

# CEER-S-091

CEER-S.091

## DESARROLLO DE FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA SOLAR PARA EL CARIBE

por

Dr. Juan A. Bonnet, J

Director

CENTER FOR ENERGY AND ENVIRONMENT RESEARCH

---Page Break---

## DESARROLLO DE FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA SOLAR PARA ET, CARIBE

port

Dr, guan A. Bonnet, Jr.

Director

Centro para Estudios Eenergéticos y Ambientales:

Universidad de Puerto Rico

Presentado en el

Primer Taller Subregional Sobre Fuentes No Convencionales  
de Energia Para Los Paises Del Caribe De Habla Hispana

Santo Domingo, Republica Dominicana

8 al 10 de abril de 1981

---Page Break---

DESARROLLO DE FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA SOLAR PARA EL CARIBE

Por: Dr. Juan A. Bonnet, Jr.

Centro para Estudios

Energéticos y Ambientales

Universidad de Puerto Rico

ABSTRACT

Puerto Rico es un ejemplo típico de la urgente necesidad de  
desarrollar fuentes alternativas de energía y controles ambientales en

el Caribe. Esta isla densamente poblada depende en 90 por ciento del  
petróleo importado que le cuesta la suma brutal de más de mil quinientos millones de dólares al año. Sus problemas ambientales se  
encuentran generalmente a nivel crítico.

Por otro lado, la isla recibe grandes cantidades de energía solar.

En atención a estas circunstancias, la Universidad de Puerto Rico entró en acuerdo con el Departamento de Energía de los Estados Unidos para establecer el Centro para Estudios Energéticos y Ambientales (CERA) en 1976,

EL CEEA desarrolla programas encaminados a explotar los inagotables recursos del sol, vegetación y mar, así como el potencial inherente en la conservación, reciclaje, conversión o eliminación de los productos de desecho y sustancias contaminantes que afectan a la sociedad moderna,

EL CEEA ha obtenido progresos significativos en estos aspectos.

---Page Break---

-2-

Es el propósito de este trabajo señalar los alcances de los programas propuestos

que desarrolla el CEA y analizar los logros más significativos.

INTRODUCCION

El Centro para Estudios Energéticos y Ambientales (CEEA) fue establecido para realizar programas de investigación y otras iniciativas tendientes a desarrollar fuentes alternas de energía aprovechando los singulares recursos y condiciones de Puerto Rico. El CEEA, creado

para beneficio tanto de los Estados Unidos como de Puerto Rico, fue organizado en julio de 1976 por contrato entre la Universidad de Puerto Rico y la Administración de Investigaciones y Desarrollo Energéticas de los Estados Unidos que ahora forma parte del Departamento de Energía (DOE) de la nación. La Figura número 1 muestra la fachada del edificio principal del CEBA en San Juan.

---Page Break---

---Page Break---

Entre 1976 y 1981, el Departamento de Energía habrá facilitado alrededor de 10 millones de dólares para que el CEEA pueda reclutar personal de investigación, adiestrar y readiestrar a los científicos de la Universidad de Puerto Rico para la investigación energética, y adquirir el equipo de investigación necesario.

La Universidad se propone desarrollar un programa sistemático de investigación que envuelva la mayoría de sus facultades y recintos, en colaboración con otras universidades e instituciones de investigación, las agencias del gobierno federal y locales, y grupos del sector privado.

PRINCIPALES OBJETIVOS DEL CEA

+ Ayudar mediante la investigación a conseguir fuentes alternas de energía limpias dentro de un régimen de seguridad ambiental.

Avatar @ desarrollar científicos, ingenieros y personal técnico especializado en las áreas de energía y ambiente.

+ Servir de enlace en programas de cooperación internacional relacionados con la energía y el ambiente, particularmente en el Caribe y América Latina.

Para realizar dichos objetivos, el CEFA cuenta con oficinas,

equipo, laboratorio y talleres en San Juan y Mayagüez valorados en

---Page Break---

unos de 12 millones de dólares, proviniendo así alta calidad en la investigación aprovechando la experiencia de que se dispone dentro del sistema universitario. Atrae el talento en el sistema universitario hacia el campo energético; y se esfuerza por mejorar la calidad académica y por desarrollar planes de estudios sobre la energía con el fin de consolidar los esfuerzos de la Universidad, la industria, el gobierno y la comunidad.

Los programas de investigación del CEEA comprenden dos Áreas Principales: la energía y el ambiente. Aunque los programas y proyectos de cada una son independientes y organizados por separado, existen estrechas relaciones de trabajo entre las distintas divisiones, de modo que cada problema es considerado tanto en su aspecto ambiental como en el energético. Ambos aspectos son esenciales en el desarrollo de mejores escenarios para Puerto Rico.

A continuación se presenta una breve descripción de algunos de los programas energéticos principales.

### Energía Solar

Uno de los principales objetivos del CEEA es llevar a cabo proyectos de investigación y desarrollo en el campo de la energía solar tomando en cuenta la abundancia de luz solar directa en el Caribe. La isla goza de condiciones ideales para la investigación y el desarrollo solar y para la comercialización de tecnologías solares.

---Page Break---

En un área de unos 8,800 kilómetros cuadrados hay gran variedad de zonas climáticas, desde lo frío hasta la humedad del bosque de Muvía, pero todas, con un alto grado de insolación.

as mediciones muestran que las zonas costeras del norte y sur reciben un promedio de 2,000 kilovatios hora por metro cuadrado de insolación, lo que es similar a muchas otras áreas del Caribe. Constantemente se están recogiendo datos solares a través de una serie de estaciones repartidas por toda la isla. La localización de las estaciones e instalaciones principales del CEEA están indicadas en el mapa de Puerto Rico en la figura número 2.

Instalaciones del CEEA en Puerto Rico

Fig. 2

---Page Break---

a

Estos datos forman la base para la experimentación con calentadores solares de agua con fines residenciales, acondicionadores de aire solares, generadores de vapor industrial y sistemas de almacenamiento de calor. Se están llevando a cabo también en colaboración con la Universidad de Puerto Rico, estudios y evaluaciones de materiales solares para el mejoramiento de las células fotovoltaicas.

Colector Solar para la Producción de Vapor Industrial

La División de Energía Solar del CEFA ha diseñado, construido y evaluado un concentrador de energía solar para la producción de vapor industrial en un medioambiente tropical.

El concentrador consta de una superficie reflectiva (espejo) en forma de zanja incidente que concentra la luz en un tubo de cobre (absorbedor) donde se convierte en energía térmica y se transfiere a un líquido. El factor de concentración es de 5.25. El absorbedor de cobre está sellado dentro de un tubo de cristal al vacío (10<sup>-5</sup> torr) para minimizar las pérdidas de energía por convección y conducción. El fluido que se lleva el calor circula en un conducto de cobre en forma de "U" soldado al absorbedor a intervalos de 2.5 cm,

Un aspecto innovador de este colector es la segmentación de la superficie reflectiva y su encapsulación dentro de tubos de cristal (tubos de bajo costo de los usados en las lámparas fluorescentes).

---Page Break---

-8-

Esta característica provee un soporte estructural liviano a la vez que protege al espejo del medioambiente tropical que es muy corrosivo.

La superficie reflectiva consiste de una película de aluminio sobre



acrflíoo (reflectividad espectral de 96%), pegada a una lamina de fle  
xiglass de 3 1m de espesor-

1a forma de a awerficie reflectiva ro es une parfola sino una  
zanja parabólica cempuesta (Tcongound parabolic trough"). A esta  
forma también se le Mana un concentrador "ideal" en dos dimensiones.  
Este conoentrador no forma una imagen de 1a fuente de 1uz como lo  
harfa una paréhola o un lente . Es "ideal" en el sentido de que tiene  
ta eficiencia mfxina tesrica para capturar la luz que incide a &o-  
gulos fuera de 1a direcci6n perpendicular a 1a apertura del colector.  
Esta caracterfstica permite 1a colecei6n de luz difusa dentro de un  
fqulo de 18°, También reduce 1a necesidad de un mecanisn para  
seguir 1a trayectoria solar.

Bl colector del CHA fue diseado para producir vapor industrial  
a tumperaturas entre 350 a S50°F, pero podrfa usarse en otras situa  
ciones donde se requiera temperaturas nfs altas de las alcanzables  
?con oolectores solares planos. ta figura ntmero 3 enseia una foto  
de este colector.

---Page Break---

Golector Solar para la Producci6n de Vapor Industrial.

El Dr.

Kenneth Soderstrom, Director Asociado, y el Dr. Anel López,

Científico, aparecen en la foto,

Fig. 3

---Page Break---

-10-

Aire Acondicionado por Energía Solar

Originalmente los edificios para los laboratorios y el reactor nuclear experimental del CEEA en Mayaguez se suplían de aire acondicionado por medio de una unidad centrífuga con capacidad de 1580 Kilovatios de refrigeración (450 toneladas) y una caldera de 529,200 Kg. cab.

Debido a que en estos edificios se manejaba material radiactivo, el aire no se recirculaba, Por eso se requería una máquina centrífuga de gran tamaño.

Al deconstruirse el reactor y establecerse nuevas normas de operación se rediseñó el sistema de aire acondicionado encontrándose

requerimientos de 350 kilovatios de refrigeración.

Debido a estos nuevos requerimientos se rediseñó el sistema para que utilizara energía solar,

Mediante una asignación del Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) se está dando curso a la instalación de un sistema de aire acondicionado basado en una unidad de absorción con capacidad de 350 kilovatios de refrigeración. El sistema servirá de modelo para demostrar la viabilidad de la refrigeración solar en escala industrial y comercial. La figura anexa 4 muestra un esquema de flujo de este proyecto.

---Page Break---

ch. 4.1

---Page Break---

-2-

Secado Solar del Aire

Este programa estudia un sistema de secar aire con gel de sílice, la cual es regenerada con aire calentado por energía solar.

El estudio se hace con miras a utilizar el aire seco para dos finalidades distintas, la primera sería para mantener un ambiente seco sin alterar la temperatura ambiental (30-40°C). Un uso sería para almacenar equipo que es afectado por la humedad pero no por la temperatura, la segunda es para proveer aire seco y frío. El aire al salir de la máquina de secado tendría que ser enfriado con un sistema de refrigeración convencional. Esto ahorra el gasto de energía para disipar el calor liberado por la condensación de la humedad del ambiente. En el transcurso este gasto es de consideración.

El programa incluye la construcción y evaluación de un colector con tubos al vacío diseñado especialmente para el calentamiento del aire usado en la regeneración de la gel. En estos momentos, el colector está en la etapa de pruebas y evaluación. Ver figura número 5.

---Page Break---

---Page Break---

-abe

Acciis de estas pruebas experimentales, se cuntuen estistion  
tebricos mediante e1 uso de un modelo simulador. El modelo se preita  
para analizar el comportamiento del sistena bajo diversas condiciones  
Ge fincionanients, lo que pomite el cBiculo tebrico de los valores

Sptimos para los distintos parámetros de operaci3n,

### EstaciGn Bgerinental para Sistemas FotovoltAions Residenciales

Un proyecto propussto al DDE es el establecimiento y operacitn  
do una estaci3n experimental de sistenas fotovoltfficos residenciales.

El fenteno fotowitdico convierte la energia lunfhica en exergeta  
el3ctrica directanente. Esto so consigue usando planchas finas de  
seniocnductores. Zn 1a actualidad estos materiales se pucden pro-  
Sucir s6lo en 1a forma de celdas de un tanaio mixino de 200 ae  
200 cu. 1a mayorfa se produce en tana de 5 on x \$ cn.

Un sistema fotovoltAico residencial consta de dos partes prin  
cipales. El mfdulo fotovoltidico en el techo de 1a casa es el arresio  
de celdas interconectadas. La cnergfa el3ctrica producida yor 3l  
r3dulo es en forma de corriente directa. La seyunda parte del equico  
es el invertidor de corriente directa a corriente alterna la cufl es  
el tipo de electricidad usada por los utensilics el3ctricos reside  
Clales. os primeros sistemas fotovolt3icos residenciales no tends  
un componente de almacenamiento (baterfas) ya que esto aunenta el

costo del sistema considerablemente, Estos sistemas estarsn conectados

---Page Break---

35

a la red Ge produci3n y distribuci3n de electri aided cass. site

el sistene fotovoltaico produjera ms energia de la usaia eh bo

sidencia en un momen:

dado, Gsta serfa transferida a la sei.

otto lado la residencia recibirfa energia de la red si no hubiera out

La estaci3n propuasta tendrfa un sistema computarizads pare la

aiquisici3n y almacenamiento de datos de la eneryfa incidente s:

as celdas, la energía convertida en electricidad DC, la energía convertida a electricidad AC, la energía usada en la vivienda, la

energía transferida a la red y la energía recibida de la red.

Este sistema computarizado se ubicaría en un edificio central

Se habría espacio para la construcción de quince prototipos de sistemas fotovoltaicos, cada uno de 7 m x 20 m, en viviendas privadas. Se instalarían los prototipos. Se usaría el sistema de adquisición de datos para determinar el comportamiento de cada prototipo, bajo condiciones meteorológicas idénticas. Los prototipos de mayor rendimiento pasarían a la segunda fase del proyecto, en la cual se construirían viviendas donde se instalarían estos sistemas para el uso de familias típicas.

Los datos sobre el comportamiento de estos sistemas residenciales

se transmitirían por línea telefónica a la computadora central.

---Page Break---

~ 16

## Sistema Solar para Pasteurización

En este proyecto se diseñó un sistema de 50,000 pies cuadrados de colectores solares para calentar el agua @ 210°F para pasteurizar alimentos en la fábrica de Nestlé-Likbys en el sur de Puerto Rico.

Esta utilización del calor solar economizará a la instalación 105,000 galones de aceite combustible al año.

La figura 9.6 presenta un diagrama instrumental del proyecto.

---Page Break---







---Page Break---

- 18 -

### Goncersifn de 1a Energfa Qooano-Téimica (CBD1)

Desde ?1 1967 Puerto Rico enpez6 a estutiar a viabilidad de la conversi6n de 1a energfa oceanc-témica (CBDT). El bajo costo impo rante del petr6leo en ese tiempo desalent6 estos prineros esfuerz0s. Utinamente el asunto ha cobrado inportancia singular para Puerto Rico debido, primero, a 1a carestfa del petr6leo y segundo, estudios oceanogríficos que indican que la isla cuenta con varios de los mejores

lugares del mundo para el desarrollo de CET. Entre estos sitios, los  
más convenientes son Punta Tuna en la costa suroriental y Punta Vaca,  
en la Isla de Vieques. Ver figura número 7.

---Page Break---

~19~

En consecuencia, el CEEA ha apoyado la investigación y desarrollo  
de CHOY dentro de su programación global. Al presente se trabaja en  
colaboración con la Oficina de Energía de Puerto Rico, responsable

del plan energético del país, y con la Autoridad de Energía Eléctrica  
de Puerto Rico (AEE), una corporación del gobierno interesada en el  
progreso del desarrollo de CEDT. La AEE ha presentado al

Departamento de Energía Federal varios planes para la investigación, des-  
arrollo y demostración que conduzcan a la construcción de una planta  
piloto de CHIT con una capacidad de 40 megavatios, suficientemente

grande para demostrar la viabilidad de plantas de CBOT en escala co-  
mercial.

En 1978 la Junta de Energía de los Estados Unidos del Sur aprobó una resolución endosando el concepto de CBOT para Puerto Rico y subrayando la gran prioridad que esta explotación tiene tanto para los Estados Unidos continentales como para la Isla.

En 1979 un funcionario de la AEE, al deponer ante el Comité de Ciencia y Tecnología de la Cámara de Representantes de los Estados Unidos, presentó estudios que demuestran la viabilidad económica de una planta CBOT de 250 megavatios, sólo un 1.86 por ciento más cara que una planta nuclear y menos que una de carbón. El Comité aprobó asignaciones cuantiosas para el desarrollo del concepto CBO y para la construcción de plantas de demostración. Desde la recepción del proyecto de aprobación final, COT se convirtió en motivo de investigación y desarrollo intenso durante la presente década.

---Page Break---

---Page Break---

Para estos estudios, la División

BOT adquiri6 del Depactacest

de 1a Marina de los Estados Unidos una barcaza de desembarco en de~

ssso, 1a cual se modific6 y anarr\$ por mis de un aio en el rea (Punta

?TRina) donde se proyecta establecer la

anta CBT. Este es el Gnico

180 en ?] munio donde se efectian los estdios de viabilidad de una

Planta CBO precisanente en el lugar donde 1a misma quelard ubicada

Y Por un perfodo tan prolongado. Ver figura ntiero 10.

gye~ ey

Laboratorio Flotante CHO? del CEES

Fig. 10

---Page Break---

Otro estudio importante Llevaio a cabo por la Divisin CBOL «

Ja exploraci6n del concepto del ciclo de spas. En este concepto se utiliza la expansi6n de la espuna al pasar de la regi6n frfa del

fondo del max a la caliente de la superficie para elevar el nivel de

aqua dentro de una torre y crear un pot:

ial hidrost&tico utilizable

POF una turbina hidroel&ctrica. El CEEA investig6 principalmente la

eficiencia y estabilidad de los mat:

fales espumantes.

Foto de Espuma en 1a Columna Rxperinental

ee ceo

Fig. 11

---Page Break---

EL potencial que Puerto Rico y otros pufsce de Centto y Sux Ambo pueden esperar de estas centrales oceano-témicas se desprenie de un estudio hecho por el profesor Willian Heronemss de 1a Universidad dol Estado de Massachusetts. Esti? el profesor Heronemus que en un &rea de 725 kiléneties de iargo por 25 de ancho localizada entre los estados de Florida y Georgia puaien instalarce 4,500 centrales ocearo-témicas Ge tanafo comercial. Con esas centrales codrfa producirse dos veces 1a cantidad de eneryfa eléctrica caw en los Estados Unidos consume ai aziaente. Aunue os estulios ro se han hecho afm, es de esperarse encontrar una condicién similar a lo largo de las oostas del Golfo de México y las de Anérica del Sur,



como cunstién de hecho, en el proyecto de ley mencionado anterior  
rente aprobado por el Comité de Ciencia y Tecnología de 1a Cámara de  
Representantes de los Estados Unidos hay una proyección para establecer  
no más tarde del 1990 plantas comerciales CHDT, de 500 megavatios a

lo largo de las costas del Golfo de México.

Biomasa

El cultivo de "finca energética" dentro de las condiciones de  
plantas de producción es el objetivo fundamental de la División de Biomasa  
del CEEA. Durante los últimos años, más de \$1,000,000 se han invertido  
en este objetivo.

---Page Break---

- ue

Los estudios de biomasa se han enfocado principalmente en la pro-  
ducción de variedades de caña y yerbas tropicales para optimar la pro-  
ducción de fibra como un sustituto del combustible para calderas.

En el caso de la caña se ha tratado de obtener un néctar de fibra pero  
también suficiente sacarosa para producir miel enriquecida, una materia  
prima en la industria de la fermentación que ha escaseado últimamente  
en Puerto Rico.

EL uso de 1a calla de azúcar para producir biomasa es un resultado natural de las dificultades económicas por la que atraviesa esa industria en Puerto Rico. Los estudios indican que por cada cuatro mil metros de cultivo de caña hay que invertir alrededor de \$1,200.

Sin embargo, el rendimiento de ese producto no pasa de \$700. Para mantener la industria viva, el gobierno de Puerto Rico ha pagado la diferencia, la pérdida para el gobierno por los 260 kilómetros cuadrados de cultivo de caña es entre 30 y 40 millones de dólares anuales. Por otro lado, la miel producida por la industria azucarera es de sólo 4.7 millones de galones frente a una demanda de la industria del ron de 39-40 millones de galones. La diferencia, a un costo de más de \$17 millones, hay que suplirla con subsidios.

Los estudios del GHA demuestran que este cuadro de pérdidas puede nivelarse si se sembrara la caña para energía en vez de azúcar.

Según los experimentos del Dr. Alex Alexander cada tonelada de

fibra seca obtenida de un cañaveral manejado para energía, en vez de

---Page Break---

axicar, costarfa aproximadamente \$20 producirfa, La energia on esta tonelada es ecivalente a 1a contenida en dos barriles y medio de petrleo.

En términos de los costos del petróleo y las maderas para el 1979, cada cuerda de café energética puede producir más de \$1,000 en energía y una cantidad aproximadamente igual en maderas ricas.

Los estudios indican una productividad aún mayor a medida que se mejoran las variedades de cafés y yerbas y los métodos de operación, manejo, secado y embalaje de la bionasa. Ver figura número 12.

En estos momentos se persigue la aprobación de un proyecto de Genostrucción para producir un combustible del bagazo conocido como Agrifuel, Este proyecto lo maneja CEEA en conjunto con 1a Combustion Equipment Associates,

Ciertos estudios se están haciendo también sobre la potencialidad de las plantas madereras, semiacústicas y las productoras de hidrocarburos.

Uno de los problemas inherentes al uso de las fincas de energía es el posible desplazamiento de la siembra de productos alimenticios, En un país como Puerto Rico, donde la tierra cultivable es escasa, se requiere un balance delicado en la utilización de los terrenos. Este

problema no es tan crítico para los grandes países de Latinoamérica.

¿Sin embargo, en el caso de la caña energética resultados recientes

indican que se producirán mayores cantidades de azúcar por cuerda que

---Page Break---

Caña Energética de 12 Meses que Producen 88 Toneladas de Fibra Seca:

Fig. 12

---Page Break---

-2-

fe» sitivos normales. O sea, no existe tal conflicto en este caso

expectation

ha sido un honor el tener esta oportunidad para presentar @

grandes rasgos las actividades que desarrolla el Centro para Estudios

Energéticos y Ambientales de la Universidad de Puerto Rico. Uno de

los propósitos importantes del CEEA es el promover el acercamiento

1a cooperaci6n entre los pafses de habla hispana frente a los pro~

Dlemas que goneran 1a escasez de enerofa y 1a contaninaci6n ambiental.

Esta presentaci6n responde a ese objetivo y espero nos sirva de base

para establecer myores lazos de anistad y cooperaci6n en el Caribe,

---Page Break---