

Viabilidad de la implementación comercial de la energía océano termal (OTEC) en un mundo post-Fukushima

José A. Martí

Technical Consulting Group, San Juan, Puerto Rico

Orlando E. Ruiz,

Departamento Ingeniería Mecánica, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez

Manuel A.J. Laboy, Thomas J. Plocek,

Offshore Infrastructure Associates, San Juan, Puerto Rico

Abstracto

Durante los últimos cinco años, la busca de alternativas a los combustibles fósiles ha tomado características de urgencia en muchos países. El impacto económico adverso de los precios volátiles del petróleo ha sido una importante razón. Otro factor es la relación entre las emisiones de carbono y el cambio climático global. Estos factores han influido en las economías de muchas naciones, especialmente en las zonas tropicales, y dictado la búsqueda de fuentes alternativas de energía que no envuelvan el uso de combustibles, particularmente aquellos de origen fósil. Estas circunstancias han sido usadas por algunos observadores como justificación para aumentar el uso de la energía nuclear, ya que la misma no depende de combustibles con precios altamente volátiles, y no genera emisiones de gases de invernadero ni de contaminantes convencionales. Sin embargo, el reciente accidente en Fukushima ha demostrado que la energía nuclear no necesariamente es la solución más conveniente a estos problemas, particularmente en las naciones insulares. Los autores de este trabajo han encontrado que, en condiciones favorables de mercado, la energía océano termal (OTEC, por sus iniciales en inglés) es una viable para la generación eléctrica a escala comercial. Se discutirá como una planta OTEC puede ser construida y operada utilizando componentes y tecnologías que están disponibles comercialmente y son usados en otras industrias, así como las condiciones económicas necesarias para que OTEC sea viable. Esto demostrará que OTEC resulta una alternativa mas viable que la energía nuclear para muchas comunidades costaneras en zonas tropicales y subtropicales.

Palabras clave: OTEC, océanos, energía, océano termal, viabilidad, renovable, marinos, medio ambiente, desalinización, agua potable, riesgo, nuclear, accidente.

Introducción

La conversión de energía océano termal o termo-océánica (OTEC, por sus iniciales en inglés), es una tecnología de energía renovable que se puede aplicar a la mayor parte de los océanos profundos del mundo en las áreas tropicales y subtropicales, en lugares donde la diferencia de

temperatura entre la superficie caliente y el agua profunda fría es igual o superior a 20 ° C (63 ° F). En esencia, la tecnología funciona mediante la recuperación de la energía solar absorbida por el océano. Dado que el diferencial de temperatura fluctúa muy poco, OTEC es capaz de generar energía de manera continua (carga base), a diferencia de algunas tecnologías renovables, como la solar o la eólica.

OTEC es más atractiva para los lugares tropicales donde el agua profunda está disponible a corta distancia de la costa (menos de 6 millas o 10 kilómetros), y el medio marino es lo suficientemente estable para permitir la operación. [1]. Una característica que es particularmente atractiva es que, si se desea, OTEC se puede utilizar para co-producir agua potable mediante la desalinización, además de energía eléctrica. Se estima que hasta 2 millones de litros por día (0,5 millones de galones por día) puede ser producido por cada megavatio de electricidad generada [2]

OTEC no requiere combustible. Por lo tanto, el costo de producir electricidad y el agua no es susceptible a la volatilidad que afecta a otras fuentes de energía como el petróleo, carbón y gas natural. La energía puede ser generada por fuentes puramente locales a un costo que es esencialmente fijo y predecible. Además, puesto que no se usan combustibles o materiales radiactivos, los impactos ambientales (incluyendo la generación de gases de invernadero) son mucho menores que los de los métodos convencionales de generación de energía.

Los principios básicos de OTEC se han presentado en varias publicaciones (por ejemplo, [1], [2] y [3], entre otros). Todas las plantas OTEC son motores de calor que convierten el calor en el trabajo a través de la gradiente de energía entre una "fuente" y un "sumidero". El principio básico es el mismo de una máquina de vapor, aunque en el caso de OTEC, el gradiente de temperatura es mucho menor. Esto hace que las plantas OTEC mucho mayor que las plantas de vapor de capacidad de generación comparable.

OTEC tiene tres modalidades básicas: los ciclos cerrado, abierto e híbrido. En el ciclo cerrado, la diferencia de temperatura se utiliza para vaporizar (y condensar) un fluido de trabajo (por ejemplo amoníaco) para mover una turbina-generador para producir electricidad. En el ciclo abierto, el agua superficial caliente se introduce en una cámara de vacío en el que se vaporiza. Este vapor de agua mueve una turbina-generador para producir electricidad. El resto del vapor de agua (agua destilada esencialmente) se condensa con agua fría del mar. Esta agua condensada puede volver de nuevo a la mar o ser recogida para la producción de agua potable. El ciclo híbrido combina las características de los ciclos cerrado y abierto, y tiene un gran potencial para aplicaciones que requieren una mayor eficiencia para la co-producción de energía y agua potable [1,2]. En los tres ciclos, se requiere agua fría, normalmente disponible en profundidades de 1.000 metros (3.200 pies), donde la temperatura del agua se mantiene constante en alrededor de 4° C (39 ° F).

Historia breve

OTEC fue propuesta formalmente en 1881 por el físico francés Jacques Arsène D'Arsonval, basado en una idea presentada por Julio Verne en la novela "20.000 leguas de viaje submarino",

publicada en Francia en 1869. Uno de los estudiantes de D'Arsonval fue el Dr. Georges Claude, un ingeniero y empresario francés. Claude comenzó a trabajar en OTEC durante la década de 1920, con la realización de experimentos en Bélgica. En 1930, construyó una planta OTEC de ciclo abierto en la bahía de Matanzas (Cuba), que funcionó durante unos pocos días antes de ser destruido por una fuerte tormenta. [4] En 1935, el segundo intento de Claude, que consta de una planta montada en un barco en la costa de Brasil, también falló debido a las malas condiciones climáticas [5].

Durante los años 1950 y 1960 una serie de proyectos de investigación y desarrollo se llevaron a cabo, incluidas las propuestas de diseño por la empresa francesa *Energie des Mers* o "La energía de los mares", y por el Laboratorio de Conversión de Agua de Mar de la Universidad de California en Berkeley [6,7].

Durante la crisis energética de mediados de la década de 1970, el interés en OTEC fue renovado en los Estados Unidos y otros países. El gobierno de EE.UU. puso en marcha varios programas de investigación y desarrollo (I + D) que incluye pruebas de rendimiento, los diseños preliminares y las plantas de demostración [8]. Los principales esfuerzos se incluyen los diseños preliminares para plantas OTEC efectuados por el Laboratorio de Física Aplicada de la Johns Hopkins University [9], General Electric [10] y TRW Corporation; intercambiadores de calor de las pruebas de rendimiento por el Laboratorio Nacional de Argonne, y las plantas de demostración en Hawaii (Mini- OTEC y OTEC-1) [8].

Otros importantes esfuerzos en I + D durante este período incluyen el Toshiba / Tokyo Electric Power de 100 kW de ciclo cerrado de la tierra a base de plantas en la República de Nauru [11], y los estudios realizados en el Laboratorio de Energía Natural de Hawaii (NELHA). Este último llevó a la construcción y operación de un kW de 210 en ciclo abierto planta piloto para la co-producción de energía eléctrica y agua potable [8].

La extensa investigación y desarrollo y los esfuerzos de diseño llevado a cabo durante más de 20 años, se dirigió a todas las cuestiones principales que se requieren para la construcción y operación de una planta a escala comercial OTEC. Algunos de los diseños preliminares [9,10] preparado durante el período son lo suficientemente amplia como para permitir un verdadero proyecto para continuar con el diseño detallado y / o etapas de diseño y construcción. La razón por la que OTEC no se implementó después de todo este trabajo fue esencialmente económica [2,3]. Algunos achacan la pérdida de interés en OTEC a un cambio en el enfoque de los fondos federales, que intentó favorecer la energía nuclear durante la década de 1980. Sin embargo, un factor mucho más importante fue que, después de la crisis energética de la década de 1970, los suministros de petróleo se estabilizaron. Con el tiempo, un exceso de producción hizo que los precios bajasen a niveles sin precedentes, con el costo promedio por barril de petróleo importado llegar a niveles tan bajos como \$ 11.18 en 1998 [12]. Además, durante este período hubo una falta general de conocimiento sobre los posibles efectos de la combustión de combustibles fósiles en el clima a nivel global. Estos eventos conspiraron para que la energía renovable en general y de OTEC en particular, se vuelven menos atractivas.

¿Por qué ahora?

Los recientes acontecimientos mundiales han aumentado el interés en fuentes no fósiles de energía. En primer lugar, el precio del petróleo ha aumentado vertiginosamente, llegando tan alto como \$ 148 por barril en 2008. También hay serias preocupaciones sobre la estabilidad de la producción de petróleo en zonas en conflicto como el Oriente Medio, y la posibilidad de la producción mundial de petróleo en horas pico [13], que algunos comentaristas creen que se inició en el período comprendido entre 2000 y 2010 [15]. La historia muestra que los aumentos de precio del petróleo invariablemente resultan en aumento de la demanda y el costo de otros combustibles fósiles como el carbón y el gas natural [16]. Lo que es más importante, existe una preocupación general acerca de la contribución potencial de calentamiento global de las emisiones de gases de efecto invernadero de la combustión de combustibles (a partir de fuentes renovables o no renovables) [24]. Tanto los Estados Unidos y la Unión Europea han discutido seriamente la imposición de impuestos sobre las emisiones de gases de efecto invernadero. Los defensores de la energía nuclear citan estos factores y la supuesta costo-eficacia y seguridad de las centrales nuevas que justifiquen una recuperación amplia de la energía nuclear. Por ejemplo, incluso el Dr. James Lovelock, creador de la hipótesis Gea y un ambientalista, ha expresado su apoyo a la energía nuclear con el fin de reducir los posibles efectos del calentamiento global (*.. sólo una fuente disponible de inmediato no causan el calentamiento global y que es la energía nuclear*) [14]. Como resultado, las nuevas instalaciones nucleares se están desarrollando en la India, China, Europa e incluso en los Estados Unidos.

Sin embargo, la energía nuclear se ve muy afectado por la "energía del agua Nexus": la producción de energía, grandes cantidades de agua son necesarios, y para producir y distribuir agua, grandes cantidades de energía se requiere [17]. Nuclear plantas eléctricas necesitan mucha más agua de refrigeración de las centrales eléctricas de combustibles fósiles. Además, como se ha observado recientemente en el desafortunado caso de accidente nuclear Fukushima, los posibles efectos adversos de un fallo en un sistema de refrigeración de una central nuclear pueden ser cataclísmicos, sobre todo en pequeños estados insulares.

Aunque los precios del petróleo y el peligro del calentamiento global ya ha causado interés en OTEC para revivir el accidente de Fukushima ha reforzado la idea de OTEC comercial para la generación de energía. Por primera vez, el alto costo del petróleo y su volatilidad y las fluctuaciones en el mercado mundial, junto con la preocupación sobre los efectos ambientales de los combustibles fósiles y la energía nuclear han creado las condiciones que pueden hacer que las plantas OTEC comercialmente viable, sin necesidad de subsidios del gobierno .

Viabilidad técnica

Los más de 80 años de estudios y diseños desde el primer intento de Claude para demostrar la tecnología OTEC en Cuba en 1930, con una inversión de más de \$ 500 millones en I + D e ingeniería a mediados de la década de 1970 hasta la década de 1990 en los Estados Unidos por sí solo, proporcionar los datos suficientes para construir a escala comercial plantas OTEC en el momento actual, dadas las condiciones adecuadas económica y los mercados de derecho [18].

En 1980, un informe elaborado por la Corporación RAND para el Departamento de Energía EE.UU. encontró que los sistemas de energía y plataformas necesarias para las plantas de OTEC se encontraban dentro del estado de la técnica en el momento [19], pero consideró que era necesario seguir trabajando para el desarrollo de la tubería y sistema de cable. Los trabajos posteriores han abordado estas cuestiones. Véase, por ejemplo, los diseños de amarre y montado estanterías, desarrolladas por la Universidad Johns Hopkins Laboratorio de Física Aplicada (APL) en 1980 [9] (no se tienen en cuenta en la evaluación RAND), y General Electric Corporation en 1983 [10], , respectivamente. Nuevos progresos sustanciales que ha ocurrido desde entonces. Por ejemplo, los cables submarinos capaces de satisfacer las necesidades de las plantas OTEC han sido desarrollados y están en uso para otras aplicaciones. Técnicas para la fabricación e instalación de tubos de gran diámetro y los tubos sumergidos desarrollado para otras aplicaciones, como el petróleo en alta mar, emisarios submarinos y los cruces de canales, son adaptables a las OTEC.

Los diseños de amarre y montado estanterías, desarrolladas por la Universidad Johns Hopkins Laboratorio de Física Aplicada (APL) en 1980, General Electric Corporation en 1983, respectivamente, siguen el enfoque de la utilización de componentes disponibles en el mercado y las técnicas. Que también fue seguida por Tokio Electric Power Services en el diseño de los 10 MW de ciclo cerrado para la instalación de la planta permanente en la República de Nauru, que estaba en marcha en 1994, según un estudio realizado por los Laboratorios Nacionales Sandia [11,20] .

Los autores de este trabajo se han resumido las estrategias de diseño y desarrollo de las plantas OTEC comerciales [18]. Estos se basan en el uso de componentes disponibles en la actualidad y las técnicas, como se describió anteriormente. Posteriormente, el trabajo adicional considerable se ha realizado. Además de la creación de configuraciones adicionales para las plantas comerciales, incluyendo los diseños modulares adaptables a diversos lugares, el trabajo se ha centrado en la optimización de procesos e integración de sistemas, con el doble objetivo de reducir al mínimo el consumo de energía parásita y reduce el coste de capital en general. Además, los proveedores de los componentes de la mayoría de las plantas han sido identificadas. En resumen, se ha verificado las conclusiones alcanzadas por los anteriores investigadores. Se puede concluir que, actualmente, no existen barreras técnicas para el desarrollo de la primera generación de plantas comerciales de OTEC.

Investigación, tales como se discutió en las otras presentaciones en esta sesión, puede servir para optimizar algunos de los componentes y, finalmente, como resultado sistemas más eficientes, y también puede conducir a aplicaciones adicionales, tales como el uso de buques-planta OTEC para la producción de amoníaco. Sin embargo, OTEC para la generación eléctrica es técnicamente factible hoy en día. El estado de OTEC hoy es análogo al de la ingeniería estructural cuando el Empire State Building fue construido. Aunque los desarrollos posteriores dieron lugar a diseños más eficientes y redujeron los costos, el edificio fue construido en 1930, usando materiales y técnicas disponibles comercialmente en ese momento. Lo que fue aún más importante es que los primeros rascacielos, como los edificios Empire State y Chrysler, crearon un mercado para edificios de gran altura que estimuló posteriores desarrollos técnicos.

Como ocurrió con los rascacielos de la década de 1920-1930, las plantas OTEC comerciales son técnicamente posibles hoy en día, y las primeras plantas crearán un mercado para el desarrollo de plantas adicionales en el futuro.

Viabilidad económica

A diferencia de la mayoría de otras tecnologías de base de generación, OTEC no requiere combustible, no produce emisiones y no genera residuos, como cenizas o gastado materiales radiactivos. Sin embargo, la viabilidad técnica no es suficiente para hacer realidad a OTEC. Un aspecto más fundamental es la viabilidad económica, la capacidad de vender la energía generada por las plantas a precios que cubran los costos y proporcionen una rentabilidad razonable para los inversionistas. La viabilidad económica es la clave para la comercialización de OTEC.

En la realización de análisis económico de OTEC, es importante tener en cuenta factores de disponibilidad y capacidad, sobre todo cuando las tecnologías se evalúan otros. A diferencia de la mayoría de las tecnologías renovables, OTEC genera energía de forma continua, con factores de capacidad del 85% o más. Estos son sólo comparables a los combustibles y la energía nuclear. Factores de capacidad de otras tecnologías renovables están típicamente en el rango de 25 a 40%. Incluso la energía hidroeléctrica convencional rara vez tiene la capacidad de los factores de más del 60%, debido a las variaciones de flujo. [21].

Los costos de capital de las plantas OTEC con componentes y las técnicas disponibles son relativamente altos en comparación con motores de combustibles fósiles. Se estima que el costo de capital de una central eléctrica de ciclo cerrado OTEC en el rango de 100 MWe es del orden de \$ 6,500 a \$ 8,000 / kWe, en función de una serie de factores específicos del sitio y de mercado. Esto se compara con los costos de capital estimados en el orden de los \$ 7,000 / kWe o más de la energía nuclear [22], y aproximadamente US \$ 2.200 / kWe para las plantas de combustible fósil convencional, con costos de capital mucho mayor para los nuevos fósiles de plantas que incorpora la captura y secuestro de carbono.[23].

Sin embargo, debido a sus costos de capital relativamente alta, ciertas condiciones específicas del caso debe estar presente para OTEC para ser comercialmente viable. La primera es que las tecnologías de generación de base capaz de producir energía a un costo menor que OTEC no debe estar disponible en la ubicación propuesta. Por ejemplo, OTEC, no tiene sentido que la energía hidroeléctrica es fácilmente disponible. Además, (1) el recurso termal debe estar presente de forma continua (gradiente de temperatura igual o superior a 20 ° C durante todo el año), (2) aguas profundas oceánicas frías deben estar relativamente cerca de la costa, (3) se debe ser un mercado para la producción de la planta, y (4) costo de la electricidad generada por OTEC debe ser competitivo con los métodos actuales de generación de energía eléctrica. Estas condiciones se dan en lugares desarrollados que consumen grandes cantidades de energía de combustibles fósiles, tales como Puerto Rico y Hawai, y también en lugares más pequeños, tales como el Caribe y las Islas del Pacífico [1] y [2]. Finalmente, en los casos en que se contempla la producción de agua de OTEC, los suministros disponibles de agua debe ser suficiente para atender las necesidades de la sociedad, tales como la ubicación depende de la isla, muchos de desalinización para sus necesidades de agua.

Aunque el menor impacto ambiental de la OTEC puede ser un factor en la selección de la tecnología, la experiencia de los autores indica que las políticas tienden a favorecer a las opciones con aparente menor costo inmediato, a menos que los métodos se utilizan para cuantificar los impactos ambientales en términos económicos. Esta fue probablemente la razón principal por la que el interés mundial en la OTEC se desvaneció cuando los precios del petróleo cayeron a finales de los años 1980 y 1990. Impuestos sobre el carbono o créditos de energía renovable es una de las formas en que los costos ambientales pueden ser cuantificados y considerados en el análisis económico.

En resumen, aun cuando las circunstancias son favorables para los OTEC, la tecnología tiene que competir con otras fuentes de energía. Para que sea económicamente viable, una planta de OTEC debe ser capaz de entregar el poder a los consumidores a un costo similar o menor que otras fuentes.

Los factores que afectan la viabilidad económica

Precio de la energía de cualquier fuente es una función de los siguientes factores:

AMC = costo de capital amortizado.

OM & R = coste anual proyectado de operación, mantenimiento y reemplazo, esto incluye a las contingencias y los costos de eliminación de residuos (cenizas, el combustible gastado, etc.), así como las asignaciones para el reemplazo de equipos, seguros, etc.

FC = costo del combustible (cero para los OTEC)

Créditos = los créditos específicos o concesiones otorgadas a la producción de energía, como los créditos fiscales a la producción, etc

Cargos = cargos específicos percibidos sobre la producción de energía, tales como un impuesto al carbono. Esto no incluye los impuestos sobre los beneficios de la operación.

ROI = retorno de la inversión. Rendimiento o beneficio obtenido por los propietarios u operadores del sistema

Por lo tanto, para cualquier tipo de generación de energía, el costo neto para el consumidor será definido por la siguiente fórmula (asumiendo todos los costos se expresan sobre una base \$ / kWh)

$$\$/ \text{ kWh} = \text{AMC} + \text{OM \& R} + \text{FC} + \text{ROI} + \text{cargos- créditos},$$

En el caso de una planta OTEC situada donde no se aplican cargos específicos o créditos a la generación de energía, los factores que se reducen a lo siguiente, ya que el costo del combustible es cero:

$$\$/ \text{ kWh} = \text{AMC} + \text{OM \& R} + \text{retorno de la inversión}$$

Si los subsidios o cargos no son aplicables, **AMC** es, evidentemente, el componente más importante del costo por kWh para una planta de OTEC. A su vez, AMC es una función de dos factores principales: la tasa de interés y plazo de amortización. Si otros factores no cambian, estos son los principales factores que influyen en la viabilidad económica de las plantas OTEC. La capacidad de obtener financiamiento a largo plazo a tasa fija es fundamental para el éxito del despliegue de las plantas OTEC. Esto, a su vez, requiere un compromiso a largo plazo para el uso de la energía generada por la planta.

Un análisis de sensibilidad del efecto de la tasa de interés y plazo de amortización se llevó a cabo para la planta de plataforma de 75 MWe base propuesta por los autores de este trabajo. Costo de la energía por kWh varió desde un mínimo de menos de \$ 0,10 (un tipo de interés del 3% y 25 años de período de amortización, a máximos de más de \$ 0,18 (en la tasa de interés del 8% y 15 años de período de amortización).

Es importante señalar que incluso en el escenario de amortización con alto interés y corto tiempo de amortización, el precio proyectado / kWh es más bajo que las tasas actuales en las áreas que utilizan combustibles derivados del petróleo para la generación de energía. Por ejemplo, el precio promedio de electricidad en Hawaii en octubre de 2009 fue de \$ 0.2357/kWh [25]. En los lugares donde se utilice combustible diesel para que funcionen los generadores más pequeños, como muchas islas del Caribe y del Pacífico más pequeños, el precio de la energía es aún mayor. En todos los lugares que utilizan combustibles derivados del petróleo, los precios de energía aumenten los precios del petróleo. Una vez más el uso de Hawaii como un ejemplo, el precio promedio de electricidad en octubre de 2008 fue de \$ 0.3228/kWh, mientras que el precio neto de electricidad en Puerto Rico a mediados de 2011 ha sido de cerca de \$ 0.30/kWh. Ambos reflejan los precios récord del petróleo que se produjo en los meses anteriores. Por lo tanto, la OTEC es comercialmente viable en muchos mercados, sin necesidad de fondos del gobierno o de apoyo.

Los gobiernos pueden usar mecanismos para estimular el despliegue de las energías renovables. Estos mecanismos incluyen créditos, subvenciones, gastos de emisión de carbono, las garantías de préstamos y bonificaciones de intereses. Aunque todos estos son aplicables a los OTEC, garantías de préstamos y bonificaciones de intereses serían más eficaces para la implementación de OTEC, ya que facilitará la financiación, inciden directamente en el precio de electricidad de una tecnología intensiva en capital, tales como OTEC. Créditos, subsidios y gastos de funcionamiento de emisiones pueden ser eliminados si la política pública cambia en algún momento en el futuro, pero las garantías y subsidios de intereses para una emisión de bonos permanecerán en vigor durante el plazo de los bonos.

Otros factores

Otros factores que deben tenerse en cuenta en una estrategia de comercialización OTEC son los impactos ambientales y aceptación pública. Los impactos de OTEC son más bajos que los de la mayoría de otras tecnologías para la generación de carga base de energía. Un fallo catastrófico en una planta de OTEC sólo afectaría a las instalaciones y sus inmediaciones, mientras que los efectos adversos de un fallo de la central nuclear catastrófica puede afectar a varios países e incluso tener un impacto a escala global, como lo demuestran los accidentes de Chernobyl y Fukushima.

Sin embargo, los impactos y riesgos potenciales de OTEC se deben abordar durante la planificación, diseño, construcción, puesta en marcha y operación. Además de abordar estos temas desde un punto de vista técnico y científico, es muy importante presentar abiertamente los impactos, los riesgos potenciales y estrategias de mitigación a los interesados y la población en general, y para hacer frente a sus áreas específicas de interés. El valor de una estrategia de información pública adecuada y orientada a la participación del público no se puede exagerar.

Permisos y licencias están relacionados con los impactos ambientales, sino que también abarcan otros aspectos. Debido a las múltiples regulaciones que se aplican a grandes proyectos energéticos en los Estados Unidos, una estrategia de concesión de licencias o permisos que permita una planificación adecuada es un componente clave en la implementación exitosa. Esto requiere la participación de especialistas en legislación ambiental y en reglamentación de utilidades. El obtener permisos, licencias y autorizaciones ambientales puede ser mucho más simple en jurisdicciones no estadounidenses. Por tanto, es probable que las primeras plantas comerciales OTEC no se encuentren en los Estados Unidos.

Las plantas comerciales de OTEC para generación de energía y agua potable (con base en tierra o en plataformas) se pueden construir hoy en día, utilizando el equipo y las técnicas disponibles en el mercado. Tales plantas pueden ser económicamente viable (capaz de generar energía a un costo competitivo con las fuentes de energía existentes y proporcionando una rentabilidad razonable para los inversores), si las condiciones financieras y de mercado favorables están presentes. Los factores clave para que una planta de OTEC sea económicamente viables a largo plazo y tasas de financiación favorables, que a su vez, requiere un compromiso a largo plazo para el uso de la energía generada por la planta. Los riesgos asociados con OTEC son mucho menores que los relacionados con la energía nuclear, con las consecuencias de una falla catastrófica tener sólo efectos locales y limitadas. Por lo tanto, en las condiciones actuales, OTEC puede ser una alternativa viable y segura a la energía nuclear para muchas naciones insulares y comunidades costeras.

Referencias

1] Cohen, R.. *Energy from the Ocean. Phil. Transactions*, Royal Society. London. A 307: 405-437.1982

- [2] Avery, W.H. Wu, C. *Renewable Energy from the Ocean, A Guide to OTEC*. Oxford University Press. New York, NY.1994
- [3] Avery, W.H. Berl, W.G. *Solar Energy from the Tropical Oceans*. Issues in Science and Technology. Winter 1997.
- [4] Claude, G. *Power from the Tropical Seas*. Mechanical Engineering. Volume 52, No.12, December, 1930
- [5] Brown, M.G. Gauthier, M. Meurville, J-M. 2002. *George Claude's Cuban OTEC Experiment: a Lesson of Tenacity for Entrepreneurs*. IOA Newsletter. Winter2002.
- [6] Beorse, B., and Johnson, M., *OTEC History*. 2002, reprinted in Johnson, M. S. 2005.
- [7] Johnson, MS, A Memoir of Bryn Beorse and his Struggle to Introduce Ocean Energy to the United States. Publicación privada 2005
- [8] Daniel, T. *A Brief History of OTEC Research at NELHA*. Natural Energy Laboratory of Hawaii, 1999.
- [9] George, J.F. and Richards, D. (eds) *Baseline Design of Moored and Grazing 40 MW OTEC Pilot Plants*, Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, 1980.
- [10] General Electric Corporation Advanced Energy Programs Department, *Draft Final Conceptual Design Report*. U.S. Department of Energy Contract DE-AC01-82CS80000, 1983.
- [11] Mitsui, T., et al.. *Outline of 100 KW OTEC Pilot Plant at the Republic of Nauru*. IEEE Transactions on Power Systems and Apparatus. September 1983.
- [12] EE.UU. Agencia de Información de Energía (EIA) *Costos de importación de las importaciones de crudo de países seleccionados, 1973-2008*.2008
- [13] Lovelock, J. *Nuclear Energy is the Only Green Energy*. Publicado en *el London Independent*, 24 de mayo de 2004.
- [14] Hubbert. M.K. *Energy from Fossil Fuels* in Science, Feb. 4, 1948.
- [15] K.S. Deffeyes, *Beyond Oil: The View from Hubbert's Peak*. Farrar, Straus and Giroux, New York, 2005
- [16] EIA. *Energy Prices by Sources* in Annual Energy Review,2008

- [17] U.S. Department of Energy. *Energy Demands on Water Resources: Report to Congress on the Interdependency of Energy and Water*, December 2006.
- [18] Plocek, T.J. Laboy, M., Marti, J. *Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC): Technical Viability, Cost Projections and Development Strategies*, Proceedings, 2009 Ocean Technology Conference.
- [19] Gritton, E.C. et al. *A Quantitative Evaluation of Closed-cycle Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) in Central Station Applications*, RAND Corporation, Report R-2595-DOE, 1980
- [20] Bruch, V. *An Assessment of Research and Development Leadership in Ocean Energy Technologies*, Sandia National Laboratories, New Mexico, 1994.
- [21] Renewable Energy Research Laboratory, University of Massachusetts at Amherst *Wind Power: Capacity Factor, Intermittency, and what happens when the wind doesn't blow?*, 2008.
- [22] Cooper, M. *The Economics of Nuclear Reactors: Renaissance or Relapse?* Institute for Energy and the Environment Vermont Law School, 2009.
- [23] Schlissel, D. et al. *Coal-Fired Power Plant Construction Costs*. Synapse Energy Economics, Inc. Cambridge, MA, 2008
- [24] Solomon, S., D. et als. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* . Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [25] U.S. Energy Information Administration, *Electric Power Monthly*, Enero de 2010