

## CONTENIDOS

### Globales

StreamCube, un dispositivo que convierte las corrientes submarinas en energía renovable

Prueban en Japón el primer generador de energía de corrientes oceánicas

### Sabías que...

### La Propuesta del mes

Conversión de energía térmica del océano (OTEC) y Tecnologías asociadas: Estado de desarrollo y Perspectivas

Autor: Gérard C. Nihous



### ! IMPORTANTE

La información que se publica en el boletín no es responsabilidad de la editorial CUBAENERGÍA.

## EDITORIAL

Estimado lector:

Una parte importante de la energía solar incidente en la superficie del océano se conserva como energía térmica almacenada como calor en las capas superiores del océano. El gradiente de temperatura entre la superficie del mar (agua más caliente) y la profundidad de este (agua más fría) cercano a más de 1000 metros, puede ser aprovechado usando diferentes tecnologías de aprovechamiento de esa energía, lo que se conoce como energía termo-oceánica o gradiente térmico oceánico (OTEC, por sus siglas en inglés). La OTEC requiere diferencias de temperatura prácticas de al menos 20° C.

Los estudiosos consideran que la energía termo-oceánica, teóricamente, tiene el mayor potencial entre todos los recursos aprovechables del mar (las mareas, las corrientes marinas, la oscilación de las olas, el gradiente salino, la biomasa marina), pero la tecnología que en estos momentos se utiliza tiene muy baja rentabilidad y altos costos de inversión.

Este boletín está dedicado a esta fuente de energía, que continua siendo investigada en el mundo y por la que se apuesta desde hace varios siglos.

MSc. Anaely Saunders Vázquez  
Vicedirectora de Información  
Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA)

Email: [anaely@cubaenergia.cu](mailto:anaely@cubaenergia.cu)

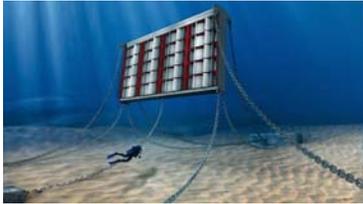
### REDACCIÓN [renovable.cu](http://renovable.cu)

CUBAENERGÍA, Calle 20 No 4111 e/ 18A y 47, Miramar, Playa, Ciudad de La Habana, CUBA. Teléfono: 7206 2064. [www.cubaenergia.cu/](http://www.cubaenergia.cu/)  
Consejo Editorial: Lic. Manuel Álvarez González / Ing. Anaely Saunders Vázquez. Redactor Técnico: Ing. Antonio Valdés Delgado. Edición: Lic. Lourdes González Aguiar  
Compilación/Maquetación: Grupo de Gestión de Información. Diseño: D.i. Miguel Olano Valiente. Traducción: Lic. Odalys González Solazabal. RNPS 2261

## StreamCube, un dispositivo que convierte las corrientes submarinas en energía renovable

20/11/2017

<https://energiasolaraldia.com/streamcube-dispositivo-convierte-las-corrientes-submarinas-energia-renovable/>



La energía 'ecológica' aún es uno de los temas pendientes para muchos países del mundo. A pesar de que existen muchas alternativas a la combustión y a las plantas de energía, todavía existen muchos países que no han implementado soluciones enfocadas en un cambio energético hacia lo ecológico.

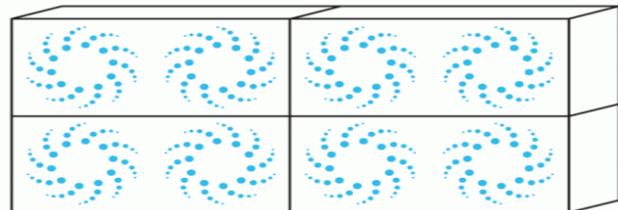
Una de las alternativas a la combustión más conocidas es la energía solar, debido a que, el sol puede ofrecernos energía incluso hasta 11 horas al día, y una vez rentabilizada la inversión inicial, lo mejor de todo es se trata de una fuente de energía relativamente económica.

Sin embargo, el viento, la energía hidráulica, la energía undimotriz (proveniente de las olas), entre otras. Además, existe una fuente de energía que aprovecha las corrientes del mar, que a pesar de resultar desconocida para muchos, alguien ya se ha dedicado a aprovecharla mediante una nueva máquina.

### StreamCube, energía basada en las corrientes submarinas



Simplified view of a single StreamCube® unit



Vertical and horizontal combination to scale up

Entre estas fuentes de energía alternativas cuyo potencial es alto, destaca una que no está siendo aprovechada: la energía cinética producida por las corrientes del mar. En la actualidad, a pesar de que se aprovecha la energía de las olas, no se está aprovechando la energía de las corrientes submarinas.

Como sabemos, dos terceras partes de la superficie de nuestro planeta están compuestas de agua. Por esa razón, un gran número de corrientes marinas funcionan a velocidades muy altas en todo momento. Si las corrientes están en muchos lugares, tienen gran potencia y son constantes.

Una compañía alemana llamada REAC Energy GmbH, desea ofrecer una nueva alternativa con StreamCube. Para ello, ha presentado un modelo de generador submarino modular, que puede ser utilizado para corrientes marinas, aumentando la cantidad de módulos para ajustarse a la corriente en cuestión.

Los ejes de los rotores están dispuestos en forma vertical y las cuchillas se ajustan automáticamente a su posición angular con respecto del rotor. Conforme incrementa el flujo, la inclinación de las cuchillas cambia. Cada módulo tiene 6 metros de largo y 2,6 metros de altura, con 2,4 metros de ancho.

En sus primeras pruebas, StreamCube mostró ser exitoso, ya que cada módulo pudo funcionar con una mínima velocidad de 1 metro por segundo, y fue capaz de generar 6 kWh. Las pruebas fueron realizadas en las Islas Orcadas, al norte de Escocia, con grandes resultados. La empresa ha dicho que este dispositivo será de bajo costo, podrá transportarse de manera fácil y tendrá un bajo impacto en el medio ambiente.

## Prueban en Japón el primer generador de energía de corrientes oceánicas

24/08/2017

<https://mundo.sputniknews.com/ecologia/201708201071723759-energia-alternativa-renovable-oceano-japon/>



MOSCÚ (Sputnik) — El fabricante japonés de maquinaria IHI y la organización gubernamental New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) anunciaron haber realizado con éxito la primera prueba de generación de electricidad usando corrientes oceánicas.

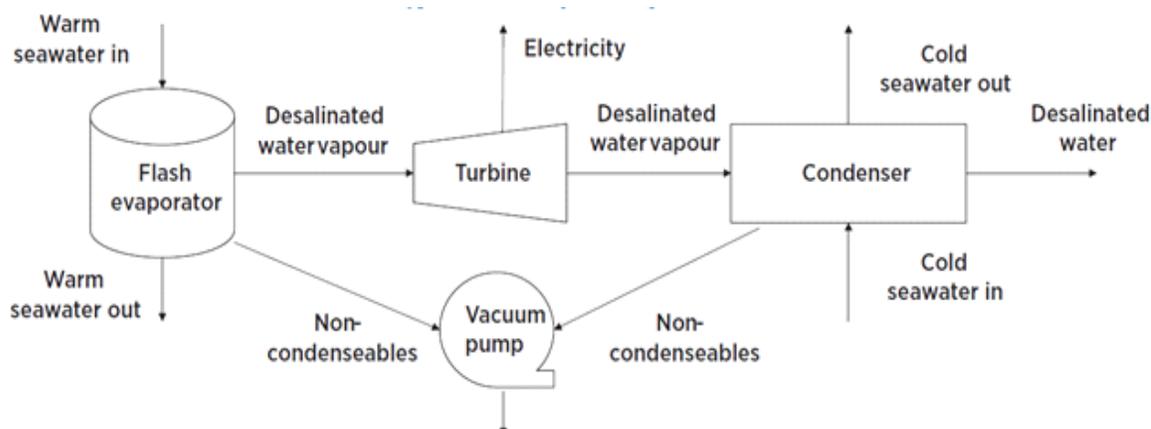
La turbina del generador, instalado a una profundidad de 20 a 50 metros al suroeste de Japón, produjo 30 kilovatios de electricidad. Esta es la primera vez que un dispositivo completo de prueba generó energía usando corrientes oceánicas.

Un alto funcionario de IHI informó que las corrientes de la zona mencionada son estables en fuerza y dirección. Indicó que su equipo analizará las corrientes para poner en práctica este método de generación.

Los científicos creen que la generación de energía utilizando las corrientes será más estable que la energía solar.

### Sabías que...

...la primera prueba de aprovechamiento del gradiente térmico oceánico la realizó el francés G. Claude en 1930, en la Bahía de Matanzas, utilizando conceptos esbozados por otros científicos franceses desde 1881. La tecnología desarrollada por Claude se conoce como ciclo abierto (OC-OTEC) donde el vapor generado a partir del agua de mar superficial en una cámara de baja presión proporciona continuamente el fluido de trabajo. Ese vapor es condensado por el agua más fría de las profundidades del mar.



**ESQUEMA DE TECNOLOGÍA OTEC – CICLO ABIERTO**

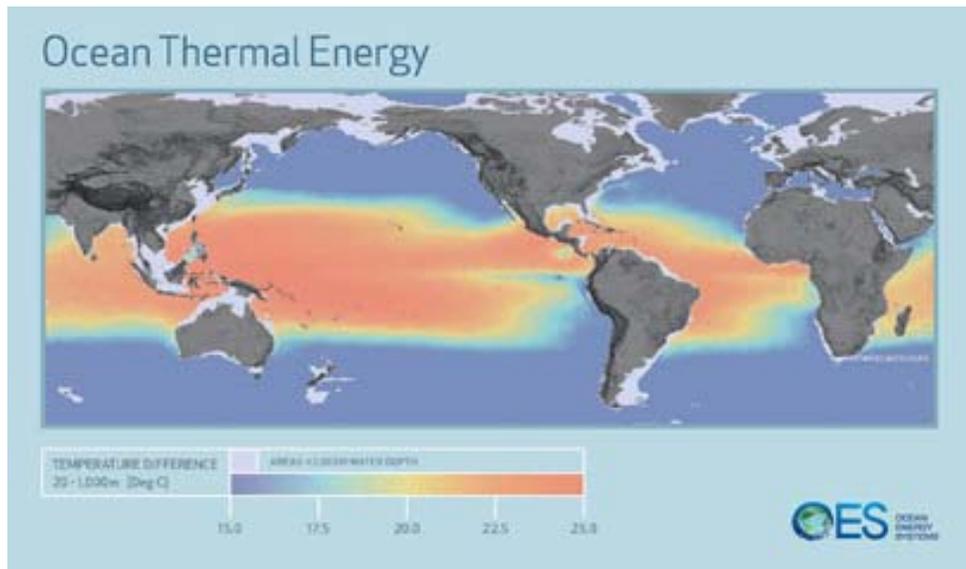
Fuente: OCEAN THERMAL ENERGY CONVERSION.

IRENA Ocean Energy Technology Brief 1. June 2014

envíe sugerencias o comentarios a: [renovablecu@cubaenergia.cu](mailto:renovablecu@cubaenergia.cu)

## Ejemplo de Proyectos OTEC

1. En Hawai se encuentran localizadas 2 plantas: la primera de 103 kW, de ciclo cerrado, instalada desde 1979; la otra planta, de 1 MW, de ciclo abierto, que operó desde 1993 hasta 1998, ubicada en tierra y que se utilizó fundamentalmente para la acuicultura.
2. En Japón existen varias plantas: la de Nauru, de 120 kW, ciclo cerrado, utilizada para investigación científica entre 1982 y 1983, se dedica a generar energía para bombeo de agua; la de Imari, de 30 kW, planta demostrativa multipropósito; la de Okinawa, de 50 kW, completada en junio de 2013, se utiliza para generar electricidad, en investigaciones de otras aplicaciones OTEC, para la acuicultura, la agricultura y la refrigeración, se estudia ampliarla hasta 125 MW.
3. En Corea del sur se encuentra una planta de 20 kW instalada en 2013.



Mapa del potencial termo-oceánico.

**Fuente:** Global Status and Critical Developments in Ocean Energy Ocean Energy Systems Implementing Agreement, 2014.

## Eventos

**Entérese:**

ENERGÍAS RENOVABLES CUBA

Del 30 ene - 1 feb 2018  
RECINTO PABEXPO.  
LA HABANA

Fira Barcelona  
PAB EXPO  
FERIAS Y CONGRESOS

**UNA OPORTUNIDAD DE PARTICIPAR EN LA TRANSFORMACIÓN ENERGÉTICA DE CUBA**

### Primera Feria de Energía Renovables-Cuba

País: Cuba  
Lugar: Recinto Pabexpo  
La Habana  
Fecha: 30/01/2018 – 01/02/2018



## II Conferencia Internacional Energía, Innovación y Cambio Climático

### II Conferencia Internacional Energía, Innovación y Cambio Climático

País: Cuba

Lugar: Palacio de las Convenciones

La Habana

Fecha: 06/03/2018 – 08/03/2018

Esta conferencia tiene entre sus objetivos de intercambiar y debatir integralmente experiencias y resultados en el aprovechamiento de las tecnologías que utilizan fuentes renovables de energía, la eficiencia y el uso racional de la energía, la gestión de la energía, la mitigación y la adaptación al cambio climático, la contaminación atmosférica y la protección de la capa de ozono desde la práctica del sector empresarial, académico y de políticas públicas, poniendo de relieve el rol de la ciencia, la tecnología, su transferencia y la innovación tecnológica en estos procesos, con la participación de expertos de reconocido prestigio nacional e internacional impartirán conferencias magistrales y se desarrollarán foros y talleres, sobre diferentes temas de impacto nacional e internacional.

#### Presentación de trabajos y resúmenes

Los trabajos completos se recibirán hasta el 22 de diciembre.

Los resúmenes se enviarán en formato Word, con un límite de 250 palabras, escritos en letra Arial 12 a 1,5 espacios. En los mismos deberá indicarse los objetivos principales, el alcance, los resultados, conclusiones y palabras clave.

Envíe sus trabajos al correo electrónico: [confenerg@cubaenergia.cu](mailto:confenerg@cubaenergia.cu)



#### Taller Internacional Cubasolar 2018

País: Cuba

Lugar: Hotel Brisas Covarrubias

Las Tunas

Fecha: 21/05/2018 – 25/05/2018

La Sociedad Cubana para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental (Cubasolar), convoca a la décima tercera edición del Taller Internacional Cubasolar 2018, que se celebrará en el hotel Brisas Covarrubias en la provincia de Las Tunas, Cuba, del 21 al 25 de mayo de 2018.

Esta edición, promoverá con énfasis, la construcción consciente de un sistema energético sostenible basado en las fuentes renovables de energía y el respeto ambiental, la cooperación entre los países, la transferencia de conocimientos y el diálogo e intercambio de experiencias y prácticas entre autoridades de gobierno, investigadores, educadores, especialistas, gestores, empresarios, profesionales, productores, usuarios de tecnologías y demás personas que trabajan por la sostenibilidad de nuestro planeta.

El taller estará organizado en conferencias magistrales y seminarios paneles que se desarrollaran en plenario, cubriendo temas de gran vigencia:

### Temas centrales del evento

- La soberanía alimentaria y las fuentes renovables de energía.
- El abasto de agua y las fuentes renovables de energía.
- Importancia de la cooperación Sur-Sur y Sur-Norte-Sur.
- Soberanía energética, medio ambiente y desarrollo local sostenible.
- Educación, cultura e información energéticas para la sostenibilidad.

### Curso Interactivo

Contenido esencial del evento será el desarrollo paralelo del curso (opcional e interactivo) sobre la educación energética y ambiental. El curso se ofrece sin costo adicional, se acredita en esta ocasión en coordinación con la Universidad de Las Tunas y se estructura a partir de diferentes formas organizativas que se integran como parte del programa del evento: conferencias magistrales, conferencias interactivas, seminarios debate y visitas de campo, favoreciendo 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.

Como en ocasiones anteriores, se organizará la Exposición Cubasolar 2018 sobre las potencialidades, experiencias y resultados en la aplicación de las diferentes especialidades energéticas y medioambientales asociadas a los temas del evento.

Para más información consulte: <http://www.cubasolar.cu/noticia.asp?id=1036>

## La propuesta del mes

### Conversión de energía térmica del océano (OTEC) y Tecnologías asociadas: Estado de desarrollo y Perspectivas

**Autor:** *Gérard C. Nihous*

*Hawaii Natural Energy Institute, University of Hawaii,  
1680 East-West Road, Honolulu, Hawaii, 96822, U.S.A.*

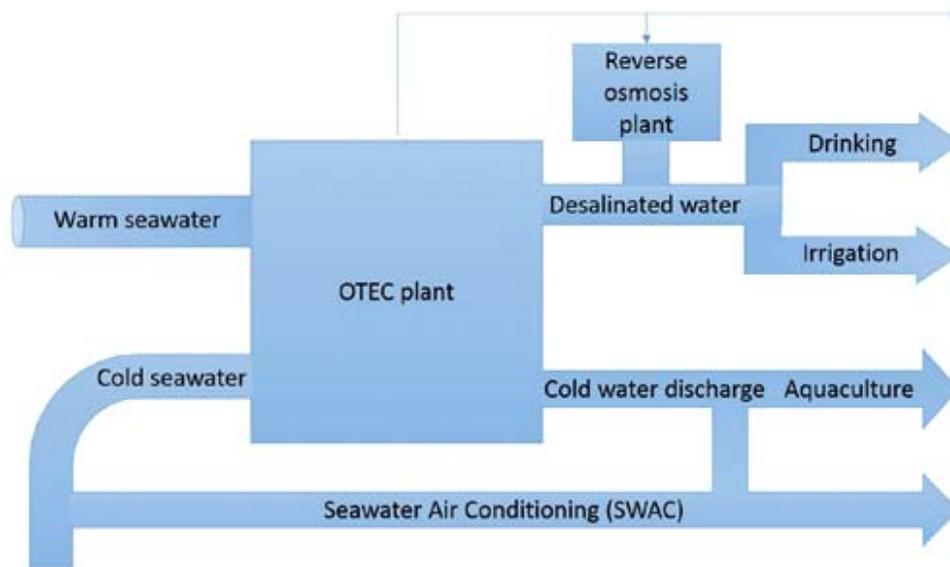
#### Introducción

Desde que Georges Claude condujo su trabajo pionero en la Conversión de Energía Termal Oceánica (OTEC) hace casi 80 años [1, 2], generaciones de ingenieros han soñado con explotar este enorme recurso renovable. Se inició un trabajo considerable después de la crisis del precio del petróleo de la década de 1970, pero estos esfuerzos se desvanecieron en las siguientes dos décadas bajo condiciones políticas y económicas menos favorables.

Mientras tanto, los defensores e investigadores de OTEC se dieron cuenta de que el gradiente térmico oceánico podría usarse no solo para producir electricidad, sino también en tecnologías derivadas como la desalinización, la refrigeración y la acuicultura. Estas otras aplicaciones de aguas profundas del océano (DOWA) a menudo se concibieron como co-productos que podrían ayudar a OTEC a romper su techo de vidrio económico. Con el tiempo, seguirían sus propios caminos de desarrollo separados.

Una buena sinopsis titulada "OTEC Economics" fue publicada en 1992 por Luis Vega [3], quien había participado en la ejecución de algunos de los proyectos de demostración de campo de OTEC más

importantes jamás realizados [4, 5]. El énfasis en economía en su breve artículo ciertamente no pretendía minimizar otros desafíos que enfrentan los promotores de OTEC, de los cuales él estaba muy consciente, pero sí refleja una necesidad fundamental de un financiamiento más fuerte. Dado el incremento en el costo de la energía primaria en los últimos años y un renovado interés en las energías renovables, es oportuno examinar el estado actual del desarrollo de OTEC y sus tecnologías derivadas. Este resumen incluirá una breve discusión de perspectivas, cuestiones tecnológicas o de otro tipo, y actividades.



Fuente: OCEAN THERMAL ENERGY CONVERSION. IRENA Ocean Energy Technology Brief 1. June 2014

## OTEC

### Oportunidades a largo plazo

El recurso OTEC cubre un área que excede los 100 millones de km<sup>2</sup> a través de los océanos tropicales. A diferencia de la mayoría de los sistemas de conversión de energía renovable, la OTEC podría suministrar energía con factores de capacidad muy alta y ofrecer capacidades de carga base. El potencial global sostenible del recurso está limitado por la tasa de formación de agua de mar fría profunda, aunque a menudo se sugieren estimaciones poco realistas basadas en los flujos solares.

Plantas de 3 y 10 TW son posibles de desarrollar, es decir, un rango aproximado que va desde el doble del consumo total de electricidad de hoy en día hasta aproximadamente la mitad de las necesidades actuales de energía primaria [6-8]. El límite inferior refleja una posible degradación del gradiente térmico local en escenarios de OTEC muy intensivos.

Las regiones favorables para el aprovechamiento de la OTEC están en su mayor parte lejos de la costa de cualquier tierra. Esto sugiere que un desarrollo sustancial de la OTEC necesitaría sistemas flotantes en lugar de plantas terrestres. En cualquier caso, los lugares tropicales con batimetrías profundas siguen siendo los mejores candidatos. Incluyen innumerables islas pequeñas, así como algunas naciones insulares grandes, a veces muy pobladas (Indonesia, Filipinas, Papua Nueva Guinea, Taiwán). Brasil tiene costas extensas con excelentes gradientes térmicos oceánicos, mientras que el Golfo de México podría brindar buenas oportunidades a los EE. UU.

No es probable que se produzca un desarrollo importante de la OTEC:

- a) donde las dificultades logísticas sean excesivas (por ejemplo, falta de infraestructura) y

b) sean encabezadas por países que pueden no asumir fácilmente el riesgo y la carga asociados con nuevas tecnologías intensivas en capital. En un futuro más lejano, un desarrollo sistemático de regiones remotas de OTEC probablemente requeriría la fabricación de vectores de energía tales como combustibles líquidos en lugar de la transmisión directa de energía a la costa.

### Obstáculos

En la formulación estándar de la OTEC, la electricidad se produciría haciendo circular un fluido de trabajo a través de un Ciclo termodinámico Rankine. Debido a las temperaturas moderadas involucradas, los refrigerantes ordinarios como el amoníaco típicamente se han considerado para tales sistemas. Diferencias de temperatura del agua de mar disponibles ( $dT$ ), del orden de  $20^{\circ}\text{C}$ , debe usarse no solo para definir los límites del ciclo (temperaturas de evaporación y condensación), sino también para mantener los diferenciales de temperatura adecuados entre las corrientes de agua de mar y el fluido de trabajo a medida que se transfiere el calor. Por lo tanto, la eficiencia de Carnot de los ciclos OTEC se basa en una fracción de  $dT$ , y es como mucho un pequeño porcentaje. Todos los problemas relacionados con obstáculos que impiden el desarrollo de OTEC se derivan de este hecho.

Los sistemas OTEC requieren caudales fríos de agua de mar de aproximadamente  $2.5$  a  $3\text{ m}^3/\text{s}$  por MW neto, con velocidades de flujo de agua de mar generalmente más cálidas. Por lo tanto, son necesarios intercambiadores de calor, grandes y eficientes. Debido a la necesidad de minimizar también las pérdidas por bombeo de agua de mar, también se deben prever conductos muy grandes. La tubería de agua fría (CWP) en particular representa una frontera tecnológica, al menos para diseños de plantas OTEC más allá de  $10\text{ MW}$  [9]. Las dificultades con el bloque de alimentación OTEC se han abordado de manera diferente. Para poder reemplazar costosos intercambiadores de calor de metal con hardware simple, Claude inventó el ciclo abierto (OC-OTEC) [1] donde el vapor generado a partir del agua de mar superficial en una cámara de baja presión proporciona continuamente el fluido de trabajo.

Desafortunadamente, los beneficios obtenidos con diseños más simples de evaporador y condensador robusto se compensan con la necesidad de turbinas de baja presión muy grandes y sistemas de compresión de vacío de etapas múltiples. Esto limitaría efectivamente a las plantas de ciclo abierto menores de  $10\text{ MW}$ .

Más recientemente, se han realizado esfuerzos para mejorar la baja eficiencia de los ciclos de Rankine OTEC mediante el uso de una mezcla de amoníaco y agua a través de los intercambiadores de calor. Este concepto está incorporado en el Ciclo Kalina y en el Ciclo Uehara. El comportamiento de la mezcla durante la evaporación y la condensación difiere de la de los fluidos puros. En teoría, permite una mejor combinación de cargas de calor durante la transferencia de calor, ya que las temperaturas del fluido de trabajo y el agua de mar pueden permanecer más cercanas. Una planta basada en este ciclo requiere hardware adicional, es decir, un separador antes de la entrada de la turbina y un absorbedor después de la salida de la turbina. Además, el calor transportado por el agua en la mezcla puede recuperarse parcialmente a través de un regenerador. Según los informes, el ciclo Kalina puede aumentar la eficiencia de Carnot de un sistema OTEC en un  $50\%$  aproximadamente, pero también impone mayores exigencias al evaporador y al condensador. Por lo tanto, la viabilidad de los ciclos de OTEC que salen del ciclo de Rankine estándar probablemente depende de la disponibilidad de mejores intercambiadores de calor [10].

Los mayores desafíos tecnológicos (y de credibilidad) que enfrenta OTEC permanecen en el ámbito de la ingeniería oceánica, ya que la experimentación de campo de OTEC depende fundamentalmente de si se puede implementar la tubería de agua fría (CWP) y cuánto tiempo sobrevive. Desde las dificultades de Claude en la década de 1930 [1, 2] hasta problemas recientes en aguas de la India [11], la historia del desarrollo de OTEC está plagada de fallas de CWP. El estado de la técnica para operar tuberías de agua de mar fría profunda consiste en conductos de polietileno de alta densidad (HDPE) montados en el lecho marino. El más grande hasta la fecha ( $1,4\text{ m}$  de diámetro y  $2,8\text{ km}$  de largo) se desplegó frente a la costa oeste de Hawai a una profundidad de  $900\text{ m}$  en 2001 [12]. Mientras que los CWP

de HDPE serían ideales para sistemas pequeños de megavatios, las plantas de OTEC de mucha mayor capacidad tendrían que depender de otras opciones. Por otro lado, la explotación de vastas áreas marinas remotas con plataformas flotantes plantea desafíos específicos que no se abordan en sistemas con base en tierra.

El programa más ambicioso diseñado para resolver los problemas de ingeniería oceánica específicos de las grandes plantas flotantes de OTEC sigue siendo el esfuerzo integral liderado por la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica de EE. UU (NOAA) a fines de la década de 1970 y principios de la de 1980. Esto incluyó el desarrollo de herramientas de simulación computarizada, pruebas de cuencas modelo de plataformas y tuberías potenciales, y una prueba en el mar de un CWP de 120 m de largo y 2,5 m de diámetro suspendido de una pequeña barcaza. La tubería estaba hecha de dos capas de plástico reforzado con fibra de vidrio (FRP) separadas por espuma sintáctica. Fabricado en el estado de Washington, fue enviado a Hawai en secciones de 24 m. Un experimento de campo tuvo lugar durante tres semanas en la primavera de 1983 en las afueras de Honolulu.

El gran tamaño de los componentes OTEC y las demandas impuestas por los entornos offshore sobre la supervivencia del equipo y la logística de producción de energía dan como resultado altos costos de capital proyectados. Desde un punto de vista económico, esto se ve agravado por producciones de potencia relativamente bajas, de modo que los análisis estándar basados en el costo nivelado de la generación de electricidad han dado como resultado consistentemente proyectos antieconómicos.

A pesar de que la brecha de costo-efectividad entre OTEC y las tecnologías de generación de energía con combustibles fósiles más caras (por ejemplo, el petróleo) ha disminuido constantemente, la penetración del mercado OTEC aún no ha tenido éxito. Al considerar las estimaciones de los costos de capital por unidad de potencia en función de la potencia nominal, los sistemas OTEC exhiben una considerable economía de escala esperada ya que uno pasaría de pequeñas plantas piloto a unidades comerciales más grandes. Sin embargo, debido a la falta de datos experimentales y operacionales en el funcionamiento de los sistemas OTEC, no ha sido posible aprovechar esta supuesta economía de escala. Se han intentado varias estrategias destinadas a aprovechar los recursos del mercado. Un enfoque común ha sido identificar nichos de mercado donde el costo local de electricidad es suficientemente alto y la demanda de energía general lo suficientemente baja como para hacer que OTEC sea potencialmente atractivo en los modestos resultados de potencia adecuados para proyectos de primera generación (por ejemplo, 1 a 10 MW). En los mejores escenarios, un Acuerdo de Compra de Energía (PPA), tal vez indexado en un alto Costo de Energía Evitado (AEC), puede ser asegurado con un servicio local. Al abordar el aspecto de la demanda del problema, un PPA favorable ha demostrado ser insuficiente para persuadir a los inversores de que el riesgo asociado con OTEC es aceptable, con desembolsos de capital de hasta \$ 300 millones para producciones de potencia del orden de 10 MW. Por lo tanto, es probable que cualquier demostración significativa de sistemas OTEC escalables se logre con un fuerte compromiso de fondos públicos.

### Actividades Recientes

Los esfuerzos recientes han mostrado un interés generalizado en revivir OTEC, pero siguen estando sujetos a formidables obstáculos de financiación. En consecuencia, se establecieron varias asociaciones que buscan aprovechar los medios técnicos y financieros necesarios para construir plantas piloto de OTEC. Xenosys Inc. de Japón y Pacific Petroleum Company formaron una empresa conjunta para la industrialización y comercialización de OTEC en la Polinesia Francesa. Están buscando apoyo de las autoridades locales para proceder. Un consorcio de socios industriales y públicos franceses lanzó la iniciativa IPANEMA destinada a facilitar el surgimiento de las tecnologías marinas de energía renovable. Lockheed-Martin (LM) y el Instituto de Investigación de Tecnología Industrial de Taiwán (ITRI) se comprometió a colaborar en un proyecto de planta de 10 MW en Hawai. LM ya ha comprometido cantidades importantes en el diseño inicial y las actividades de I + D, pero la finalización del proyecto exigirá un compromiso sustancial del gobierno de los EE. UU.

## DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR

### Oportunidades a largo plazo

Si bien el agua dulce es un bien valioso en todo el mundo, el futuro de la desalinización del agua de mar utilizando el gradiente de temperatura del océano es difícil de evaluar, ya sea en conjunción con la producción de electricidad de OTEC o como una tecnología independiente. En el primer caso, depende del desarrollo de OTEC con restricciones adicionales específicas (por ejemplo, componentes de bajo vacío, transmisión de agua al mercado). En este último caso, debe competir con otras tecnologías de desalinización. En el lado positivo, el diferencial de temperatura suficiente para generar vapor puede ser mucho más pequeño que para los sistemas OTEC que requieren una turbina. En esta coyuntura, es probable que cualquier avance en el desarrollo de esta tecnología dependa de la identificación de nichos de mercado específicos o de algún progreso definitivo en el despliegue de sistemas OTEC.

### Obstáculos

El concepto de producir agua dulce a partir de corrientes de agua de mar de diferentes temperaturas surgió como una consecuencia lógica del uso del ciclo abierto OTEC. En dicho ciclo, aproximadamente el 0,5% del agua superficial caliente se convierte en vapor en una cámara de vacío a baja presión; este vapor se puede recuperar como agua potable por condensación siempre que se evite un condensador de contacto directo (DCC). A partir de esta idea básica, se idearon numerosos ciclos híbridos para preservar las ventajas ofrecidas por un DCC en sistemas de ciclo abierto OTEC (con la adición de un condensador de superficie líquido-líquido acuático de agua dulce), u otros ciclos más generales de Rankine OTEC (con módulos de electricidad y desalinización en serie, o en paralelo con intercambiadores de calor dobles).

El siguiente salto conceptual fue renunciar por completo a la producción de electricidad de OTEC. Esto condujo a la consideración adicional de tecnologías de desalinización más típicas, aunque más complejas, como la destilación multietapas (MSF) o la desalinización de efectos múltiples (MED). El último depende del uso de calor del vapor de condensación a una temperatura dada para producir vapor a una temperatura más baja en una serie de cámaras de vacío (efectos). Se identificó que era potencialmente adecuado para aplicaciones de baja temperatura, al menos en sistemas pequeños [13]. En todos los casos, los gases no condensables liberados a bajas presiones deben eliminarse continuamente.

### Actividades Recientes

La desalinización del gradiente térmico oceánico en la barcaza flotante Sagar Shakti se ha demostrado con éxito en 2007 por el Instituto Nacional de Tecnología Oceánica (NIOT) de India [14]. El proyecto fue diseñado para producir 1000 m<sup>3</sup>/día convirtiendo aproximadamente el 1% de la superficie del agua de mar bombeada en vapor. Extiende la experiencia previa de NIOT con plantas de desalinización térmica a baja temperatura terrestres más pequeñas (por ejemplo, Kavaratti).

## AIRE ACONDICIONADO DE AGUA DE MAR

### Oportunidades a largo plazo

El aire acondicionado de agua de mar (SWAC) es la única tecnología que utiliza una propiedad térmica de la columna de agua oceánica que ha alcanzado la madurez comercial. Esencialmente, es una tecnología basada en tierra que depende de un acceso cercano al agua fría desde los centros de población en tierra. Por lo tanto, la rentabilidad económica depende de una ubicación favorable. A pesar de tales limitaciones, sigue habiendo muchas ubicaciones atractivas para expandir aún más los sistemas de SWAC. El éxito de SWAC se basa en el enfriamiento directo de los fluidos de A/C con la energía térmica disponible en lugar de la energía mecánica que se gasta en los enfriadores típicos.

Es termodinámicamente eficiente siempre que los requisitos de potencia de bombeo de agua de mar sigan siendo modestos. En la práctica, las tuberías de HDPE disponibles de algunos kilómetros de longitud son en general adecuadas.

### Actividades Recientes

Actualmente se están considerando muchos sistemas de SWAC, por ejemplo en la Polinesia Francesa, donde los proyectos existentes ya han tenido éxito. La empresa más grande con un sistema marino SWAC hasta la fecha está planificada para Honolulu, Hawái por Honolulu Seawater Air Conditioning, LLC. El proyecto de 25000 toneladas (A/C) utilizará cerca de 3 m<sup>3</sup>/s de agua de mar de filtración de 7°C bombeada desde una profundidad de aproximadamente 530 m a través de un conducto de HDPE de 1,4 m de diámetro. Los planificadores han publicado su Borrador de Declaración de Impacto Ambiental (EIS) ante las autoridades de permisos de los EE. UU y no se prevé ningún obstáculo [15]. En el otro extremo de la escala, recientemente se sugirió que los sistemas 'mini-SWAC' basados en tuberías pequeñas presurizadas que transportan el refrigerante directamente a intercambiadores de calor sumergidos satisfacen las necesidades de las comunidades de islas remotas más pequeñas [16].

## **ENRIQUECIMIENTO DE AGUA DE MAR**

### Oportunidades a largo plazo

Altas concentraciones de nutrientes se encuentran en el agua de mar profunda. Su uso en operaciones de maricultura en tierra fue encabezado en el Laboratorio de Energía Natural de Hawaii Authority (NELHA) a fines de la década de 1970. Muchas instalaciones similares se han desarrollado en otros lugares desde entonces. La producción de nutraceuticos y aditivos de alto valor (p. Ej., Espirulina, astaxantina) y de productos del mar para mercados de nicho locales ha sido típicamente el objetivo.

Sin embargo, se prevé que las necesidades de agua marina profunda de la maricultura terrestre serán excedidas por las de las plantas OTEC terrestres, incluso las más modestas, especialmente si la disponibilidad de la tierra (por ejemplo, para las pistas de rodadura) es limitada. Del mismo modo que las oportunidades a largo plazo para OTEC se encuentran fuera de la costa, las perspectivas más atractivas para el enriquecimiento del agua de mar están incorporadas en el concepto de Afloramiento Artificial (AU). Con su alta intensidad de agua de mar fría, el OTEC parece ideal para ser una tecnología generadora de AU. Además, OTEC depende de aguas tropicales fuertemente estratificadas donde la capa superior tiende a estar agotada de nutrientes. Por lo tanto, si se construyen grandes plantas flotantes de OTEC, podría ser posible ajustar la liberación de los efluentes para producir deliberadamente afloramientos artificiales significativos. El éxito de este enfoque depende de lograr una flotabilidad neutral del efluente dentro de la capa fótica. También se han formulado y probado parcialmente diferentes conceptos autónomos de AU, pero su viabilidad práctica aún no se ha establecido.

### Obstáculos

La estrategia más obvia para potenciar potencialmente la cadena alimentaria oceánica con los efluentes de agua de mar profunda de OTEC es liberarlos a poca profundidad (sin interferencia con la toma de agua de mar caliente de OTEC). Esto generaría una pluma negativamente flotante que arrastraría el agua ambiental hasta que se estabilice. El proceso es fuertemente específico del sitio (por ejemplo, estratificación de densidad local, corrientes cruzadas) y muy sensible a los efectos de escala.

En igualdad de condiciones, las plumas más grandes se hunden en aguas más profundas pero sufren menos dilución. Las escalas de tiempo de minutos involucradas en la estabilización de la pluma son demasiado rápidas para permitir la utilización inmediata de nutrientes. En cambio, la producción primaria (y la posterior mejora trófica) se llevaría a cabo en el "campo lejano", a lo largo del tiempo en escalas de días. En aguas de bajo contenido de clorofila baja en nutrientes esenciales que las restricciones en la dilución de la pluma deben ser menos críticas que las limitaciones en la profundidad de estabilización.

Los japoneses desarrollaron un concepto que haría independiente la estabilización del agua bombeando agua de mar de superficie más ligera y agua de mar rica en nutrientes en una proporción prescrita correspondiente a la flotabilidad neutra a una profundidad de lanzamiento específica. Las pruebas exitosas se iniciaron en la Bahía de Sagami, Japón en el experimento TAKUMI [17, 18]. El concepto de TAKUMI se analizó posteriormente para aguas oligotróficas [19]. Se confirmó que TAKUMI representa un límite óptimo para las características de AU deseables. También se demostró que en presencia de picnoclinas permanentes profundas típicas de las regiones oceánicas de LNLC, la cantidad de agua superficial que se tendría que bombear para una relación de mezcla prescrita con agua de mar profunda rápidamente haría que TAKUMI no fuera práctico para las profundidades de estabilización deseables. Resultados adicionales sugieren que la presencia de corrientes cruzadas ambientales moderadas puede mejorar dramáticamente el comportamiento físico de AU para penachos simples, con caudales profundos de agua de mar de un orden de magnitud mayor para una combinación dada de profundidad y dilución de flotabilidad neutra.

Las configuraciones de AU de alto flujo discutidas hasta ahora dependen de tuberías duras y bombas potentes.

Existen alternativas de bajo flujo que requerirían un mínimo o nulo mecanismo de bombeo y posiblemente podrían usar conductos blandos flexibles. En un caso, el movimiento de elevación de una boya inducida por ondas superficiales controlaría una válvula en un tubo vertical conectado; esto permitiría el flujo ascendente de agua de mar dentro de la tubería [20]. En otro sistema, las aguas profundas menos salinas introducidas en el tubo se calientan lentamente; como resultado, las diferencias de densidad con la columna de agua exterior permiten un flujo sostenido ('perpetuo') hacia arriba de unos pocos milímetros por segundo [21].

Lentamente, el agua acumulada sería bastante estable cerca de la superficie del océano y, por lo tanto, correspondería a las condiciones óptimas para mejorar la fotosíntesis. Además de los desafíos de ingeniería específicos y los problemas de supervivencia en el mar, los bajos índices de flujo asociados con estos conceptos requerirían que el despliegue de matrices de extensiones considerables sea cuantitativamente significativo.

### Actividades Recientes

El esfuerzo más significativo es la operación sostenida de TAKUMI desde mayo de 2003 en la bahía de Sagami, Japón, donde 100000 m<sup>3</sup>/día de agua de 200 m de profundidad se estabiliza relativamente cerca de la superficie. TAKUMI ha sido organizado por MARINO-FORUM 21, una subsidiaria de la Agencia de Pesca del Gobierno de Japón. También es notable, aunque menos exitoso, un intento de desplegar nuevas bombas AU impulsadas por olas fuera de Hawai durante el primer Experimento de Perturbación de Productividad Oceánica (OPPEX-1) dirigido por la Universidad de Hawai.

### **Referencias**

1. Claude G. (1930). Power from the tropical seas. Mech. Eng., 52, 1035-1044.
2. Gauthier M. (1991). The pioneer OTEC operation: "La Tunisie". Club des Argonautes, Newsletter 2. <http://www.clubdesargonautes.org/otec/vol/vol2-1-10.htm>
3. Vega L.A., (1992). Economics of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC). Chap. 7, Ocean Energy Recovery: the State of the Art (R.J. Seymour ed.), ASCE, New York, 152-181.
4. Vega L.A., Nihous G.C., (1988). At-sea test of the structural response of a large diameter pipe attached to a surface vessel. Proc. Off. Tech. Conf., Houston, U.S.A., Paper 5798, 473-480.
5. Vega L.A., Evans D.E. (1994). Operation of a small open-cycle OTEC experimental facility. Proc. Oceanology Int. Conf., Brighton, U.K., 5(7), 16 p.

6. Cousteau J.Y., Jacquier H. (1981). *Énergie des mers: plan-plan les watts*. Chap. 9 in Français, on a volé ta mer (R. Laffont ed.), ISBN 2221007654, Paris.
7. Nihous G.C., (2005). An order-of-magnitude estimate of Ocean Thermal Energy Conversion resources. *J. Energy Res. Tech.*, 127(4), 328-333.
8. Nihous G.C., (2007). A preliminary assessment of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) resources. *J. Energy Res. Tech.*, 129(1), 10-17.
9. Brown M.G., Hearn G.E., Langley R.S. (1989). A new design of cold water pipe for use with floating OTEC platforms. *Proc. Oceans '89 Conf.*, 1, 42-47.
10. Kobayashi H., Jitsuhara S., Uehara H., (2001). The present status and features of OTEC and recent aspects of thermal energy conversion technologies. [http://www.nmri.go.jp/main/cooperation/ujnr/24ujnr\\_paper\\_jpn/Kobayashi.pdf](http://www.nmri.go.jp/main/cooperation/ujnr/24ujnr_paper_jpn/Kobayashi.pdf)
11. Comptroller and Auditor General of India, (2008). Chap. 7, Report No. CA 3 of 2008, 39-48. [http://www.cag.gov.in/html/reports/civil/2008\\_3SD\\_CA/chap\\_7.pdf](http://www.cag.gov.in/html/reports/civil/2008_3SD_CA/chap_7.pdf)
12. Daniel T.H., (2001). 55" seawater system CIP project update. NELHA Pipeline, 10, October 2001. <http://www.nelha.org/pdf/PLiss10.pdf>
13. IFREMER (1987). Seawater desalination plants using ocean thermal gradient. Report DIT/SP/GTM 87.154, March 1987.
14. Everest Transmission (2007). First ever floating barge mounted Low Temperature Thermal Desalination plant by Indian scientists. [http://www.everestblowers.com/technical-articles/ltd\\_2.pdf](http://www.everestblowers.com/technical-articles/ltd_2.pdf)
15. TEC, Inc. (2008). Honolulu Seawater Air Conditioning Draft Environmental Impact Statement, October 2008, 526 p.
16. Garnier, B. (2008). Downsizing SWAC systems for remote customers, Proc. 2nd Int. Conf. Ocean Energy 2008, Brest, France. Also, <http://www.deprofundis.com/>
17. Ouchi K., Ohmura H., (2004). The design concept and experiment of ocean nutrient enhancer TAKUMI. *Proc. Oceans '04/Techno-Oceans '04 Conf.*, 6 pages.
18. Ouchi K., Otsuka K., Omura H. (2005). Recent advances of ocean nutrient enhancer TAKUMI project. *Proc. 6th ISOPE Ocean Mining Symp.*, Changsha, China, 7-12.
19. Nihous G.C. (2006). Near-field evaluation of Artificial Upwelling concepts for open-ocean oligotrophic conditions. *J. of Marine Env. Eng.*, 8(3), 225-246.
20. Karl D.M., Letelier R.M. (2008). Nitrogen-fixation enhanced carbon sequestration in low nitrate, low chlorophyll seascapes. *Marine Ecology Prog. Series*, 364, 257-268.
21. Maruyama S., Tsubaki K., Taira K., Sakai S. (2004). Artificial upwelling of deep seawater using the perpetual salt fountain for cultivation of ocean desert. *J. Oceanography*, 60(3), 563-568.

renovable.cu:

PRÓXIMA EDICIÓN DEDICADA A ENERGÍA DEL MAR

Cualquier sugerencia o comentario escribir a: [renovablecu@cubaenergia.cu](mailto:renovablecu@cubaenergia.cu)



envíe sugerencias o comentarios a: [renovablecu@cubaenergia.cu](mailto:renovablecu@cubaenergia.cu)