

CEER-S-080

DESARROLLO DE FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA SOLAR
EN PUERTO RICO

CENTER FOR ENERGY AND
ENVIRONMENTAL RESEARCH (CEER)
READING ROOM - 1000 E. ST. A
MAYAGUEZ, PUERTO RICO 00708

Juan A. Bonnet, Jr.

DESARROLLO DE FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA SOLAR EN PUERTO RICO

J. A. Bonnet, Jr.
Centro para Estudios Energéticos y Ambientales
Universidad de Puerto Rico

ABSTRACTO

Puerto Rico es una ilustración dramática de la urgente necesidad de desarrollar fuentes alternas de energía y controles ambientales. Una Isla densamente poblada, Puerto Rico depende en un 90 por ciento del petróleo importado a un costo brutal de más de mil millones de dólares anuales. Sus problemas ambientales se encuentran generalmente a un nivel crítico. Por otro lado, la Isla es bendecida por grandes cantidades de energía solar.

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

El CEEA se afana por buscar y desarrollar 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 empeños. Es el propósito de este trabajo señalar los alcances de los programas que desarrolla el CEEA y analizar los logros más significativos alcanzados.

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 Energéticos de los Estados Unidos que ahora forma parte del Departamento de Energía (DOE) de la nación.

El período que va de 1976 al 1981, el Departamento de Energía habrá facilitado alrededor de 12 millones de dólares para que el CEEA pueda reclutar el 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 meta que la Universidad se ha propuesto es desarrollar un programa sistemático de investigación que envuelva la mayoría de las facultades y recintos y el que se llevará a cabo en colaboración con otras universidades e instituciones de investigación, las agencias del gobierno federal y local, y grupos del sector privado.

Principales objetivos del CEEA

- Ayudar mediante la investigación a conseguir fuentes alternas de energía útiles para Puerto Rico dentro de un régimen de seguridad ambiental;

- Ayudar a Puerto Rico a desarrollar científicos, ingenieros y personal técnico especializado en las áreas de energía y ambiente;
- Servir de enlace en programas de cooperación internacional en el área de la energía y el ambiente, particularmente aquellos relativos a la región del Caribe y la América Latina.

Para realizar dichos objetivos, el CEEA--con oficinas, equipo, laboratorio y talleres en San Juan y Mayaguez, valorados en más de 12 millones de dólares, promueve una alta calidad en la investigación; maneja los esfuerzos investigativos 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 el desarrollo de planes de estudios sobre la energía con el fin de consolidar los esfuerzos de la Universidad, de la industria, del gobierno y de la comunidad.

Los programas de investigación del CEEA comprenden dos áreas principales, las cuales son la energía y el ambiente. No obstante, y aunque los programas y proyectos dentro de esos dos sectores son independientes y están organizados por separados, existen estrechas relaciones de trabajo entre las distintas divisiones, de modo que cada problema es considerado en sus dos componentes, el ambiental y el energético, ya que ambos aspectos son esenciales en el desarrollo de nuevos 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 cabales en el campo de la energía solar tomando en cuenta que el sol es una de las fuentes naturales más grandes con que cuenta el país.

La Isla goza de condiciones ideales para la investigación y el desarrollo solar y para la comercialización de tecnologías solares. En un área de sólo 8,800 kilómetros cuadrados existe una variedad de zonas climáticas que va desde casi el desierto hasta los bosques tropicales, todas ellas, básicamente, con un alto grado de insolación. Las 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 compara favorablemente con el suroeste de los Estados Unidos. Constantemente se están recogiendo datos solares a través de una serie de estaciones repartidas por toda la Isla. Estos datos forman la base para el diseño y experimentación de calentadores solares de agua con fines residenciales, de acondicionadores de aire solares, de generadores de vapor industrial y para 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.

A continuación se presentan tres (3) de los principales proyectos del CEEA en el área de energía solar.

Colector solar para la producción de vapor industrial

La División de Energía Solar del Centro para Estudios Energéticos y Ambientales (CEEA) de la Universidad de Puerto Rico ha diseñado, construido, y evaluado un concentrador de energía solar para la producción de vapor industrial en un medio ambiente tropical.

El concentrador consiste de una superficie reflectiva (espejo) en forma de zanja incidente la que concentra la luz en un tubo de cobre (absorbedor) donde es convertida en energía térmica y transferida 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^{-5} Torr) para minimizar las pérdidas de energía debidas a convección y conducción. El fluido que se lleva al 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). Esta característica provee un soporte estructural liviano a la vez que protege al espejo del medio ambiente tropical que es muy corrosivo. La superficie reflectiva consiste de una película de aluminio sobre-acrílico (reflectividad espectral de 86%), pegada a una lámina de flexiglass de 3 mm de espesor.

La forma de la superficie reflectiva no es una parábola sino una zanja parabólica compuesta ("compound parabolic trough"). A esta forma también se le llama un concentrador "ideal" en dos dimensiones. Este concentrador no forma una imagen de la fuente de luz (como lo haría una parábola o un lente). Es "ideal" en el sentido de que tiene una eficiencia máxima teórica para capturar la luz que incide a ángulos fuera de la dirección perpendicular a la apertura del colector. Esta característica permite la colección de luz difusa dentro de un ángulo de 18° . También reduce la necesidad de un mecanismo para seguir la trayectoria solar.

El colector del CEEA fue diseñado para producir vapor industrial a temperaturas entre 350 a 550°F , pero podría usarse en otras situaciones donde se requiera temperaturas más altas de las alcanzables con colectores solares planos.

2. Instalación de un sistema de aire acondicionado por medio de energía solar en uno de los laboratorios del CEEA

Historial

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

Debido a que el uso de estos edificios requería el manejo de material radiactivo, el aire no era recirculado y de ahí, la necesidad del gran tamaño de la máquina centrífuga.

Al decomisarse el reactor y establecerse nuevas normas de operación se rediseñó el sistema de aire acondicionado encontrándose unos requerimientos del orden de 350 kilovatios de refrigeración.

Debido a estos nuevos requerimientos se rediseñó un sistema utilizando aire acondicionado solar.

Mediante una reciente asignación aprobada por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) se está procediendo a darle curso al proyecto e instalar un sistema solar 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.

3. Sistema de 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 que en los trópicos 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 para lo cual se usan las facilidades disponibles en el Recinto de Mayaguez del CEEA para estos menesteres.

Además de estas pruebas experimentales, se conducen estudios teóricos mediante el uso de un modelo simulador. El modelo se presta para analizar el comportamiento del sistema bajo diversas condiciones de funcionamiento, lo que permite el cálculo teórico de los valores óptimos para los distintos parámetros de operación.

4. Conversión fotovoltaica para los trópicos

El CEEA tiene bajo estudio la tecnología de la conversión de la energía solar por medio de células fotovoltaicas con el fin de introducirle modificaciones y adelantos que respondan a las condiciones ambientales de los trópicos. X

El proyecto, llamado Utilización de Concentradores Solares Fotovoltaicos (USCF), incluye varios aspectos originales.

Primero, es un sistema energético unitario destinado a proveer energía térmica y enfriamiento al edificio y laboratorios del CEEA en Río Piedras y agua caliente al Hospital Oncológico y al Hospital Universitario de Niños ambos adyacentes al CEEA, dentro del complejo médico de la ciudad de San Juan. Segundo, USCF servirá para demostrar el uso de las fotovoltaicas en los climas tropicales, particularmente en el Caribe y ciertas regiones de la América Latina, donde su empleo podría resultar provechoso para enfrentarse al encarecimiento de la energía.

La batería de células fotovoltaicas del USCF tendrá una capacidad suficiente para alimentar las máquinas acondicionadoras del aire del CEEA que presentan una demanda de un megavatio de refrigeración (290 toneladas) y en adición, suplir agua caliente a los hospitales.

Un aspecto interesante del sistema a implantarse permite utilizar la red eléctrica de la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico cuando baje la radiación solar, o por las noches. Inversamente, cuando las fotovoltaicas generan más energía que la necesaria - como por ejemplo, en domingos y días feriados - el exceso se pasa a la red eléctrica recibiendo el CEEA el crédito fiscal correspondiente. En esta forma, se eliminan los acumuladores de energía, sus costos y los peligros ambientales inherentes a su uso.

Antes de concluir la presentación de las actividades de la División Solar del CEEA, parece apropiado señalar un área donde las facilidades y el

personal de la División podrían ponerse a la disposición del Gobierno de Venezuela para la iniciación de proyectos de cooperación mutua.

La generación de vapor industrial por medios solares para el recobrado del petróleo mediante inyección de vapor está en vías de ponerse en práctica en ciertos campos petrolíferos de los Estados Unidos.

Esta operación requiere generadores de vapor solar con una capacidad entre 5 y 7 megavatios, la que se alcanzaría sin dificultad con la instrumentación ya desarrollada y evaluada por el CEEA sin grandes inversiones en adaptaciones tecnológicas.

Cabe presumir que un estudio de viabilidad económica y técnica de esta aplicación solar en la industria petrolera de la República de Venezuela, el cual podría iniciarse de inmediato, revelaría resultados positivos de gran significación.

Conversión de la energía oceano-térmica (CEOT)

Desde el 1967 Puerto Rico empezó a estudiar la viabilidad de la energía oceano-térmica. El bajo costo imperante del petróleo en ese tiempo desalentó estos primeros esfuerzos.

Ultimamente el asunto ha cobrado importancia singular para Puerto Rico debido, primero, a la carestía prevalesciente del petróleo y segundo al reciente hallazgo oceanográfico que indica que la Isla cuenta con varios de los mejores lugares del mundo para el desarrollo de CEOT. Entre estos sitios, los más convenientes son Punta Tuna en la costa suroriental y Punta Vaca, justo frente a las costas de la Isla de Vieques.

En consecuencia, el CEEA ha apoyado la investigación y desarrollo de CEOT 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 (PREPA)--una corporación del gobierno interesada en el progreso del desarrollo de CEOT. Ambas agencias se proponen presentar al Departamento de Energía Federal un plan para la investigación, desarrollo y demostración que conduzcan a la construcción de una planta piloto de CEOT con una capacidad de 5-20 megavatios, suficientemente grande para demostrar la viabilidad de plantas de CEOT en escala comercial.

En una reunión celebrada en junio de 1978 en San Juan, la Junta de Energía de los Estados Unidos del Sur aprobó una resolución endosando el concepto de CEOT para Puerto Rico y subrayando la gran prioridad que esta explotación tiene tanto para los Estados Unidos continentales como para la Isla,

Hace escasamente dos meses un funcionario de PREPA testificó ante el Comité de Ciencia y Tecnología de la Cámara de Representantes de los Estados Unidos para presentar los resultados de unos estudios que demuestran la viabilidad económica de una planta CEOT 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 CEOT y para la implementación de plantas de demostración. De recibir el proyecto la aprobación final, CEOT se convertirá en motivo de investigación y desarrollo intenso durante la próxima década.

El concepto CEOT utiliza el diferencial de temperatura entre el agua de la superficie del mar y la del fondo a 1000 o más pies de profundidad. Este diferencial, frente a la costa de Punta Tuna es aproximadamente de 20°C. Las aguas de la superficie se usan para evaporar un líquido de bajo punto de ebullición. (por ejemplo, amoniaco). El trabajo de expansión, asociado a la evaporación se

aplica para mover una turbina generadora. El agua fría del fondo sirve para condensar el vapor del líquido y así completar el ciclo.

La División CEOT del CEEA ha desarrollado un fuerte programa de investigación y desarrollo que la mantiene en el liderato mundial en esa área. Apoyada por un presupuesto anual de más de \$700,000, la División ha estudiado varios aspectos del concepto CEOT. Entre estos se citan brevemente los siguientes:

- La corrosión química y la biocorrosión del intercambiador de calor, su naturaleza, variaciones estacionales y efectos sobre la eficiencia e integridad del intercambiador.
- Estudios oceanográficos conducentes a asegurar una planta CEOT consistente con el agua que la rodea. Estos incluyen, entre otros, la medición de las corrientes de agua y la búsqueda de medios para evitar los efectos adversos del agua termalmente degradada.
- Estudio de los efectos ambientales de una planta CEOT. Estos estudios se llevan a cabo en colaboración con la División de Ecología Marina del CEEA. El principal objetivo es buscar la información ecológica necesaria para llegar al diseño adecuado de una planta generatriz CEOT.

Para conducir todos estos estudios la División CEOT adquirió del Departamento de la Marina de los Estados Unidos una barcaza de desembarco en desuso, la cual se modificó y amarró permanentemente en el área (Punta Tuna) donde se proyecta establecer la planta CEOT. Este es el único caso en el mundo donde se efectúan los estudios de viabilidad de una planta CEOT precisamente en el lugar donde la misma quedará ubicada.

Otro estudio importante llevado a cabo por la División CEOT es la exploración del concepto del ciclo de espumas. En este concepto se utiliza la expansión de la espuma al pasar de la región fría del fondo del mar a la caliente de la superficie para elevar el nivel de agua dentro de una torre y crear un potencial hidrostático utilizable por una turbina hidroeléctrica. El CEEA investiga principalmente la eficiencia y estabilidad de los materiales espumantes.

El potencial que Puerto Rico y otros países de Centro y Sur América pueden esperar de estas centrales oceano-térmicas se desprende de un estudio hecho por el profesor William Heronemus de la Universidad del Estado de Massachusetts. Estimó el profesor Heronemus que en un área de 725 kilómetros de largo por 25 de largo localizada entre los estados de Florida y Georgia pueden instalarse 4,500 centrales oceano-térmicas de tamaño comercial. Con esas centrales podría producirse dos veces la cantidad de energía eléctrica que los Estados Unidos consume diariamente. Aunque los estudios no se han hecho aún, es de esperarse encontrar una condición similar a lo largo de las costas del Golfo de México y las de América del Sur.

Como cuestión de hecho, en el proyecto de ley mencionado anteriormente aprobado por el Comité de Ciencia y Tecnología de la Cámara de Representantes de los Estados Unidos hay una proyección para establecer no más tarde del 1990 plantas comerciales CEOT, de 500 megavatios a lo largo de las costas del Golfo de México.

Biomasa

El cultivo de "fincas energéticas" dentro de las condiciones óptimas de producción es el objetivo fundamental de la División de Biomasa del CEEA. Durante los últimos dos años, más de \$1,000,000 se ha invertido en este objetivo.

Los estudios de biomasa se han enfocado principalmente en la producción de variedades de caña y yerbas para optimar la producción de fibra como un sustituto del combustible para calderas. En el caso de la caña se ha tratado de obtener un máximo de fibra pero también suficiente sacarosa para producir miel, una materia prima en la industria de la fermentación que ha escaseado ultimamente en Puerto Rico.

El uso de la caña de azúcar para producir biomasa es un resultado natural de las dificultades económicas por la que atraviesa esa industria en Puerto Rico. Estudios recientes indican que por cada cuatro mil metros cuadrados de cultivo de caña hay que invertir alrededor de \$1,200. Sin embargo el rendimiento de ese predio 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 280 kilómetros cuadrados de cultivo de caña se proyecta este año entre 30 y 40 millones de dólares. 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 39.4 millones de galones. La diferencia, a un costo de \$17 millones, hay que suplirla con mieles foráneas.

Los estudios del CEEA 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 azúcar, costaría \$20 producirla. La energía en esta tonelada es equivalente a la contenida en dos barriles y medio de petróleo.

En términos de los costos del petróleo y las mieles para el 1979, cada cuerda de "caña energética" podría producir \$1,020 en energía y una cantidad igual o aproximadamente igual en mieles ricas.

Los últimos estudios indican una productividad aún mayor a medida que se mejoran de las variedades de cañas y yerbas y los métodos de operación, manejo, secado y embalado de la biomasa.

Por ejemplo, un último estudio del balance energético en la siembra de caña para energía demuestra que se produce 9.9 veces más de energía que la que se gasta en toda la operación, y que esta proporción podrá ser mejorada en el futuro.

En estos momentos se persigue la aprobación de un proyecto de demostración para reactivar una central azucarera en desuso, capaz de manejar un millón de kilogramos de biomasa diarios a fin de determinar la logística de la producción, secada, transportación, almacenaje y quemada de la biomasa y estudiar la naturaleza de los particulados y gases de combustión.

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

Uno de los problemas inherentes al uso de las fincas de energía es el posible desplazo 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.

Ha sido un honor utilizar esta oportunidad para presentar a 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 y la cooperación entre los países de habla hispana frente a los problemas que generan la escasez de energía y la contaminación ambiental. Esta presentación responde a ese objetivo.