en la Isla de la Juventud». *Ciencias de La Tierra y El Espacio*, 16(2), 164–175.
- SOSA, Y. N. (2009). «Propuesta de una metodología para la descripción de la rugosidad en Cuba». En revista *Eco Solar*, (27): ene.-mar., 2009. La Habana: Ed. Cubasolar.
- «The GFS Atmospheric Model» (2003). Retrieved January 29, 2018, from <https://www.emc.ncep.noaa.gov/gmb/moorthi/gam.html>
- «XyGrib, GRIB, GRIB reader, weather visualization, open source, GRIB files, zygrib» (n.d.). Retrieved February 11, 2018, from <https://opengrubs.org/en/>

Anexo



Ilustración 1. Localización del Parque eólico.

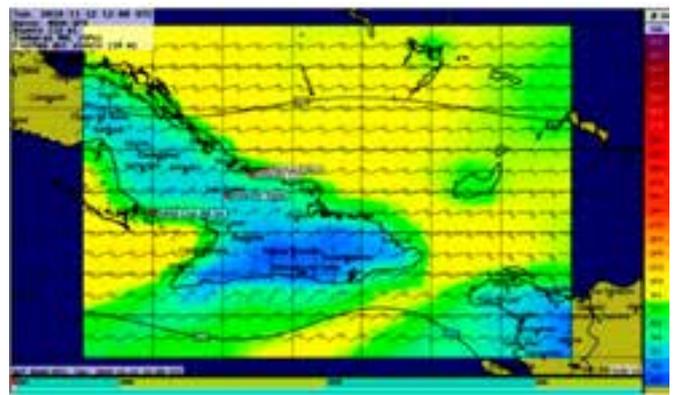


Ilustración 2. Área de pronósticos del modelo GFS en el software XyGrib.



Ilustración 3 Construcción de la base de un Aerogenerador (Fuente: Cubahora).



Ilustración 4 Vegetación predominante en el área del Parque Eólico (Fuente: Cubahora).

Recibido: 1ro de febrero 2020.

Aceptado: 15 de febrero de 2020.

# **BIODIGESTORES TUBULARES Y SU CONTRIBUCIÓN A LA MEJORA AMBIENTAL Y CALIDAD DE VIDA EN EL ÁREA RURAL: SISTEMATIZACIÓN DE UNA EXPERIENCIA EXITOSA EN EL MUNICIPIO DE PLACETAS**

Por **M. Sc., Ing. Omaid Cruz Montesino \***

\* Especialista en Ciencia y Técnica, Capacitación y Medio Ambiente en Unidad Empresarial de Base (UEB) Porcina, municipio de Placetas, Villa Clara, Cuba.  
E-mail: o.cruz@p6.vc.geg.cu

## **Resumen**

El trabajo se desarrolló en la Unidad Empresarial de Base Porcina (UEB) del municipio Placetas, provincia de Villa Clara. Se realizó una sistematización en el período diciembre 2018 a junio 2019 que involucró a beneficiarios directos, directivos de instituciones implicadas y otras organizaciones aliadas en el programa de introducción y generalización de los biodigestores tubulares de geo-membrana PVC, apoyado por el Programa de Pequeñas Donaciones/PNUD. Se aplicaron técnicas e instrumentos para la recolección de información, con la que se efectuó una interpretación crítica, un ordenamiento y una reconstrucción del proceso vivido, los que ayudaron a descubrir la lógica del proceso, los factores que han intervenido en él, cómo se han relacionado entre sí y por qué lo han hecho de ese modo. Todo lo anterior desde dos dimensiones fundamentales: la social y la ambiental. Consecuentemente se identificaron los aciertos y fracasos, se reflexionaron sobre ellos, y se logró un aprendizaje de la experiencia que constituye en elemento clave en el propósito para transferir y adaptar el conocimiento. Finalmente se presentan las lecciones aprendidas, que como un resultado estratégico fueron socializadas en diferentes espacios entre los grupos beneficiarios y las instituciones relacionadas con esta iniciativa de desarrollo en el municipio.

*Palabras clave: Biodigestores, social, ambiental, interpretación crítica, lecciones aprendidas.*

---

## **TUBULAR BIODIGESTERS AND THEIR CONTRIBUTION TO ENVIRONMENTAL IMPROVEMENT AND QUALITY OF LIFE IN RURAL AREAS: SYSTEMATIZATION OF A SUCCESSFUL EXPERIENCE IN THE MUNICIPALITY OF PLACETAS**

### **Abstract**

The work was carried out in the Porcine Base Business Unit (UEB) of the Placetas municipality, Villa Clara province. A systematization was carried out in the period December 2018 to June 2019 that involved direct beneficiaries, managers of involved institutions and other allied organizations in the program of introduction and generalization of the PVC geo-membrane tubular biodigesters, supported by the Small Donations Program/ UNDP. Techniques and instruments were applied for the collection of information, with which a critical interpretation, ordering and reconstruction of the lived process were carried out, which helped to discover the logic of the process, the factors that have intervened in it, how they have been related to each other and why they did it that way. All of the above from two fundamental dimensions: social and environmental. Consequently, successes and failures were identified, reflected on, and learning from experience was achieved, which is a key element in the purpose of transferring and adapting knowledge. Finally, the lessons learned are presented, which as a strategic result were socialized in different spaces between the beneficiary groups and the institutions related to this development initiative in the municipality.

**Keywords:** Wind speed, XyGrib tool, astronomical tide, Wxtide32.

### Introducción

El municipio Placetas cuenta con una población de 68 690 habitantes, su territorio está estructurado en 12 Consejos Populares, de los cuales 50 % son urbanos y los otros 50 %, son rurales. Posee una extensión territorial de 606,6 km<sup>2</sup> que representa 9 % de la provincia Villa Clara. La densidad poblacional es de 122 hab/km<sup>2</sup>.

La actividad económica de Placetas se concentraba inicialmente en la producción ganadera y maderera, y más tarde en la rama cañero-azucarera, tabacalera y los cultivos varios. En 2002, un estudio realizado por el Gobierno Local constató que aproximadamente 74 % de las familias placeteñas estaban vinculada directa o indirectamente a la producción cañero-azucarera.

En los últimos cinco años el desarrollo productivo del programa porcino en el municipio ha sido vertiginoso, se ha ganado en conocimientos y se ha generado toda una cultura agropecuaria que ha permitido a los productores lograr resultados con indicadores de eficiencia considerados de los mejores del país. Baste decir que de una producción de 3151,3 ton obtenidas en 2012, se cerró 2017 con 7520 ton de carne de cerdo en pie.

En el municipio están presentes 41 entidades productivas, la UEB Porcina Placetas mantiene en estos momentos relaciones contractuales con 27 entidades (65,8 %).

El número de productores involucrados en el programa también ha crecido exponencialmente, de 93 productores comerciales y de reproductoras en el 2012, el 2019 con 150 y 1040 de ceba con animales propios. Se calcula una masa estática en el municipio de unos 30 000 animales.

El propio crecimiento productivo, y el sistema de crianza intensivo utilizado, ha generado altas concentraciones de material orgánico biodegradable en lugares localizados, los cuales de no recibir un tratamiento adecuado para su descomposición pueden ocasionar fuertes focos contaminantes y serios daños al entorno. A eso se le añade la ubicación del municipio encima de tres grandes cuencas hidrográficas, la cuenca Zaza, considerada de interés nacional y las cuencas Sagua La Chica y Agabama, consideradas ambas de interés territorial.

El programa porcino en el municipio tiene como premisa fundamental lograr un crecimiento productivo en armonía con el entorno, dando cumplimiento con ello a las regulaciones establecidas en el país con relación al cuidado del medioambiente.

En sus inicios, los STR estaban conformados por lagunas de estabilización, trampas y lecho de secado. Los residuales no se manejaban adecuadamente, lo que daba lugar al incremento de la carga contaminante al manto freático. A partir de 2010 comienza a generalizarse en el municipio la incorporación de biodigestores a los sistemas, garantizando con ello mayor eficiencia en su funcionamiento.

En 2009 el Programa de Pequeñas Donaciones (PPD) del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) de conjunto con la ANAP<sup>1</sup> de la provincia Villa Clara, ejecutó un proyecto piloto de transferencia de tecnología y conocimiento al sector, con el cual se introdujeron en la provincia

Villa Clara biodigestores tubulares de bajo costo construidos con material de PVC y una capacidad de 10 m<sup>3</sup>.

El proyecto benefició a 36 productores de los municipios Camajuaní, Remedios, Caibarién, Sagua, Corralillo y 1 productor del municipio Placetas. En todos los casos participaron productores líderes que pudieran asimilar la tecnología y experimentarla, y a partir de sus resultados generar entusiasmo y motivar a otros productores.

El proyecto se convirtió en un pequeño laboratorio que sirvió de referencia para la promoción de modelos de sostenibilidad económica y social a una mayor escala. Su impacto sobrepasó las expectativas iniciales y de conjunto con las autoridades de la provincia (APPP<sup>2</sup>, Citma<sup>3</sup>, Minagri<sup>4</sup>, Anap<sup>5</sup>,) se decidió ampliar las actividades y generalizar la tecnología en el sector agropecuario.

Se escoge al municipio Placetas por diversas razones: su potencial hidráulico es considerable debido a su ubicación encima de tres cuencas hidrográficas de importancia para la industria, el abasto a la población y la actividad agropecuaria, y por otro lado el fuerte crecimiento mostrado por el municipio en el programa porcino, actividad priorizada para la seguridad alimentaria del país, pero con serias consecuencias para el medioambiente si no se trabajan adecuadamente sus residuales.

Se elaboraron, presentaron y aprobaron tres proyectos para el municipio que benefició a 97 productores con la introducción de 217 biodigestores de geo-membrana PVC.

El que un productor del municipio participara en el proyecto piloto y que hubiera asimilado la tecnología con entusiasmo y buenos resultados fue muy beneficioso para la segunda etapa; se convirtió, partiendo de los resultados obtenidos en su finca, en el principal promotor de la tecnología y contribuyó como instructor en el montaje de los nuevos emplazamientos.

Teniendo en cuenta esa problemática anterior se define como objetivo del trabajo el desarrollar un proceso participativo de sistematización que aplique los principales aprendizajes surgidos en el proyecto de introducción y extensión de biodigestores tubulares de geomembrana PVC en el municipio.

### Materiales y métodos

El trabajo se desarrolló entre diciembre de 2018 y 2019 en el municipio de Placetas. La muestra se estratificó en tres grupos de actores/as, a saber: a productores líderes (20 personas), instituciones del territorio (10 personas) y funcionarios financiadores (1 persona).

La metodología empleada considera el enfoque participativo y sostenible del proceso y ha validado su empleo en diferentes contextos socio políticos [Ardón, 2005].

La sistematización comprendió cuatro momentos [Antillón, 1995]:

2 APPP. Asamblea Provincial del Poder Popular

3 Citma. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente

4 Minagri. Ministerio de la Agricultura

5 ANAP. Asociación Nacional de Agricultores Pequeños

1 ANAP. Asociación Nacional de Agricultores Pequeños

1. Identificación del objeto y ejes de sistematización se basó en un taller participativo con beneficiarios directos (productores/as) y otros actores del municipio, como instituciones vinculadas al proyecto.

2. Planificación del proceso de sistematización.

- Revisión de documentos: se usaron los documentos de tres proyectos financiados por el PPD/PNUD al municipio, y se tuvo acceso a los informes finales y de evaluación de dichos proyectos.

3. Trabajo de campo.

- Entrevista con el funcionario del Programa de Pequeñas Donaciones del PNUD, usuarios de biodigestores e instructores encargados de desarrollar la capacitación técnica.
- Las visitas al campo para conocer el uso del biodigestor, la percepción sobre sus ventajas y desventajas, así como los efectos de esta tecnología en su entorno comunitario inmediato.
- Desarrollo de talleres participativos por zona denominados «Construyendo nuestros aprendizajes con enfoque de género». Participaron protagonistas de la experiencia, así como directivos y colaboradores del territorio e invitados de instancias provinciales. Se aplicaron herramientas de la educación popular, como el panorama histórico, matriz de bienestar y diagrama de articulación.

4. Análisis de informes de evaluación. A saber:

- Residuales porcinos por parte del laboratorio provincial de recursos hidráulicos.
- Control especializado a la actividad medioambiental.
- Informe de seguimiento y monitoreo del proyecto.
- Resultados de laboratorio de las cargas liberadas al ambiente, El trabajo ofrece un informe de sistematización que incluye lecciones aprendidas para ser socializadas en diferentes espacios del gobierno municipal para su análisis y toma de decisiones estratégicas para el territorio [Berdegué *et al.*, 2004].

### Resultados y discusión

El taller participativo realizado con 20 productores/as y 10 miembros de instituciones municipales vinculadas al proyecto permitió definir como objeto de sistematización el uso de alternativas renovables a través de biodigestores tubulares de geo-membrana PVC en el municipio de Placetas, y como ejes del proceso de sistematización:

- Calidad de vida
- Mejora ambiental

En el proceso de planificación intervinieron la especialista de medioambiente de la UEB Porcina, dos especialistas vinculadas a la actividad de gobierno en el municipio (Especialista del Fórum y Especialista de medioambiente, y una presidenta de Cooperativa de Créditos y Servicios).

La documentación analizada revela que la capacidad total de tratamiento de desechos orgánicos a partir de la crianza de cerdo se comporta de la manera siguiente:

- En el municipio existen 282 biodigestores instalados en convenios comerciales y de reproductoras, y de ellos 199 son tubulares, 82 de cúpula fija y 1 de campana móvil.
- Existen 150 productores dedicados a convenios comerciales y de reproductoras, de los cuales 142 poseen biodigestores incorporados al STR. El promedio es 1,8 biodigestores por productor.
- Por los proyectos del PPD se introdujeron 217 emplazamientos, pero por diferentes razones, entre ellas roturas, mala manipulación, almacenamiento en lugares inadecuados, afectaciones ocasionadas por roedores etc., 18 de ellos sufrieron averías y no se pudieron recuperar.

De la población de beneficiarios anteriores fueron seleccionados como muestra los productores/as vinculadas al PPD, por presentar las mismas condiciones tecnológicas entre ellos. Esta muestra fue diferenciada en tres niveles que relacionan el nivel de impacto sobre el ambiente debido a la carga orgánica de los cerdos en cautiverio (ver tabla 1).

Tabla 1: Muestra seleccionada en el trabajo diferenciada en niveles de impacto según su capacidad de tratamiento y de crianza de cerdos

Nivel de impacto	Cantidad de cerdos en cautiverio	No. de biodigestores	Cantidad de productores/as
Bajo	Hasta 75	1	8
Medio	76 hasta 150	2	10
Alto	151 hasta 230	3	7

A partir de los encuentros de planificación también fue elaborado el cronograma para desarrollar el trabajo de campo y sus demás etapas. Así mismo, se definieron las herramientas a aplicar, además de los recursos necesarios para las actividades. Se incluyeron 11 comunidades. La distribución de productores/as y comunidades aparece en la tabla 2.

El trabajo de campo se realizó con un enfoque participativo y de género (APC, 2005), reuniendo al productor (a), la familia y un grupo de campesinos de su radio de acción. Todas las herramientas se aplicaron en una jornada de trabajo.

Se realizaron 10 visitas de seguimiento a los emplazamientos, donde se pudieron constatar aspectos asociados al uso y manejo de los biodigestores y la cultura adquirida por los productores en torno al biodigestor tubular.

Fueron revisados 20 informes emitidos por el Laboratorio Provincial de Recursos Hidráulicos, que evaluaron la calidad de los residuales una vez incorporados los biodigestores tubulares a los STR. Todos cumplieron la norma establecida en el país para verter las aguas residuales a las aguas terrestres, pues los parámetros de contaminación se mantienen en el rango establecido por la NC 27/2012<sup>6</sup>.

Se consultaron 12 informes de controles especializados a la actividad medioambiental en las formas productivas y los respectivos planes de medidas dejados a los STR. Predominan en los informes problemas asociados al manejo de la proporción estiércol-agua en su entrada al biodigestor y al uso y manejo de los filtros desulfuradores.

6 NC 27/2012. Norma Cubana que regula el vertimiento de las aguas residuales a las aguas terrestres.

Muchos productores presentaron problemas de corrosión en las partes metálicas de las instalaciones por reaccionar el sulfuro de hidrógeno con los elementos metálicos.

Se efectuaron tres entrevistas a diferentes actores que participaron en el proceso, el funcionario que atiende el PPD en Cuba, un instructor de la tecnología y un funcionario del Gobierno. En todos los casos coincidieron en la integración temprana de los beneficiarios en los procesos, el sentido de responsabilidad y pertenencia asumido y lo interactivo del aprendizaje que facilitó identificar y priorizar los asuntos más urgentes.

Los productores que instalaron dos o tres biodigestores fueron los que más aliviaron la carga contaminante que genera la producción porcina de sus instalaciones. Estos eran los mayores focos contaminantes del municipio y con la incorporación del biodigestor disminuyeron considerablemente los indicadores ambientales de impacto de su residual (sólidos totales, demanda bioquímica de oxígeno,

demanda química de oxígeno), comprobándose su gestión eficiente.

Los efluentes fueron utilizados en diferentes actividades agroecológicas. Se destacaron en su uso los productores/as de nivel medio y alto. Utilizan fundamentalmente el efluente líquido en el fertirriego a los cultivos, con el consecuente aumento de rendimiento de las cosechas, el mejoramiento del suelo y el ahorro de dinero por no compra de fertilizantes. El efluente sólido es utilizado fundamentalmente por las mujeres, en la jardinería en las viviendas campesinas.

Se revisaron los tres informes finales de proyectos donde se comprobó el alto nivel de satisfacción alcanzado con la ejecución del proyecto por parte de los beneficiarios, creando un precedente importante para posteriores financiamientos de proyectos similares en otras regiones del país.

En los talleres participativos por zonas participaron 64 personas; de ellas cuatro funcionarios provinciales del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. La

Tabla 2: Comunidades donde se ubican los productores/as

No. de biodigestores instalados	Nombre del productor/a	Comunidad
1 biodigestor	Leonides López Pérez	Zaza
	Noel Falcón Enrique	Fidencia
	Manuel León de la Concepción	Fidencia
	Orlando Pontigo Fernández	Manzanares
	Secundino Gutiérrez Martínez	Manzanares
	Sergio A. Acosta Camacho	Miller
	Alfredo Pentón Morales	Cumbre
2 biodigestores	Bruno Castellanos de la Nuez	Cumbre
	Camilo Pérez Morales	Copey
	Víctor González Ruiz	Copey
	Elio Hernández Peñate	Tarrau
	Milagro Venega González	Tarrau
	Eliezer Figueroa Martín	Copey
	Eusebio Marante González	Hermanos Amejeiras
3 biodigestores	Ana M. Amador Martínez	Fidencia
	Luis A. Navarro China	Cumbre
	Orelvis R. Alfonso Martínez	Cumbre
	Alberto Pérez Mayea	Zaza
	Altair Lujan Pérez	Mamey
	Wilfredo Rojas Morales	Mamey
	Orelbis Peñate Mesa	Hermanos Amejeiras
3 biodigestores	Idalia E. Sáez Fernández	Hernando
	Félix Pérez Hernández	Tarrau
	Javier Viera Hernández	Cumbre
	Oswaldo Ponce García	Vigía

aplicación de la herramienta «Panorama histórico» permitió que los participantes hicieran una ubicación sinóptica del proceso vivido y sus principales hitos. Se pudo comprobar que el momento de mayor involucramiento de los diferentes actores fue durante el montaje de los biodigestores. El avance en la construcción de los emplazamientos generó confianza y motivación, las fincas se convirtieron en aulas de aprendizaje práctico y el conocimiento se transfirió de una manera horizontal.

El diagrama de articulación señala que los productores/as identifican estar más cercanos en sus relaciones de capacitación, apoyo y seguimiento a los biodigestores tubulares instalados con los especialistas de la Empresa Municipal de Porcino y la ANAP<sup>7</sup>, mientras que con instituciones como ACPA<sup>8</sup>, Actaf<sup>9</sup> y FMC<sup>10</sup> mantienen vínculos más lejanos.

Los testimonios de los participantes señalan que los biodigestores tubulares de PVC son de buen nivel de aceptación por las familias campesinas, aunque reconocen que son menos duraderos que otros diseños. Y además son vistos como importantes alternativas para el ahorro y el valor agregado de la cría de cerdos.

Las visitas y encuentros con las familias beneficiarias y el desarrollo de los talleres «Construyendo nuestros aprendizajes con enfoque de género» permiten conocer que las principales acciones de mejora a la calidad de vida y la ambiental son:

En el ejercicio de la matriz de bienestar la mayoría de las opiniones son referidas por mujeres y denotan algunos

cambios del proyecto en sus vidas. Las principales valoraciones aparecen en la tabla 3.

Por su parte, a nivel político y estratégico el Ministerio de la Agricultura ha tomado importantes decisiones que benefician el municipio y al resto del país; ellas son la creación capacidades para solucionar los problemas de reparación y mantenimiento de los biodigestores y la compra de piezas/agregados. Por su parte, las autoridades del municipio han realizado campañas divulgativas para la promoción de la tecnología con las experiencias de productores/as en espacios radiales, y la publicación en periódicos provinciales y nacionales.

Como un elemento que resume el proceso se realizó un ejercicio participativo para definir las lecciones aprendidas, las que según los ejes seleccionados, son las siguientes:

### Calidad de vida

1. Las actividades de capacitación del proyecto para el manejo eficiente de los biodigestores es reconocido como el proceso más significativo para los productores/as, que les permiten aprovechar sus ventajas durante su explotación y evitar averías.

2. La familia campesina se independiza como consumidor energético y logra una integración total de los recursos aprovechables dentro de la finca.

3. La instalación disminuyó el trabajo de la mujer por sustituir actividades como la búsqueda, acarreo y empleo de la leña en la cocción de alimentos.

4. El biodigestor es apreciado por los productores/as como un sistema que se integra en las actividades agropecuarias de la finca con ventajas económicas y productivas, que ahorra dinero a la familia.

5. Las familias se apropiaron de nuevas costumbres y actividades domésticas e integraron la limpieza del corral

7 ANAP. Asociación Nacional de Agricultores Pequeños

8 ACPA. Asociación Cubana de Producción Animal

9 Actaf. Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales

10 FMC. Federación de Mujeres Cubanas

Tabla 3: Herramienta Matriz de bienestar

Opiniones de bienestar	Alto significado	Medio significado	Bajo significado
No se «corta» leña. A casi nadie le agrada la idea de tener que «cortar» la leña y con el biodigestor esta se evita por completo	X		
Mejora la economía familiar al sustituir la electricidad	X		
Es muy rápido para cocinar		X	
Más tiempo disponible y calidad de vida de las mujeres	X		
Las reparaciones del biodigestor son sencillas			X
Es una inversión para varios años		X	
Crea empleos especializados		X	
Evita los malos olores entre 90 y 100 %		X	
Es posible utilizar los productos secundarios como abono o fertilizante	X		
Ganancias por ahorro de dinero en compras de combustibles domésticos		X	
Se evita la contaminación de suelos y agua	X		
No se da la proliferación de insectos			X

como momento de alimentación del biodigestor, lo que se consigue con el arrastre del estiércol y orine por el agua de limpieza.

6. El otorgamiento de créditos bancarios para la construcción de los nuevos emplazamientos es un efecto indirecto del proyecto que favorece a la comunidad y las familias.

7. Nuevos empleos surgen con algunos facilitadores que ganaron empíricamente nuevas habilidades y hoy prestan servicios a la comunidad de origen y otras, en la instalación y mantenimiento en sus comunidades.

### Mejoras ambientales

1. Las familias que hacen uso de los biodigestores reconocen sus resultados sobre las condiciones ambientales, al precisar que evitan los malos olores, la tala de árboles, la producción de humo, el calentamiento global y proliferación de insectos, entre otros.
2. Existen un conocimiento extendido de la importancia de combustionar el gas y así evitar emitirlo a la atmósfera.
3. El empleo generalizado de los efluentes del biodigestor en la producción agrícola permite cerrar el flujo energético del sistema y ahorra recursos a la familia y el país.
4. El proyecto generó iniciativas e innovación local, que hizo extender a otras familias de la comunidad el uso de biodigestores con las ventajas ambientales, que de ello se derivan.
5. La capacitación y el seguimiento constituyeron una vía efectiva para disminuir los riesgos de incendio y explosión.
6. La vinculación de instituciones en alianza fue clave para integrar y acompañar los productores/as de manera más efectiva.
7. El proyecto y sus resultados consiguieron incidir en la toma de decisiones del gobierno del municipio, el que apoya una estrategia para la extensión de esta tecnología a otros productores y así, a la sostenibilidad del territorio.

Los resultados del trabajo de sistematización han sido presentados en los espacios siguientes: Porcicultura Tropical 2019, Fórum de Base, Municipal y Ramal Provincial de Ciencia y Técnica, Fórum Provincial de Gobierno, Evento Provincial de Cubasolar.

### Conclusiones

El proceso de sistematización identificó como principales aprendizajes la valoración positiva de los productores/as sobre el proyecto por sus aportes a la calidad de vida y la mejora del ambiente, sobre todo por la dis-

minución de esfuerzos para la mujer y la disminución de carga contaminante hacia el agua y el aprovechamiento de los efluentes en la agricultura.

La introducción de nuevos diseños de biodigestores tubulares de geomembrana de PVC al municipio permitió incorporar un cambio cultural a la porcicultura, pues supuso un cambio de hábitos en la familia, tanto para el cuidado del biodigestor como para la propia utilización de los efluentes resultantes para su beneficio.

La sistematización permitió identificar «Lecciones aprendidas» que permitieron visualizar en los actores involucrados los aprendizajes alcanzados durante el proyecto.

En el proceso de transferencia tecnológica, la utilización de metodologías horizontales y participativas permitieron una apropiación rápida del conocimiento por parte de los beneficiarios.

El trabajo influyó en la toma de decisiones por parte del gobierno, que impulsan el proyecto y extiende sus impactos.

### Recomendaciones

- Realizar más eventos de socialización local y provincial con productores, líderes de base, especialistas y directivos donde se expongan las Lecciones Aprendidas en el proceso de generalización de la tecnología.
- Desarrollar procesos de sistematización en otros municipios con capacidad instalada de biodigestores.

### Bibliografía

- ARDÓN MEJÍAS, M. (2005). «Memorias Taller investigación participativa integral». PIDAASSA, Varadero, Cuba, 23 p.
- Antillón, R. (1995). «Cómo entendemos la sistematización desde una concepción metodológica dialéctica». Editorial IMDEC, 34 p.
- ASOCIACIÓN DE PEDAGOGOS DE CUBA (2003). *Selección de lecturas sobre sistematización*. La Habana, CIE Graciela Bustillos, 45 p.
- BERDEGUÉ, J. Y OTROS (2004). «Sistematización de experiencias locales de desarrollo agrícola y rural. Guía metodológica». Santiago de Chile, 51 p.
- ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE TRABAJO (2016). «Construyendo nuestros espacios de aprendizaje. Documento de socialización para la creación activa, participativa y ecológica de “Ambientes Inclusivos de Aprendizaje” (AIA)». Quito, 26 p.
- SOSA, R. Y OTROS (2011). «Manual para la construcción e instalación de sistemas de biodigestores tubulares de polivinil cloruro», 13p.
- GUARDADO CHACÓN, J. A. (2017). *El Movimiento de Usuarios del Biogás en Cuba*. La Habana: Ed. Cubasolar, 139 p.

Recibido: 1ro de febrero 2020.

Aceptado: 15 de febrero de 2020.

# **APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA CINÉTICA DE LAS CORRIENTES DE LAS MAREAS DE LOS CANALES ENTRE LOS CAYOS DEL NORTE DEL MUNICIPIO DE MARTÍ, PARA GENERAR ELECTRICIDAD. PROPUESTA DE PROYECTO**

Por Dr. C. José Luis Sánchez Avila\*  
\*Cubasolar Delegación Matanzas.

## **Resumen**

Mediante estudios preliminares se conocieron las potencialidades de los canales entre cayos e islotes en el norte del municipio de Martí, fundamentalmente la posibilidad del aprovechamiento de la energía cinética de las corrientes que producen las mareas en los siguientes canales Canal de La Manuí; Canal de Los Barcos; Canal Juan Claro y Canal Juan Clarito. Se expusieron en el trabajo las potencialidades preliminares de los dos primeros: el canal de Los Barcos y el canal de La Manuí, que son los que tienen más fácil acceso y tienen un estudio precedente. Se espera en una segunda oportunidad, de tenerse financiamiento disponible, realizar el estudio de los canales Juan Claro y Juan Clarito.

Con la ejecución de este proyecto se pudiera lograr tener en Matanzas un sistema de generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables (aprovechándose las mareas), además de tenerse a mano mayor nivel de información, educación y cultura general en estas tecnologías; a la vez se puede lograr una repercusión económica considerable, pues generaría energía limpia evitándose el uso de combustibles fósiles no renovables y contaminadores del medioambiente. Sería el primer paso en Cuba para la generalización futura del uso de las corrientes de las mareas y ríos para generar electricidad a partir de la energía cinética de las corrientes hidráulicas

*Palabras clave: Energía de las mareas, turbinas hidráulicas, energía eléctrica.*

---

# **HARNESSING THE KINETIC ENERGY OF THE TIDAL CURRENTS OF THE CHANNELS BETWEEN THE NORTHERN KEYS OF THE MUNICIPALITY OF MARTÍ, TO GENERATE ELECTRICITY. PROJECT PROPOSAL**

## **Abstract**

Preliminary studies revealed the potential of the channels between cays and islets in the north of the municipality of Martí, mainly the possibility of taking advantage of the kinetic energy of the currents produced by the tides in the following channels: La Manuí Canal; The Boat Channel; Juan Claro Channel, Juan Clarito Channel. The preliminary potentialities of the first two channels were exposed in the work: the Los Barcos channel and the La Manuí channel, which are those that have the easiest access today and are the ones that have a previous study, are expected in a second opportunity. If financing is available, carry out the study of the Juan Claro and Juan Clarito channels.

With the execution of this project, it would be possible to have a system of electricity generation in Matanzas using renewable sources (taking advantage of the tides), in addition to having at hand a higher level of information, education and general culture in this type of technology, to the Perhaps a considerable economic impact can be achieved, since it would generate clean energy avoiding the use of non-renewable fossil fuels and environmental pollutants. It would be the first step in Cuba for the future generalization of the use of tidal currents and rivers to generate electricity from the kinetic energy of hydraulic currents.

*Keywords: Wind speed, XyGrib tool, astronomical tide, Wxtide32.*

---

## Descripción

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

La provincia de Matanzas está enclavada en la parte occidental de la República de Cuba (ver Fig. 1) y posee una población de alrededor de 700 000 habitantes.

El mapa descriptivo de Cuba con la zona donde se aplicará el proyecto es el siguiente:

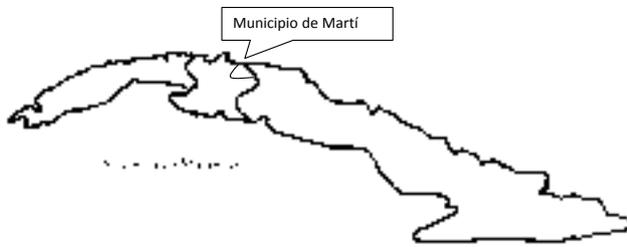


Fig. 1. Mapa de Cuba con la provincia de Matanzas y el municipio Martí.

Para el uso sostenible de las fuentes de energía renovables es indispensable que exista en la provincia de Matanzas un polígono demostrativo de las principales fuentes de energía renovable, que demuestre que su utilización no contamina el medioambiente. En ese contexto, y a partir de la edificación asignada para la delegación de Cubasolar en Matanzas, se ha diseñado un proyecto que permita la divulgación, capacitación y consulta en función de tener en dicho polígono un Centro generador del desarrollo de las actividades encaminadas al conocimiento y aprovechamiento racional de las fuentes renovables de energía; esto es, la energía solar en sus diferentes manifestaciones: la biomasa, el biogás, la energía hidráulica, del mar y la eólica, la solar fotovoltaica, la solar térmica, así como su aprovechamiento en la solución de los problemas económicos y sociales de la provincia y del país.

## Objetivo principal

El objetivo principal es, en un primer momento, estudiar y calcular las potencialidades de los dos canales entre los cayos principales del norte de Martí, y en un segundo momento la factibilidad de adquisición de varias turbinas hidráulicas para generar energía eléctrica aprovechándose la energía cinética de las corrientes de agua que producen las mareas en dichos canales.

## Objetivo secundario

Como objetivo secundario se proyecta contribuir a la red nacional con energía eléctrica limpia, y demostrar que

es factible el aprovechamiento de la energía cinética de las corrientes de agua que producen las mareas para obtener electricidad; además, para que sirva a la capacitación, desarrollo y divulgación de este tipo de energía renovable.

## Alcance

El alcance del proyecto es local, pero va a permitir la divulgación, capacitación y el desarrollo de futuros proyectos para la aplicación de la energía renovable de las mareas y algunos ríos en la provincia de Matanzas, y posteriormente generalizarlo al resto del país, recordando que la Isla de Cuba se encuentra rodeada de cayos e islotes, cuyos canales intermedios son factibles de utilizar durante los cambios de marea, sin contaminar el medio ambiente.

## Contenido general

Se ha estudiado, en el norte del municipio de Martí, la posibilidad del aprovechamiento de la energía cinética de las corrientes que producen las mareas en los canales siguientes:

- Canal de La Manuít
- Canal de Los Barcos
- Canal Juan Claro
- Canal Juan Clarito

Primero se estudiarían los dos primeros canales, el de Los Barcos y el de La Manuít, que son los que hoy tienen más fácil acceso y tienen un estudio preliminar realizado hace ya más de 20 años; y en una segunda oportunidad, de tenerse financiamiento disponible, realizar el estudio de los canales Juan Claro y Juan Clarito.

Al inicio se adquirirían los instrumentos para realizar las mediciones de profundidad, velocidad y temperatura del agua, todos ellos portátiles y mediante baterías recargables, así como una computadora de mesa, laptop y periféricos para el tratamiento de las mediciones y cálculo posterior del estimado del flujo, la energía máxima y mínima posible a aprovechar, y la determinación de la ubicación y distribución futura de las turbinas hidráulicas posibles a instalar. También en esta primera etapa se adquirirían los equipos de buceo necesarios para el estudio de los perfiles y el fondo de los canales, para evitar accidentes y deslizamientos que pongan en peligro las turbinas de generación, así como evitar afectaciones a la navegación y circulación de naves por esos canales; este módulo debe venir con sistema de protección contra tiburones, no tan comunes en esa zona pero posibles de encontrar. Un escáner de profundidad sería ideal para determinar los perfiles del fondo marino.

También es imprescindible la adquisición de un Van o camioneta todoterreno que utilice combustible diésel, y que además tenga la posibilidad de consumir también biodiésel, biocombustible que va a empezar a producirse en fincas de ese municipio mediante un proyecto europeo con el municipio de Martí y con la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey del municipio de Perico, en la propia provincia de Matanzas. También el polígono de energía renovable (Delegación de Cubasolar en Matanzas) debe tener en un futuro, mediante proyectos, una pequeña

planta de generación de biodiésel con aceites desechables de los hoteles e industrias de la provincia. Este transporte es imprescindible para el traslado de los instrumentos de medición y computadoras, y también para poder acceder a la zona objeto de estudio, que es bastante remota, sin carreteras asfaltadas y sin existencia de transporte local hacia esa zona; es por esto último que también se necesita que el Van posea *winch* en la parte delantera y trasera del vehículo, ya que en el período lluvioso esa zona se convierte en un pantano, donde es muy posible quedar atascado.

También se necesita para la realización de las mediciones:

1. Un módulo de supervivencia, casa de campaña, herramientas, cocina portátil, radio portátil, radio-localizador, televisor portátil, cargadores de baterías, etc.; para la estadía en esos lugares apartados.
2. Brújula, celulares satelitales, GPS u otro localizador para guiar en condiciones de extrema oscuridad o comunicar en caso de naufragio, accidentes o de alguna otra contingencia.
3. Destilador solar pequeño portátil para purificar agua, que permita su consumo sin utilizar productos químicos.
4. Paneles fotovoltaicos portátiles para la producción de energía eléctrica, para utilizar durante el día la energía generada para cargar las baterías de los equipos portátiles.
5. 5. Financiamiento para alquilar una de las 20 lanchas que existen en el lugar, adquirir el combustible del vehículo y la lancha que se alquile.

En el caso del Canal de la Manuí se construyó un camino de tierra de más de 20 km que llega hasta el mismo canal, al cual se puede acceder por dicho camino. En el caso del Canal de los Barcos se llega hasta el caserío de La Salina por carretera y de ahí, hasta el canal, se necesita un barco para cruzar la bahía de Santa Clara (alrededor de 15 km); en ese lugar existe una base de pesca deportiva con más de 20 barcos, con los que se pueden contratar los viajes.

En un segundo momento, y en función de los resultados obtenidos en los cálculos, se espera la adquisición de varias turbinas hidráulicas para la generación de electricidad, con transformadores, convertidores, cables y sincronizadores para su futura sincronización con la red eléctrica nacional.

**Ecuaciones utilizadas**

Los resultados de estas ecuaciones se reflejan en la tabla 2, lo primero que se calcula es la potencia cinética máxima que tiene la corriente, mediante la expresión siguiente:

$$E = \frac{V^2}{2 \cdot 1000} \cdot G \cdot n \cdot \zeta$$

Donde:

Ek → Energía cinética máxima de la corriente, kW

V → Velocidad del flujo o corriente, m/seg (entre 2 y 3 m/seg, llega hasta 5 m/seg)

G → Gasto o flujo, kg/seg

n → Cantidad de turbinas posibles a instalar (se proponen 100)

η → Eficiencia de las turbinas (fracción, 0,9)

1000 → Conversión de Watt a kiloWatt

El flujo puede determinarse por la expresión siguiente:

$$G = V \cdot A \cdot \rho$$

Donde:

ρ → Densidad del agua de mar, 1000 kg/m<sup>3</sup>

A → Área útil de la sección transversal que pueden barrer las aspas de la turbina, m<sup>2</sup>. Ver figura 2

El área se calcula por la expresión siguiente:

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

Donde:

π → 3,14159

d → diámetro útil de barrido de las aspas de la turbina, m. Se proponen 10 metros de diámetro. Mediante la figura siguiente se puede observar el tipo de turbina y su colocación:

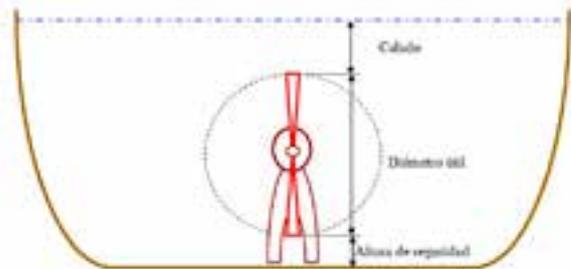


Fig. 2. Esquema frontal del posicionamiento de la turbina.

Donde:

Calado → de 15 a 25 metros, según la profundidad sea de 30 o 40 metros

Diámetro útil → Se proponen 10 metros de diámetro

Altura de seguridad → Al menos 5 metros, puede llegar a 10 metros

**Determinación de la energía del agua**

Para determinar la energía del agua hay que partir del hecho de que con el aumento de la altura de la marea la velocidad en el canal va aumentando progresivamente, y después disminuyendo hasta llegar a 0. Este ciclo lo com-

pleta en un tiempo aproximado de seis horas y 12 minutos, repitiéndose luego en sentido contrario. Se ha seleccionado un generador con álabes de 10 metros de diámetro y la fórmula utilizada para la energía es la siguiente:

### Determinación de la potencia útil máxima

La potencia útil máxima que se puede extraer de este flujo de agua en movimiento se obtiene por la ecuación:

$$\Delta N \text{ útil máx} = \frac{8\rho A V_1^3}{27} \eta \Delta N \text{ útil máx} = \frac{8\rho A V_1^3}{27} \eta$$

Donde:

$\eta$ =rendimiento de la turbina

### Determinación de la potencia real aprovechable por la turbina

Esta potencia se determina a partir de la ecuación:

$$\Delta N \text{ real aprov.} = \frac{8\rho A V_1}{27} (V_1^2 - V_2^2) \cdot \eta$$

$$\Delta N \text{ real aprov.} = \frac{8\rho A V_1}{27} (V_1^2 - V_2^2) \cdot \eta$$

Donde:

$V_1$  = Velocidad de entrada

$V_2$  = Velocidad de salida

### Determinación de la potencia por el coeficiente Cf

La potencia a partir del coeficiente Cf puede determinarse por la ecuación siguiente:

$$N = \frac{1}{2} C_f \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad N = \frac{1}{2} C_f \cdot \rho \cdot A \cdot V^3$$

Donde:

$C_f$  = Coeficiente de pérdidas para el caso de utilización de molinos de agua

### Impacto económico y ambiental

Con la ejecución del proyecto se puede tener en Matanzas un sistema de generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables (aprovechándose las mareas), además de tenerse a mano mayor nivel de información, educación y cultura general en este tipo de tecnologías; a la vez se tiene una repercusión económica pues generaría energía limpia evitándose el uso de combustibles fósiles no renovables y contaminadores del medio ambiente. Sería el primer paso para la generalización futura del uso de las corrientes de las mareas y ríos para generar electricidad a partir de la energía cinética de las corrientes hidráulicas.

El costo inicial es relativamente alto pero se amortiza teniendo en consideración los precios que tiene el petróleo y el daño ecológico que se evita. La propuesta inicial sería colocar 200 turbinas hidráulicas de 100 kW, con una potencialidad máxima de generación de 20 000 kW (20 MW).

### Cálculos económicos

Para calcular la potencia aprovechada se multiplica el número de turbinas por la potencia aprovechable promedio por hora. La energía aprovechable al día se calcula multiplicando el número de turbinas por la potencia real aprovechable y se obtiene la potencia aprovechable al año multiplicando por 365 días, y por tanto, multiplicando por la tarifa eléctrica se calcula el dinero ahorrado al año.

a) Cálculo de recuperación de la inversión

$$Tri = \frac{\text{Inversión (\$)}}{\text{Ahorro} \left[ \frac{\$}{\text{año}} \right]} = \text{año}$$

La recuperación se determina multiplicando el costo del KW instalado por la potencia a instalar. De ahí se tiene el costo de la inversión y dividiendo por el dinero ahorrado será el tiempo de recuperación.

Según los precios del mercado europeo es posible recuperar la inversión en tres años y seis meses, inferior a los cinco años, lo cual se considera muy positivo desde el punto de vista económico.

Estos ahorros no tienen en cuenta la posibilidad de adquisición de bonos de carbono por el ahorro en emisiones del CO<sub>2</sub>, que es un gas que incrementa el efecto invernadero.

b) Principales resultados técnicos obtenidos

Para la realización de los cálculos se hace necesario conocer los datos mostrados en la tabla 1.

Tabla 1. Datos preliminares para el cálculo

Datos:		
Densidad del agua	1000	kg/m <sup>3</sup>
Diámetro de las paletas	10	m
Rendimiento de la turbina	0,5	adimensional
Área	78,54	m <sup>2</sup>
Tarifa	0,24	\$/kW.hr
Precio del petróleo	700	\$/Ton
Coef b=Vsalida/Ventrada	0,5	adimensional
Coeficiente de pérdidas (Cf)	0,3	adimensional

Se calcula la energía total que existe en el flujo de agua en movimiento, resultando ser:

$$E_k = 2158,6 \text{ kW.hr/día}$$

De dicha energía puede obtenerse una potencia útil máxima:

N útil máx.= 639,6 kW.hr /día

Se obtiene una potencia real aprovechable de:

N real=480 kW.hr /día

La tabla 2 muestra los resultados obtenidos a partir de las horas de las mareas y las velocidades de entrada y salida del agua

**Resultados económicos**

Se realiza el cálculo económico a partir de la instalación de 200 turbinas con capacidad para generar 100 kW cada una, lo

cual da como resultado una potencia a instalar de 20 MW, de los cuales se aprovecharán aproximadamente 4 MW para un porcentaje de aprovechamiento de 20 %, el mínimo posible.

La energía producida por las turbinas será de 96 MW.hr al día lo que corresponde con 95 017 MW.hr al año lo cual significa un ahorro anual de \$ 8 404 123 por el costo del kW.hr de energía eléctrica. Es importante señalar que se dejarán de quemar 12 676 toneladas de petróleo anualmente que tienen un valor aproximado de 8 873 354 U.S.D. (Tabla 3).

O sea, a los precios del mercado europeo es posible recuperar la inversión en tres años y seis meses, inferior a los cinco años, lo cual resulta muy positivo desde el punto de vista económico [Sánchez, 1999].

Tabla 2. Resultados técnicos

Resultados técnicos							
Horas de mareas	Velocidad entrada	Velocidad salida	Potencia del agua	Potencia útil máxima	Potencia real aprovechable	Potencia por Cf	Error
hora	m/seg	m/seg	kW	kW	kW	kW	%
0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
1	0,6	0,3	8,48	2,51	1,88	2,54	1,23
2	1,1	0,55	52,27	15,49	11,62	15,68	1,23
3	2,2	1,1	418,15	123,90	92,92	125,44	1,23
4	1,1	0,55	52,27	15,49	11,62	15,68	1,23
5	0,6	0,3	8,48	2,51	1,88	2,54	1,23
6	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
7	0,6	0,3	8,48	2,51	1,88	2,54	1,23
8	1,1	0,55	52,27	15,49	11,62	15,68	1,23
9	2,2	1,1	418,15	123,90	92,92	125,44	1,23
10	1,1	0,55	52,27	15,49	11,62	15,68	1,23
11	0,6	0,3	8,48	2,51	1,88	2,54	1,23
12	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
13	0,6	0,3	8,48	2,51	1,88	2,54	1,23
14	1,1	0,55	52,27	15,49	11,62	15,68	1,23
15	2,2	1,1	418,15	123,90	92,92	125,44	1,23
16	1,1	0,55	52,27	15,49	11,62	15,68	1,23
17	0,6	0,3	8,48	2,51	1,88	2,54	1,23
18	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
19	0,6	0,3	8,48	2,51	1,88	2,54	1,23
20	1,1	0,55	52,27	15,49	11,62	15,68	1,23
21	2,2	1,1	418,15	123,90	92,92	125,44	1,23
22	1,1	0,55	52,27	15,49	11,62	15,68	1,23
23	0,6	0,3	8,48	2,51	1,88	2,54	1,23
24	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
Total:		kW.hr/día	2 158,59	639,58	479,69	647,58	
Total:		kW	89,94	26,65	19,99	26,98	

Tabla 3. Resultados económicos de la posible implementación del sistema de generación de energía

Resultados económicos				
Cantidad de turbinas	200	Turbinas		
Capacidad de las turbinas	100	kW		
Costo del kW instalado	1500	\$/kW		
Potencia a instalar	19 996	kW	20,00	MW
Potencia aprovechada	3997,40	kW	4,00	MW
Energía aprovechada	95 937	kW.hr/día	95,94	MW.hr/día
Energía aprovechada	35 017 181	kW.hr/año	35 017,18	MW.hr/año
Dinero ahorrado	8 404 123	\$/año		
% de aprovechamiento	20,0	%		
Tn de petróleo ahorradas	12 676,22	Tn/año	8 873 354	\$/año
			por petróleo dejado de quemar	

Cálculo de la recuperación de la Inversión				
Costo	29 994 464	\$		
Tiempo de recuperación de la inversión	3,57	años		
	3	años y	6	meses

Estos ahorros no tienen en cuenta la posibilidad de adquisición de bonos de carbono por el ahorro en emisiones del CO<sub>2</sub>, que es un gas que incrementa el efecto invernadero. Todos estos cálculos se realizaron para un aprovechamiento 20 %, cuando este valor debe estar alrededor de 50 %.

### Conclusiones

- Contar con la instrumentación requerida para comprobar los cálculos preliminares realizados, es imprescindible antes de realizarse cualquier inversión.
- Tener en la provincia de Matanzas un sistema de generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables, aprovechándose las mareas, además de lograrse un mayor nivel de información, educación y cultura general en este tipo de tecnologías; también se lograría una repercusión económica importante, pues generaría energía limpia, evitándose el uso de combustibles fósiles no renovables y contaminadores del medioambiente.
- De acuerdo a datos preliminares esos canales tienen la potencialidad de generar 35 017 181 kW.hr al año, o sea, 35 017,18 MW.hr al año, lo que corresponde al ahorro de 12 676 Tn de petróleo al año; al precio actual de 100 USD el barril de petróleo ese ahorro equivale a 8 millones 873 mil 354 USD al año, que puede recuperarse en tres años y seis meses.
- Se dejan de emitir al medioambiente más de 120 000 Tn de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) al año, por dejar de consumirse ese combustible en las centrales termoeléctricas del país.

### Recomendaciones

- Realizar un estudio que permita reajustar y comprobar los valores preliminares, mediante modernos instrumentos de medición.
- De comprobarse la factibilidad técnica y económica de la inversión se recomienda la búsqueda de financiamiento para su ejecución.

- Contratar a un equipo de trabajo especializado a liderar el proyecto.
- Ejecutar el proyecto en un periodo de dos años, con un financiamiento de 950 000 CUC y 999 851,32 CUP.

### Agradecimientos

Se agradece la colaboración de la M. Sc. Ing. Marlene Orama Ortega, miembro de Cubasolar Matanzas (marlene.oramas@umcc.cu); el M. Sc. Ing. Armando Díaz Mejías, el M. Sc. Lic. Miguel Ángel López Estrada y la Lic. Iralda Sánchez Ávila (de CNA GESMAE).

### Bibliografía

- ARRABAR MONTERO, CARLOS Y ALFONSO MADERA SÁNCHEZ (2011). *Equipamiento electromecánico de una Central minihidroeléctrica*. Publicado por ICAI y Universidad Pontificia Comillas. Disponible en: [http://www/wb/conae/cona\\_1\\_pagina\\_principal/energía\\_minihidraulica](http://www/wb/conae/cona_1_pagina_principal/energía_minihidraulica).
- MARTÍN DE EUGENIO POZA, JULIÁN Y ALFONSO MADERA SÁNCHEZ (2011). *Diseño hidráulico y mecánico de la Central minihidroeléctrica del embalse Valmayor*. Publicado por ICAI y Universidad Pontificia Comillas. Disponible en: [http://www/wb/conae/cona\\_1\\_pagina\\_principal/energía\\_minihidraulica](http://www/wb/conae/cona_1_pagina_principal/energía_minihidraulica).
- SÁNCHEZ ÁVILA, J. L (1999). «Desarrollo y aplicación del diagnóstico y pronóstico técnico al mantenimiento de los sistemas centralizados de aire acondicionado». Tesis de Doctorado. Universidad de Matanzas. Matanzas, 129 páginas.
- SENER (2009). *Energías renovables para el desarrollo sustentable en México*. Disponible en: <http://www.conaea.gob.mx>.
- COMISIÓN NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGÍA (CONAE) (2012). Disponible en: <http://www.energia.gob.mx>.
- COMISIÓN REGULADORA DE ENERGÍA, CRE (2012). Disponible en: <http://www.cre.gob.mx>.

Recibido: 1ro de febrero 2020.

Aceptado: 15 de febrero de 2020.

# FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SECADOR SOLAR DE PLANTAS AROMÁTICAS

Por Dr. C. Yanoy Morejón Mesa\*, Ing. Ismael Lázaro Jiménez Rodríguez\*, M. Sc. Yarián Reyes Suárez\*  
e Ing. Raúl Torres Cepero\*

\* Universidad Agraria de La Habana.  
E-mail: ymm@unah.edu.cu

## Resumen

La presente investigación se orientó en el diseño y fabricación de un secador solar de plantas aromáticas. Para el cumplimiento de este objetivo se establecieron las bases teórico-metodológicas necesarias y se utilizaron las herramientas informáticas pertinentes. Entre los principales resultados obtenidos se evidenció que los fundamentos teóricos planteados posibilitaron establecer los parámetros de diseño para un secador solar de plantas aromáticas. Con el empleo de la herramienta informática SolidWorks se realizó el diseño del prototipo. El secador solar fabricado se evaluó empleando 0,8 kg de hojas de laurel; durante el proceso se obtuvo una pérdida de peso de 25 % y una tasa de reducción de humedad de 4,34 %/h, evidenciándose cambios en las principales propiedades físicas y organolépticas de las hojas de laurel. Termodinámicamente se alcanzó un flujo de calor total de 23,86 kW y una eficiencia térmica de 37,4 %, demostrándose que el prototipo desarrollado posee una eficiencia adecuada. Desde el punto de vista económico se alcanzó un costo específico para secar un kilogramo de hojas de laurel de 37,25 peso/kg; teniéndose un valor actual neto (VAN) de 1806,39 peso, una tasa de rentabilidad interna (TIR) del 118,69 %, un plazo de recuperación de la inversión (PRO) de 0,83 años, con una relación beneficio/costo de 2,21, elementos que validan la factibilidad económica del prototipo desarrollado.

*Palabras clave:* Secador solar, eficiencia térmica, factibilidad económica.

---

# MANUFACTURE AND EVALUATION OF A SOLAR DRYER FOR AROMATIC PLANTS

## Abstract

The present investigation was oriented in the design and manufacture of a solar dryer for aromatic plants. For the fulfillment of the proposed objective, the theoretical-methodological bases referring to the subject were established and the pertinent computer tools were used for this purpose. Among the main results obtained, it was evident that the theoretical foundations proposed made it possible to establish the design parameters for a solar dryer for aromatic plants. Using the SolidWorks computer tool, the developed prototype was designed. The manufactured solar dryer was evaluated using 0.8 kg of bay leaves; During the process, a weight loss of 25% and a moisture reduction rate of 4,34 % / h were obtained, showing changes in the main physical and organoleptic properties of the bay leaves. Thermodynamically, a total heat flux of 23,86 kW and a thermal efficiency of 37,4% were achieved, demonstrating that the developed prototype has adequate efficiency. From the economic point of view, a specific cost was reached to dry one kilogram of bay leaves of 37,25 weight / kg; having a net present value (NPV) of 1806,39 pesos, an internal rate of return (IRR) of 118,69 %, a payback period of investment (PRO) of 0,83 years, with a benefit / cost of 2,21, elements that validate the economic feasibility of the developed prototype.

*Keywords:* Solar dryer, thermal efficiency, economic feasibility.

---

### Introducción

En la actualidad, de 10 a 40 % de los productos cosechados nunca llegan al consumidor. Este comportamiento se presenta principalmente en los países en vías de desarrollo, debido a su descomposición y contaminación [Esper y Muhlbauer, 1998].

Existe una diversa gama de tecnologías poscosecha aplicadas a la preservación de los alimentos perecederos. Sin embargo, siendo el método de secado uno de los métodos más antiguos, es también uno de los más prácticos extendiendo la vida útil del producto y garantizando las propiedades físicas, químicas y nutricionales de los alimentos [Balladin y Headley, 1999].

El secado es un proceso de alto costo, el cual representa entre 35 y 40 % del costo total de producción. Entre los procesos de secado que se aplican en la actualidad se encuentran los métodos industriales de secado, el secado solar y la combinación de ambos como una manera de reducir el consumo de energía y mejorar la calidad del producto [Sagar y Suresh, 2010].

Como los secadores industriales no están al alcance de la mayoría de los pequeños agricultores, el empleo de energías alternativas y/o renovables, de bajo costo y no contaminantes, incrementa la viabilidad económica del proceso al reducir sus costos de aplicación [Curcio *et al.*, 2008; Purohit *et al.*, 2006; Tshewang, 2005].

Los secadores solares son una alternativa para el secado en los países en desarrollo, donde el secado al aire libre es el método de conservación más utilizado por los pequeños agricultores [Purohit *et al.*, 2006].

Teniendo en cuenta que un alto porcentaje de estos agricultores no tienen acceso a la red eléctrica, y el uso de energías mediante combustibles fósiles no ha sido factible debido a los costos, una alternativa eficaz de secado de sus productos es el uso de energías renovables. Varios tipos de secadores solares de pequeña escala se han desarrollado y evaluado teniendo en cuenta su implementación en las regiones tropicales y subtropicales [Esper y Muhlbauer, 1998].

Existen factores económicos, sociales, medioambientales y culturales que son relevantes para el diseño de las tecnologías de secado. Para los productores agrícolas a pequeña escala solamente son significativas las actividades e inversiones que aumentan considerablemente sus ingresos, bien sea reduciendo directamente los costos o aumentando la productividad. Por lo tanto, a menos que los sistemas de secado solar ofrezcan beneficios excepcionalmente atractivos en comparación con el secado al aire libre u otros sistemas de secado, no será posible en la práctica acrecentar su aceptación [Purohit *et al.*, 2006].

Partiendo de esta situación es necesario conocer y mejorar el proceso actual de secado solar de productos agrícolas, y así, reducir las pérdidas poscosecha, aumentar la calidad de los productos, incrementar la eficiencia del proceso y lograr una mayor aceptación por los agricultores [Sagar y Suresh, 2010].

En 2006, las importaciones mundiales de plantas aromáticas registraron operaciones por más de 1 055 000 dólares, cifra que revela un incremento interanual entre 7 % y 44 % durante el quinquenio en estudio.

Los Estados Unidos, Alemania y Japón se consolidaron como los principales consumidores de estos productos. El mercado estadounidense destinó para la importación de estos productos un monto de 188 000 000 dólares, valor que representó un incremento de 9 % respecto a 2005. En el caso específico de Alemania, acumuló compras por un monto de 128 000 000 y un alza quinquenal de 63 %. El mercado japonés, por su parte, se erigió como el tercer destino de las importaciones mundiales de plantas aromáticas y, pese a haber experimentado en 2006 una leve disminución de 3 % respecto a los montos importados en 2005, sus compras en el transcurso del período 2002-2006 oscilaron entre 90 000 000 y 100 000 000 de dólares. Es importante destacar que se aprecia una divergencia en cuanto a los destinos de las importaciones, siendo Europa, Asia y América del Norte los principales compradores de plantas aromáticas.

Todas las especias, plantas aromáticas y condimentos que derivan de ellos tienen propiedades estimulantes para el apetito y la digestión; las excreciones digestivas, incluso el peristaltismo, son favorecidos por el uso de estos ingredientes. Estas propiedades dependen de su composición química, que varía según el grupo vegetal al que pertenece la especie o planta aromática [Tongino, 2011].

Dentro de la poscosecha el secado es el paso más importante, y sirve para lograr la calidad del producto, ya que de este dependerán las condiciones de comercialización y conservación. Se considera que lo óptimo es llevar el material fresco a 10 % de humedad. Las exigencias de preparación del secado son muy altas y, si las mismas no se cumplen o se realizan en el momento adecuado, se corre el peligro de perder gran cantidad de principios activos. La rapidez del secado, las temperaturas y la circulación de aire son factores que determinan un buen secado. El objetivo es proporcionar un producto con un porcentaje mínimo de humedad en sus tejidos, que conserve color y aroma. Las temperaturas óptimas de secado varían en las diferentes especies, aunque en general van desde los 21° a los 27° C [Fretes, 2010].

El comercio mundial de albahaca en 2013 osciló entre 820 162 000 y 820 177 000 toneladas, respectivamente, y los principales exportadores fueron China, India, Madagascar, Egipto, México; mientras que los principales importadores fueron China, incluyendo Hong Kong, los Estados Unidos, Alemania y Madagascar.

Debido a la importancia del manejo poscosecha, específicamente del secado de las plantas aromáticas, es necesario realizar investigaciones que permitan el diseño y la fabricación de un secador solar para las mismas.

### Materiales y métodos

#### 1. Bases teórico-metodológicas para la determinación de las propiedades físicas de las plantas aromáticas

El conocimiento de las propiedades físicas de las plantas aromáticas, constituye una información de vital importancia en la ingeniería, para adecuar y operar máquinas, diseñar y construir estructuras de almacenamiento, y establecer sistemas adecuados de transporte; además, es un parámetro fundamental para el diseño de secadores solares, para el análisis de calidad y para el control de procesos que intervienen en el manejo poscosecha. Entre estas propiedades

se pueden citar la talla, la densidad, la masa, el contenido de humedad y la pérdida de peso o variación de masa.

El contenido de humedad es un índice de calidad del producto, que puede expresarse en base humedad o en base seca, según se muestra en la expresión (1). También es posible determinar este parámetro utilizando un medidor de humedad [ASAE, 1972; Klaassen, 1983; Sato, 1994; Ohshita, 1995].

$$Mwb=W/(Wa-W)\times 100; \% (1)$$

donde: W: Contenido de agua, kg; Wa: masa después de secado el producto, kg.

El grado de humedad de las plantas aromáticas es medido por períodos de una hora para observar el cambio en su contenido de humedad, esto se denomina tasa de reducción de humedad por hora, la cual se puede determinar por la expresión (2):

$$Mm=(Mi-Ma)/to ; \% / h (2)$$

donde: Ma: Contenido de humedad después del secado, %; Mi: Contenido inicial de humedad, %; to: Tiempo de operación, h.

*Pérdida de peso o variación de masa:* Es la diferencia de masa de las plantas aromáticas antes del secado respecto a la misma luego de ser tratado térmicamente, la misma varía de forma ascendente durante el proceso de secado e influye directamente en su tiempo de duración, determinándose mediante la expresión (3) [Thompson, 1985].

$$Pp=(Wb-Wa)/Wb\times 100; \% (3)$$

donde: Pp: Pérdida de peso, %; Wb: masa inicial del producto antes de ser secado, kg; Wa: masa final del producto después de ser secado, kg.

La masa del producto después del secado se puede determinar utilizando una balanza, si no se cuenta con este instrumento de medición, entonces se puede determinar la masa del producto después del secado utilizando expresión (4):

$$Wa=(Wb\times(100-Ma))/((100-Mi)); kg (4)$$

En el caso específico de la determinación de la talla de las hojas de las plantas aromáticas se selecciona de forma aleatoria una muestra de 50 hojas, a las cuales se les mide con el empleo de un micrómetro con una precisión de  $\pm 0,001$  mm el espesor o diámetro mínimo; en el caso de los diámetros medio y mayor se determinan con el empleo de un vernier con precisión de  $\pm 0,01$ ; estas mediciones se realizan antes y después de realizar el proceso de secado.

Para la determinación de la densidad volumétrica de las hojas de plantas aromáticas, se selecciona una muestra con una masa de 1 kg, esta se comprime en una probeta hasta reducir al mínimo los espacios intersticiales, al

final de la compresión se observa el volumen ocupado por estas; una vez obtenido este volumen se divide la masa entre el volumen ocupado, obteniéndose de esta forma la densidad volumétrica.

## 2. Bases teórico-metodológicas para el diseño de secadores solares de plantas aromáticas

El secado generalmente se logra mediante la aplicación de calor a una sustancia con un determinado porcentaje de humedad.

Es muy importante conocer el comportamiento en el secado, así como las condiciones y propiedades del sólido, pues en base a esto se podrá diseñar el secador según las necesidades requeridas. También el estudio del secado comprende un conjunto de problemas como son: las áreas, la mecánica de fluidos, la transferencia de calor y masa, etcétera.

### a) Bases para el cálculo de la resistencia estructural de secadores solares de plantas aromáticas.

Para el cálculo de la resistencia estructural de instalaciones de secado y otros elementos de máquinas e instalaciones agrícolas, se deben considerar los fundamentos planteados por Mirolíubov [1979], Feodosiev [1980], Fernández [1981a., 1981b], Stiopin [1985]. En el caso específico de las instalaciones de secado, se debe determinar la resistencia de las bandejas que soportan el material a secar, así como la estructura del secador objeto de estudio, lo cual se determina a través del factor de seguridad (FDS) y de las tensiones resultantes a partir de la tercera hipótesis de resistencia (Von Mises), empleando para ello el sistema informático SolidWorks2017.

### b) Bases para el diseño de la cámara de secado.

Para el diseño de la cámara de secado se debe conocer el volumen de producto a procesar (V), el cual se puede determinar mediante la densidad volumétrica del propio producto. En el caso específico de las plantas aromáticas, la densidad volumétrica promedio es de  $200 \text{ kg/m}^3$ , de forma tal que el volumen se puede determinar a través de la expresión siguiente:

$$V=W/\rho , m^3 (5)$$

donde:

W: masa de producto de kg;  $\rho$ : densidad volumétrica del producto,  $\text{kg/m}^3$ .

Según INCOMAQ [1990], citado por [Reinoso, 2006]

El volumen de la cámara de secado ( $Vcs$ ) debe ser cuatro veces el volumen del producto, de forma tal que este se determina mediante la expresión:

$$Vcs=4\times V, m^3 (6)$$

### c) Bases para el diseño de las bandejas de colocación del producto a procesar.

Para la determinación del tamaño de las bandejas se considera lo planteado en Aparicio, *et al.* [2011], la que

plantea que la separación entre bandejas debe ser aproximada a 2 pulgadas, o sea, 4 cm de alto.

Con el conocimiento del volumen de la cámara de secado y el producto a procesar, es posible determinar el volumen de las bandejas (Vb), lo que posibilita a su vez determinar el número de bandejas que se requieren.

El tamaño de las bandeja debe considerarse en función de garantizar una fácil operación de carga y descarga de la instalación de secado.

$$\eta = Qu / (It \times Ac) \quad (7)$$

#### d) Bases para el diseño del colector solar en instalaciones de secado.

Según Montero [2005], para el diseño de colectores solares normalmente se seleccionan materiales eficientes para el aumento de la temperatura de salida de la corriente de aire, y que a la vez reduzcan el calor perdido por las superficies, es decir, materiales aislantes. Para la placa absorbadora normalmente se escoge aluminio, cobre o acero-galvanizado, normalmente pintado de negro no reflectante y la placa puede ser lisa, corrugada o en forma de V. Para la cubierta se escogen normalmente plásticos transparentes con buenas propiedades mecánicas (metacrilato, policarbonato, polietileno, etc.) y para las paredes, los materiales pueden ser muy diversos, pero deben ser aislantes como lana de vidrio, lana de roca o similares y madera para dar solidez.

La eficiencia del colector solar es un parámetro relevante para comprobar el funcionamiento correcto o no del secador. Un valor común para convección natural es del orden de 40–60 %, siendo mayores para convección forzada con un caudal de aire adecuado.

La eficiencia del colector se define como la relación entre la potencia calorífica que se transmite a la corriente de fluido, y la potencia que le llega al captador solar en forma de energía solar.

$$\eta = Qu / (It \times Ac) \quad (7)$$

donde: Qu: Calor que absorbe la corriente de aire desde que entra al colector hasta que sale del mismo, W; IT: Radiación total sobre la superficie inclinada del colector en W/m<sup>2</sup>, Ac: Área de captación en m<sup>2</sup>.

$$Qu = ma \times C_{pa} \times (T_{fo} - T_{fi}); \quad W \quad (8)$$

donde: ma: es el caudal másico de aire, kg/s; Cpa: el calor específico del aire, J/kg°C; Tfo: la temperatura de salida del aire en el colector, °C; Tfi: temperatura de entrada del aire en el colector, °C.

Para la medición del caudal másico de aire se utiliza un anemómetro PROVA-AVM-05 que brinda la posibilidad de conocer la temperatura ambiente y la velocidad del aire, y tres termómetros con escala o a 50°C y grado de precisión de ±0,1°C, respectivamente, siendo uno colocado en la superficie de la capa de las hojas, otro en el fondo de la misma y el tercero en el colector solar. Para determinar las magnitudes del área de la sección transversal de salida

del aire húmedo y el área total del colector y paredes de la instalación de secado, se emplea una cinta métrica de 5 m y grado de precisión de ±1mm; el grosor de la pared del colector y paredes del prototipo se determina con un vernier de ±0,01 mm.

Para sostener la eficiencia del colector solar se consideran los fundamentos planteados por Uriol [2016] respecto a la determinación del balance de energía para cubiertas de polietileno, donde se consideran las hipótesis siguientes:

- No hay gradiente de temperatura a lo largo del espesor de la cubierta y la placa absorbente;
- El sistema está perfectamente aislado, no hay fugas de aire;
- Las capacidades caloríficas de la cubierta, placa absorbente y aislamiento son despreciables.

### 3. Bases teórico-metodológicas para la determinación de la transferencia de calor en secadores solares de plantas aromáticas

Para el establecimiento de los fundamentos de transferencia de calor en instalaciones de secado, se consideran los criterios planteados por: Faires y Simmang [1978], Bazarov [1988]; Baskakov [1988]; Incropera y Dewitt [1996]; Geankoplis [1998]; Cengel [2002].

Para secar un sólido se producen dos procesos fundamentales y simultáneos:

- Transmisión del calor para evaporar el líquido.
- Transferencia de masa en humedad interna y líquido evaporado.

La transferencia de calor se define como la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas, es decir, siempre que exista una diferencia de temperatura entre diferentes cuerpos, debe ocurrir una transferencia de calor.

Existen tres modos a través de los cuales el calor puede ser transferido desde un cuerpo hacia otro. Estos son conducción, convección y radiación.

### 4. Bases teórico-metodológicas para la evaluación funcional de la instalación de secado de plantas aromáticas

Según lo planteado por Roa y Ortega [2011] para la evaluación funcional de una instalación de secado se han establecido comportamientos generales para el mismo, es por eso muy importante analizar y definir los parámetros que se toman en cuenta en el momento de diseñarlos.

*Parámetros a evaluar durante el proceso de secado:*

Al secar las plantas aromáticas se disminuye la cantidad de humedad hasta niveles preestablecidos. La disminución requerida de humedad ΔM, sirve de base para determinar la cantidad de agua que será evaporada.

$$\Delta M = (M_i - M_f) / (100 - M_f) \times 100; \quad \% \quad (9)$$

donde: ΔM: disminución de la humedad, %; M<sub>i</sub>: humedad inicial, %; M<sub>f</sub>: humedad final, %

Entonces la masa de agua que se debe evaporar es:

$$W_{H_2O} = (W_s \times \Delta M) / (100 - \Delta M); \% \quad (10)$$

donde:  $W_{H_2O}$ : masa de agua a evaporar, kg;  $W_s$ : masa de materia seca al final del proceso, kg.

### 5. Bases teóricas para el análisis económico

Con el propósito de determinar la rentabilidad del prototipo fabricado se plantearon las bases para determinar los costos de explotación y de factibilidad económica.

*Bases para la determinación del costo de explotación del prototipo:*

Para la determinación del costo de explotación ( $C_{exp}$ ) del prototipo se requiere la determinación de los costos fijos ( $C_f$ ) y costos variables ( $C_v$ ) y la suma de estos costos permiten determinar el costo de explotación, [Iglesias, 2002; Hunt, 1983; Ulloa, 1981; Aguilar *et al.*, 1989; Muñante, 2002; Iglesias *et al.*, 1999] es decir:

$$C_{exp} = \sum_{i=1}^n C_{fi} + \sum_{i=1}^n C_{vi}; \text{ peso/h} \quad (11)$$

Costos específicos ( $C_{esp}$ ). Los costos específicos definen el costo en peso por cada unidad de trabajo realizada, es decir, la relación existente del costo de explotación en peso/h, entre la productividad ( $P_{inst}$ ) en t/h, para el prototipo se determina por:

$$C_{esp} = \frac{C_{exp}}{P_{inst}}; \text{ peso/t} \quad (12)$$

La productividad de la instalación de secado se obtiene a partir de la relación entre la cantidad de agua removida en el proceso y el tiempo requerido para alcanzar la hume-

dad adecuada para el almacenamiento o posterior procesamiento.

$$P_{inst} = \frac{W}{t_0}; \text{ kg/h} \quad (13)$$

### Resultados y discusión

#### 1. Resultados de la determinación de las principales propiedades físicas de las hojas de laurel

Con el propósito de elevar la productividad y eficiencia del proceso de secado se desarrolló un secador solar para plantas aromáticas, el cual fue diseñado, fabricado y evaluado en el Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA).

Para el proceso de evaluación se tomó una muestra de hojas de laurel recién cosechadas (sin secar), provenientes de la finca La Joya; la muestra tenía una masa inicial de 0,8 kg, a la cual se le determinó el comportamiento de sus propiedades físicas, antes y después del proceso antes mencionado; entre las propiedades determinadas, se pueden citar: la talla, el contenido de humedad y la masa final del producto después de secado.

Para la determinación de la talla de las hojas de laurel se tomaron 50 muestras de forma aleatoria, en dos momentos, antes del proceso de secado y después del mismo; para ello se utilizó un vernier con una precisión de 0,01mm, con el cual se determinaron las dimensiones ortogonales: largo (L) y ancho (a), mientras que para el espesor (es) se utilizó un micrómetro con una precisión de 0,001 mm; con estos valores se determinaron el diámetro medio geométrico ( $D_g$ ) y el diámetro medio aritmético ( $D_a$ ).

Como se puede apreciar en la tabla 1, con la realización de proceso de secado solar se disminuyen los valores de las dimensiones ortogonales y en correspondencia los diámetros, producto del encogimiento de las hojas, as-

Tabla 1. Comportamiento de la talla de las hojas de laurel antes y después del proceso de secado

Dimensiones ortogonales promedios, mm	Hojas de laurel (Antes de secado)	Hojas de laurel (Después de secado)	Diferencia, mm
Largo (L), mm	66,54	64,35	2,19
Ancho (a), mm	35,94	32,94	3,00
Espesor (es), mm	0,36	0,29	0,07
Diámetros			
Diámetro medio geométrico ( $D_g$ ), mm	9,51	8,20	1,31
Diámetro medio aritmético ( $D_a$ ), mm	34,28	30,31	3,97

pecto que demuestra que el proceso de secado influye de forma directa en estas propiedades.

Para comprender mejor los resultados mostrados en la tabla 1 y apreciar la influencia del proceso de secado, se tomaron imágenes de las hojas antes y después de ser sometidas al proceso de secado, estas se pueden apreciar en la figura 1.



a)



b)

Fig. 1. Hojas de laurel: a) antes del proceso de secado; b) después del proceso de secado.

Como se puede apreciar en la figura anterior, antes de ser sometidas al proceso de secado las hojas tenían una coloración verde intenso y después del secado tomaron un color verde opaco con tendencia a carmelita.

Otra propiedad observada fue la textura; antes del secado las hojas poseían una marcada elasticidad (no se fracturaban con facilidad) y después de secadas se fracturaban con facilidad, aspecto que demuestra la relación existente entre el contenido de humedad y la textura.

A su vez se determinó la influencia del secado en la pérdida de humedad y masa, observándose ello a partir de la relación entre el contenido de humedad y la masa inicial y final de la muestra analizada (Tabla 2).

## 2. Resultados del diseño y fabricación del prototipo para el secado solar de plantas aromáticas

Partiendo del principio de funcionamiento del secador solar de plantas aromáticas fabricado (Fig. 2), el cual cuenta con un colector solar cuyas dimensiones son 1500 x 500 x 96 mm, y una cámara de secado cuyas dimensiones son 1000 x 500 x 400 mm; la importancia de elevar las temperaturas tanto en el colector solar como en el interior de la cámara de secado, y la necesidad de lograr una extracción adecuada del aire, lo cual es esencial para elevar la eficiencia del proceso, se realizaron los cálculos de resistencia estructural para garantizar que el prototipo soporte las cargas a las que se somete y las deformaciones máximas que este puede soportar cuando las bandejas estén llenas de hojas de plantas aromáticas.



Fig. 2. Secador solar de plantas aromáticas desarrollado en la investigación.

Tabla 2. Comportamiento de la pérdida de humedad y masa de las hojas de laurel durante el proceso de secado

Masa inicial, kg	Masa final, kg	Contenido de humedad inicial, %	Contenido de humedad final, %	Cantidad de agua removida, kg
0,8	0,6	35	13,13	
Pérdida de peso, %		Tasa de reducción de humedad, %/h		0,2
25		4,34		

Con el propósito de evaluar la resistencia estructural del prototipo se determinaron las tensiones máximas, el desplazamiento y la deformación unitaria a las que se somete el mismo; para ello se empleó el sistema informático SolidWorks 2017, el cual mediante los elementos finitos considera el criterio de Von Misses.

Para determinar estos valores se tomó como referencia una masa de 10 kg, considerándose la capacidad volumétrica de las bandejas que se sitúan en la cámara de secado del prototipo, las que tienen un volumen de  $0,007\text{m}^3$ .

Como se observa en la figura 3 (a) el desplazamiento máximo se obtiene entre el límite superior del colector de polietileno y el borde inferior de la cámara de secado, alcanzando un valor de 2,3 mm, observándose que los desplazamientos límites se encuentran en los puntos céntricos; en la figura 3 (b) se observa que la deformación unitaria alcanza un valor de  $9,69 \times 10^{-4}$  y en la figura 3 (c) se muestra que la tensión máxima que se obtiene es de  $1,5 \times 10^7$  Pa, en la base de la cámara de secado, la cual al ser comparada con la tensión máxima admisible del material, demuestra la resistencia estructural del prototipo.

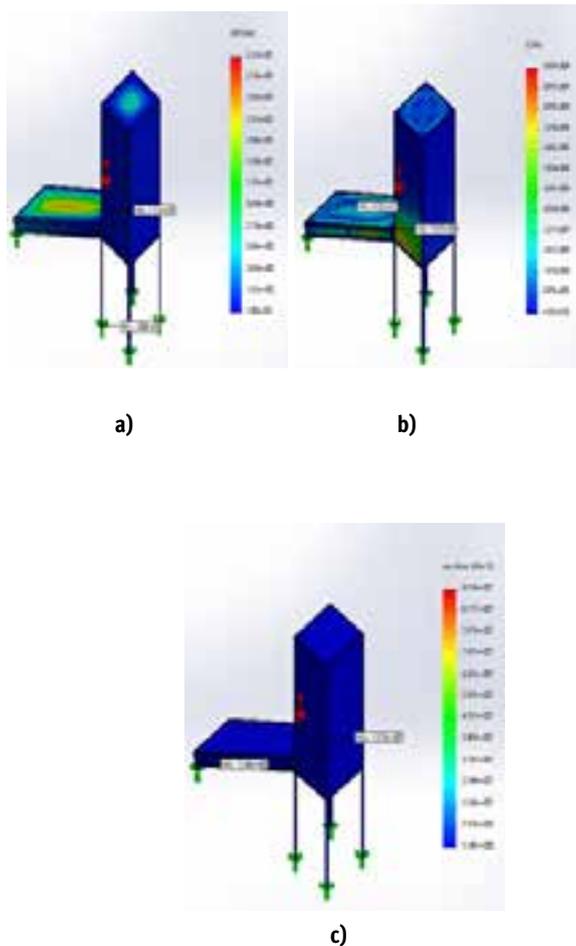


Fig. 3. Valores de resistencia: a) desplazamiento, b) deformación unitaria y c) tensiones máximas al aplicar una carga de 10 kg.

### 3. Resultados de la transferencia de energía en la instalación de secado propuesta

Los flujos de calor que responden a los tres principios de transferencia de energía, son resultados de gran importancia por las características que deben presentar este tipo de sistema, los cuales deben lograr temperaturas superiores a la del medioambiente para realizar un proceso de secado eficiente, sin dañar la calidad fisiológica del producto a secar. Los resultados de los flujos de calor se determinaron por separado para la cámara de secado y el colector solar.

Tabla 3. Resultados del flujo de calor obtenido en las partes componentes del sistema de secado propuesto

Materiales	Q, kW				Área, m <sup>2</sup>	Eficiencia térmica, %
	Conducción	Radiación	Convección	Total		
Cámara de secado	15	0,19	-0,060	15,13	1,63	37,4
Colector	8,35	0,11	-0,033	8,43	0,89	
Total	23,35	0,30	-0,093	23,56	2,52	

Como se aprecia en la Tabla 3, considerando una temperatura externa o ambiente promedio de  $32,1^\circ\text{C}$ , una temperatura interna promedio de  $39,58^\circ\text{C}$  y un coeficiente de conductividad térmica para el polietileno de  $0,25 \text{ W/m.K}$ , se obtuvo un flujo de calor por conductividad térmica de  $23,35 \text{ kW}$ , lo que demuestra que la energía que incide sobre el polietileno empleado en el secador es absorbida y esto posibilita el incremento de temperatura en el interior de la instalación.

El flujo de calor por radiación térmica se determinó a través de la Ley de Stefan-Boltzmann, específicamente empleando la ecuación que permite conocer la transferencia de calor por radiación para cuerpos reales, teniéndose que la temperatura incidente en la cubierta de polietileno es de  $32,1^\circ\text{C}$ , se obtuvo que el flujo de calor por radiación en el colector es de  $0,11 \text{ kW}$  y un flujo de calor por radiación en la cámara de secado, la cual también posee una cubierta de polietileno, se obtuvo un flujo de calor de  $0,19 \text{ kW}$ ; de esta forma se evidencia que la energía solar incidente sobre la cubierta de polietileno es absorbida en todas las partes del mismo.

Para el análisis del flujo de calor por convección térmica se consideró un coeficiente de traspaso de calor mínimo de  $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ , dado que el aire fluye producto de una convección libre, o sea, no se emplea ningún agente externo

(dispositivo) que aumente la energía cinética del mismo, alcanzando este una velocidad promedio de 1,38 m/s, a su vez mediante los planos concebidos en el diseño, se determinaron las áreas por las que circula el aire caliente y húmedo, tanto en el colector como en la cámara de secado, y con los valores de las temperaturas de la cubierta y el fluido en las regiones analizadas, se obtuvo el flujo de calor total en la cámara de secado de -0,060kW y en el colector de -0,033 kW; alcanzándose un flujo de calor total por convección de -0,093 kW; con cuyo resultado se evidencia que este flujo de calor a diferencia del obtenido en los mecanismos o formas de conductividad y radiación térmica, es cedido.

A partir de estos resultados se determinó el flujo de calor total de la instalación de secado desarrollada, el cual asciende a 23,56 kW, lo que demuestra que el diseño que se propone funciona como una instalación de secado. A partir de estos valores y del valor de la radiación solar incidente media en Cuba, que es 5 kW/m<sup>2</sup>.día, se determinó la eficiencia térmica del prototipo, la cual alcanzó un valor de 37,4 %. Este valor significa el porcentaje de energía solar que se aprovecha por el sistema; siendo este valor favorable para efectuar el proceso de secado solar de hojas de laurel. Estos resultados validan los principios termodinámicos sobre los cuales se diseñó el prototipo.

#### 4. Evaluación funcional de la instalación de secado de plantas aromáticas

Con el objetivo de analizar el proceso de secado de las hojas de laurel, se determinó la cinemática del mismo en el interior de la cámara de secado, o sea, se observó el descenso del contenido de humedad en función del tiempo de operación, lo que se muestra en la figura 4.

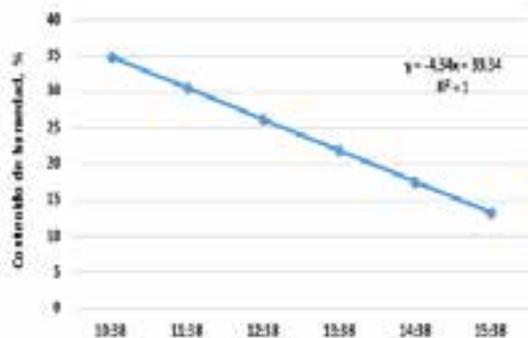


Fig. 4. Cinemática de secado de las hojas de laurel.

Como se evidencia en la figura 4, para lograr la reducción del contenido de humedad desde 35 % hasta 13,13 %, para una muestra de hojas de laurel con una masa inicial de 0,8 kg se requirió solamente de un tiempo de operación de 5 h, reduciéndose de forma lineal el contenido de humedad de la muestra analizada. Esta eficiencia en el proceso de secado está dada por los valores de pérdida de peso o variación de masa y la tasa de reducción de humedad, mostrados en la tabla 2.

Además de estos resultados, la eficiencia de la instalación también se valida con los valores de tasa de vaporización y la productividad alcanzada, los cuales son de 0,02 kg/h y 0,04 kg (removidos de agua)/ h, respectivamente.

Para evaluar el funcionamiento del prototipo se monitoreó el comportamiento de la temperatura en el interior de la cámara de secado, lo que se puede apreciar en la figura 5.

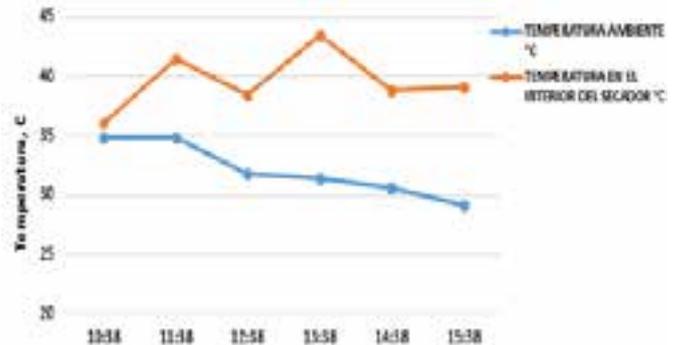


Fig. 5. Comportamientos de las temperaturas ambiente e interior del secador.

Como se puede apreciar en la figura, la mínima diferencia entre la temperatura obtenida en el interior del secador y la temperatura ambiente se obtuvo después de colocadas las muestras en el interior de la instalación (al comenzar el proceso de secado), observándose una diferencia de 1,2 °C; sin embargo, al estabilizarse el proceso de secado se alcanzó una diferencia máxima entre la temperatura obtenida en el interior del secador y la temperatura ambiente de 12,1 °C, diferencia que se obtuvo a la tercera hora (13:38 h) de haber iniciado el proceso de secado.

De forma general durante todo el proceso de secado se logró un incremento promedio de la temperatura de 7,48 °C, la cual se fue incrementando de forma paulatina, sin apreciarse colapsos térmicos, aspecto que revela la funcionalidad de la instalación desarrollada.

#### 5. Resultados del análisis económico

Con el objetivo de realizar un análisis económico profundo respecto al prototipo, se determinó su costo de explotación durante el proceso y su prefactibilidad económica.

##### a) Resultados de los costos de explotación.

Los costos de explotación del prototipo propuesto se exponen en la Tabla 4.

Tabla 4. Costos económicos por hora de explotación del prototipo.

Costos	Proceso de secado
Costo en depreciación (Cd), peso/h	0,04
Costo en combustible-lubricante (Ccl), peso/h	0
Costo en electricidad (Cel) peso/h	0
Costo en mantenimiento-reparación (Cmr), peso/h	0,003
Costo en salario (Cs), peso/h	1,45
Costo de explotación (C <sub>exp</sub> ), peso/h	1,49
Costo específico (C <sub>esp</sub> ), peso/kg	37,25

El costo en salario tiene como base al salario mínimo vigente en el país, es cual es de 350 peso, así como la cantidad de trabajo realizado en horas. Los costos en combustibles y lubricantes son nulos dado que para su funcionamiento el modelo fabricado no requiere de combustible fósil, ni de lubricantes. El costo por depreciación alcanza un valor de 0,04 peso/h, siendo el precio inicial del prototipo de 536,71 peso, considerándose un porcentaje anual de depreciación de 12 % y una carga anual de 180 días trabajando 8 horas. El costo en mantenimiento y reparación solo considera la sustitución de la cubierta de polietileno, la cual debe ser sustituida anualmente. El costo específico o requerido para secar un kilogramo de hojas de laurel es de 37,29 peso/kg; para obtener estos valores se consideró la productividad alcanzada por el prototipo, la cual alcanzó un valor de 0,04 kg/h, para una tasa de reducción media de humedad de 4,34 %/h.

### b) Resultados del análisis de prefactibilidad económica.

Para realizar el análisis de prefactibilidad económica fue necesario determinar el valor actual neto (VAN) de la instalación desarrollada, siendo el costo de inversión de 536,71 peso; según ficha de costo los ingresos que se prevén por año ascienden a 48 000 peso, los cuales se obtienen a partir de la carga anual de la instalación la cual de 1 440 h y la productividad mínima obtenida en la investigación, la cual considera el procesamiento de 0,8 kg de hojas de laurel en 5 h; partiéndose de este análisis, anualmente se procesarían 230 kg, lo que equivale a 383 bolsas de hojas de laurel secas, siendo el precio de la bolsa de 125 peso. Se estima que el prototipo tenga una vida útil de 10 años, de esta forma se obtuvo un VAN de 1806,39 peso. También se determinó la tasa de rentabilidad interna (TIR), obteniéndose un valor de 118,69 %.

Conociendo esto es posible determinar el plazo de recuperación (PRO) de la inversión el cual es de 0,83 años; lo cual resulta positivo pues a partir de este año solo se obtienen ganancias.

Otro elemento financiero que demuestra la factibilidad económica de la instalación de secado propuesta es la relación beneficio-costos (B/C), la cual alcanzó un valor de 2,21; este valor demuestra la factibilidad del proyecto.

### Conclusiones

Los fundamentos teórico-metodológicos planteados posibilitaron diseñar y fabricar un secador solar para plantas aromáticas.

Con el empleo del secador solar desarrollado se alcanzó una pérdida de peso de 25 % y una tasa de reducción de humedad de 4,34 %/h, evidenciándose variaciones en las principales propiedades físicas y organolépticas de las hojas de laurel.

Con el empleo de la herramienta informática SolidWorks 2017 se realizó el análisis de resistencia estructural del prototipo desarrollado, observándose que resiste las cargas a las que será sometido.

El flujo de calor total del secador solar de plantas aromáticas propuesto, asciende a 23,86 kW, alcanzando una

eficiencia térmica de 37,4%, lo que demuestra que el prototipo desarrollado posee una eficiencia adecuada.

El costo específico o requerido para secar un kilogramo de hojas de laurel es de 37,25 peso/kg; teniéndose un valor actual neto (VAN) de 1806,39 peso, una tasa de rentabilidad interna (TIR) de 118,69 %, un plazo de recuperación de la inversión (PRO) de 0,83 años, con una relación beneficio/costo de 2,21.

### Recomendaciones

Introducir el prototipo desarrollado en áreas productivas destinadas a la producción de plantas aromáticas.

Realizar otras investigaciones en las que se empleen otras variedades de plantas aromáticas y medicinales, donde se utilice la capacidad máxima de la instalación.

Realizar investigaciones orientadas al análisis de la calidad de los productos procesados en la instalación propuesta, así como el comportamiento de los principios activos y los aceites esenciales.

### Bibliografía y referencias bibliográficas

- AGUILAR, V. A. et al. (1989). *Administración agropecuaria*. México: Ed. Limusa.
- APARICIO J.J. Y R. E. CALLE (2011). «Diseño de una planta de deshidratación de hierbas aromáticas». Monografía. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador.
- ASAE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING (1972). *Yearbook*. St Joseph. Mich.
- BALLADIN, D.; O. HEADLEY (1999). «Evaluation of solar dried thyme (*Thymus vulgaris* Linné) herbs». *Renewable Energy*, Vol. 17, No.4, August, p. 523–531. DOI: 10.1016/S0960-1481(98)00757-5.1999
- BASKAKOV, A.R (1988). *Termotecnia*. ENPSES.
- BAZAROV, I. P. (1988). *Thermodynamics*, ENPSES.
- BÉRRIZ, L. (2003). «Secador solar de madera». En *Energía y Tú 24*. La Habana: Ed. Cubasolar.
- CENGEL, Y. A. (2002). *Heat Transfer*. Complete Solution Manual to Accompany, 2<sup>nd</sup> edition.
- Curcio, S.; M. Aversa, V. Calabro y G. Iorio (2008). «Simulation of food drying: FEM analysis and experimental validation». *Renewable Energy* Vol.87, No. 4, August, p. 541–553.2008
- ESPER, A. Y W. MUHLBAUER (1998). «Solar drying an effective means of food preservation». *Renewable Energy*, Vol.15, No. 1-4, December, p. 95–100. DOI: 10.1016/S0960-1481(98)00143-8.
- FAIRES. V. M.; C. M. SIMMANG (1978). *Thermodynamics*. Editorial Macmillan. 578-600pp. ISBN: 002-33-5530-1.
- FEODOSIEV. V. I. (1980). *Resistencia de Materiales*. Moscú: Ed. Mir.
- FERNÁNDEZ. L. G. (1981a). *Resistencia de Materiales*. Tomo I. La Habana: Ed. Pueblo y Educación.
- FERNÁNDEZ. L. G. (1981b). *Resistencia de Materiales*. Tomo II. La Habana: Ed. Pueblo y Educación 1981.b
- FRETES F. (2010). *Plantas medicinales y aromáticas. Una alternativa de producción comercial*. United States Agency International Development (USAID), Paraguay, mayo 2010.
- GEANKOPLIS, J. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. University of Minnesota. Compañía editorial continental, S.A. de C.V. Tercera Edición México, 1998, ISBN: 968-26-1316-7.

- HUNT, D. (1983). Maquinaria agrícola, rendimiento económico, costos, operaciones, potencia y selección de equipo. Manual de laboratorio y cuaderno de trabajo. México: Ed. Limusa.
- IGLESIAS, C. E. (2002). «Administración de la maquinaria agrícola (apuntes para un libro de texto)». México. UACH. 500p.
- IGLESIAS, C.E.; R. P. PANEQUE Y L. SHKILIOVA (1999). *Evaluación y prueba de tractores y máquinas agrícolas*. UACH. Chapingo-UNAH. Chapingo, México.
- INCROPERA, F. AND D. DEWITT (1996). *Introduction to heat transfer. Sixth Edition*. New York: John Wiley and Sons Ed. ISBN-13:978-0471457282.
- KLAASSEN, G. (1983). «Seed drying. International course on seed technology for vegetable crops». University of the Philippines at the Baños, Philippines.
- MIROLIUBOV, I. (1979). *Problemas de Resistencia de Materiales*. La Habana: Ed. Pueblo y Educación 1979.
- MONTERO, I. (2005). «Modelado y construcción de un secadero solar híbrido para residuos biomásicos. Proyecto previo a la obtención del título de doctorado». Universidad de Extremadura. Badajoz.
- MUÑANTE, P. D. (2002). «Formulación y evaluación de proyectos (apuntes para el curso). Centro de educación continua y servicios universitarios». Universidad autónoma Chapingo. México (impreso).
- OHSITA, S. (1995). «Solar grain drying». Group training course in post-harvest rice processing. Department of agricultural engineering. Faculty of agriculture. University of Tokyo.
- PUROHIT, P.; A. KUMAR Y T. KANDPAL (2006). «Solar drying vs. open sun drying: A framework for financial evaluation». *Solar Energy* 80, No. 12, December, p. 1568–1579.
- REINOSO, E. S. (2006). «Diseño y construcción de un secador experimental de hierbas aromáticas con el empleo de energía solar, capacidad de 5 kg». Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero mecánico, Escuela politécnica del ejército, Facultad de ingeniería mecánica, Sangolquí, Ecuador.
- ROA, G. Y D. B. ORTEGA (2011). «Diseño y construcción de un secador solar por convección de aire caliente automatizado de pequeña escala, para el secado de café para la Universidad Nacional de Loja». Previa la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, Universidad Nacional de Loja, Ecuador.
- SAGAR, V.; P. SURESH (2010). «Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review». *Journal of Food Science Technology*. Vol.47, No.1, February, p. 15–26. DOI: 10.1007/s13197-010-0010-8.
- SATO, J. (1994). Solar grain dryer. Lecture textbooks fourth edition. Farmmechanization course and farm machinery design course. Tsukuba, International Agricultural Training Centre. Japan International Cooperation Agency, Japan.
- STIOPIN, P. A. (1985). *Resistencia de Materiales*. Moscú: Ed. Mir. (Texto básico)
- THOMPSON, J. F. (1985). «Modified Air Flow Rate and Temperature Hop drying». *American Society of Agricultural Engineers*, 28(4): 1297-1230. Michigan.
- TONGUINO, M, I. (2011). «Determinación de las condiciones óptimas para la deshidratación de dos plantas aromáticas; menta (*Mentha piperita*) y orégano (*Origanum vulgare* L.)». Tesis en obtención del Título de Ingeniero Agroindustrial, Universidad técnica del norte Ecuador.
- TSHEWANG, L. (2005). «Technical and financial feasibility of a solar dryer in Bhutan». *Energy for Sustainable Development*, 01.27, No.9, December, p. 17–24).
- ULLOA, T. O. (1981). «Maquinaria agrícola II (apuntes de clases)». Dpto. de fitotecnia. Universidad autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- URIOL, J. L. (2016). «Estudio de colectores solares multipasos con y sin almacenamiento térmico en el secado de productos agrícolas». Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico-Eléctrico. Universidad de Piura. Perú.

Recibido: 1ro de febrero 2020.

Aceptado: 15 de febrero de 2020.

# CONVOCATORIA

## XIV Taller Internacional

### CUBASOLAR 2020

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



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

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

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

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

#### Temas centrales del evento

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

#### Curso taller

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

#### Taller 1: Energización local

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

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

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

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

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

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

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

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

