
Colección Energías Renovables del Océano

Conversión

de Energía Térmica Oceánica (OTEC)

Estado del Arte

*Erika Paola Garduño Ruiz, Alejandro García Huante,
Yandy Rodríguez Cueto, Juan Francisco Bárcenas Graniel,
Miguel Ángel Alatorre Mendieta, Estela Cerezo Acevedo,
Jessica Guadalupe Tobal Cupul, Víctor Manuel Romero Medina
y Rodolfo Silva Casarín*



CEMIE-Océano

Centro Mexicano de Innovación
en Energía - Océano



CEMIE-Océano

Centro Mexicano de Innovación
en Energía - Océano

Colección Energías Renovables del Océano

Rodolfo Silva Casarín, Gregorio Posada Vanegas

Jorge Gutiérrez Lara y Angélica Felix Delgado

Editores de la Colección

Conversión de Energía Térmica Oceánica (OTEC)

- Estado del Arte -

Erika Paola Garduño Ruiz¹, Alejandro García Huante¹,
Yandy Rodríguez Cueto¹, Juan Francisco Bárcenas Graniel³,
Miguel Ángel Alatorre Mendieta², Estela Cerezo Acevedo³,
Jessica Guadalupe Tobal Cupul³, Víctor Manuel Romero Medina³
y Rodolfo Silva Casarín¹

¹Instituto de Ingeniería, UNAM

²Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

³Universidad del Caribe

Garduño Ruiz, E. P., A. García Huante, Y. Rodríguez Cueto, J. F. Bárcenas Graniel, M. Á. Alatorre Mendieta, E. Cerezo Acevedo, J. Guadalupe Tobal Cupul, V. M. Romero Medina y R. Silva Casarín 2017. Conversión de Energía Térmica Oceánica (OTEC) Estado del Arte. Cemie-Océano, Universidad Autónoma de Campeche. 123 p.

© CEMIE-Océano

© Universidad Autónoma de Campeche 2017
Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía
del Golfo de México (EPOMEX)

ISBN 978-607-8444-28-1 de la Colección

ISBN 978-607-8444-29-8 del Volumen

DOI: 10.26359/EPOMEX.CEMIE012017

Contenido

Colección Energías Renovables del Océano

Introducción	I
Antecedentes	3
Tecnología OTEC	7
Criterios de Selección de Sitios	23
Eficiencia de OTEC	25
Factores Económicos	29
Impacto Ambiental	33
Factores Sociales	37
Marco Regulatorio	39
Beneficios de OTEC	41
Desventajas y limitaciones de OTEC	45

Historia	47
Plantas Actuales en Operación	51
Antecedentes y Proyectos actuales en México	57
Problemáticas y Retos en México	61
Sitios con Potencial Térmico en el Pacífico Mexicano (Zonas continentales e insulares)	63
Sitios con Potencial Térmico en el Mar Caribe Mexicano	71
Áreas Naturales Protegidas (ANP), Posibilidad de Ocurrencia de Huracanes y Detección de Mareas Rojas Tóxicas y No Tóxicas en México	73
Descripción de algunos Sitios con Potencial Térmico en México	81
Conclusiones	103
Anexo	107
Referencias	111

Colección

Energías Renovables del Océano

Uno de los objetivos centrales del *Centro Mexicano de Innovación en Energía del Océano (CEMIE-Océano)*, es dar a conocer, de manera ágil y abierta, los resultados técnicos derivados de las actividades realizadas por los investigadores, estudiantes y empresarios que en él participan. La meta es alcanzar a la sociedad civil y a otros actores técnicos, estudiantiles, empresariales e institucionales públicos y privados tanto para mantenerles informados como para, a través de un ejercicio de conciencia energética, iniciar nuevas interacciones y vínculos de colaboración alrededor de las energías del océano.

La *colección de libros Energías Renovables del Océano* está compuesta por las diferentes temáticas que aborda el CEMIE-Océano, y se compone de la revisión de los *Estados del Arte* asociados al desarrollo del aprovechamiento de las energías por gradiente térmico, gradiente salino, oleaje y corrientes, así como de los avances en almacenamiento de energía e interconexión a la red eléctrica, materiales, aspectos ambientales y modelación numérica y física. La colección, además de encontrarse en las bibliotecas de las 45 instituciones que conforman el CEMIE-Océano, podrán ser descargados electrónicamente sin costo en la página de internet www.cemieoceanomx

Esperamos que esta colección sea de utilidad para quienes, como todos los miembros del CEMIE-Océano, estamos convencidos de que el cambio en el paradigma energético de nuestro país, es una meta alcanzable que pasa por el camino de la formación de recursos humanos de alto nivel y que requiere el máximo de las capacidades de las personas e instituciones educativas, comerciales y de base tecnológica con las que contamos.

Los editores

Centro Mexicano de Innovación en Energía - Océano

Conversión de Energía Térmica Oceánica (OTEC)
Estado del Arte



I

Introducción

En 2016 el 86% de la electricidad producida en México se generó a partir de combustibles fósiles y energía nuclear (SENER, 2017). Los combustibles fósiles están actualmente bajo presión por diversos motivos, desde la mayor inaccesibilidad para reservas decrecientes de crudo, hasta la menor aceptación social de su uso por los altos impactos ambientales y de salud asociados. Esto genera una alta volatilidad en los costos y aumenta la inseguridad energética del país. Por otra parte, la energía nuclear puede generar grandes cantidades de energía pudiendo reemplazar a los combustibles fósiles; sin embargo, no es una fuente de energía limpia, sus residuos son altamente tóxicos y es una de las fuentes de energía que más controversias generan. Por tales motivos es de particular relevancia investigar y desarrollar otras opciones de generación de energía, que satisfagan la demanda eléctrica nacional, actual y proyectada, disminuyendo los impactos sociales y ambientales.

El agua de los océanos representa el 97% del total de agua que posee el planeta. En la actualidad aproximadamente el 10% de la población vive en zonas costeras a menos de 10 metros sobre el nivel del mar (LECZ por sus siglas en inglés, Low Elevation Coastal Zones), que representan el 1.8% de la superficie terrestre total. De 2010 a 2100 se espera que las personas que habitan en LECZ pasará de 704 millones a más de 1 000 millones (Silva *et al.*, 2014). Los



recursos marinos ofrecen un gran potencial de suministro de energía y agua. Diversos estudios y análisis estiman que la cantidad de energía oceánica oscila alrededor de los 5 000 GW de potencia instalada (SENER, 2012).



2

Antecedentes

Los océanos funcionan como grandes colectores de energía solar, que recientemente el humano ha tenido el interés de estudiar (García-Huante, 2015). El agua de los océanos aproximadamente retiene el 15% del total de la energía solar como energía térmica. La tecnología que permite generar energía a través de las diferencias de temperatura el océano se llama Conversión de Energía Térmica Oceánica (OTEC por sus siglas en inglés). Este tipo de energía se concentra en la parte superficial del agua de mar y va disminuyendo exponencialmente al incrementar la profundidad, a medida que se llega al fondo marino (figura 1).

Tomando como base el principio de la OTEC se puede ver el mar como una máquina térmica y aprovechar sus características naturales (Aviña, 2007). El funcionamiento de OTEC se debe principalmente al aprovechamiento de las diferencias de temperaturas entre las aguas cálidas de las superficies de los mares y el agua de las profundidades (del orden de 1000 m de profundidad), para la producción de energía eléctrica. Es preferible trabajar en áreas donde el gradiente térmico de la columna de agua sea mayor a 20°C, para asegurar una mayor eficiencia del sistema, por esta razón países que se encuentran ubicados cerca del Ecuador tienen un mayor potencial (figura 2). Sin embargo, no es una limitante pues Japón, Estados Unidos y Francia ya cuentan con esta tecnología. Por otra parte, México posee aguas oceánicas con características



óptimas para desarrollar este tipo de energía en sus mares tropicales del Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe.

Si se compara la energía térmica oceánica con el resto de las demás fuentes de energía renovables, su investigación y desarrollo todavía se encuentran en fase preliminar, no obstante, su potencial es muy alto, ya que los recursos marinos ofrecen una enorme fuente de energía y agua.

Diversos estudios y análisis estiman que la cantidad de energía oceánica es de unas 4 mil veces la energía que actualmente consume la humanidad (García-Huante, 2015; Beck, 1975). Si se llegaran a construir plantas OTEC a escala comercial, ocurriría el mayor cambio energético a nivel mundial pues tiene enorme potencial para desarrollar suficiente generación eléctrica de manera más rápida que las boyas o la energía mareomotriz.

Dentro de las características del aprovechamiento del gradiente térmico se pueden mencionar: la producción de energía renovable de forma continua e ilimitada; la no generación de contaminación atmosférica por gases de efecto invernadero y la generación de productos tales como aire acondicionado, agua para consumo humano, agua marina rica en nutrientes, hidrógeno, metanol, etc., los cuales pueden tener otro tipo de beneficios potenciales. Esta nascente industria podría contribuir al desarrollo social y económico de regiones costeras localizadas en la zona tropical.

Con respecto a otro tipo de energías marinas, OTEC aún sigue en la fase de Investigación y desarrollo / prototipo, se pretende que a partir del año 2030

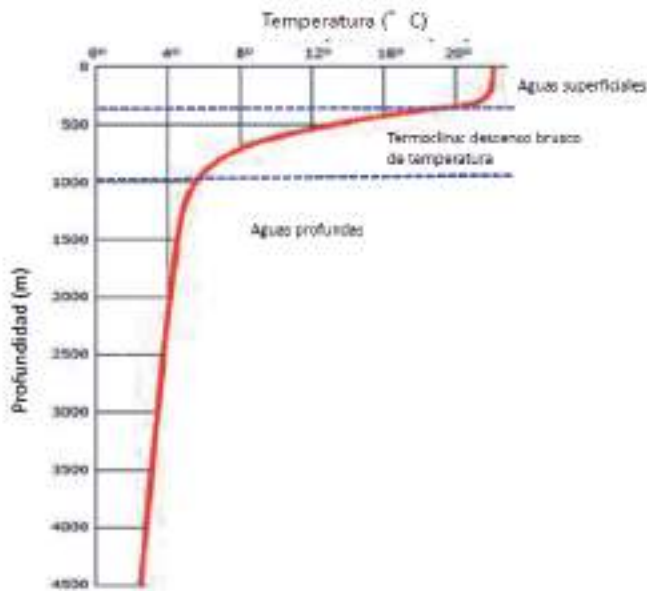


Figura 1. Variación de la temperatura con la profundidad. Adaptada de Fernández (2008).

Conversión de energía térmica del océano. Energías oceánicas.

Recuperado de: <https://goo.gl/R6kqGp>

esta tecnología ya se encuentra comercialmente disponible como se muestra en la figura 3.

Una mayor investigación y desarrollo de OTEC, ayudaría a mitigar los principales retos tecnológicos, económicos y de implementación que son de vital importancia en cualquier tipo de tecnología emergente, ayudándola en un futuro a ser competitiva con el resto de las fuentes de energías renovables.

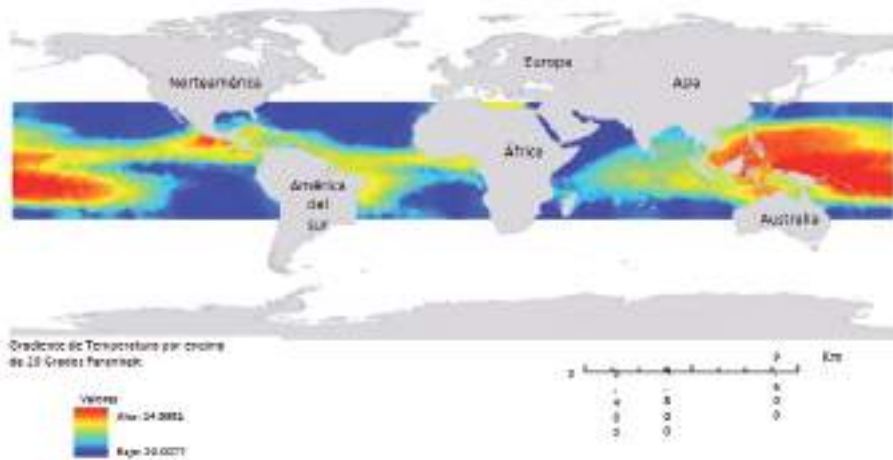


Figura 2. Distribución de los gradientes temperatura del océano. Adaptada de Fujita *et al.* (2012). Revisiting ocean thermal energy conversion. *Marine Policy*, 36: 463-465.



Figura 3. Línea de tiempo para las fases de desarrollo de tecnologías de energías oceánicas. Adaptado de Ocean Energy Forum. (2016). Ocean Energy Strategic Roadmap 2016, building ocean energy for Europe.





3

Tecnología OTEC

La tecnología OTEC utiliza para su funcionamiento el ciclo de calor termodinámico *Rankine* para generar electricidad por medio de turbinas de vapor y puede tener tres modalidades de ciclo: abierto (OC, por sus siglas en inglés), cerrado (CC, por sus siglas en inglés) e híbrido.

CICLO ABIERTO (oc)

En ciclo abierto, también conocido como ciclo de *Claude*, usa el agua marina como fluido de trabajo, este funciona cuando el agua marina superficial (~25°C) entra es bombeada y sometida a vacío para bajar su presión hasta que el agua llega a su punto de ebullición, convirtiendo el líquido en vapor, este se dirige hacia una turbina conectada a un generador para producir energía eléctrica y luego se dirige a un condensador, en el que se obtiene de nuevo agua líquida saturada a una presión y temperatura aproximadas de 1.7 kPa y 15°C, respectivamente. Este procedimiento se lleva a cabo utilizando agua fría del mar bombeada desde las profundidades del mar (aproximadamente 1 000 m). Como fluido refrigerante. El agua del condensador se regresa al mar, así el proceso se repite de manera continua.

Es en el proceso de evaporación es donde la mayor parte de sales se precipita, este vapor es el que pasa a la turbina y luego al pasar en el condensador se recupera el agua sin sal, pero la desalinización pasa en el evaporador.

Una planta pequeña puede producir de 1 MW a 10 MW de electricidad neta y producir 1 700 m³ a 3 500 m³ de agua dulce al día. Estas cantidades podrían cubrir las necesidades de comunidades con alrededor de 4 500 a 100 000 personas (OTEC Matters, 2015; Morales *et al.*, 2014; Vega *et al.*, 2002). Dado que el fluido de trabajo es agua marina, no representa daño ambiental, pero el costo de mantenimiento podría ser elevado porque se promueve la corrosión de los equipos. Además, se debe considerar que una instalación de este tipo requiere de equipos especiales para eliminar gases disueltos en el agua de mar, que no son condensables.

El ciclo de *Claude* tiene ciertas características que lo hacen distinto a otros ciclos, por ejemplo, en el evaporador de un ciclo abierto se usa un sistema de aspersión para que el agua tibia se evapore en una mayor proporción, a este método de evaporación se le llama evaporación flash; es decir, disminuye súbitamente la presión para evaporar un fluido (Bernal-Francisco, 2016).

El rendimiento de este sistema es muy bajo pues está sobre un 7%, además es preciso consumir energía para bombear el agua fría de las profundidades del mar para condensar el vapor y para accionar la bomba de vacío del evaporador. Se estima que entre un 20% a un 30% de la potencia eléctrica generada se consume en las operaciones de bombeo (Fernández, 2008).

CICLO CERRADO (CC)

En el ciclo cerrado, también conocido como ciclo de *Anderson*, se usan fluidos que tengan bajos puntos de ebullición, tales como el amonio, propano, freón, R134, R123, R 152a, entre otros, para impulsar una turbina que genere electricidad. El agua marina superficial es bombeada a través de un intercambiador de calor (evaporador) que vaporiza el fluido de trabajo provocando el movimiento del sistema turbina - generador para producir energía eléctrica. El agua fría



Figura 4. Esquema conceptual de una planta OTEC de ciclo abierto.
Fuente: elaboración propia.

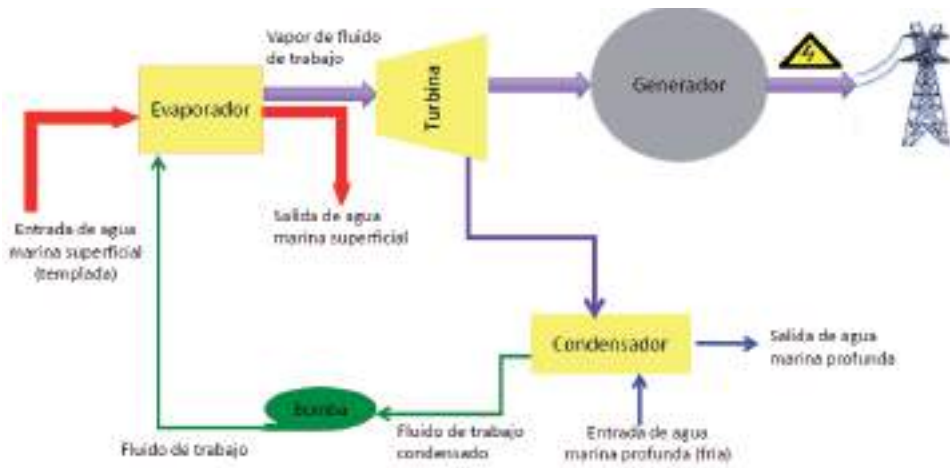


Figura 5. Esquema conceptual de una planta OTEC de ciclo cerrado
Fuente: elaboración propia.

proveniente de las profundidades del mar es bombeada a través de un segundo intercambiador de calor (condensador) donde el vapor se transforma en líquido de nuevo y se bombea al evaporador para comenzar otra vez el ciclo termodinámico.

Este método genera más electricidad que el ciclo abierto, pero no genera agua dulce, el costo de mantenimiento es mínimo ya que el fluido de trabajo no corroe los equipos, a excepción del evaporador y el condensador; además pueden tener un menor tamaño de planta que los ciclos abiertos (Bernal-Francisco, 2016; OTEC Matters, 2015; Morales *et al.*, 2014).

SISTEMAS HÍBRIDOS

Los sistemas híbridos combinan las características de los sistemas de ciclo abierto y de ciclo cerrado como medio de optimizar su funcionamiento. Con estos sistemas híbridos se persigue la producción de electricidad y la desalinización de agua de mar.

En un sistema híbrido, el agua marina superficial entra en un evaporador donde el agua se transforma en vapor, de forma similar a lo que ocurre en un proceso de evaporación de ciclo abierto. El calor del vapor obtenido se utiliza para vaporizar el fluido de trabajo como el que se utiliza en el ciclo cerrado. El fluido vaporizado acciona una turbina que produce electricidad. El vapor obtenido del agua de mar se vuelve líquido (condensación) dentro de un intercambiador de calor proporcionando agua desalinizada, que puede ser utilizada para consumo humano, agrícola etc.

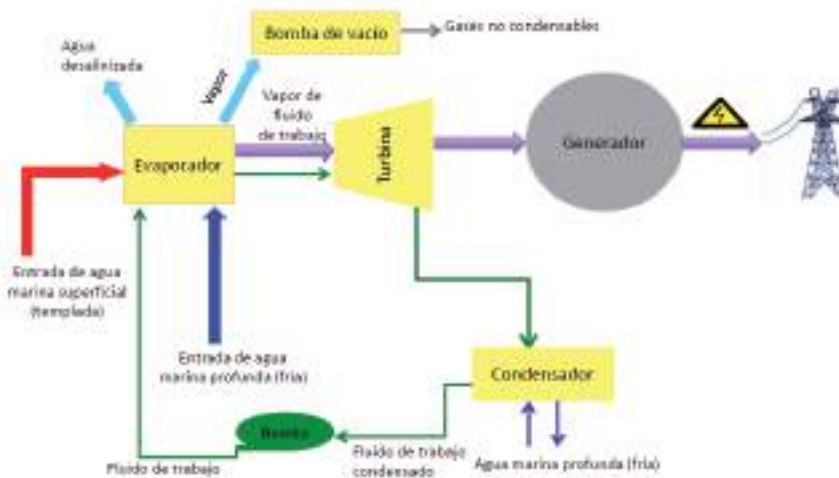


Figura 6. Esquema conceptual de una planta OTEC de ciclo híbrido
Fuente: elaboración propia.

La desalinización mediante evaporación ha sido estudiada con especial atención en los últimos años, porque el sistema es efectivo para resolver problemas de energía y de agua de manera simultánea, mediante un proceso sustentable y amigable con el medioambiente, dado que no requiere precalentar el flujo de agua. Se reconoce como uno de los métodos de desalinización térmica de baja temperatura (LTTD, por sus siglas en inglés) y resulta particularmente atractivo para islas y áreas remotas poco pobladas. Cabe mencionar que la desalinización por evaporación puede también ser aplicada por sí sola, es decir, sin el ciclo *Rankine* de generación de energía eléctrica. Una planta de este tipo fue desarrollada por el Instituto Nacional de Tecnologías Oceánicas (NIOT, por sus siglas en inglés) en Japón y produce agua dulce a una tasa de 100 toneladas por día (Soto, 2014).

OTROS CICLOS

Dentro de los ciclos cerrados destaca el *Ciclo Kalina* el cual fue propuesto por el Dr. Alexander Kalina en 1985. Es un *Ciclo Rankine* mejorado, en el cual se utiliza como fluido de trabajo una mezcla de amoníaco y agua. El amoníaco es una de los fluidos con menor punto de ebullición lo que genera mayor eficiencia a temperaturas más bajas. De este modo, la elevación de temperatura puede ser más alta y se minimiza la cantidad de agua de las profundidades necesaria para el condensador, reduciendo las dimensiones de la tubería de entrada y por tanto el capital invertido en la central, mientras aumenta la potencia energética de salida (Bernal-Francisco, 2016; NREL, 2011). Para sistemas OTEC, éste incrementa la eficiencia térmica teórica, sin embargo, al usar un

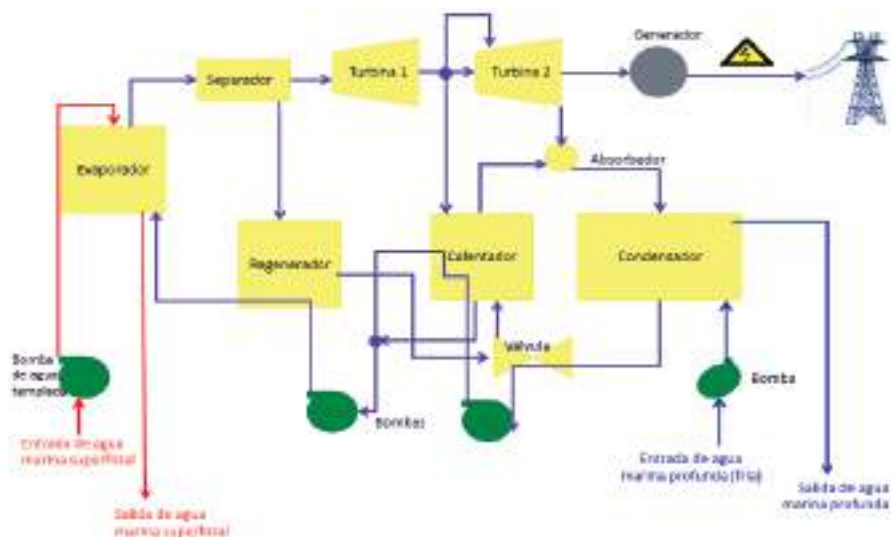


Figura 7. Representación esquemática del ciclo Kalina.
Fuente: elaboración propia.

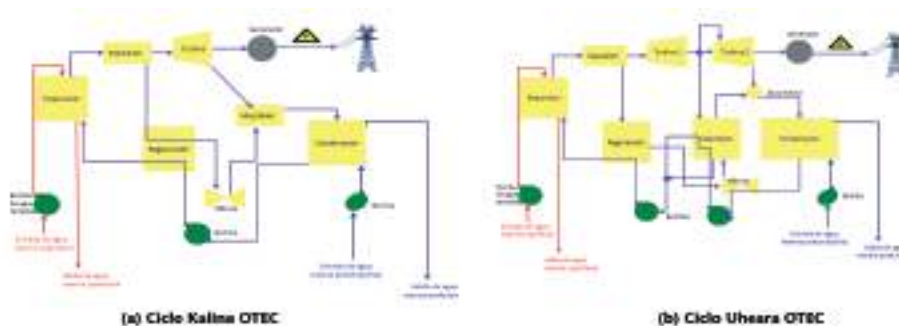


Figura 8. Representación esquemática del ciclo Uehara.
Fuente: elaboración propia.

fluido binario, se reduce el desempeño del evaporador y del condensador respecto al ciclo Rankine, además de ser más complejo en su arreglo (Soto, 2014).

Otro tipo de ciclo es el *Ciclo Uehara*, que fue inventado en 1994 por H. Uehara. Utiliza una mezcla de agua y amoníaco como fluido de trabajo y extrae parte del vapor de la turbina para reducir la carga del condensador, es una de los ciclos termodinámicos más complejos de todos.



Existen diferentes clasificaciones de plantas OTEC como son: sobre la costa (*on-shore*, por sus siglas en inglés) y fuera de la costa o sistema flotantes (*off-shore*, por sus siglas en inglés).

PLANTA SOBRE LA COSTA (ON-SHORE)

La planta se encuentra a una distancia cercana de la costa, disminuyendo las probabilidades de daños por desastres naturales. Las desventajas son que se necesitan tuberías muy largas para coleccionar el agua marina y consume mucha energía para bombear el agua a la planta, lo cual reduce la producción neta de electricidad y tiene un alto costo económico; sin embargo, el mantenimiento es sencillo, no se necesitan largos cables para transportar la energía generada, y provee agua para múltiples usos como agua potable, maricultura y aire acondicionado, haciéndola una atractiva alternativa. Otros parámetros a tomar en cuenta es que los sitios seleccionados tengan cerca mares con un buen gradiente térmico, el fondo marino debe presentar una pendiente muy grande para tener acceso a las aguas profundas y el terreno en la costa debe ser estable, amplio y plano (NOAA, 2017; Bernal-Francisco, 2016; OTEC Matters, 2015; Morales *et al.*, 2014).

PLANTA FUERA DE LA COSTA O SISTEMAS FLOTANTES (OFF-SHORE)

Las plantas construidas en sistemas flotantes se encuentran a pocos kilómetros de la costa y están construidas sobre grandes barcos o en plataformas de tipo petrolero, pueden estar ancladas al fondo marino o flotando. Tienen la ventaja de que la distancia para bombeo de agua fría del mar profundo es más corta, pero requieren cables submarinos largos para llevar la electricidad a la costa. Para que la planta pueda ser conectada a los cables de energía, necesita permanecer relativamente inmóvil y para ello necesitan estar “amarradas” lo cual es muy complicado en aguas profundas. Por otra parte, este tipo de sis-



Figura 9. Esquema conceptual de una planta OTEC On-shore.
Fuente: Adaptada de Ocean Thermal Energy Corporation. (2017).

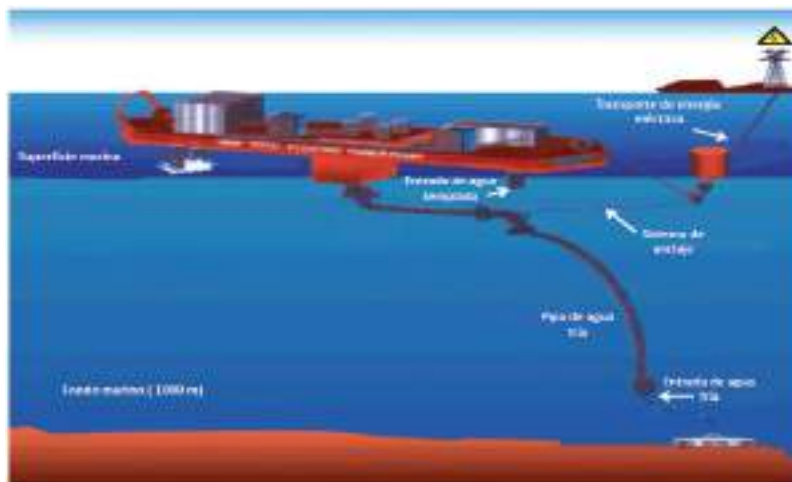


Figura 10. Esquema conceptual de una planta OTEC off-shore.

Fuente: Adaptado de McKinnon. (2011). Ocean Thermal Energy Plant Schematic.

Recuperado de <http://howonearthradio.org/archives/519>

temas pueden ser más vulnerables a tormentas o algún otro tipo de desastres naturales (NOAA, 2017; Bernal-Francisco, 2016, Fernández, 2008).

Los componentes fundamentales para la construcción de una planta OTEC son los siguientes:

- Evaporadores y Condensadores.
- Turbina, Tuberías y Bombas.
- Estructura fija o flotante.
- Sistema de anclaje.
- Cable submarino (si la central es flotante).

COMPONENTES DEL SISTEMA

Intercambiadores

Los intercambiadores de calor constituyen una parte importante del funcionamiento y del costo de los sistemas de ciclo cerrado, pues deben de disponer de una gran superficie para transferir suficiente calor en las plantas que operan con pequeño gradiente térmico. Los materiales comúnmente usados son titanio y aluminio. Existen diversos diseños (figura 11), uno de ellos es el de esqueleto y tubos, en la que el agua de mar fluye a través de los tubos y el fluido de trabajo se evapora o condensa en el esqueleto alrededor de ellos. El material con el cual actualmente son fabricados es el aluminio por el menor costo, pero también son construidos con titanio (Fernández, 2008).

En un diseño de placas y aletas, el fluido de trabajo y el agua de mar fluyen a través de placas paralelas alternantes; las aletas entre las placas mejoran la transferencia del calor.



Figura 11. Diversos diseños de intercambiadores.

Fuente: Adaptada de Fernández P. (2008). Conversión de energía térmica del océano. Energías oceánicas. Recuperado de: <https://goo.gl/R6kqGp>.

Los intercambiadores de placas son los que tienen la mejor eficiencia en una planta OTEC, requiriendo menores áreas de transferencia por unidad de potencia neta del sistema (Soto, 2014).

Los condensadores pueden ser de contacto directo o indirecto, según como circulen las corrientes. Cuando el vapor que se utiliza es agua, se utiliza el de contacto directo, que no tiene pared sólida interpuesta, por tanto, proporcionan una condensación más efectiva. El Laboratorio Nacional de Energías Renovables de Estados Unidos (NREL, por sus siglas en inglés), diseñó un condensador de contacto directo (ADCC) de dos etapas donde el agua fría se distribuye a través de dos vasos de extremos abiertos rellenos de un material de protección disponible comercialmente. El sistema ADCC reemplaza las placas tradicionales por una nueva placa que aumenta al área de la superficie de contacto entre el líquido de enfriamiento y el vapor, que lo hace más eficiente en un 5%. La capacidad de generación potencial aumento un 17% y el costo de reducción de emisiones se redujo a la mitad (NREL, 2011).

Nakaoka y Uehara en 1988, determinaron que el evaporador y el condensador del ciclo representan entre 20 y 50% de los costos de una planta OTEC, considerando que ésta se encuentra sobre la costa.

Bombas

El diseño para bombear agua fría del mar profundo está acotado a los siguientes criterios:

- Número de tuberías: Depende de la capacidad eléctrica de la planta.
- Longitud: Depende de la profundidad de la columna de agua.

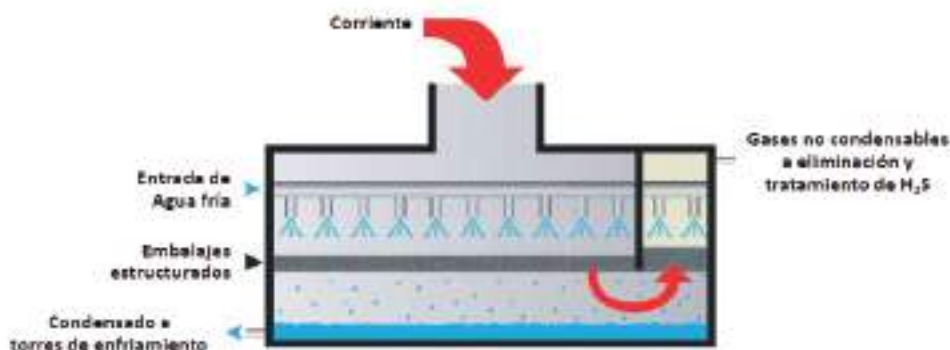


Figura 12. Condensador de contacto directo (ADCC) diseñado por El Laboratorio Nacional de Energías Renovables de Estados Unidos (NREL). Fuente: Adaptado de NREL. (2011). Advanced Condenser Boosts Geothermal Power Plant Output. Disponible en: <http://www.nrel.gov/docs/fy11osti/49152.pdf>

- Diámetro: Depende de la cantidad de agua que sea bombeada, sin embargo, un mayor diámetro de ésta genera mayor riesgo en términos de diseño, transporte e instalación.
- Material: Debe ser económicamente viable, fácil de instalar y resistente a condiciones marinas extremas.

Además, el sistema de bombeo debe ser diseñado para soportar condiciones climáticas extremas, ciclónicas, etc. Experiencias pasadas han mencionado que los primeros metros de tubería y conexión son críticos, pues puede existir una deformación de las tuberías, que conllevan a una pérdida total o parcial del sistema (Lelarge *et al.*, 2013; Fernández, 2008).

Turbinas

Las tecnologías de las turbinas son muy diferentes dependiendo el tipo de ciclo de la planta y al tipo de fluido que sea usado, por ejemplo, las turbinas usadas para un ciclo cerrado son de forma radial y más pequeñas.

Las turbinas deben ser capaces de manejar grandes cantidades de flujo de vapor, necesarios para producir una importante cantidad de energía eléctrica. Uno de los mayores retos es mantener la turbina sellada para evitar fugas, y para tales motivos suele utilizarse nitrógeno porque no interfiere en el proceso de condensación (Nihous *et al.*, 2012).

Estudios realizados por la compañía *Westinghouse Electric Corporation* concluyeron que para producir 100 MW netos de potencia eléctrica, la turbina más económica y fiable será aquella que opere a baja velocidad (200 rpm) y tenga un diámetro de aproximadamente 44 metros. Sin embargo, esta turbina requiere de un mayor desarrollo (Fernández, 2008).

FLUIDO DE TRABAJO

Independientemente del tipo de diseño y del tipo de ciclo que se utilice en una planta OTEC, es necesario el uso de un fluido de trabajo que hará que el gradiente térmico pueda ser aprovechado para la producción de energía. En la Tabla 1 se observan algunos fluidos de trabajo que han sido utilizados desde 1930 al 2015.

Tabla 1. Plantas OTEC con sus principales características.

Empresa/País	Lugar	Año	Capacidad (kW)	Tipo de ciclo	Observaciones	Fluido de trabajo
Claude (Francia)	Cuba	1930	22	Abierto	Pequeña planta en tierra	Agua de mar ^a
USA	Hawái	1979	50	Cerrado	Mini OTEC	R-717 ^b
USA	Hawái	1981	1000	Cerrado	OTEC I, pruebas térmicas	Amoniaco ^b
Toshiba y TEPC (Japón)	Nauru	1982	120	Cerrado	Propuesta inactiva	R22 ^b
Japón	Tokunoshima	1982	50	Cerrado	Construida y pruebas	Amoniaco ^a
Reino Unido	Mar Caribe Puerto Rico	1982	10000	Cerrado	Propuesta inactiva	R22 ^c
Taiwán	Costa Este	1985	5000	Cerrado	Propuesta inactiva	Amoniaco ^c
Universidad de Saga (Japón)	Saga	1985	75	Cerrado	pruebas térmicas	
NELHA (USA)	Hawái	1993	210	Abierto	Experimental (DOE)	Agua
Universidad de Saga (Japón)	Saga	1995	9	Cerrado	Utiliza el ciclo Uehara	Amoniaco/ Agua
NIOT (India)	Puerto de Tuticorin	2000	1000	Cerrado	Planta flotante Sagar Shakti	Amoniaco ^d
India	Kavaratti	2004		Abierto	Desaladora OTEC 100m ³ /día, funcionando	Agua
India	Chennai	2007		Abierto	Desaladora OTEC 1000m ³ /día funcionando	Agua
Lookheed Martin (US)	Isla Hainan	2013	10000	Cerrado	Prototipo	Amoniaco ^e
KRISO y KIOST	Corea	2014	20	Cerrado	Planta piloto	R32 ^f
NELHA (USA)	Hawái	2015	100	Cerrado	Makai, Ocean Engineering genera energía para 120 hogares	Amoniaco ^g

Fuente: Modificado de Bárcenas, 2012. a. Avery and Wu, 14; b. Plocek and Laboy, 2009; c. Dhanak and Xiros, 2016; d. Gupta and Roy, 2007; e. Hainan Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) Power Plant", 2017; f. Lee, 2015; g. Makai's Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) Power Plant, Hawaii", 2017.

Como se puede observar, el amoníaco es uno de los fluidos de trabajo más utilizados en los OTEC de tipo cerrado, esto debido a que sus propiedades hacen que el tamaño de la turbina y de los intercambiadores sea menor en comparación con otros refrigerantes (IRENA, 2014).

Sin embargo, también se ha trabajado con el R22 (Clorodifluorometano (HCFC-22)), llamado Freón, tal como la planta OTEC de Nauru; y se ha llegado a proponer el uso de hidrocarburos como fluidos de trabajo, como el metano, el butano y el propano (Universidad Nacional Méndez Pelayo, 1981). Pero, al ser, el Freón y los hidrocarburos, disolventes de ciertas sustancias que se usan como lubricación en el sistema, los vapores que se generan en las turbinas o en las válvulas podrán causar daños al sistema (Avery *et al.*, 1994).

Además, Myers *et al.* (1986), enlisto los fluidos de trabajo considerados para utilizarse en el ciclo OTEC hasta ese entonces (ver tabla 2), siendo el amoníaco por el que más se optaba como fluido de trabajo. En la tabla 2, la temperatura de la columna “Inflamabilidad” corresponde a la de auto-ignición; el límite de exposición es la concentración, representada en partes por millón (ppm), en la que un trabajador puede estar expuesto a cierto fluido durante una jornada de 8 horas; y la toxicidad se mide en “alta” (capaz de causar la muerte o lesiones permanentes durante su uso normal, venenoso), “moderada” (puede causar cambios permanentes o no a la parte del cuerpo expuesta al fluido) y “baja” (causa daños, pero desaparecen con el tiempo).

Por otro lado, Nichola Cox busca crear una máxima eficiencia al tener una mezcla de R717 y R171 (Amoníaco y Etanol), para producir un nuevo fluido de trabajo que se pueda utilizar en las plantas OTEC. Entre las ventajas de esta mezcla está su nulo índice de Potencial de destrucción del Ozono (de sus si-

Tabla 2. Candidatos de fluidos de trabajo a utilizar en OTEC.

Fluido	Estado a 20°C	Inflamabilidad (°C)	Límite de exposición (ppm)	Toxicidad humana
Amoníaco	Gas	671	50	Alta
Freón (R22)	Gas	632	-	Baja
Freón (R11)	Líquido	-	-	Baja
Clorometano	Gas	632	100	Moderada
Cloruro de metileno	Líquido	615	500	Moderada
Dióxido de Nitrógeno	Gas	-	5	Alta
Formiato de metilo	Líquido	465	100	Moderada
Metilamina	Gas	430	10	Alta
Etilamina	Líquido	385	10	Alta

Fuente: Myers *et al.*, 1986. NOTA: El símbolo '-' representa la información que no se encontraba en la tabla



glas en inglés ODP) y bajo índice de Capacidad de Calentamiento Global a 100 años (de sus siglas en inglés GWP), su alta capacidad refrigerante y reducción del tamaño del equipo. (A Novel Working Fluid for Ocean Thermal Energy Conversion, 2012).

Selección del fluido de trabajo

Cuando se diseña una planta OTEC de ciclo cerrado es necesario seleccionar un fluido de trabajo de baja temperatura de ebullición: Un punto de ebullición por debajo de la temperatura ambiente, a presión atmosférica. Los fluidos que cumplen con dicha condición son los que se utilizan como refrigerantes en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado. Existen diferentes categorías de estos fluidos:

- Inorgánicos: amonio, dióxido de carbono, etc.
- Hidrocarburos: propanos, butano, ciclopropano y propileno.
- Halocarbonos: Clorofluorocarbonados, hidroclofluorocarbonados e hidrofurocarbonados.

En general, la nomenclatura se divide de la siguiente forma:

- La 'R' es por refrigerantes.
- Las letras 'a', 'b', 'c' y 'd' son para los isómeros, donde 'a' es el más simétrico y 'd' el menos simétrico.
- Las letras 'A', 'B' y 'C' son utilizadas para las mezclas que tengan los mismos compuestos pero en diferente cantidad proporción.
- Las mezclas zeotrópicas son de la serie 400.
- Las mezclas azeotrópicas son de la serie 500.
- Los compuestos orgánicos son de la serie 600.
- Los compuestos son de la serie 700.

Respecto a los hidrocarburos y sus derivados, se dice que (considerando la numeración de los dígitos de derecha a izquierda):

- Primer dígito = número de átomos de flúor en el compuesto.
- Segundo dígito = número de átomos de hidrógeno más 1.
- Tercer dígito = número de átomos de carbono menos 1 (no se usa cuando es igual a cero).
- Cuarto dígito hacia la izquierda = número de enlaces dobles.

Elegir un buen fluido de trabajo es crucial para el éxito del proyecto y su elegibilidad depende del tamaño de las turbinas y del intercambiador de calor; así como las propiedades termodinámicas del propio fluido (conductividad, densidad, viscosidad, tensión superficial, entalpía de vaporización, toxicidad, etc.) (Nihous *et al.*, 2012).

Esta selección generalmente se realiza generando filtros que dependen de los parámetros que el investigador considere más importantes para su estudio. Entre los parámetros que más son tomados en cuenta son:

- El Potencial de Destrucción del Ozono (ODP).
- La Capacidad de Calentamiento Global a 100 años (GWD).

- La Presión de Vapor a 15.56°C superior a la presión atmosférica.
- Los valores de ϕ y β (Parámetros para el dimensionamiento de turbina e intercambiadores de calor).
- La inflamabilidad y toxicidad.
- Los costos.

Potencial de Destrucción del Ozono (ODP)

El valor del ODP corresponde a la habilidad del fluido de trabajo para destruir el ozono estratosférico y es relativo al ODP del R11 (un Clorofluorocarbono, mejor conocido como CFC) quien es el que mayor impacto tiene sobre la capa de ozono.

Cabe señalar que el Gobierno Mexicano ha suspendido el uso de los CFC al comprobar, mediante estudios realizados, en ese entonces, por el Instituto Nacional de Ecología, que este tipo de sustancias causaban una afectación considerable hacia el medio ambiente. A lo largo de los años, México ha firmado múltiples tratados, tal como el Protocolo de Montreal, con lo que se ve en la tarea de eliminar el uso de gases que causen un daño a la capa de ozono. Incluso en el Plan Administrativo para la eliminación de los HCFC (Hidrocloro-fluorocarburos) México prevé reducir el 30% del consumo de este tipo de refrigerantes. Con base en esto, en la selección del fluido de trabajo es pertinente considerar un nivel mínimo de la capa de ozono, para en un futuro no incurrir en problemas legales.

Capacidad de Calentamiento Global a 100 años (GWD)

El valor del GWP corresponde a la capacidad del fluido de trabajo a contribuir al calentamiento global tomando como referencia al dióxido de carbono, los valores corresponden a un periodo de 100 años.

En México todavía no existen regulaciones en cuanto al límite de GWP para los gases refrigerantes. Sin embargo en la Unión Europea en el “Reglamento (UE) No. 517/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de abril de 2014 sobre los gases fluorados de efecto invernadero”, establece en su Artículo 11, Apartado 1, las prohibiciones de comercialización contempladas para el año 2020, donde se especifica que aquellos sistemas de refrigeración fija que contengan algún HFC o cuyo funcionamiento dependa de él y tengan un GWP igual o mayor a 2500, deberá ser retirado del mercado. Por lo que este valor se decidió retirar aquellos refrigerantes que fueran mayores a 2 500. Cabe mencionar que, al principio del mismo Reglamento, en el apartado 12 de las Consideraciones, se dice que “Debe permitirse que se comercialicen los aparatos que contengan gases fluorados de efecto invernadero si sus emisiones totales de gases de efecto invernadero, teniendo en cuenta índices realistas de fugas y recuperación, son inferiores, durante su ciclo de vida, a las que se producirían a partir de un aparato equivalente sin gases fluorados de efecto invernadero (...)”.



Toxicidad

En cuanto a la toxicidad, se dice que es la propiedad que hace a una sustancia nociva o letal para personas o animales debido a una exposición intensa o prolongada por contacto, ingestión o inhalación. Se clasifican en los siguientes grupos:

Grupo A: Refrigerantes cuya concentración media con el tiempo no tiene efectos adversos para la mayoría de los trabajadores que pueden estar expuestos al refrigerante durante una jornada laboral de 8 h diarias y 40 semanales y cuyo valor es igual o superior a una concentración media de 400 ml/m^3 (400 ppm(v/v)).

Grupo B: Refrigerantes cuya concentración media con el tiempo no tiene efectos adversos para la mayoría de los trabajadores que pueden estar expuestos al refrigerante durante una jornada laboral de 8 h diarias y 40 semanales y cuyo valor es inferior a una concentración media de 400 ml/m^3 (400 ppm(v/v)).

Inflamabilidad

En función de su inflamabilidad, los refrigerantes se clasifican en los tres grupos siguientes, de acuerdo a su límite inferior de inflamabilidad a temperatura ambiente y presión atmosférica.

Grupo 1: Refrigerantes no inflamables en estado de vapor en cualquier concentración en el aire.

Grupo 2: Refrigerantes cuyo índice inferior de inflamabilidad, cuando forman una mezcla con el aire, es igual o superior al 3.5% en volumen (V/V).

Grupo 3: Refrigerantes cuyo índice inferior de inflamabilidad, cuando forman una mezcla con el aire, es inferior al 3.5% en volumen (V/V).

El OEL en ppm (v/v) para una jornada de trabajo diaria de 8 a 10 horas al día o de 40 horas a la semana en un promedio ponderado en función del tiempo. Se refiere a la cantidad máxima a la que puede estar expuesta una persona a cada tipo de refrigerante por horas a la semana. Esto significa que cuanto mayor sea este número, menos tóxico será el refrigerante.

Por otro lado, el LFL, está dado en porcentaje de concentración en el aire ambiente. Esto significa que indica la cantidad mínima de concentración de refrigerante para que éste sea inflamable en contacto con el aire. Con esto, se tendría que a menor número de LFL, es menos probable que el refrigerante se encienda.

Dimensionamiento de la turbina e intercambiadores

En cuanto al dimensionamiento de la turbina se busca minimizar el flujo volumétrico para reducir la sección de los álabes y de la tubería de admisión (Marchand, 1985). Este debe ser inversamente proporcional al producto de la presión (P_v), entalpía de vaporación, (h_{lg}) y el peso molecular (M). Un valor máximo de este producto β , le corresponde el mínimo volumen requerido para la turbina, ductos y válvulas asociadas (Avery *et al.*, 1994).

$$\beta = P_v \Delta h_{lg} M$$

Para el dimensionamiento de los intercambiadores, se busca disminuir su superficie de intercambio, que se obtiene de la fórmula siguiente:

$$A = \frac{Q \cdot}{U_o \Delta T_m}$$

Donde:

$Q \cdot$ = flujo de calor (W).

U_o = Coeficiente global del intercambiador (W/m² °C).

A = Área del intercambiador (m²).

Por lo que se debe disminuir la resistencia térmica R_o ($1/U_o$) entre la pared y el fluido. Para la condensación del vapor en tubos verticales u horizontales de diámetro D , el coeficiente de calor h puede ser expresado por la relación de Nusselt (Avery *et al.*, 1994).

$$h = \left[\frac{k^3 \rho^2 h_{lg}}{D \mu \Delta T} \right]^{1/4}$$

Donde k es la conductividad térmica, ρ densidad del líquido y μ viscosidad dinámica. Para una temperatura dada y diámetro de tubo se tiene:

$$h = \text{constante} \left(\frac{k^3 \rho^2 H_{lg}}{\mu} \right)^{(1/4)} = \text{constante} \times \varphi$$

Un máximo valor de φ está asociado con una mínima área de intercambiador de calor.

Como se observa el Potencial de Destrucción del Ozono (ODP), la Capacidad de Calentamiento Global a 100 años (GWD), los parámetros para el dimensionamiento de la turbina e intercambiadores de calor (φ y β), la inflamabilidad y toxicidad son insumos importantes para seleccionar el fluido de trabajo de una planta OTEC de ciclo cerrado, la ponderación de estos parámetros dependen de las condiciones de cada proyecto.





4

Criterios de Selección de Sitios

La tecnología OTEC es aplicable en la mayoría de los países cercanos al mar. Los criterios más importantes para seleccionar sitios adecuados para la instalación de una planta OTEC son:

- Accesibilidad para el bombeo de agua fría.
- Profundidad para bombeo de agua fría máxima de 1000 m.
- Distancias cortas de la línea de costa al agua fría (máximo 10 km), con una pendiente topográfica de 15- 20°.
- Adecuada Topo-batimetría de la zona costera para construcción.
- Gradiente térmico entre aguas superficiales y profundas de al menos 20 °C, para obtener la mayor eficiencia posible.
- Baja probabilidad de terremotos, tormentas y otros peligros naturales.
- Baja probabilidad de daños ecológicos (Vega, 2010; Syamsuddin *et al.*, 2015).

Por otra parte, es importante conocer la presencia de áreas naturales protegidas, marcos regulatorios de los sitios, así como la densidad de población, demanda de energía per cápita, la disponibilidad de las líneas de costas, la actual fuente de energía de la región, la infraestructura turística y la cantidad de turistas que viajan al año, etc. (Crews, 1997).





5

Eficiencia de OTEC

La diferencia de temperatura entre el flujo de agua caliente y el flujo de agua fría, tiene un fuerte impacto en la eficiencia del sistema. Es por eso que antes de implementar una planta, es necesario para su diseño realizar meticulosas simulaciones de la operación.

La eficiencia de una máquina térmica está limitada por el principio de Carnot.

$$\eta = \frac{T_w - T_c}{T_c}$$

Dónde:

η = Eficiencia de Carnot

T_w = Temperatura absoluta del agua cálida

T_c = Temperatura absoluta del agua fría

En una planta OTEC el gradiente térmico, entre el agua superficial y el agua profunda, debe ser convertido para alcanzar el máximo rendimiento de la planta. La eficiencia teórica, de la planta es del 8%, cuando el gradiente térmico es del orden de 21°C. En la realidad, la eficiencia térmica obtenida suele ser de entre 1% - 3%, y se debe a diversos factores, como, por ejemplo: 1) Para obtener una cantidad significativa de energía, se necesitan grandes cantidades de flujo



de agua y 2). La tecnología es muy sensible a pérdidas energéticas (Grupo iiDEA, 2016; OTEC Matters, 2015).

En el sistema OTEC la conversión energética térmica-mecánica la impulsa un gradiente muy bajo comparado con un proceso hidro-termoeléctrico que tenga como base energética los hidrocarburos (Syamsuddin *et al.*, 2015). Lograr una alta eficiencia termodinámica dentro del ciclo de la planta es de vital importancia, pues de lo contrario se generarían consecuencias físicas como son:

- Grandes requerimientos de flujo de agua.
- Tuberías muy largas.
- Cantidades considerables de calor transferido a las aguas superficiales.
- Tamaño de planta exorbitante (Shapiro, 2014).

Algunas investigaciones recientes acerca del incremento de eficiencia de OTEC señalan lo siguiente:

- Entre mayores sean las diferencias de temperaturas entre superficie y fondo del agua de mar, mayor eficiencia térmica se obtendrá en la turbina. Por ejemplo, para una planta de 15 kW, con un ciclo cerrado y amonio como fluido de trabajo, se tiene una máxima eficiencia de 73% con una diferencia de temperatura de 19.7°C (Fengyun *et al.*, 2016).
- A mayor profundidad de bombeo del agua marina, mayor eficiencia tendrá la planta. Por ejemplo, para una planta de 10 MW, se encontró que el valor máximo de eficiencia a un menor costo fue de 3.37% a una profundidad de bombeo de 600 m (flujo de agua fría) y una profundidad del agua de retorno de 100 m (Soto, 2014). Las condiciones de trabajo se resumen en la tabla 3.
- Al aumentar la potencia de la planta, aumenta la eficiencia de la misma, por ejemplo, una planta de 5 MW, genera una eficiencia de 2.6%; mientras que una planta de 40 MW tiene una eficiencia de 3.4% (Soto *et al.*, 2014).
- Usar un nuevo tipo de ciclo, llamado ciclo de bomba expulsora EP-OTEC (figura 12). Este tipo de ciclo produce una eficiencia del 4%, el cual es mayor que los ciclos normalmente utilizados (2.9% de eficiencia). Utiliza un eyector líquido de vapor y una bomba motriz, con un fluido de trabajo R125a. En la entrada del evaporador, se instala un distribuidor que divide al flujo de trabajo de dos formas: 1) En el evaporador se genera un intercambio de calor con el agua marina superficial, el fluido es transformado en vapor de alta presión, el cual impulsa la turbina y finalmente es arrastrado al eyector de vapor líquido; 2) La otra parte del fluido pasa a través de la bomba motriz instalada en la entrada del eyector (Jung-In *et al.*, 2017). Las condiciones de trabajo se resumen en la tabla 4.
- Utilizar celdas solares en el sistema OTEC, puede aumentar 1.5 veces la eficiencia térmica neta anual que el sistema convencional. Sin embargo, aún falta realizar más estudios acerca de esta nueva tecnología llamada SOTEC. En la figura 14, se representa la operación esquemática de SOTEC (Yamada *et al.*, 2009).

Tabla 3. Condiciones de diseño para una planta OTEC con ciclo híbrido de 25-37 MW.

Parámetro	Valor	Unidad
Flujo de trabajo en ciclo Rankine	Amonio	
Eficiencia de la turbina	0.9	
Eficiencia del generador	0.95	
Eficiencia de la bomba	0.85	
Coefficiente de transferencia global de calor del evaporador	4.9	$\text{kWm}^{-2}\text{K}^{-1}$
Coefficiente de transferencia global de calor del econdensador	4.42	$\text{kWm}^{-2}\text{K}^{-1}$
Temperatura del efluente	10	$^{\circ}\text{C}$
Proporción del flujo del agua superficial	25.61	m^3s^{-1}
Rugosidad de la bomba de agua fría	4×10^{-6}	m
Velocidad del agua de mar en la tubería	1.9	ms^{-1}
Estrés máximo de la tubería	618.9	Mpa
Área efectiva de las placas del condensador	3.2	m^2
Separación de las placas del condensador	5×10^{-3}	m
Espesor de las placas del condensador	1×10^{-3}	m
Área efectiva de las placas del evaporador	3.2	m^2
Separación de las placas del evaporador	5×10^{-3}	m
Espesor de las placas del evaporador	1×10^{-3}	m
Presión del evaporador	1.5	kPa

Fuente: Soto, R. y J.Vergara (2014). Thermal power plant efficiency enhancement with Ocean Thermal Energy Conversion. *Applied Thermal Engineering*, 62, 105-112.

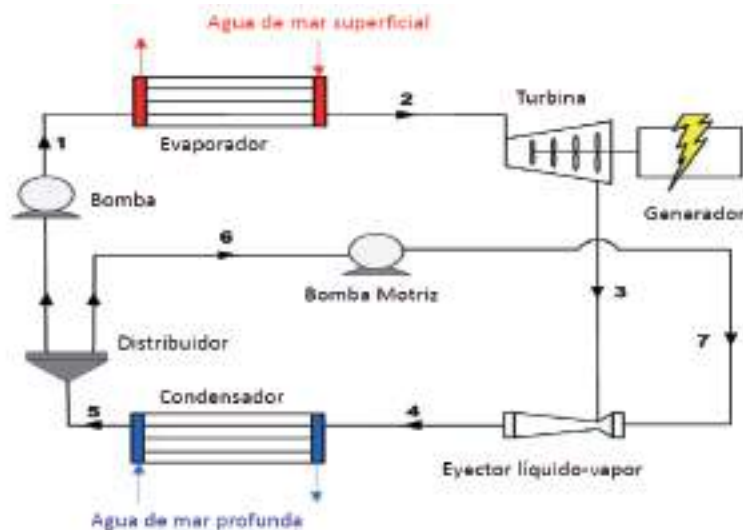


Figura 13. Esquema del ciclo EP-OTEC. Fuente: Adaptada de Jung-In Y; Sung-Hoon S; Chang-Hyo S; Suk-Ho J; Young-Bok K; Ho-Saeng; L; Hyeon-Ju Kim ; Jung-Hyun M. (2017). Analysis of the high-efficiency EP-OTEC cycle using R152a. *Renewable Energy*, 105, 366 -373.

Tabla 4. Condiciones para un ciclo EP-OTEC.

Parámetro	Valor	Unidad
Fluido de trabajo	R-152a	
Potencia bruta de la turbina	20	kW
Temperatura del agua profunda en la entrada del condensador	5	°C
Diferencia de temperatura del agua profunda (entrada y salida)	5.8	°C
Eficiencia de la turbina	80	%
Eficiencia de la bomba	65	%
Temperatura del intercambiador de calor	3.5	°C
Caída de presión del intercambiador de calor (fluido de trabajo/agua)	10/50	kPa
Temperatura de la fuente de calor	24-29	°C
Fracción-masa de la bomba motriz	0.3-0.9	
Presión de la bomba motriz	0.8-1.3	kPa

Fuente: Jung-In Y; Sung-Hoon S; Chang-Hyo S; Suk-Ho J; Young-Bok K; Ho-Saeng; L; Hyeon-Ju K; Jung-Hyun M.(2017). Analysis of the high-efficiency EP-OTEC cycle using R152a. *Renewable Energy*, 105, 366-373.

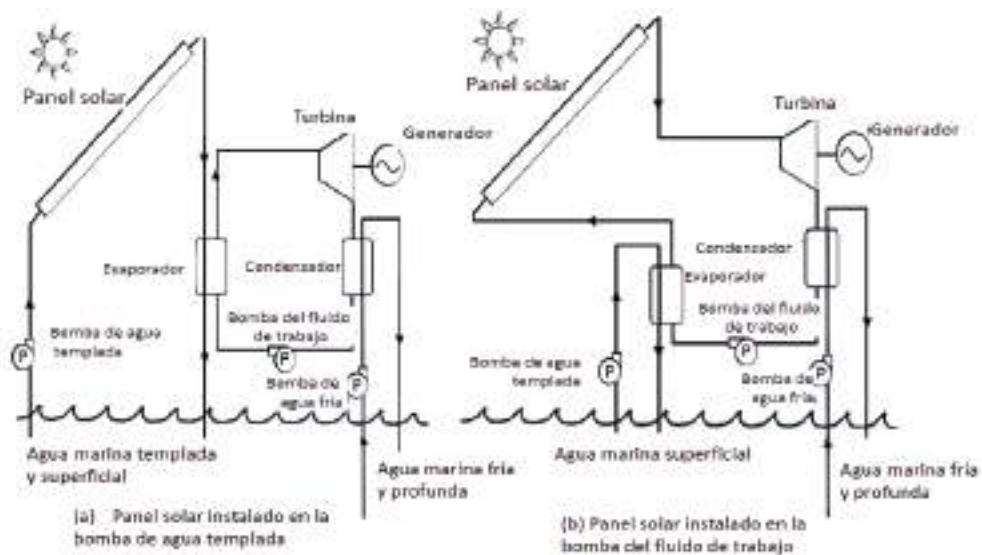


Figura 14. Operación esquemática de sOTEC Fuente: Adaptada de Yamada Noboru; Hoshi Akira; Ikegami Yasuyuki. (2009). Performance Simulation of Solar-boosted Ocean Thermal Energy Conversion Plant. *Renewable Energy*, 34 (7), 1752-1758.



6

Factores Económicos

A pesar de que en las condiciones económicas mundiales una planta OTEC no parece muy competitiva, presenta enormes beneficios con el aprovechamiento de los subproductos, además que una central puede ofrecer autonomía energética a los países que hoy en día dependen del petróleo y que la construcción de este tipo de plantas promueve la economía local.

En sitios donde existen plantas OTEC, como en la isla de Kumejima (Japón), se ha visto que desde que se instaló la planta en el año 2003, nuevas industrias se han desarrollado y ahora representan el 25% de la entrada económica total de la isla, generando una facturación anual de 20 millones de dólares americanos (USD) (Osorio *et al.*, 2016).

La compañía Lockheed Martin junto con el Dr. Luis Vega, analizaron los costos de plantas OTEC para darnos una visión general de los precios, los cuales se muestran en la figura 14.

Los diferentes parámetros que influyeron en la variación de costos OTEC fueron:

- **Capacidad eléctrica y clasificación:** Plantas con mayor capacidad eléctrica y construidas sobre plataformas podrían tener costos más bajos (\$ 2 650 USD/kW,), que las de menor capacidad (1 a 10 MW) y construidas en sistemas flotantes (\$ 16 400 a 35 400 USD/ kW) (Muralidharan, 2012; Vega, 2012).

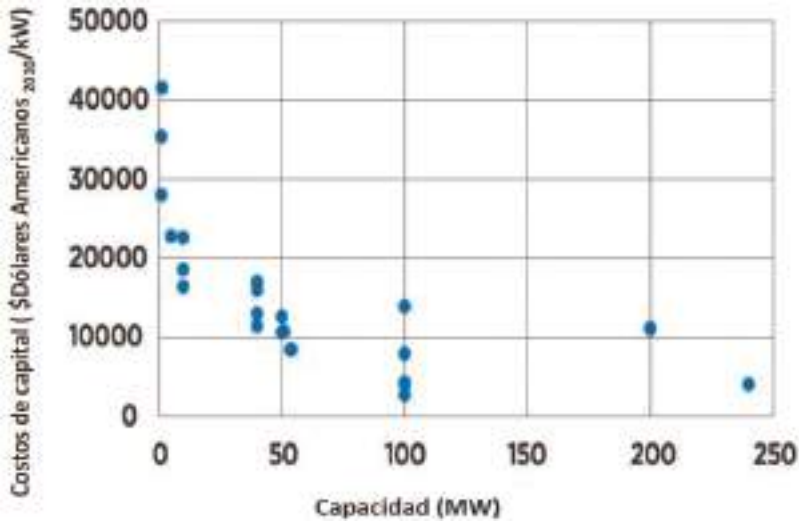


Figura 15. Costos de capital estimados para plantas OTEC. Fuente: Adaptada de International Renewable Energy Agency (IRENA). (2014). Ocean Thermal Energy Conversion Technology Brief. Recuperado de: <https://goo.gl/1bPIhL>

- **Tipo de ciclo:** El diseño de ciclo cerrado es ligeramente más económico que el de ciclo abierto (Vega, 2010).
- **Subproductos:** subproductos como agua dulce aumentaría el costo de instalación, pero mejoraría la economía en regiones donde existe gran demanda (Straatman *et al.*, 2008; Lewis *et al.*, 2011).
- **Distancia de la fuente térmica a la costa:** A mayor distancia entre la línea de costa (mayor a 10 km) y la obtención de agua fría, mayor será el costo y la pérdida de energía.
- **Potencial térmico:** Entre mejor sea el potencial térmico marino donde se pretenda construir la planta, tendrá mayor eficiencia térmica, energética y económica.
- **Disponibilidad:** Para evitar pérdidas económicas, se debe asegurar que la planta funcione la mayor parte del tiempo.

Otros parámetros a tomar en cuenta son: infraestructura de la locación, posibles impactos ecológicos, agentes climáticos y medio físico, que pudieran afectar la operación continua de la planta (Universidad de Saga, Japón).

Los costos de operación y mantenimiento dependen de la clasificación de la planta: a) En tierra (on-shore), se necesitarían al menos 10 trabajadores y b) Sistemas flotantes (off-shore) se necesitarían 17 trabajadores. Además, se debe considerar que se necesitan 12 operadores para laborar todo el año (24/365) y al menos 5 ingenieros o personas encargadas de la administración de la planta (Vega, 2007).

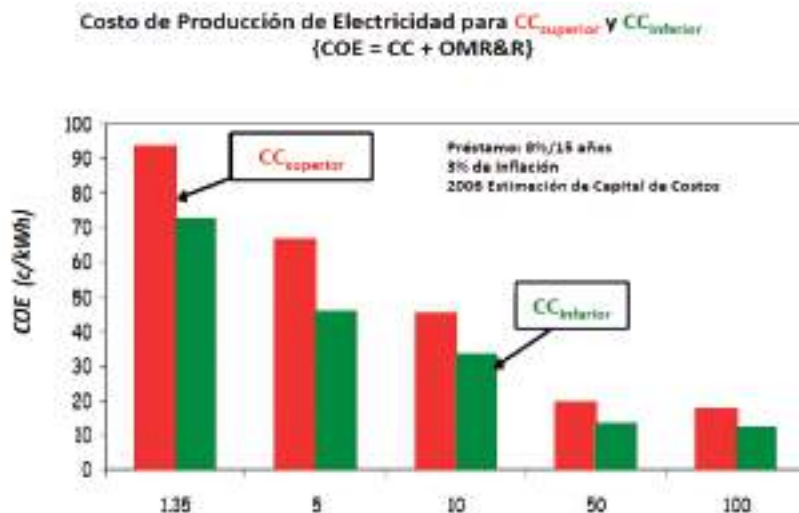


Figura 16. Costos estimados de producción de electricidad de una planta OTEC (COE).
 cc: Costo capital de amortización; OMR&R: Operaciones, Mantenimiento, Reparación y Reemplazo.
 Fuente: Adaptada de Vega (2007). Ocean Thermal Energy Conversion Economics.
 Offshore Infrastructure Asso.

El costo de producción depende de la vida de la planta y se debe asumir el 3% de inflación constante. Con respecto a la figura 16, se observa que entre mayor sea el tamaño de la planta, más bajo es el costo de producción de electricidad.

Para probar que OTEC es rentable y competitiva como otras fuentes de generación de energía y desalación, es necesario realizar un análisis económico previo a su implementación. Obtener análisis detallados de costos de capital expresados en $\$ kW^{-1}$ neto, costos de extracción de combustible, costos socio-culturales, costos de corrosión, uso de tierra y subsidios.

Las plantas OTEC representan una gran inversión de capital, se necesita también una gran experiencia operacional y de diseño, sin embargo, la economía de escala hace más viable financieramente hablando invertir en plantas de gran tamaño. Para el desarrollo de plantas OTEC en el país conviene minimizar los costos de inversión, conseguir el mayor porcentaje de financiamiento posible y lograr la comercialización de los usos secundarios para que se puedan reportar indicadores financieros positivos y se pueda promover este tipo de tecnologías (Bernal, 2016).



Distribución del costo de una planta OTEC de ciclo cerrado de 5 MW

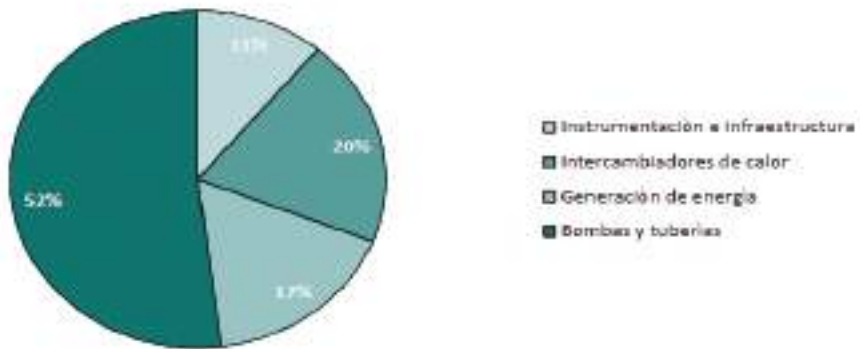


Figura 17. Distribución del costo de una planta OTEC.
Fuente: Adaptada de Aviña (2007).



7

Impacto Ambiental

En cuanto a los impactos ambientales, los estudios apuntan en varias áreas de investigación: las emisiones de CO₂, el arrastre de nutrientes a la superficie y el cambio de la termoclina.

Las emisiones de CO₂ del sistema OTEC hacia la atmósfera podrían ser de 0.1 kg kW⁻¹ por bombear agua de las profundidades, comparándolo con los 0.8 kg kW⁻¹ de generación con combustibles fósiles (Twidell *et al.*, 2006).

El arrastre de nutrientes a la superficie, desde el punto de vista ambiental es uno de los principales temas de investigación, pues implica procesos bioquímicos y térmicos. El agua fría que es bombeada a la superficie del mar tiene diferente composición (química y térmica) y es energéticamente imposible regresar este tipo de agua a la profundidad de donde proviene, por lo tanto, esta agua es expulsada cerca de la superficie (entre 100 y 150 m), muy cerca de zona fótica (aquella en la que se lleva a cabo la fotosíntesis).

Los efectos ambientales sobre esta capa incluyen: (Sands, 1980; Nihous, 2012).

- Las sustancias peligrosas en una planta OTEC CC se limitan al fluido de trabajo (amonio) y cloro usado en el evaporador como anti incrustaciones biológicas. En la operación de una planta OTEC CC estas emisiones son menores.

- El cloro usado para el evaporador de OTEC es menor al 5% de los límites permitidos por la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos (Environmental Protection Agency, EPA).
- Atracción de biota por los nutrientes extraídos del fondo marino (nitratos, fosfatos, silicatos).
- Liberación de revestimientos tóxicos al mar.
- Arrastre y compresión de organismos.
- Redistribución de las masas de agua oceánicas.
- Impacto por fugas de fluido de trabajo.
- Impacto por los químicos anti incrustantes orgánicos.
- Descargas sanitarias de la estación.
- Descargas industriales de procesos.
- Anclajes e implantación de cables y tuberías.

De acuerdo con García-Huante (2015), una planta OTEC posiblemente no generaría contaminación termohalina, debido a que los perfiles verticales de temperatura y salinidad con operación de la planta y sin operación son similares; esto es debido a que el agua de descarga (cuya temperatura de salida es de $15.5^{\circ}\text{C} \pm 1.7^{\circ}\text{C}$ cuando va mezclada) tenderá a ubicarse en la columna de agua, de acuerdo a su densidad. La profundidad en la que se mezclará depende del sitio de ubicación de la planta.

Estudios ambientales de la planta que opera en Hawái, han identificado parámetros oceanográficos a considerar en dicha evaluación los cuales se agrupan de la siguiente manera (Hawaii National Marine Renewable Energy Center, 2017):

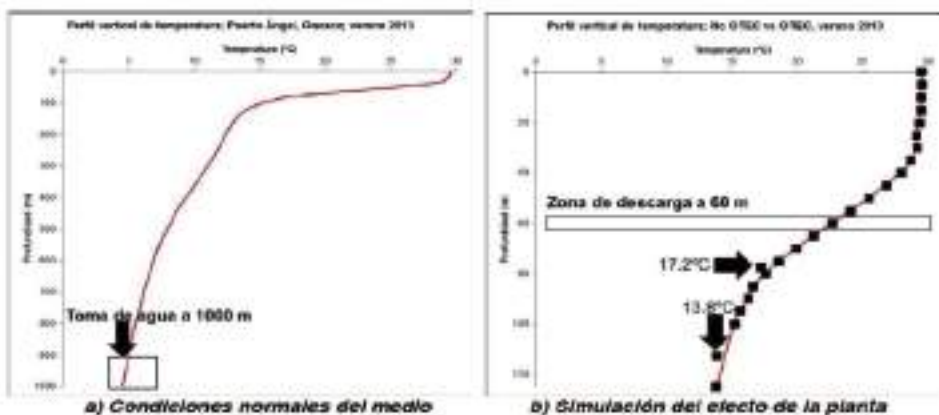


Figura 18. Perfil vertical de densidad para Puerto Ángel, Oaxaca, a) sin operación de la planta OTEC en verano; b) con operación de la planta OTEC en verano.

Fuente: García-Huante, A. (2015). Posibles efectos oceanográficos por la operación de una planta OTEC en puerto Ángel, Oaxaca, México. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

- Biológicos y nutrientes: nitratos, fosfatos, silicatos, clorofila a.
- Datos de CTD: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto.
- Sistema carbonatado: Carbono inorgánico disuelto, pH, alcalinidad.

El tipo de estudios que se hicieron en Hawái para evaluar problemas de impacto biológico se muestran en la tabla 5.

El parámetro que más impactos tiene es la presencia de plataforma, existen estudios precedentes provenientes de la industria del petróleo y gas, los demás parámetros de estudio son nuevos, por lo que su relevancia es mayor.

En general una planta OTEC produce ruido y vibraciones, ligados el sistema de energía, amarres y tuberías. Estos efectos pueden perturbar el comportamiento de la fauna marina, atrayéndolos o asustándolos. En la actualidad no existe información para este tipo de efectos, sin embargo, algunos autores piensan que se podría equipar las plantas con hidrófonos que permitan realizar mediciones de ruido que servirán como base de datos para iniciar este tipo de estudios (Nihous, 2012).

Otro tipo de impacto que podrían tener las plantas OTEC es “la agregación de peces” o “efecto arrecife artificial”. En las tuberías, amarres, plataformas etc., podrían desarrollarse ecosistemas marinos o el proceso de bombeo de agua fría podría atraer fauna marina, lo cual de primera instancia beneficiaría a los pescadores de la zona. Este tipo de efecto es difícil de predecir antes de construir una planta, porque depende de varios parámetros físicos, biológicos y humanos.

Tabla 5. Principales problemas de impacto biológico para una planta OTEC flotante en Hawaii.

Recurso	Construcción	Presencia de plataforma (Ruido, sombra, iluminación)	Tomas de agua (Arrastre e impacto)	Descarga de agua (Arrastre secundario y contaminación)
Plancton y micronecton	000	000	■ ■ ■	■ ■ ■
Necton	000	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
Mamíferos marinos	000	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
Tortugas marinas	000	■ ■ ■	■ ■ ■	000
Aves	000	■ ■ ■	000	000
Bentos		■ ■ ■	000	000

Claves: ■ ■ ■ Impactos potencialmente significantes.

000 Impactos probablemente insignificantes.

Fuente: Havens P; Morgan C; MacDonald D. (2010). Environmental Planning and Management for OTEC pilot projects. In Oceans 2010. IEEE, 1-8.



Centro Mexicano de Innovación en Energía - Océano

Conversión de Energía Térmica Oceánica (OTEC)
Estado del Arte



8

Factores Sociales

Dentro de los beneficios sociales que se pueden mencionar al construir una planta OTEC son: mejoramiento de la calidad de vida, disminución en la emisión de contaminantes nocivos a la salud humana, oportunidades locales de empleo, etc.

Algunos estudios realizados en Colombia (Osorio *et al.*, 2016), han concluido que para una buena aceptación social de la tecnología OTEC, es importante dar a conocer los beneficios potenciales. Para esto se ha propuesto difundirlo bajo el título de “Eco-parques OTEC (OTEP)” en donde además de proveer electricidad a las comunidades, se de uso extensivo de los subproductos que se generan para crear un proceso dinámico de divulgación que conlleve a una mayor aceptación.

Un buen proceso de difusión sobre generación de energía y los posibles usos potenciales de los subproductos como: agua potable, aire acondicionado y agua rica en nutrientes, que sea llevado al contexto de las necesidades de la población como, satisfacer la demanda de agua y energía, mejoramiento de la producción de maricultura local que se traduce en seguridad alimentaria, así como creación de nuevos empleos e industrias, que se reflejará en progreso de la calidad de vida de las comunidades, hará mucho más atractiva y competitiva la integración de OTEC donde se suele obtener energía de los combustibles fósiles (Osorio *et al.*, 2016).



Se ha demostrado que con políticas públicas adecuadas se puede influir positivamente hacia un cambio en el comportamiento de la sociedad, como fue el caso del programa de eficiencia energética, que consiguió resultados muy importantes combinando información adecuada y suficiente con programas de financiamiento dirigidos a la población de menores recursos económicos. Si bien puede encontrarse un buen grado de aceptación de esta tecnología en comunidades que carecen de servicio eléctrico, también representa un reto en comunidades donde se goza del servicio convencional de energía y que un cambio representa una carga económica que suele ignorar o minimizar los otros beneficios que se obtienen (López *et al.*, 2016).

Considerando los cambios recientes en la legislación eléctrica del país se abren diferentes alternativas que es pertinente analizar con el fin de encontrar maneras de aprovecharlas a favor del desarrollo de las comunidades. A pesar de que existen diferentes ventajas de la incursión de OTEC en la sociedad, hacen falta estudios que den información acerca de los posibles niveles de aceptación o rechazo de las comunidades hacia esta tecnología. Una de las posibles fuentes de rechazo podría ser el impacto visual y ruido que esta planta generaría.



Marco Regulatorio

A nivel mundial, el marco regulatorio de OTEC no ha sido definido. Desde 1981 en Estados Unidos la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA), promulgó una licencia de regulaciones y de impacto ambiental para una planta comercial OTEC, sin embargo, por recorte al presupuesto en 1996 la NOAA decidió disolver dichos programas (NOAA, 1981). La necesidad creciente de aprovechamiento de nuevas y renovables fuentes de energía, ha hecho que institutos, universidades y compañías vuelvan a enfocarse en OTEC y actualmente la NOAA está en proceso de realizar nuevas licencias y regulaciones.

En Hawái ya se han construido plantas pilotos y tienen experiencia en este rubro. Los factores legislativos y regulatorios que ellos tomaron en cuenta para su construcción fueron: “*Permisos federales y permisos de estado*”.

Dentro de los “permisos federales” se encontraban permisos de departamentos ambientales, de pesca y vida salvaje, servicios de pesca, licencia de derechos de paso para una planta que se encuentre en tierra, permisos de construcción, de relleno y dragado, ayuda del servicio de navegación.

En los “permisos de estado” se encontraban requisitos de interconexión, de compra y venta de energía, calidad del agua, correcto uso de plataformas continentales y agua marina, actas de preservación de especies marinas, etc. (Hawaii National Marine Renewable Energy Center, 2017).



En México existe un vacío legal, a pesar de que las energías renovables se encuentran contempladas en programas sectoriales, debido a que no existe una ley que las regule específicamente. La Secretaría de Energía (SENER) dentro de las prospectivas energéticas 2014-2018 ha mencionado que la demanda energética debe satisfacerse con el 35% de energías limpias para el año 2024 (Mendoza *et al.*, 2016).

El documento normativo más importante es el Programa Nacional de Energía 2001-2006, que contiene la visión general del sector energético y promueve el uso de los recursos naturales, SENER tiene iniciativas para promover el desarrollo de nuevas tecnologías y programas para aprovechar las fuentes de energía alternas y renovables.

Algunos marcos regulatorios básicos para las energías renovables a tomar en cuenta son: *Constitución Política, Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, Ley y Reglamento para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, Ley de la Comisión Reguladora de Energía, Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, Ley de Caminos, Puentes y Auto-transporte Federal, Ley de Desarrollo Rural Sustentable, Ley de Energía para el Campo, Ley del Impuesto sobre la Renta, Ley Federal de las Entidades Paraestatales, Ley y Reglamento Federal Sobre Metrología y Normalización, Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Ley de las Aguas Nacionales, Reglamento de la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, en Materia de Aportaciones, Reglamento de la Ley para el aprovechamiento Sustentable de la Energía, Reglamento Interior de la Secretaría de Energía* (Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026).

En cuanto a OTEC sería de vital importancia establecer la creación de un marco legal y regulatorio para hacer factible su uso, el establecimiento y cumplimiento de una normativa ambiental, así como la creación de normas y estándares para el sistema técnico y ambiental (Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la República, 2004).



10

Beneficios de OTEC

Una planta OTEC puede generar varios beneficios y subproductos que representan un mercado lucrativo para muchas industrias. Algunos beneficios que provienen de la instalación de una planta de este tipo son:

- Fuente de energía abundante, renovable y geográficamente diversa.
- No dependen de combustibles fósiles ni de las fluctuaciones del mercado mundial.
- Generación de agua rica en nutrientes.
- Producción cantidades considerables de agua dulce.
- Producción de sistemas de enfriamiento (puede ahorrar entre el 75% a 85% de los costos en aire acondicionado).
- Producción de Hidrógeno.
- Producción de Litio.
- Producción de minerales (Hossain *et al.*, 2013; Vega, 2007).

Una planta OTEC de 10 MW, puede producir 52 5000 MWh año⁻¹ de electricidad neta; mientras que la producción diaria puede ser de millones litros de agua dulce, 260 kg de cloruro de litio y 150 000 botellas de agua mineral (Hossain *et al.*, 2013).

Por otra parte, la instalación de una planta OTEC de modo flotante con generación de 100 MW, puede generar los siguientes beneficios:

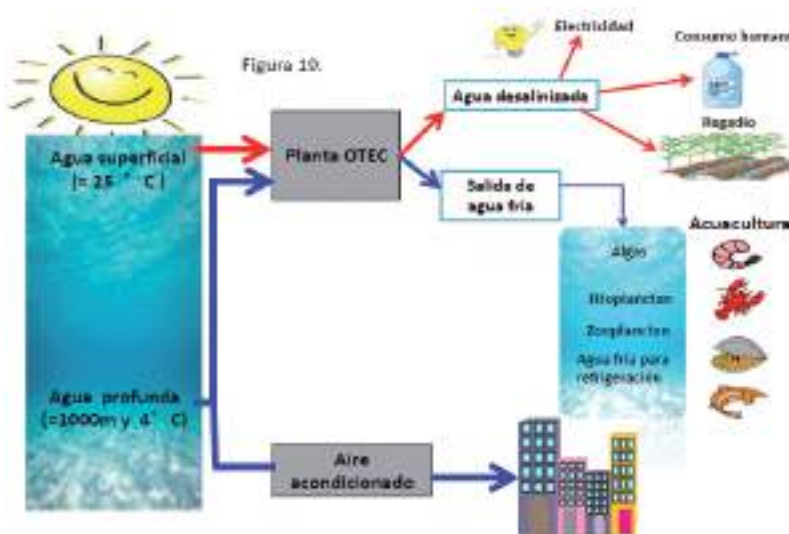


- Provee electricidad para 100 000 personas, produciendo 800 millones de kW al año.
- Reemplaza 1.3 millones de barriles de petróleo y evita la generación de 800 000 toneladas de CO₂ al año.
- Produce 120 millones de litros de agua dulce al día.
- Promueve el transporte de 4 km³ de agua rica en nutrientes al año, que puede servir para cultivar 70 toneladas de mariscos al día.
- Produce 1 300 kg de hidrógeno líquido por hora mediante electrólisis (Johnson, 2013).

PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE

La co-producción de cantidades grandes de agua dulce es una de las ventajas principales del proceso de OTEC. Hasta 2.6 millones de litros diarios de agua dulce (dotación suficiente para una población de 17 000 habitantes) se pueden producir por MW de capacidad bruta instalada de energía eléctrica (Aviña, 2007). El agua dulce es el resultado de la evaporación del agua superficial marina usada como fluido de trabajo (ciclo abierto). La evaporación ocurre porque el agua marina superficial se expone a un proceso de vacío parcial que disminuye su punto de ebullición a 23°C aproximadamente, obteniendo vapor de baja presión (Kim *et al.*, 2013).

En el ciclo abierto, este vapor se pasa a través de una turbina de baja presión (que acciona un generador para producir electricidad) y después el agua dulce líquida es condensada al transferir calor al agua de mar fría a través de un intercambiador de calor y finalmente se bombea para su mejor aprovechamiento (Aviña, 2007; Kim *et al.*, 2013).



AIRE ACONDICIONADO (PROCESO SWAC)

El agua de mar fría obtenida de la profundidad puede proporcionar un gran caudal que permita su utilización para generar aire acondicionado, incluso después de que haya pasado a través de la planta OTEC.

Como regla general, se puede mencionar que por cada 10 MW generado de energía bruta en una planta OTEC se pueden producir 5 MW de aire acondicionado extra. En la zona costera se podrían tener las siguientes ventajas:

Para una comunidad que está cerca de una fuente de agua de mar, la demanda total de aire acondicionado es grande, el costo total de energía local es alto, la utilización del aire acondicionado es grande (para la mayoría de la gente en las zonas costeras) y la distribución terrestre no es extensa (de fácil acceso a la carga de aire acondicionado). Bajo estas circunstancias y con el desarrollo y operación de la planta los ahorros de energía se han calculado teóricamente en un 90%, siendo la planta de Goseong la que más ha experimentado con este proceso al alcanzar un ahorro de un 45% manteniéndose en estudio (Aviña, 2007; Kim *et al.*, 2013; Kim, 2015 conversación personal).

ACUACULTURA

El agua de mar de las profundidades que se extrae de una planta OTEC tiene aplicaciones secundarias muy importantes; para la acuicultura existen tres ventajas principales:

- **Enfriamiento;** la baja temperatura constante del mar profundo no sólo permite el cultivo de organismos comerciales de agua fría en zonas tropicales, sino que también proporciona (cuando está mezclado con agua superficial o al calentarse con el sol tropical) medios exactos del control de la temperatura, confiable y rentable sobre la gama de temperaturas completas de 6° a 25°C (Aviña, 2007; Kim *et al.*, 2013).
- **Alimento;** (rico en nutrimentos) el mar profundo se enriquece con nitrógeno disuelto, fósforo, carbono y otros productos químicos que son esenciales para el crecimiento fitoplanctónico en el océano (Aviña, 2007; Kim *et al.*, 2013).
- **Puro;** debido a que existen organismos de tamaño pequeño en las profundidades del mar, de la cual se bombea el agua, esta presenta muy pocos patógenos o células viables de organismos fotosintéticos. Esto permite el cultivo -libre de enfermedades- de organismos sensibles y la producción de cultivos puros de organismos productores sin interferencia de especies competidoras (Aviña, 2007).

AGRICULTURA DE AGUA FRÍA (COLDAG)

Otra de las aplicaciones es la conocida como “ColdAg” o agricultura de agua fría. El agua fría se entuba y se desplaza por debajo del suelo cultivable para enfriarlo (de manera indirecta). Este proceso ayuda a que las raíces de las plan-



tas se mantengan frías y genera condensación de la humedad presente cerca del suelo (aproximadamente con 10°C), produciendo temperaturas a nivel de suelo de entre 25 y 30°C. A medida que el agua continúa enfriándose penetra a través del suelo hasta que alcanza el punto más frío de la zona de la raíz. Mientras que el agua emigra a través del suelo, acumula los minerales y los nutrimentos esenciales. Fuera de la superficie de cultivo, el calor del sol (35-38°C en zonas tropicales) calienta la flor y el fruto y el calor se difunde debajo del vástago de la raíz, generando un gradiente térmico que resulta del frío de la raíz con el calor de las hojas (García-Huante, 2015).

Este proceso daría como resultado un fruto un tercio más grande en tamaño y un cuarto más dulce en comparación con un fruto cultivado en condiciones normales, además de que se podrían cultivar plantas de zonas templadas y semi-templadas en zonas tropicales. En Hawái se han cultivado especies vegetales como fresa, uva, zanahoria, cebolla, manzana, durazno, entre otros. En Corea del Sur se experimenta con jitomate, chile rojo y calabaza utilizando agua fría oceánica diluida (de 1:50 a 1:200 ppm) e invernaderos para aclimatar los cultivos a temperaturas mayores a 30°C en el interior además de la producción de fertilizantes para los mismos cultivos (Kim, 2014).

PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO

La energía obtenida en una planta OTEC es suficiente para producir hidrógeno (por medio de electrólisis) y licuarlo. Debido a que la planta trabaja las 24 horas del día durante todo el año, la producción de hidrógeno sería continua (Aviña, 2007).

OTROS

Se han buscado otras aplicaciones para una planta de gradiente térmico oceánico entre las que destacan: producción de hielo, producción de combustibles secundarios (metanol), obtención de minerales (litio, uranio), producción y manufactura de aluminio, producción de amoníaco, producción de sal de cocina, empleo de agua oceánica superficial diluida para lavado y sanitizado de productos alimenticios, etc. (García-Huante, 2015).



II

Desventajas y limitaciones de OTEC

- Se necesita una inversión considerable para construir una planta (alrededor de \$50 a \$ 100 millones de dólares americanos, para una planta pequeña de 10 MW).
- Aún no se ha demostrado el funcionamiento de una planta a nivel comercial.
- OTEC solo es adecuada para funcionar en sitios con un gran gradiente térmico y con cercanía al mar profundo.
- Es ecológicamente controversial, pues no se ha probado el impacto ecológico que tendrá la planta a gran escala.
- No existe un marco regulatorio para el funcionamiento de OTEC.
- El nivel de madurez de la tecnología se encuentra principalmente en nivel TRL 6 (Modelo de sistema o demostración del prototipo).
- En general la capacidad de generación de las plantas que se han construido están por debajo de 1 MW.
- Se debe mejorar la tecnología y diseño de los componentes del sistema para que soporten condiciones marinas extremas.
- Aún hace falta reducir los riesgos tecnológicos (Hyeon-Ju Kim, 2017; TP Ocean, 2016).

Uno de los grandes retos que enfrenta el sistema son mejorar la calidad y disminuir los costos de los intercambiadores de calor usados para la evapora-



ción y condensación, pues representan entre el 20 al 40% del costo total de la planta (Fernández, 2008).

Otro problema es la longitud y diámetro de las tuberías por las que pasa el agua de mar, se ha estimado que se necesitan entre 1 000 y 2 000 metros cúbicos de agua marina por segundo para que el sistema funcione y a mayor demanda de volumen de agua, mayor es el diámetro de las tuberías (aprox. 10 m).

Otra limitante en cuestión tecnológica es mejorar la instalación del tubo en aguas profundas que deben soportar las duras condiciones del mar profundo (presión, corrientes, bioincrustaciones, etc.) (TP Ocean, 2016; World Energy Resources, 2016).



12

Historia

El concepto de OTEC fue inicialmente propuesto por el físico francés Jacques Arsene D'Ansoval en 1881; años más tarde uno de sus discípulos el Dr. Georges Claude, adoptó la idea y construyó la primera planta de ciclo abierto en la Bahía Matanzas en Cuba (figura 19), que produjo 22 kW de electricidad, sin embargo, la planta operó pocos días debido a que fue destruida por una tormenta (Plocek, 2009; Claude, 1930).

En 1956, investigadores franceses diseñaron una planta de 3 MW de ciclo abierto para Abdijan, en la costa oeste de África, pero la planta nunca fue terminada debido a la competencia con energía hidroeléctrica más barata.

A finales de la década de 1970, Francia puso en marcha otro proyecto de planta piloto OTEC de 5 MW para producción de electricidad que se pretendía instalar en la Polinesia Francesa, pero en 1986 la fuerte caída en el precio del petróleo llevó a una reducción en todo el mundo y la financiación para el desarrollo de OTEC y Francia decidieron abandonar el proyecto.

En 1979, el Laboratorio de Energía Natural en Hawái (NELHA) construyó la primera planta piloto llamada "Mini-OTEC", montada en una barcaza de la Marina de Estados Unidos (EUA) a dos kilómetros de la costa de Keahole Point. Esta planta operó durante tres meses y produjo 55 kW de potencia bruta y 15 kW de potencia neta.



Figura 20. Ubicación de Ougrée, Bélgica; lugar donde Georges Claude realizó la primera prueba de gradiente térmico en 1928. Fuente: García-Huante (2015). Posibles efectos oceanográficos por la operación de una planta OTEC en Puerto Ángel, Oaxaca, México. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.



Figura 21. Restos de la antigua planta OTEC de Bahía Matanzas, Cuba. Fuente: García-Huante (2015). Posibles efectos oceanográficos por la operación de una planta OTEC en la zona de Puerto Ángel, Oax. México. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.

En 1982, el Instituto de Energía del Océano de Japón instaló una planta de ciclo cerrado con capacidad de 35 kW, dejó de funcionar en 1983, porque alrededor del 90% de la energía era consumida por la misma planta.

En 1994, la Universidad de Saga en Japón diseñó y construyó un modelo de planta de 4.5 kW, bajo el ciclo Uehara, conceptualizado por Haruo Uehara y Yasuyuki Ikegami, donde se tienen regeneradores, calentadores y turbinas de baja frecuencia (Ahmand *et al.*, 2011).

En 1999, la Universidad de Saga y el Instituto Nacional del Océano (NIOT) instalaron una planta flotante de 1 MW en India, estuvo funcionando del 2000 al 2002, pero se reportaron fallas en las tuberías de agua fría.

En 2012, Instituto Coreano de Investigación de Barcos e Ingeniería Oceánica (KRISO), junto con el Instituto Coreano de Ciencias Oceánicas (KIOST) diseñaron una planta de ciclo cerrado de 20 kW, que sirvió de prototipo para una planta de 1 MW, en 2013 se terminó de instalar.

En 2013, la Universidad de Saga instaló una planta en la isla de Kumejima compuesta por dos unidades de 50 kW cada una. Se firmó un acuerdo entre la compañía Locked Martín y Beijing Based Reignwood Group para desarrollar una planta flotante de ciclo cerrado de 10 MW en la costa sur de China (Hainan), el bombeo de agua fría se hará desde una profundidad de 800 m a 1 000 m y su propósito será ofrecer electricidad a un complejo turístico. Por otra parte, NELHA en Hawái, construyó una planta piloto de ciclo cerrado de 10 MW y lleva a cabo funciones secundarias como agricultura de agua fría, producción de aire acondicionado, agua potable y producción de organismos acuícolas (OTEC News, 2016; OTEC Matters, 2015; IRENA, 2014).

En 2014, la compañía francesa DCNS, planeó la instalación de una planta base tierra de 10.7 MW, que podría suplir de electricidad a 35 000 casas en Bellefontaine, Martinica. Aún sigue desarrollándose (DCNS, 2017). En el mismo año se firmó un acuerdo por OTEC Corp., para construir una planta base tierra de 45 MW en las islas vírgenes en Estados Unidos.

En 2015, se instaló en Hawái una planta de 100 kW de ciclo cerrado, que puede generar electricidad para 120 casas (OTEC News, 2016; OTEC Matters, 2015).

OTEC Corporation, tiene en desarrollo una planta en tierra de 3 a 5 MW en Bahamas que se utilizará principalmente para abastecer de aire acondicionado a un complejo turístico, se planea que estará lista a finales del 2017.

Entre 2017 y 2018 el Instituto Coreano de Ciencias Oceánicas (KIOST), planea construir una planta prototipo de 10 MW, con el fin de iniciar prototipos para comercializar una planta de 100 MW para el año 2020.

Los proyectos que están actualmente en etapa de diseño se encuentran en Francia (Isla Martinica), China (Qingdao), Japón (Saga) e Islas Tarawa. En un futuro se tiene planeado construir instalaciones en Bora Bora (planta base tierra, solo va a usarse para aire acondicionado), Tetiaroa (base tierra, solo va a usarse para aire acondicionado), África Ecuatorial (plantas flotantes), Tanzania, Mozambique, Curazao, Islas Madagascar, Islas Vírgenes, Islas Maldivas, Islas Marshall, Islas Andamán, Sri Lanka, Malasia, Bahamas, Barbados, India, Filipinas y Japón (Hyeon-Ju Kim, 2017; OTEC News, 2016; Bernal, 2016; OTEC Matters, 2015; García-Huante, 2015; IRENA OTEC, 2014).

Existen también diversas compañías privadas, que están interesadas en mejorar esta tecnología, algunas de ellas son:

La compañía Bluerise ubicado en la ciudad de Delft (Países Bajos), están enfocados al desarrollo de proyectos en San Andrés (Colombia) y Curazao. En este último planean instalar un eco-parque OTEC con una planta de 500 kW de potencia, la cual sirva para producir electricidad y aire acondicionado principalmente.

DCNS es una compañía francesa de defensa naval y líderes en energías marinas renovables, actualmente están trabajando en mejorar los intercambiadores de calor, con el fin de obtener una planta flotante de 10 MW, la cual satisfaga la demanda de electricidad de 35 000 casas para el año 2020 (DCNS, 2017).

Lockheed Martin es una compañía multinacional de origen estadounidense de la industria aeroespacial y militar. Esta compañía ha trabajado en OTEC desde 1979 en Hawái y uno de sus actuales proyectos es la construcción de una planta OTEC en la costa sur de China.

OTEC Corporation es una compañía estadounidense enfocada en construcción de plantas OTEC en el mundo. Dentro de sus proyectos actuales están las Islas Vírgenes, Islas Caimán, las Bahamas, Filipinas, Samoa Americana, Tanzania y Zanzibar.

Makai Ocean Engineering es una compañía estadounidense dedicada a ofrecer soluciones a problemas de ingeniería, también ha sido pionera en OTEC junto con Lockheed Martin. Actualmente están trabajando en mejorar el diseño de tuberías, diseñar una planta piloto de 2 a 10 MW de potencia neta y en estudios ambientales de la descarga de agua. En Hawái, la compañía ayudó a construir recientemente el sistema de aire acondicionado de la ciudad a base de agua fría, el cual ahorrará 60 MW de electricidad cuando esté completamente conectado a los edificios del centro de la ciudad (Makai Ocean Engineering, 2017).

Xenesys es una compañía japonesa enfocada en la investigación y desarrollo de la energía oceánica. Han demostrado el funcionamiento de OTEC en la isla Kumejima y aún siguen trabajando en la mejora del diseño del intercambiador de calor.

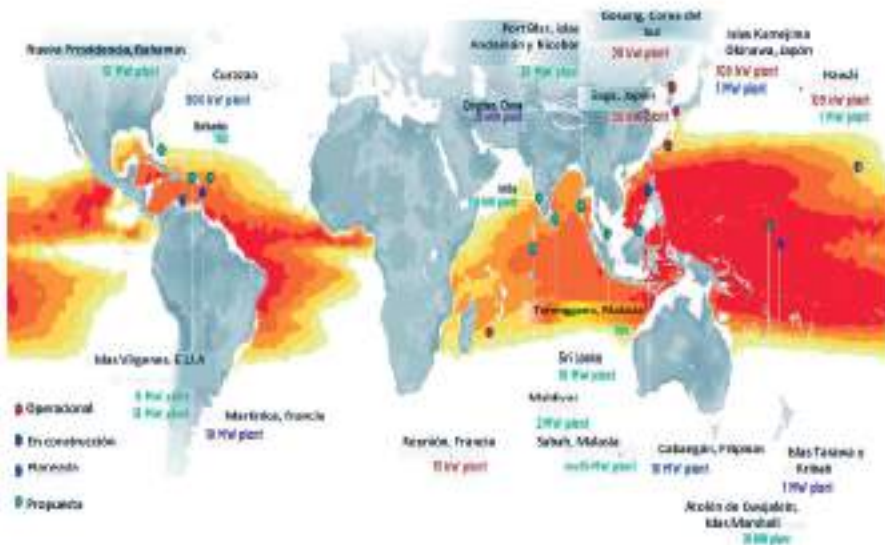


Figura 22. Mapa de los proyectos de plantas OTEC
 Fuente: Adaptado de Hyeon-Ju K. (2017). Ongoing OTEC Projects.
 Current Status of OTEC around the world. A brief survey report for IEA-OES.



13

Plantas Actuales en Operación

ISLA KUMEJIMA EN OKINAWA, JAPÓN

La Isla Kumejima, es una isla pequeña de 46 km² y tiene alrededor de 8 300 habitantes. Debido a que el gobierno de Okinawa promovió la investigación en energías oceánicas para que la isla fuera cien por ciento sustentable para el año 2020, se iniciaron proyectos para instalar una planta OTEC del 2003 al 2013. OTEC comenzó sus operaciones en junio del 2013, para el mes de noviembre del mismo año había recibido hasta 1 000 visitantes y obtuvo el premio al 1º lugar de la Sociedad de Utilización de Agua Marina Profunda. En esta planta se ofrecen “tours” a todos los visitantes para que aprendan más sobre este tipo de tecnología nueva. La planta es de 100 kW compuesta por dos unidades de 50 kW cada una, es de tipo “on-shore”, de ciclo cerrado, el fluido de trabajo es R134a, tiene condensadores y evaporadores de titanio (Kobayashi *et al.*, 2001).

El agua es bombeada desde una profundidad de 612 m y la diferencia de temperatura en esta área entre agua superficial y de fondo es de 15.4°C. La planta tiene diferentes usos como generación de energía, aire acondicionado, acuicultura, producción de agua potable, sales y cosméticos. Actualmente en la isla existe un nuevo mercado de agua profunda, dado que este tipo de agua es rica en nutrientes la hace ideal para mejorar la acuicultura de la región. Su principal uso es para la producción de langostinos (producen 250 toneladas de langostino al año), para producción de “Sake”, “Tofu”, cosméticos, agua mi-



Figura 23. Planta OTEC on-shore, de ciclo cerrado en la Isla Kumejima, Japón.
Fuente: KumeGuide.com. Recuperada de <https://goo.gl/Nvfzpv>.



Figura 24. Productos y beneficios del agua profunda de en la Isla Kumejima, Japón, a) Producción de sal de cocina, b) Agricultura, c) Acuicultura de Camarón, d) Cosméticos, e) Producción de agua potable y f) Uvas de mar. Fuente: Adaptada de KumeGuide.com.

neralizada, etc. Este nuevo mercado genera 2 billones de yenes en ventas y se han creado 140 nuevos empleos (Yasuyuki *et al.*, 2015).

UNIVERSIDAD DE SAGA, JAPÓN

En el Instituto de Energías Oceánicas (IOES) de la Universidad de Saga en Japón, crearon en el año 2006, una planta OTEC piloto de 30 kW de potencia. Es una planta de tipo híbrido que funciona con el ciclo Uehara; además de generar energía, produce 10 toneladas de agua dulce al día. El costo de crear este instituto de investigaciones fue de 4.5 billones de Yenes (alrededor de



Figura 25. Instituto de Energías Oceánicas (IOES) de la Universidad de Saga en Japón.
Fuente: IOES. Recuperado de <https://goo.gl/ysPlgF>.



Figura 26. Vista general de la planta OTEC de 30 kW.
Fuente: IOES. Recuperado de <https://goo.gl/ysPlgF>.

750 billones de pesos mexicanos) y actualmente el instituto es uno de los más avanzados en este tipo de tecnología en el mundo y son los líderes en cuanto a energía oceánica se refiere (IOES, 2017).

GOSEONG, COREA DEL SUR

Corea del Sur tiene una planta “on-shore” de ciclo cerrado cuyo fluido de trabajo es el R32. La planta se ubica en la región de Goseong y comenzó sus funciones en el año 2013, produciendo un total de 20 kW de energía eléctrica, debido a que funciona con un gradiente térmico de 18 °C, solo opera en verano (Lee Ho-Saeng *et al.*, 2015). El desarrollo de esta tecnología ha propiciado la

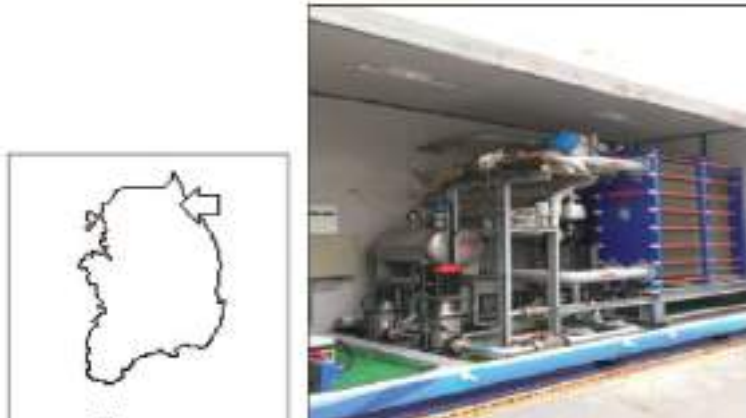


Figura 27. Ubicación de la planta OTEC on-shore en Goseong, Corea del Sur:

Fuente: García H. (2015). Posibles efectos oceanográficos por la operación de una planta OTEC en puerto Ángel, Oaxaca, México. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.



Figura 28. Figura 13.6. Productos y beneficios del agua profunda de Goseong, Corea del Sur; a) Producción de agua potables, b) Cosméticos, vinos y agua, c) agricultura de agua fría de chile rojo y calabazas, d) Acuicultura de pepinos de mar, e) Producción de sal para cocina y f) Acuicultura de mejillones . Fuente: García-Huante (2015). Posibles efectos oceanográficos por la operación de una planta OTEC en Puerto Ángel, Oaxaca, México. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

investigación en otros rubros como la agricultura de jitomate, calabaza y chile. Acuicultura de especies comerciales y propias de la región, producción de agua potable, sales y fertilizantes, utilización del agua de mar profunda, para lavado y secado de arroz, entre otros. Debido a esto se ha desarrollado un complejo industrial conocidos como SUPRC (por sus siglas en inglés), que es un centro coreano de investigación y utilización del agua de mar, que ha impulsado el desarrollo social de la población (García-Huante, 2015).

ISLA LA REUNIÓN, FRANCIA

Esta isla está localizada en el océano Índico, tiene alrededor de 810 000 habitantes y su densidad poblacional sigue creciendo. Existe una planta piloto OTEC on-shore que produce 15 kW de energía eléctrica. Sin embargo, la compañía francesa DCNS planea construir una planta más grande en la isla para que en un futuro no muy lejano pueda tener una planta comercial que ayude a abastecer la demanda de energía en la región (Martins *et al.*, 2013; Gautret *et al.*, 2009).

ISLA DE HAWAII, ESTADOS UNIDOS

La isla de Hawái tiene una superficie de 10 432 km² y alrededor de 185 079 habitantes. Actualmente la planta más grande OTEC se encuentra en la isla, la cual es de ciclo cerrado, on-shore y genera de 100 a 105 kW de electricidad neta. Esta planta fue llevada a cabo por NELHA y la compañía Maki Ocean Engineering, Inc. en el 2013, la inversión total fue de USD \$4.6 millones de dólares americanos e inicio operaciones el 14 de agosto del 2015. Es la primera planta que es conectada a la red eléctrica estadounidense y puede satisfacer la demanda energética de 120 familias al año a un costo de 19 centavos de dólar por kWh (Vega, 2010; OTEC NEWS, 2017).



Figura 29. Planta OTEC onshore en la Isla la Reunión, Francia.
Fuente: Grupo DCNS. Recuperada de fr:dcnsgroup.com.

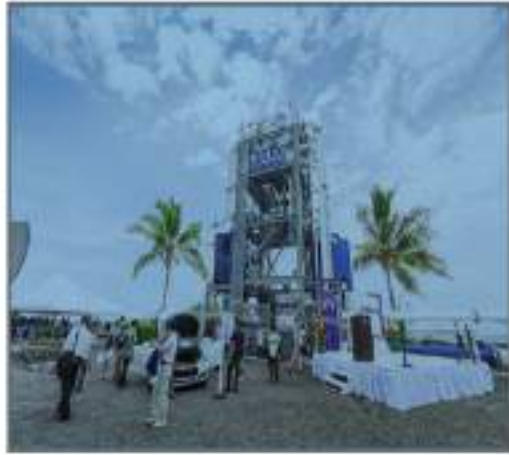


Figura 30. Ubicación de la planta OTEC Hawái-II

Fuente: García (2015). Posibles efectos oceanográficos por la operación de una planta OTEC en puerto Ángel, Oaxaca, México. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.



14

Antecedentes y Proyectos actuales en México

En México no existen grandes antecedentes en el desarrollo de prototipos OTEC a nivel comercial. Sin embargo, la primera investigación sobre OTEC fue desarrollada por Alfred Löhnberg, quien enfocó sus estudios en el Caribe mexicano en el año de 1960. En el mismo año Vázquez de la Cerda, mencionó la posibilidad de utilizar este método de generación de energía, pero para la obtención de aire acondicionado para habitantes del Cozumel. También diseñó un proyecto al que denominó ATL-KIU (que en lenguaje mexicana significa agua-energía) que tiene como objetivo la construcción de una planta OTEC en la Isla Socorro, en el archipiélago Revillagigedo, para satisfacer las necesidades de agua potable y de energía eléctrica. Este proyecto quedó a nivel de divulgación en foros del IPN, en congresos y en la prensa.

En 2007, Aviña-Jiménez realizó estudios donde indica que la zona idónea para instalar una planta OTEC por sus características térmicas y batimétricas es en la costa de la isla de Cozumel, justificando que el gradiente térmico se encuentra a no más de 10 kilómetros de la costa y cerca del centro del consumo de electricidad.

En 2013, Romero Moya realizó un estudio del potencial de OTEC en el estado de Veracruz, donde considera que, en San Andrés Tuxtla (Veracruz), tiene un enorme potencial térmico y podría instalarse una planta OTEC de ciclo cerrado,



Figura 31. Lugares propuestos para planta OTEC en la isla de Cozumel.

Fuente: Aviña, (2007). Factibilidad de instalar una planta OTEC en las costas de México (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

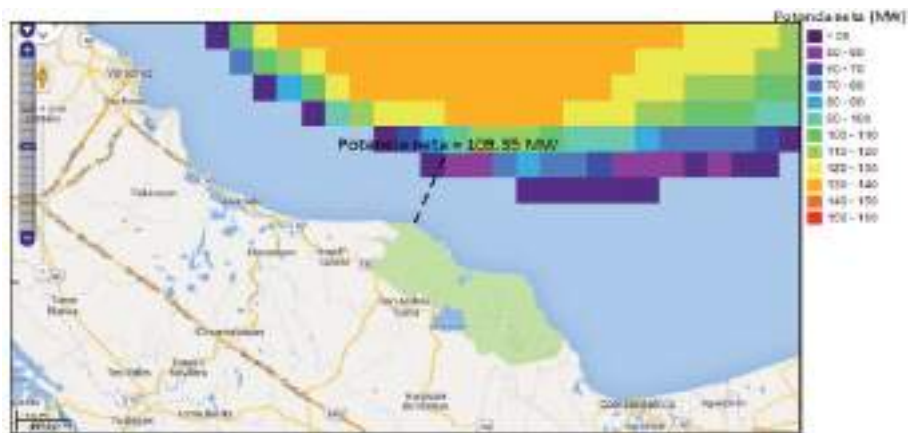


Figura 32. Potencia neta de una planta OTEC en San Andrés Tuxtla, Veracruz.

Fuente: Romero A. (2013). Evaluación del potencial maremotérmico en costa norte y sur del estado de Veracruz. (Tesis de Maestría). Facultad de Ingeniería. Universidad Veracruzana.

off-shore, un gradiente de temperatura de 21.6 °C y una profundidad de 600 m y con una potencia bruta de 155 MW de potencia.

En 2014, Bárcenas Graniel realizó un estudio en el que demostraba que isla Cozumel (Quintana Roo), es un sitio ideal para la construcción de OTEC, por sus condiciones batimétricas. Actualmente sigue trabajando en posibles áreas para construir la planta en el mar Caribe, en base al gradiente térmico del área.

En 2015, García Huante realizó un estudio en el que sugirió que Puerto Ángel en el estado de Oaxaca, es un sitio ideal para instalar una planta OTEC off-sho-

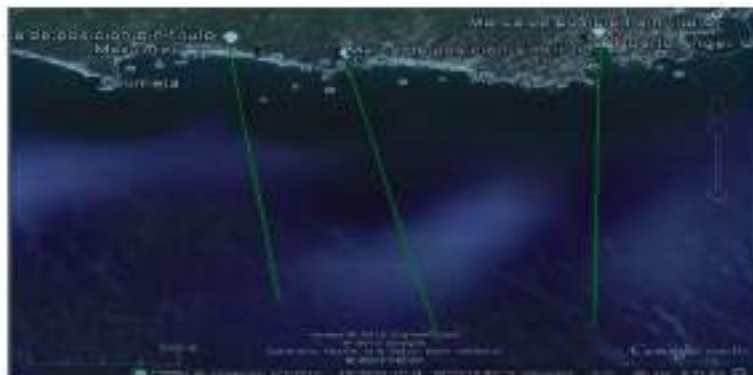


Figura 33. Localización de tres sitios viables para la construcción de OTEC on-shore de la zona de Puerto Ángel Oax., y sus alrededores. Fuente: García-Huante, A. (2015). Posibles efectos oceanográficos por la operación de una planta OTEC en Puerto Ángel, Oaxaca, México. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

re” de 100 MW, debido a que el gradiente térmico se encuentra a no más de 10 kilómetros de la costa, a sus características batimétricas y fisicoquímicas de la región. Actualmente sigue trabajando en posibles áreas para construir la planta en el Pacífico mexicano en base al gradiente térmico del área.

En 2016, Bernal Francisco, realizó un estudio técnico y económico de una planta OTEC. En tal estudio se concluyó que el ciclo híbrido es el más eficiente. Una planta de generación de 1 MW, tendría una inversión total de cerca de 900 millones de pesos. Dentro de los productos secundarios el ingreso anual por comercialización de aire acondicionado sería de cerca de 300 millones de pesos, de agua potable sería de aproximadamente 500 millones de pesos y si la electricidad se comercializa generaría un ingreso de cerca de 10 millones de pesos al año.

En el mismo año, De la Garza Cuevas, llevó a cabo el diseño de un vaporizador para una planta OTEC de 1 MW de potencia neta, en el cual se contemplan los materiales empleados, la longitud y diámetro de los tubos, el espesor de la coraza, la configuración del intercambiador, el espejo de tubos, bridas, entre otros elementos. Este diseño fue realizado con la ayuda de programas computarizados, con la finalidad de crear un software que facilite el diseño de posteriores vaporizadores.

En 2016, la Secretaría de Energía (SENER) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), crearon el Centro Mexicano de Innovación en Energía del Océano, que “coordina los esfuerzos académicos de todo el país para el estudio y desarrollo de tecnologías especializadas en el sector de las energías renovables” (CEMIE-Océano). El centro tiene diferentes áreas de investigación, dentro de los que se encuentra energía por gradiente térmico. Actualmente dentro de la línea de investigación de energía por gradiente térmico, se están realizando los siguientes estudios: a) Desarrollo de un Atlas Nacional de



temperatura oceánica, 2) Identificación de sitios con potencial de explotación y estudios de viabilidad, 3) Monitoreo de los gradientes de temperatura en los sitios potenciales con termistores, 4) Evaluación de la eficiencia, impactos técnico-ambientales y socioeconómicos de plantas OTEC. Todo lo anterior es con la finalidad de que este tipo de energía renovable sea una alternativa viable en el país a corto plazo.

En la Universidad del Caribe, se está trabajando en un prototipo de planta OTEC de 1 kW de potencia neta de ciclo cerrado.

En el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), está en la búsqueda de sitios potenciales en Baja California Sur, donde sea factible construir una planta OTEC para producir electricidad.

En el Instituto de Ingeniería e Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, se están llevando a cabo diversos estudios referentes a gradiente térmico oceánico, entre ellos el Atlas Nacional de Gradiente Térmico Oceánico, modelación numérica de las partes hidráulicas de la planta OTEC y estudios de implementación de esta tecnología su posible instalación en el país.



15

Problemáticas y Retos en México

En México la principal problemática a considerar es la cuantificación de forma precisa de la disponibilidad de los recursos energéticos marinos y la identificación de los sitios de mayor potencial térmico. Es así que el primer reto tecnológico a enfrentar es la implementación/mejora de las mediciones y datos disponibles para establecer las variaciones espacial y temporal de la energía del océano a una escala global, nacional y local y definir sitios clave para la extracción de las fuentes de energía. Entre las problemáticas, se suman características propias de México y que no necesariamente se presentan en otros países. La ocurrencia de huracanes, tsunamis y otros eventos extremos en el mar son de vital importancia para el desarrollo tecnológico. Asimismo, los impactos ambientales que la extracción de energía del océano causa deben ser evaluados, por lo que un gran reto para definir una tecnología a base de energías limpias y renovables estriba principalmente en el aprovechamiento de las energías del océano de una manera amigable con el ambiente. En México, sitios de alto potencial energético se encuentran asociados con la ubicación de áreas de gran valor ambiental y enorme diversidad biológica como son el mar de Cortés, en el golfo de California, o en áreas costeras de la península de Yucatán”. (CEMIE-Océano, 2016).





16

Sitios con Potencial Térmico en el Pacífico Mexicano (Zonas continentales e insulares)

De acuerdo con el análisis realizado por García-Huante (2017, en desarrollo) se describen los mapas de gradiente térmico para diferentes zonas del Pacífico mexicano; tomando en cuenta las temperaturas mínimas y máximas de agua profunda.

El Gradiente Térmico (GT) igual o mayor a 20°C se encuentra reducida a un área que va desde Michoacán hasta Chiapas, con una zona en el golfo de Tehuantepec que es menor a esta diferencia (entre 17 y 19°C).

El gradiente térmico más bajo se encuentra entre algunas zonas de Michoacán y el golfo de Tehuantepec (20.04°C a 20.10°C) mientras que el más alto se presenta en un “islote” de la zona de la Alberca Cálida del Pacífico (20.91 a 21.13°C). Existe una pequeña zona dentro de Chiapas que presenta un GT de hasta 21.45°C.

Por lo tanto, utilizando una profundidad de extracción de agua fría a los 500 m de profundidad, los estados de Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas son los más adecuados pues presentan un GT igual o mayor a 20.0°C.

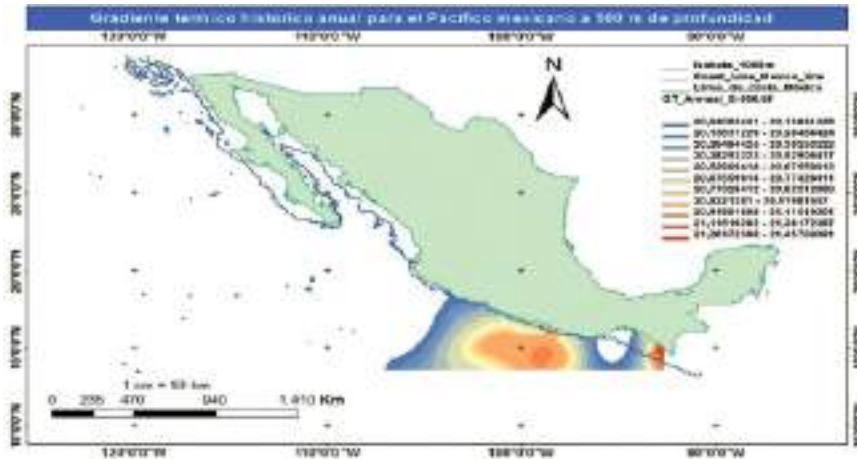


Figura 34. Gradiente térmico anual histórico para el Pacífico mexicano, con referencia a los 500 m de profundidad. Fuente: García-Huante (2017).

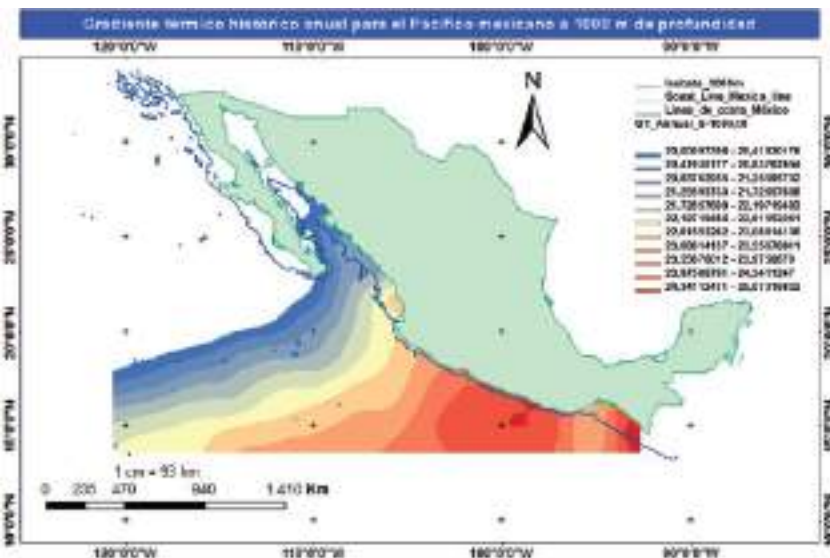


Figura 35. Gradiente térmico anual histórico para el Pacífico mexicano, con referencia a los 1000 m de profundidad. Fuente: García-Huante (2017).

Al tomar como referencia la zona de 1 000 m de profundidad, se puede decir que las regiones en el Pacífico mexicano para la obtención del GT se extienden hacia la zona norte.

La zona de menor gradiente se localiza en Baja California Sur anexando la isla Cerralvo (20.0 a 20.4°C) y conforme uno se desplaza hacia el sur, el GT va

subiendo 1 o 2°C hasta llegar a la zona de Nayarit y Jalisco donde tenemos un GT que va de entre 22.0°C a los 23.5°C.

A partir de Michoacán se tienen GT más grandes (23.9°C) y en las zonas de Guerrero y Oaxaca observamos un GT que va de los 23.9°C a los 25.0°C con máximos en Guerrero y Chiapas.

Por otro lado, se tiene el GT de una parte de las islas del Pacífico mexicano, tomando en cuenta que las islas del occidente de la península de Baja California y las interiores del golfo de California, después de Mazatlán no cumplen con los requisitos fundamentales de gradiente térmico y de distancia a la isolinia de 1 000 m de profundidad, además de que no todas están habitadas pues su extensión territorial y las aguas circundantes hacen inaccesibles estas.

Tomando en cuenta los 500 m de profundidad, ninguna isla mexicana del Pacífico mexicano tendría las condiciones para explotar el gradiente térmico pues la profundidad de toma de agua sería insuficiente para lograr el mínimo establecido (20°C).

A los 1000 m de profundidad, el GT para las zonas insulares se extiende hasta la parte sur de la península de Baja California, dentro del golfo de California. En estas zonas se encuentran diferencias térmicas de 20°C que pueden ser explotables para la zona de las islas San José y Cerralvo, aunque no existe población en ninguna de las dos.

Para la zona del archipiélago de las Revillagigedo se pueden identificar que las cuatro islas que la conforman presentan un GT entre los 20°C y los 21°C, teniendo la posibilidad de explotar el gradiente de acuerdo a las distancias que presentan hacia la isolinia de 1 000 m de profundidad que van de los 2 a los 6 km.



Figura 36. Gradiente térmico anual histórico para el Pacífico mexicano, con referencia a los 500 m de profundidad. Fuente: García-Huante (2017).

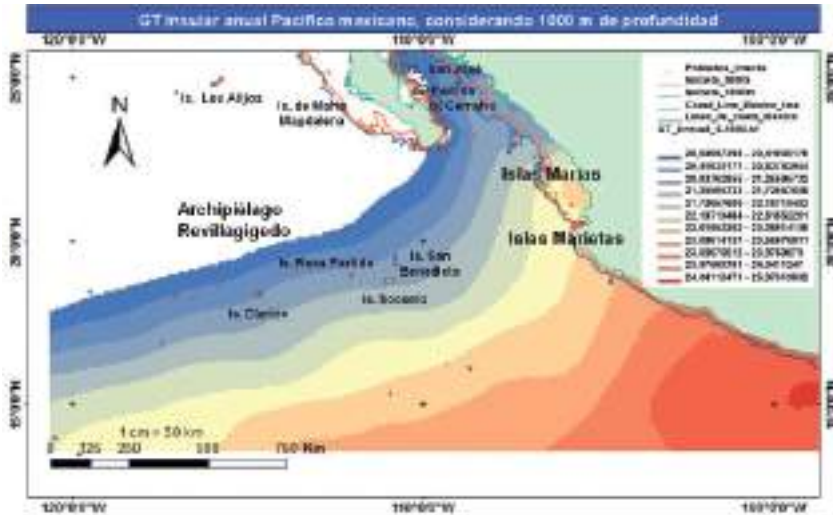


Figura 37. Gradiente térmico anual histórico para el Pacífico mexicano, con referencia a los 1000 m de profundidad. Fuente: García-Huante (2017).

Por último, en la zona de bahía de Banderas, tenemos las islas Marías y las islas Marietas; ambas con un gradiente superior a los 22°C. Los inconvenientes son que las islas Marías son un Centro de Readaptación Social manejado por el Gobierno Federal mexicano además de ser declarada por la UNESCO en 2005 como Reserva de la Biósfera; mientras que las islas Marietas están catalogadas como áreas naturales protegidas por lo que quizá en ninguna se podría explotar el recurso.

En cuanto a la batimetría del Pacífico mexicano, de acuerdo con la distancia a las zonas de toma de agua fría, se eligió inicialmente desde la península sur de Baja California hasta el golfo de Tehuantepec en Chiapas, y considerando esto y el gradiente térmico ya descrito anteriormente, se tienen diferentes sitios de interés para la exploración y explotación de este recurso en zona continental, ya sea para instalar plantas OTEC en tierra (on-shore) o de plataforma (offshore).

Se puede observar que la batimetría del Pacífico mexicano es muy estrecha, tendiendo a extenderse en la zona de bahía de Banderas y cerca de la entrada al golfo de California, con excepción de la parte sur de la península, en el norte y noroeste y en el sur en el golfo de Tehuantepec, a partir de las bahías de Huatulco hasta Tapachula.

Los lugares de interés a nivel continental cumplen con tener un gradiente de 20°C y porque sus distancias con respecto de la línea de costa a las zonas de bombeo de agua fría (500 y 1 000 m) son menores a los 10 km, estos se pueden observar en la tabla 6.

Se puede observar que las localidades en rojo presentan las distancias más cortas para su utilización, pero todas en lo particular pueden ser utilizadas.

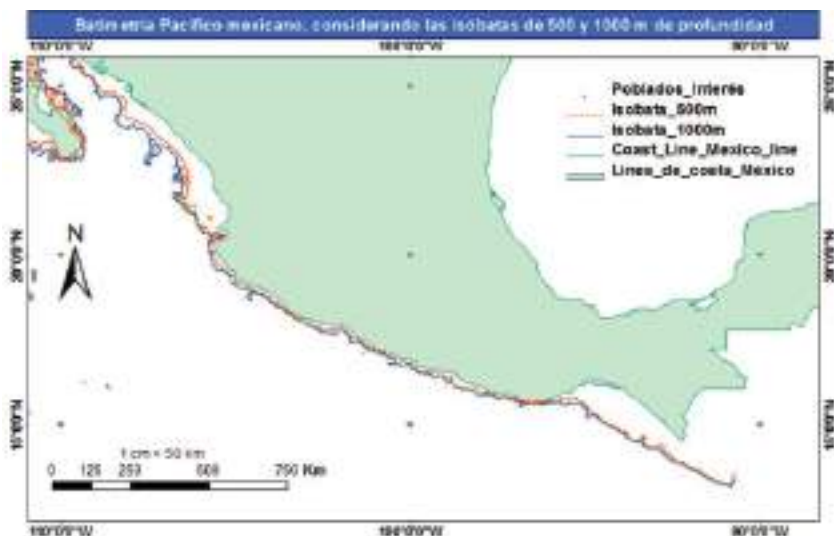


Figura 38. Batimetría del Pacífico mexicano, considerando las isolíneas de 500 y 1000 m de profundidad y las localidades continentales que tienen una distancia no mayor de 10 km a estas zonas. Fuente: García-Huante(2017).

Aquí se deben determinar otro tipo de factores como infraestructura, densidad poblacional, economía municipal, entre otros.

En cuanto a las islas del Pacífico mexicano, las ubicadas en la parte sur de la península de Baja California, las islas Marías, las islas Marietas y el archipiélago de las Revillagigedo cuentan con zonas donde las distancias a las isolíneas de 500 y 1 000 m de profundidad son menores a 10 km (tabla 5).

En la tabla 5 se observa que las islas Cerralvo, Marías, Marietas, Clarión y Socorro presentan las distancias más pequeñas con respecto a las otras islas, pero en general todas pueden ser consideradas para la exploración y posible explotación del gradiente térmico. Como se mencionó anteriormente, está limitado a los estatus que tengan estas zonas y otros factores.

En el caso de la isla San José, su posible explotación sería a los 750 m de profundidad como límite pues su distancia con respecto a los 1 000 m rebasa por mucho los 10 km sugeridos.

Tabla 6. Sitios de interés en zona continental hacia la isolínea de 500 m (A) y 1 000 m (B) de profundidad para el Pacífico mexicano.

Localidad	A (km)	B (km)
Tangolunda, Oaxaca	2.77	10.15
San Agustín Huatulco, Oaxaca	2.31	4.5
Puerto Ángel, Oaxaca	2.59	7.46
El Coyote, Oaxaca	1.51	6.29
Agua Blanca, Oaxaca	5.42	9.33
Los Naranjos, Oaxaca	6.10	8.67
El Azufre, Oaxaca	3.03	6.91
Nuxco, Guerrero	5.28	9.37
San Luis de la Loma, Guerrero	6.78	9.57
El Cobano, Guerrero	6.67	9.62
Barra de Potosí, Guerrero	7.69	10.91
Colola, Michoacán	4.03	5.5
Ostula, Michoacán	6.63	9.94
Cabo Corrientes, Jalisco	6.02	8.9
Yelapa, Jalisco	3.91	5.52
Cabo San Lucas, BCS	1.1	2.34
Diamante Cabo San Lucas, BCS	3.41	6.13
Cabo Pulmo, BCS	5.42	6.86

Fuente: García-Huante (2017)



Figura 39. Batimetría del Pacífico mexicano, considerando las isolíneas de 500 y 1000 m de profundidad y las localidades insulares que tienen una distancia no mayor de 10 km a estas zonas. Fuente: García-Huante (2017).

Tabla 7. Distancias de los sitios de interés en zona insular hacia la isolínea de 500 m (A) y 1000 m (B) de profundidad para el Pacífico mexicano.

Localidad	A (km)	B (km)
Isla San José, BCS	6.2	14.9
Isla Partida, BCS	5.4	9.7
Isla Cerralvo, BCS	1.28	5
Islas Marías, Nayarit	Entre 2 y 3 km	Entre 1 y 3 km
Islas Marietas, Nayarit	Entre 1 y 2 km	Entre 2 y 4 km
Isla Clarión, Colima	2.3	3.5
Isla Roca Partida, Colima	3	7.6
Isla Socorro, Colima	1	3.2
Isla San Benedicto, Colima	1.5	4
Fuente: García-Huante (2017)		





Sitios con Potencial Térmico en el Mar Caribe Mexicano

De acuerdo con el análisis realizado por Bárcenas Graniel (2014), por las características físicas del Mar Caribe Mexicano en la Zona Económica Exclusiva (ZEE), tienen amplias posibilidades de explotación comercial en gradiente térmico que tiene un potencial bruto estimado de alrededor de 30,000 MW en profundidades mayores a 800 metros y menores a 1 000 metros. Los lugares potenciales para construir una OTEC a distancias menores a 10 km a la costa adecuado son: isla Cozumel, Punta Allen, Tulúm, Sian Ka'an, Xcalac, Mahuahual y banco Chinchorro en el estado de Quintana Roo.

Para la isla Cozumel la isobata de 700 m de profundidad se encuentra a una distancia de 4 km de distancia y 6.7 km a la línea de 1 000 m en la costa sureste y de la costa a la ciudad de Cozumel a 30 km.

Punta Allen es un poblado que carece de servicios de electricidad, agua potable y alcantarillado. Se encuentra a 50 km de Tulúm. El punto OTEC de interés se encuentra a 40 km desde la costa hasta Tulúm. Las isobatas de 700 m y 800 m son las más cercanas al límite de los 10 km.

Sian Ka'an, es una reserva de la Biósfera, por lo que instalar una planta OTEC podría ser complicado, aunque este tipo de planta ayudaría a desalinizar el agua obteniendo agua para consumo humano.

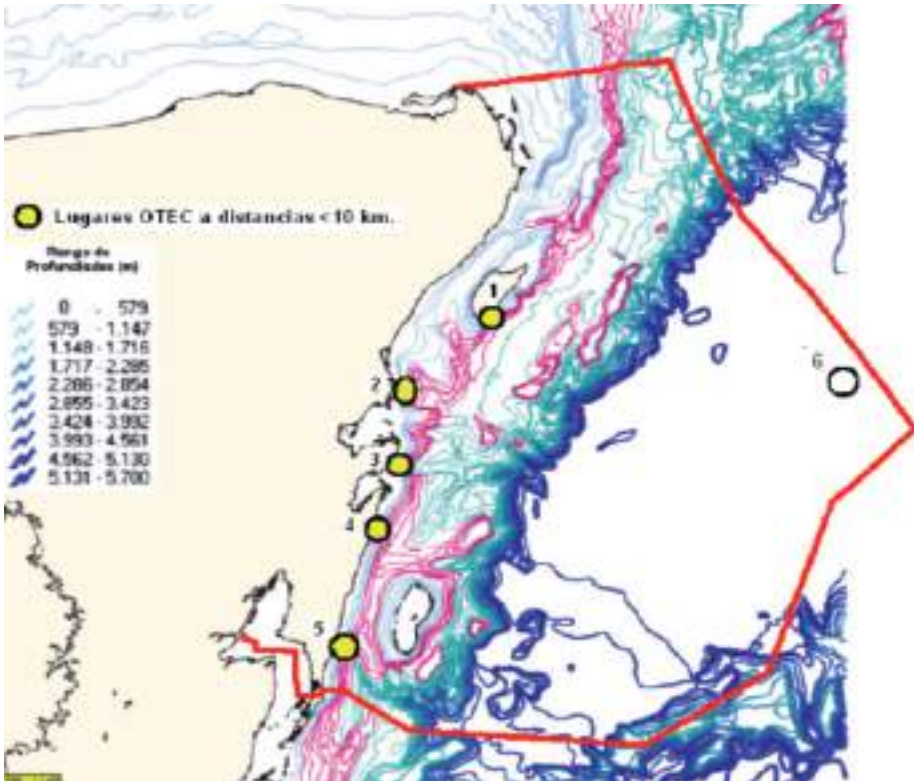


Figura 40. Batimetría y zonas con potencial OTEC en el Caribe mexicano, las isobatas rosas representan profundidades del rango de 700 a 1000 m. Los círculos amarillos son los lugares con potencial térmico explotable. Fuente: Bárcenas Graniel (2011). Evaluación del potencial de conversión de energía renovable en el Caribe mexicano. (Tesis de Maestría). Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Xcalak, Mahuahual y banco Chinchorro, es una zona amplia franja que costea los mejores lugares para instalar OTEC, desde Xcalak hasta, Mahuahual con distancia a la costa desde 6.7 a 14.4 km. La ciudad más cercana es Chetumal la cual se encuentra a una distancia de 55 km.



Áreas Naturales Protegidas (ANP), Posibilidad de Ocurrencia de Huracanes y Detección de Mareas Rojas Tóxicas y No Tóxicas en México

ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS (ANP) EN MÉXICO

Se ha estudiado teóricamente la posible influencia en las condiciones medio ambientales marinas por el funcionamiento de una planta de ésta naturaleza (García-Huante, 2015), pero no se ha probado en realidad en nuestro país, dado que muchas regiones de los litorales mexicanos están protegidas legal y ambientalmente. Considerar aspectos ambientales para la instalación de una planta OTEC, permitirán mejores tomas de decisiones para construir una planta funcional respetando los lineamientos de manejo ambiental y el impacto a generar.



En el mapa (figura 41) incluye el polígono de las Áreas Naturales Protegidas consideradas hasta diciembre de 2016 y la tabla 8 la estrategia de manejo ambiental y legal en el que se encuentran.

En la tabla 9, se resumen algunas características de las ANP que se encuentran dentro de sitios de interés para OTEC.

Es importante mencionar que toda la costa de Michoacán son áreas protegidas pues ahí anidan tres especies de tortuga marina consideradas en peligro de extinción: *Golfina*, *Laúd* y *Negra o Prieta*, de esta última se considera que

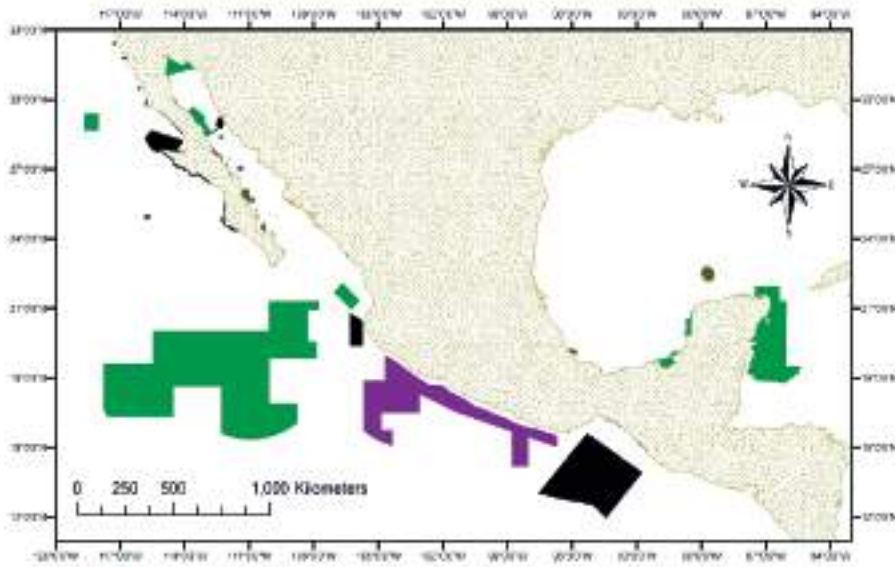


Figura 41. Áreas Naturales Protegidas marinas de México. El color indica su estrategia de manejo ambiental y legal. Fuente: Alatorre Mendieta et al. (2017).

Tabla 8. Simbología utilizada en el mapa de Áreas Naturales Protegida, para indicar el estatus de manejo del ANP.

Color	significado simbología
Verde	Reservas de la Biósfera
Púrpura	Santuarios
Verde claro	Áreas de protección de los recursos naturales
Marrón	Parques Nacionales
Amarillo	Áreas de protección de flora y fauna
Negro	Ambigüedad en su manejo

Fuente: Alatorre Mendieta et al. (2017)

Tabla 9. Áreas Naturales Protegidas de los sitios de interés para instalación de plantas OTEC.

Sitios OTEC	Nombre	Categoría	Descripción
Baja California Sur¹			
San José del Cabo	Cabo Pulmo	Parque Nacional	Arrecifes Coralinos
	Estero San José	Zona Sujeta a Conservación Ecológica y de Aves	Presenta ecosistemas complejos
Cabo San Lucas	Bahía de Cabo San Lucas	Área de protección de flora y fauna	Sitio de reproducción de ballenas
Jalisco y Nayarit²			
Puerto Vallarta	Estero "El Salado"	Zona de Conservación Ecológica	Zona de protección de mangle
Bahía de Banderas	Parque Nacional Islas Marietas	Parque Nacional	Flora y fauna en categoría de riesgo
Guerrero³			
Tecpan de Galena	Santuario Piedra Tlacoyunque	Santuario	Sitio Prioritario para la Conservación
Michoacán⁴			
Colola	Playa Colola	Santuario	Reservas de tortugas marinas
Oaxaca⁵			
Huatulco	Parque Nacional Huatulco	Parque Nacional	Presenta ecosistemas complejos
Mar Caribe⁶			
Banco Chinchorro y aguas oceánicas adyacentes	Banco Chnchorro	Reserva de la Biosfera	Formaciones arrecifales
Isla Cozumel	Isla Cozumel	Reserva de la Biosfera	Presenta ecosistemas complejos
Xcalak	Parque Nacional Arrecifes de Xcalak	Parque Nacional	Formaciones arrecifales

Elaboración propia con datos de ¹ CONANP (2012), SEMARNAT (2016); ² CONANP (2005); ³ Vela G (2015), CONABIO (2009); ⁴ CONANP (2016), SEMARNAT (2008); ⁵ Cabrera J (2013), CONANP (2011); ⁶ CONANP (2010), SEMAR (2008) y CONANP (1996).

en playa de Colola anidan más del 70% del total mundial de tortugas marinas (SEMARNAT, 2008, CONANP, 2016).

MAREAS ROJAS REPORTADAS

Mareas Rojas No Tóxicas

Considerando el factor ambiental que implica el bombeo de aguas profundas y depositarlas en otro punto de la columna de agua, se muestra a continuación



Figura 42. Reservas de tortugas en las costas de Michoacán.

Fuente: Elaboración propia en Google Earth, utilizando información de CONANP (2016).

en el mapa de la figura 43, la localización de sitios en los que han ocurrido mareas rojas no tóxicas que ocurrieron del 2000 al 2012 (Alatorre, 2017).

Mareas Rojas Tóxicas

En las figuras 43 Y 44 se observan que en varias localidades han ocurrido de los dos tipos de mareas rojas.

RIESGO POR EMBATE DE HURACANES

Según los mapas creados por Alatorre *et al.* (2017) en las figuras 45, 46, 47 , 48 y 49 se muestra que a medida que las líneas concéntricas estén más alejadas una de otras, es menor la probabilidad del embate del huracán y a mayor concentración de líneas existe mayor probabilidad de embate.

En las figuras también se observar que algunas de las regiones que tienen muy alto interés para la instalación de plantas OTEC, están dentro de la posibilidad de ser afectadaa por huracanes. El riesgo por embate de huracanes en Baja California de categoría 1 hasta 4 es muy alto y suelen presentarse durante los meses de mayo a noviembre (Martínez *et al.*, 2014; Jiménez *et al.*, 2012; SEMAR 2012). En las zonas de Jalisco y Nayarit entre los meses de junio y octubre se presentan los ciclones tropicales y el riesgo por embates de huracanes llega hasta categoría 5. En Guerrero se genera la mayor frecuencia de lluvias torrenciales provocadas por tormentas y ciclones, aunque el grado de peligro por ciclones tropicales es principalmente bajo, el riesgo por emba-



Figura 43. Lugares en los que se han detectado mareas rojas no tóxicas en costas de México, del año 2000 al 2012, Fuente: Alatorre Mendieta *et al.* (2017).



Figura 44. Lugares en los que se han detectado mareas rojas tóxicas en costas de México, del año 2000 al 2012, Fuente: Alatorre Mendieta *et al.* (2017).

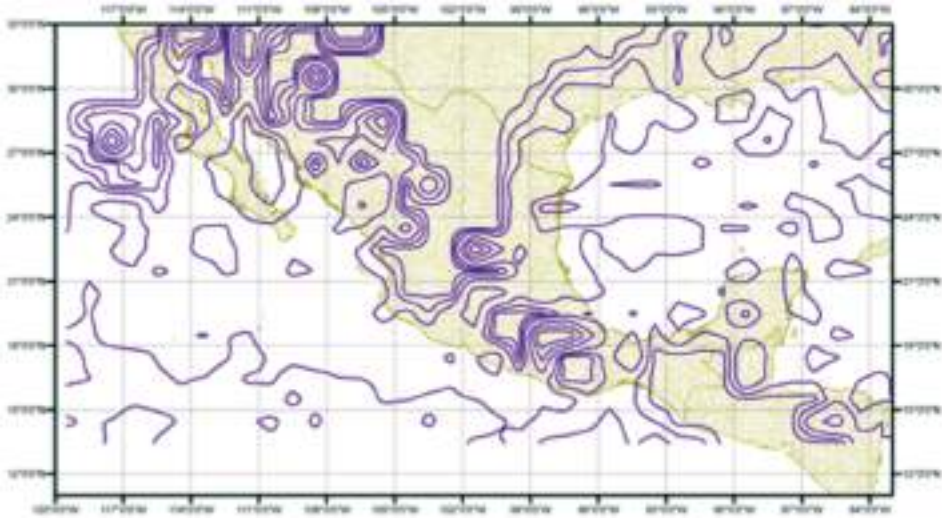


Figura 45. Regiones en riesgo por embate de huracanes categoría 1 en costas mexicanas.
Fuente: Alatorre Mendieta et al. (2017).

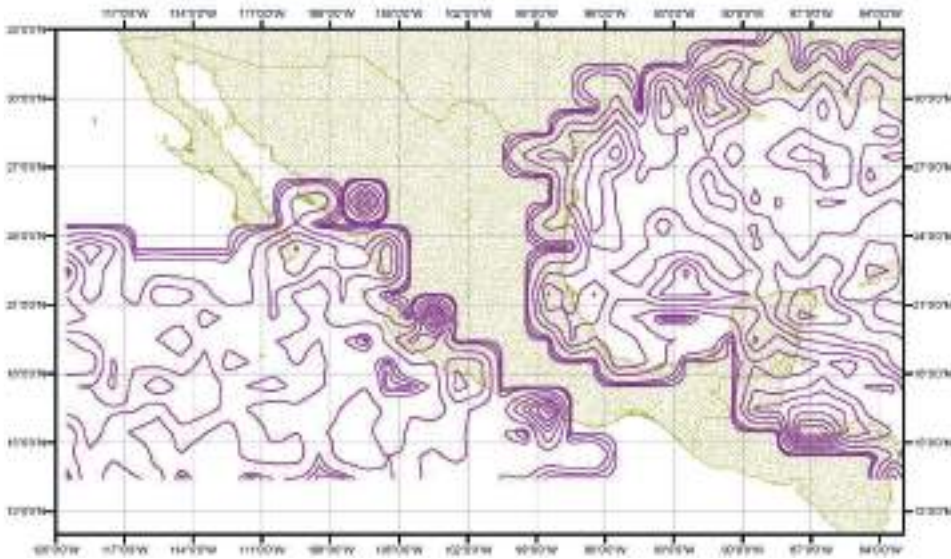


Figura 46. Regiones en riesgo por embate de huracanes categoría 2 en costas mexicanas
Fuente: Alatorre Mendieta et al. (2017).

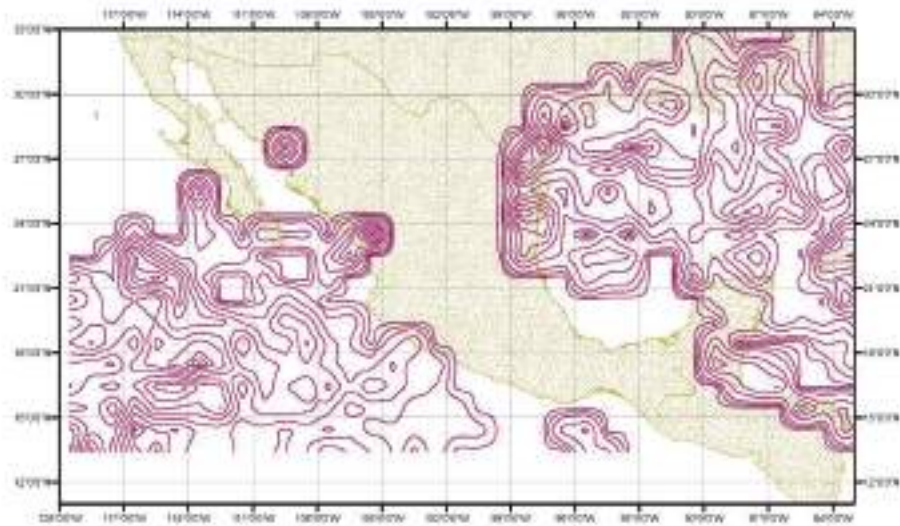


Figura 47. Regiones en riesgo por embate de huracanes categoría 3 en costas mexicanas.
Fuente: Alatorre Mendieta *et al.* (2017).

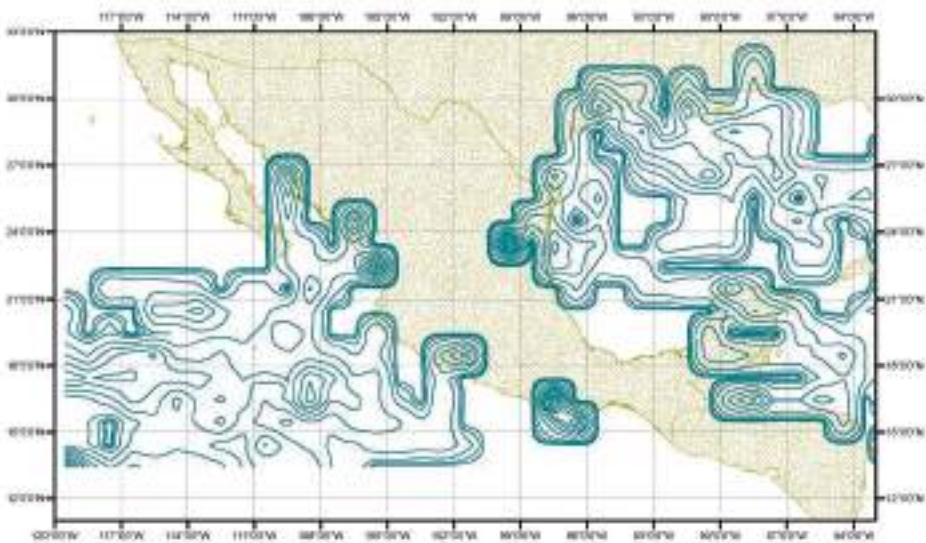


Figura 48. Regiones con riesgo por embate de huracanes categoría 4 en costas mexicanas.
Fuente: Alatorre Mendieta *et al.* (2017).

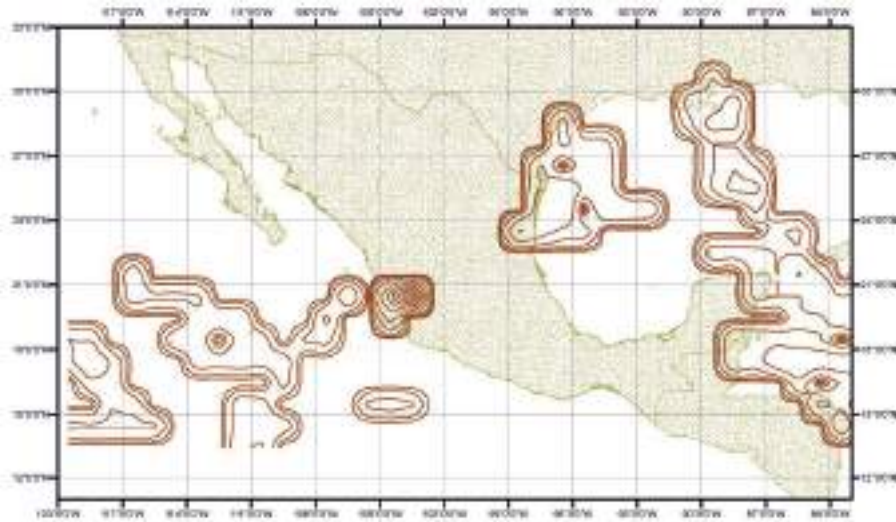


Figura 49. Regiones con riesgo por embate de huracanes categoría 5 en costas mexicanas.
Fuente: Alatorre Mendieta *et al.* (2017).

tes de huracanes puede llegar hasta categoría 4. En Michoacán las tormentas tropicales y los huracanes tienen un impacto moderado, ya que únicamente nueve tormentas y huracanes han tenido un impacto directo en este estado (Moreno *et al.*, 2014). En Oaxaca el grado de peligro por ciclones tropicales es principalmente bajo en las costas del estado. La región del Mar Caribe está ampliamente expuesta a meteoros atmosféricos, desde tormentas tropicales hasta huracanes de cualquiera de las cinco categorías de la escala Simpson Saffir, comparativamente con los otros estados costeros del país, las costas del Mar Caribe son las más frecuentadas por los ciclones tropicales.



Descripción de algunos Sitios con Potencial Térmico en México

BAJA CALIFORNIA SUR (BCS)

En el estado de Baja California Sur, existen cuatro sitios con potencial térmico explotable para construir una planta OTEC, como son Cabo San Lucas, San José del Cabo, Los Cabos e Isla Cerralvo. A continuación, se dará una breve descripción general de cada uno de los sitios.

Cabo San Lucas, San José del Cabo y Los Cabos se ubican en la parte sur del estado de Baja California Sur, por su parte isla Cerralvo es una isla sureña de la costa en el golfo de California. En general en esta parte sur del estado predomina el clima muy árido cálido a muy árido templado (Anexo, figura 1), donde la temperatura media anual del estado es de 24.4 °C (INEGI, 2015; Martínez *et al.*, 2014) cuyas características principales son lo extremo de sus temperaturas diurnas y la gran sequedad ambiental (Rodríguez *et al.*, 2014). Las lluvias son muy escasas y se presentan principalmente en verano, aunque oficialmente la temporada de lluvias se extiende a partir del mes de junio a octubre. La precipitación anual promedio en el estado es menor a 200 mm. Debido a la escasa precipitación, la poca actividad agrícola que se practica es de riego en Valle de Santo Domingo donde se cultiva: algodón, trigo, alfalfa verde, frijol,



jitomate, cártamo, chile verde y papa (INEGI, 2015). El grado de peligro por la presencia de ciclones y tormentas tropicales es muy alto (Anexo, figura 2), suelen presentarse durante los meses de mayo a noviembre; generalmente el 25% de las tormentas tropicales y el 20% de los huracanes que hacen tierra en México llegan a Baja California Sur son regularmente de categoría 2 (H2) (Anexo, figura 2) (Martínez *et al.*, 2014; Jiménez *et al.*, 2012; SEMAR 2012). Los procesos oceanográficos presentes en el golfo de California están caracterizados por surgencias (movimiento vertical de las masas de agua, de niveles profundos hacia la superficie del mar) en verano, presentan marea semidiurna, oleaje alto, con influencia predominante de “El Niño”. Estas características son relevantes debido a que promueven la elevada productividad biológica de la región de diversas formas, ocasiona grandes concentraciones de fitoplancton, lo que a su vez genera cadenas alimenticias complejas y exitosas. En la región media del golfo, las corrientes de marea son muy intensas y ocasionan una profunda mezcla de la columna de agua, cuyos efectos son similares a aquellos generados por la existencia de una surgencia permanente. En la zona de las grandes islas la temperatura superficial del agua es la más fría durante todo el año. (SEMAR, 2012; CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA, 2007).

Baja California Sur, durante muchos años ha estado desconectado del Sistema Interconectado Nacional (SIN) pues el mercado no es muy rentable debido a la baja población y a que el sistema eléctrico es vulnerable cuando llega la época de lluvias y huracanes; sin embargo, se planea que pronto se integre al SIN. Debido al auge de la industria turística, la demanda de electricidad casi se duplicará para el año 2030 y para satisfacer la demanda eléctrica se necesitarán hasta 584 MW de nueva capacidad térmica (SENER, 2016b). En Los Cabos existe conexión con el Sistema Eléctrico Nacional (SEN), en donde la transmisión eléctrica (Anexo, figura 3) se divide en tres zonas: Constitución, La Paz y Los Cabos; más los sistemas eléctricos de Guerrero Negro y Santa Rosalía que operan aislados entre sí y del resto del sistema. El consumo energético total en el estado es significativamente superior al observado en el nivel nacional, debido a un mayor consumo de electricidad para abastecer equipos de aire acondicionado por causas de las altas temperaturas durante verano en importantes fracciones del territorio estatal (SENER, 2012).

La falta de conexión a la red nacional, puede tomarse como una oportunidad para generar electricidad de manera local a partir de recursos renovables que pueden servir para el auto abastecimiento e incluso exportación de energía eléctrica a otras localidades y municipios.

Dentro de los lugares antes mencionados, Los Cabos tienen una población de 317 224 habitantes, incluye a Cabo San Lucas (82 723 habitantes) y a San José del Cabo (97 193 habitantes), entre otras localidades (CONAPO, 2015), de los cuales aproximadamente el 97% de la población es alfabeta. El 80.8% de las viviendas tiene agua entubada, el 96% cuenta con energía eléctrica y el 31.5% cuenta con servicio de internet (INEGI, 2010).

Los Cabos son de los principales lugares de turismo a través del corredor San José del Cabo-Cabo San Lucas (figura 41). El esquema de turismo se basa en los atractivos que ofrecen sus playas, el paisaje, pesca deportiva, infraestructura hotelera y las actividades náuticas. En esta zona se concentran el 75% de las habitaciones de hotel y los visitantes hospedados en hoteles registraron una estadía promedio de 4.7 días, también el mayor registrado en el estado. Por tales motivos el principal sector económicos es hotelería y restaurantes, seguido del comercio (Gobierno de BCS, 2013; INEGI, 2010).

Isla Cerralvo es una de las islas más grandes del golfo de California, que sobresale por el azul intenso de sus aguas. Actualmente la Isla no está habitada permanentemente por humanos, además de que no existe red eléctrica en esta zona (SEMAR, 2012; Hernández, 2004).

Áreas Naturales Protegidas de los sitios en Baja California Sur

Cerca de la ciudad de San José del Cabo se encuentra “Cabo Pulmo” que es uno de los arrecifes coralinos más grandes y viejos en donde existe la diversidad biológica más grandes en el Pacífico mexicano. Por su belleza y característica naturales, en el año 2005 la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) la declaró Patrimonio Natural de la Humanidad y en 2008 se agregó a la lista del Convenio RAMSAR para la Conservación de Humedales de Importancia Internacional (Anexo, figura 4 y 5) (CONANP, 2017; Senado de la República, 2012). En la misma ciudad de encuen-



Figura 50. Mapa de los destinos y actividades turísticas en Baja California Sur.

Fuente: SDERMAN. (2016). Secretaría de Desarrollo Económico, Medio Ambiente y Recursos Naturales Gobierno de Baja California Sur. Datos básicos de Baja California Sur.

Recuperado de <https://goo.gl/BzuWnv>.



Figura 51. Mapa de las áreas naturales protegidas en Baja California Sur
 Fuente: SDERMAN. (2016). Secretaría de Desarrollo Económico, Medio Ambiente y Recursos Naturales Gobierno de Baja California Sur. Datos básicos de Baja California Sur. Recuperado de <https://goo.gl/BzuWnv>.



Figura 52. Riqueza específica de los cetáceos en México por zona marina y sitios con potencial térmico explotable Fuente: Adaptado de SEMARNAT. (2004). Biodiversidad. México, un país mega diverso. Recuperado de: <https://goo.gl/KUE5IE>.



Figura 53. Arrecife Coralino de Cabo Pulmo y Estero San José.
Fuente: imágenes tomadas de internet.

tra el “Estero San José”, es un humedal de agua dulce de gran importancia para las aves migratorias y playeras debido a la escasez de cuerpos de agua en la península bajacaliforniana. En este ecosistema habita el Mascarita de Belding o Mascarita Peninsular (*Geothlypis beldingi*), un ave endémica de los oasis de Baja California Sur. En el cuerpo lagunar se encuentran aproximadamente 14 especies de peces como el burrito boca roja (*Pomadasy bayanus*), entre otras. Dentro de las especies nativas de peces, se encuentran el pez de arena (*Awaous tajasica*) y el dormilón. En cuanto a reptiles y anfibios, el refugio es hábitat de la culebra de agua (*Thamnophis validus*), el gecko (*Phyllodactylus unctus*), la lagartija aligador de San Lucas (*Gerrhonotus paucicarinatus*), la iguana de cola espinuda (*Ctenosaura hemilopha*) y la tortuga (*Trachemys nebulosa*), entre otras. Las playas arenosas del estero se encuentran el 80% de los nidos de tortuga en Baja California Sur (PRONATURA, 2017; SEMARNAT, 2016; SDERMAN, 2016).

El Área de Protección de Flora y Fauna de la Bahía de Cabo San Lucas se decretó el 29 de noviembre de 1973, La mayor parte del área natural protegida está en superficie marítima (95%). Es un área donde habitan aves, reptiles, mamíferos. La especie más apreciada son los lobos marinos (*Zalophus californianus*), quienes se agrupan en una colonia de más de 30 individuos. La zona del golfo de California es de las más ricas en especies de cetáceos (Figura 15.3), las especies que visitan el área anualmente con fines reproductivos son: la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*), la cual se reproduce en esta zona, la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) y ballena azul (*Balaenoptera musculus*), y otros avistamientos menores o poco documentados de mamíferos marinos (CONANP, 2012; SEMARNAT, 2004).

La isla Cerralvo fue clasificada en el 2005 Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, como parte de las islas y áreas protegidas del golfo de California, en ella habitan interesantes especies como los lobos marinos y un sinfín de aves:



el pájaro bobo, pelícano, gaviota y los cormoranes, además de una vegetación increíble donde abundan cactus como el cirio y el cardón; también presenta arrecifes rocosos ubicados en el extremo norte y sur de la isla (SEMAR, 2012).

JALISCO Y NAYARIT

En el estado de Jalisco existen tres sitios con potencial térmico explotable para construir una planta OTEC, como son Puerto Vallarta, Bahía Banderas y Cabo Corrientes. A continuación, se dará una breve descripción general de cada uno de los sitios.

Puerto Vallarta es un municipio y ciudad del estado de Jalisco. Su clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano (Anexo 1, figura 1). La temperatura media anual es de 25.7°C y la precipitación anual se ubica en los 1 392 mm. La época más húmeda se presenta durante el periodo de mayo-septiembre, precipitándose más del 90% del total de la lluvia anualmente (World Meteorological Organization, 2017). Entre los meses de junio y octubre se presentan los ciclones tropicales (Anexo 1, figura 2) y durante los meses de noviembre a febrero, la región se ve afectada por vórtices fríos y por corrientes de chorro (SEMAR, 2013). Las mareas en esta zona suelen tener ciclos de pleamar y bajamar; mientras que las corrientes principales son la corriente de California (corriente de agua fría) que baja del norte y la corriente de Costa Rica (corriente de agua caliente). Debido a su ubicación el clima es sensible a las variaciones estacionales y a los procesos globales como el fenómeno de “El Niño” o “La Niña” (SEMAR, 2013).

Es un municipio de 275 640 habitantes, de los cuales el 62.50% están económicamente activos y de éstos el 95.85% están ocupados laboralmente. Además, el 95.75% de las viviendas tienen agua entubada y el 72.45% tiene acceso a Internet (ONU-HABITAT, 2015; INEGI, 2015; SEDESOL, 2010). El municipio cuenta con 14 406 unidades económicas a diciembre del 2015 y su distribución por sectores revela un predominio de unidades económicas dedicadas a los servicios, siendo estas el 51.8% del total de las empresas en el municipio (INEGI, 2017; IIEG, 2016).

Es la segunda zona económica más importante del estado de Jalisco, el segundo destino de playa más visitado del país y el tercer puerto más importante de México. Actualmente, es uno de los lugares más visitados del país (SEMAR, 2014). Recibe más de 3 700 000 visitantes al año, de los cuales el 62% son turistas nacionales y el 38% son turistas extranjeros, cuenta con 284 unidades económicas de hospedaje. Con respecto al Índice de Desarrollo Municipal concerniente al desarrollo económico, funcionamiento institucional, condiciones sociales y medio ambiente, el municipio de Puerto Vallarta se ubica en todos esos aspectos en la categoría de muy alto; estos resultados ponen de manifiesto que el municipio ofrece unas condiciones de hábitat y calidad de vida altas para sus pobladores, con aceptables servicios de educación, salud,

funcionamiento institucional y condiciones medioambientales. El Índice de Desarrollo Municipal (COEPO, 2011) muestra que Puerto Vallarta tiene la tasa de incidencia delictiva más alta de Jalisco; sin embargo, desde la perspectiva del turista nacional, no se encuentra en la lista de los 14 destinos que son percibidos como inseguros (SECTUR, 2014).

Puerto Vallarta desde el 2014, se ha unido al Programa de Generación y Suministro de Energía Eléctrica por Fuentes Renovables el Gobierno de Jalisco, ya que el estado, es el cuarto consumidor de energía a nivel nacional, sin embargo, sólo produce el tres por ciento de esta energía (Gobierno de Jalisco, 2014), por lo que cualquier tipo de energía renovable como OTEC podría ser bien recibido; además la transmisión de energía eléctrica generada podría conectarse a la red eléctrica de Puerto Vallarta la cual se conecta a la región de Tepic (Anexo 1, figura 3) (SENER, 2016a; CFE, 2006).

Bahía de Banderas, es una bahía natural de México localizada en la costa del océano Pacífico, entre los estados de Jalisco y Nayarit. Su tipo de clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano, tiene una temperatura media anual superior a 26°C, con una precipitación anual de entre 1 100 y 1 600 mm (García, 2004), esta cantidad de lluvia que cae sobre el municipio hace que la mayor parte de las hectáreas cultivables sean de temporal y no de riego (ONU-HABITAT, 2016; Velázquez *et al.*, 2012). Es una de las bahías más profundas del mundo (más de 900 m) y es uno de los cuerpos de agua más importantes en el Pacífico Mexicano debido a su ubicación ya que se encuentra afectada por un sistema de corrientes muy dinámico (García, 2004), lo que la hace tener una biodiversidad excepcional de gran importancia para la conservación. De acuerdo con el Atlas Municipal de Riesgos de Bahía de Banderas, 2012, los riesgos ante los cuales se encuentra vulnerable la población del municipio son: sismos, activación de fallas, erosión, deslizamientos y derrumbes, tsunamis, inundaciones, ciclones tropicales (Huracanes y tormentas tropicales), precipitaciones atípicas, flujos de lodo, marea de tormenta por efecto de ciclones tropicales y vientos huracanados (Municipio Bahía Banderas, 2016).

La Bahía tiene una población de 124 205 habitantes, de los cuales el 94.7% están ocupados laboralmente, el 94.2% de las viviendas tienen acceso al agua, el 21.85% tiene acceso a internet (ONU-HABITAT, 2016). La principal actividad turística es el “ecoturismo”, que consiste en actividades de buceo libre y autónomo para la observación de los peces; aunque no es un lugar tradicionalmente reconocido en la jerarquía de sitios turísticos mexicanos, la cercanía con Puerto Vallarta ha hecho que el sector se haya expandido en esta parte de Nayarit. Si bien, la base del desarrollo económico se concentra en la actividad turística y comercial, el bienestar de la población es parcial, ya que aún persisten espacios marginados. Esta situación se ha vuelto más compleja con la conurbación de los municipios de bahía de Banderas y Puerto Vallarta, donde hay serias limitaciones en la prestación de los servicios básicos, vías de comunicación,



transporte, tratamiento de agua y manejo de residuos sólidos (Municipio Bahía Banderas 2016; López Vergara *et al*; 2016; Márquez González *et al*; 2007).

Cabo Corrientes, es un cabo localizado en la costa del océano Pacífico. El clima es considerado como semiseco, con invierno y primavera secos y cálidos, sin estación invernal definida: en la parte oriente es cálido subhúmedo, con invierno y primavera secos y cálidos, sin estación invernal definida. La temperatura media anual es de 24.6° C mientras que sus máximas y mínimas promedio oscilan entre 36 °C y 13.3°C respectivamente, siendo en el mes de junio el más caluroso y el mes de enero el más frío. La precipitación media anual de 1,624 mm, con régimen de lluvias en los meses de junio a septiembre (IIEG, 2016). Es un hito importante de la navegación, que figuran en la primera cartografía de la región. Los navegantes de crucero se refieren a veces a este cabo como la punta Concepción de México (SEMAR, 2013).

Es un municipio de 10 303 habitantes, de los cuales el 13.18% es analfabeta y el 52.08% están económicamente activos. El desempleo en el municipio, surge como consecuencia de la falta de oportunidades, debido a la carencia de inversión, infraestructura turística, agropecuaria, educativa y de servicios. Los asentamientos humanos son principalmente rurales; sin embargo, el 82.7% de la población cuenta con servicio de agua entubada, las viviendas que no cuentan con este servicio la obtienen a través de pozos que se encuentran en las localidades (IIEG, 2016; SEDESOL,2010; Plan de Desarrollo Municipal, 2007). La ganadería es una de las actividades económicas más importantes de la región, seguida de la pesca.

Áreas Naturales Protegidas de los sitios en Jalisco y Nayarit

La única Área Natural Protegida (ANP) dentro del municipio de Puerto Vallarta es el estero “El Salado”. Dicho estero fue decretado el 27 de julio del 2000 con la categoría de Zona de Conservación Ecológica. Esta zona protege especial-



Figura 54. Imágenes de algunas Áreas Protegidas del estado de Jalisco y Nayarit.
Fuente: imágenes tomadas de internet.

mente a tres especies de mangle, la cual se enlaza con vegetación acuática, terrestre y fauna.

En Bahía de Banderas se encuentra el “Parque Nacional Islas Marietas” es un archipiélago conformado por dos islas y dos islotes. Estas islas protegen 44 especies de flora y fauna que se encuentran en alguna categoría de riesgo de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, 8 especies de mamíferos marinos, 92 de aves y 115 de peces, de cerca de 6 000 especies de macrofauna, incluyendo la mayor diversidad de ballenas de gran tamaño en el mundo, de hecho ahí tienen lugar la reproducción y parto de la ballena jorobada. Sus lechos marinos, lagunas costeras y manglares sirven de lugares de anidación para cientos de especies de aves migratorias y residentes (Velázquez A *et al.*, 2012). Por tales motivos el 25 de abril del 2005, fueron decretadas como Área Natural Protegida con la categoría de Parque Nacional (Anexo 1, figuras 4 y 5) (CONANP, 2005).

Cabo Corrientes (figura 46) representa para el estado de Jalisco un área importante con características para ser considerada de conservación, además cuenta con innumerable diversidad de fauna y especies silvestres, algunas de ellas son únicas del lugar y otras son consideradas como especies en peligro de extinción como el jaguar, la tortuga marina y el cocodrilo.

GUERRERO

En el estado de Guerrero existen cuatro sitios con potencial térmico explotable para construir una planta OTEC, como son Barra del Potosí, San Luis de la Loma, El Cobano y Nuxco, los cuales se ubican en la región de la Costa Grande, que representa el 23.06% de la extensión territorial de Guerrero. A continuación, se dará una breve descripción general de cada uno de los sitios.



Figura 55. Biodiversidad del estado de Jalisco. Fuente: Programa Municipal de Desarrollo Urbano. (2012). Gobierno de Jalisco. Recuperado de <https://goo.gl/0FuXOI>



Figura 55. Imágenes de algunas especies en peligro de extinción del estado de Jalisco.
Fuente: imágenes tomadas de internet.

El 82% de del estado de Guerrero, presenta clima cálido subhúmedo (Anexo 1, figura 1), la temperatura media anual es de 25°C. Las lluvias se presentan en verano, en los meses de junio a septiembre, el mes más lluvioso es septiembre con una precipitación media mensual de 229.6 mm; esto se debe, a la mayor frecuencia de lluvias torrenciales provocadas por las tormentas y ciclones que se generan en el Pacífico, aunque el grado de peligro por ciclones tropicales es principalmente bajo en las costas del estado (Anexo 1, figura 2). De acuerdo con el análisis realizado en un período de 32 años, por las costas del Pacífico Mexicano de 261 ciclones que cruzaron el área, tan solo el 29% entraron o tocaron tierra en Guerrero. La precipitación media del estado es de 1 200 mm anuales. Por su parte, el período de máxima evaporación es de noviembre a febrero y los meses más secos son febrero, marzo y abril. Se encuentran formaciones coralinas en inmediaciones de casi todas las islas y rocas cercanas al complejo turístico Ixtapa-Zihuatanejo (SEMAR, 2010).

Las principales redes de distribución de energía eléctrica del SEN se ubican en Acapulco y Zihuatanejo, la cual se encuentra bajo las facultades de la empresa de servicios del estado, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) (Anexo 1, figura 3). El turismo representa casi el 30% del Producto Interno Bruto del estado de Guerrero y buena parte se centra en Acapulco ocupando el segundo lugar nacional en número de visitantes (Gobierno Municipal, 2012).

Barra de Potosí, es una localidad se encuentra en el municipio de Petatlán. Debido a la variedad de topografía y altura que presentan, existen distintos tipos de climas que van desde templado, cálido y semicálido, de los cuales predomina el cálido subhúmedo con lluvias en verano. El rango de temperaturas promedio anual es de 27.3 °C y la precipitación media es de 1 003 mm, el periodo de lluvias comprende de junio a mediados de octubre, donde la mayor cantidad de precipitación ocurre en septiembre, con un promedio de 266 mm (Climate Data, 2017a; SEMARNAT, 2004). Es una pequeña comunidad a orillas del mar que se ubica al final de Playa Larga y a 35 minutos en coche desde la población pesquera de Zihuatanejo. Dado que es un pueblo pequeño, no tiene

grandes atracciones turísticas y sus playas siguen siendo vírgenes.

En la localidad hay 396 habitantes, de los cuales el 5.81% de la población es analfabeta y el 51.26% de la población está ocupada laboralmente, dentro de la principal actividad económica que es la agricultura en especial la del maíz. Existen 170 viviendas, de ellas, aproximadamente el 97% cuentan con electricidad, ninguna cuenta con agua entubada y el 4.59% tiene acceso a Internet (SEDESOL, 2010). Específicamente en la cabecera municipal se cuenta con una subestación eléctrica que abastece perfectamente a la mayoría de la población urbana. Las colonias populares de nueva creación, carecen de este servicio, así como algunas comunidades sierra media y alta, debido a que factores como el difícil acceso, dispersión de localidades que provoca notablemente incrementos del costo de tendido de la red (Gobierno Municipal, 2012).

En el municipio de Técpan de Galeana, se encuentran tres lugares con potencial térmico explotable como San Luis de la Loma, el Cobano y Nuxco. En el municipio se ha registrado que la temperatura media anual es de 28°C y la precipitación media es 965 mm, siendo febrero el mes más seco y septiembre el mes con mayor cantidad de lluvia (Climate Data, 2017b). Los climas que se identifican en el territorio del municipio van de Cálido, semicálido y templado con lluvias en verano (Plan Municipal, 2015).

San Luis de la Loma cuenta con 5 085 habitantes de los cuales el 9.5% de la población es analfabeta y el 37.82% de la población está ocupada laboralmente. Existen 1 725 viviendas, de ellas, el 99.49% cuentan con electricidad, el 94.5% tienen agua entubada y el 12.45% cuenta con servicio de Internet (Plan Municipal, 2015; SEDESOL, 2010). Este pueblo ha saltado a la fama nacional por ser el escenario de enfrentamientos entre grupos de la delincuencia organizada y es una de los territorios más pobres y más violentos del país, dado que la zona es propicia para la siembra de amapola, lo que ha provocado que el cartel de Los Caballeros Templarios, busquen el control de la misma (BBC, 2013).

El Cobano se encuentra a 1 km de la carretera que une a la zona turística de Ixtapa-Zihuatanejo. Cuenta con 278 habitantes, donde el 11.51% de la población es analfabeta y el 37.41% está ocupada laboralmente. Tiene 96 viviendas, de ellas el 98.72% cuentan con electricidad, el 98.72% tienen agua entubada y no tienen acceso a internet (SEDESOL, 2010). Debido a la poca infraestructura y a la violencia que se vive en esta localidad el turismo es prácticamente inexistente.

Nuxco en Guerrero, cuenta con 1 993 habitantes, de los cuales el 14.45% de la población es analfabeta y el 41.29% de la población está ocupada laboralmente. Hay 753 viviendas, de ellas el 98.83% cuentan con electricidad, el 57.19% tienen agua entubada y el 7.86% Internet (SEDESOL, 2013). La violencia en esta región es muy alta, además de que el municipio está endeudado por el Comisariado Municipal (Canal Judicial, 2017).



Figura 56. Imágenes de los sitios con gradiente térmico explotable en el estado de Guerrero.
Fuente: imágenes tomadas de internet.

Áreas Naturales Protegidas de los sitios en Guerrero

Barra del Potosí es conocida por su gran diversidad biológica pues cuenta con 212 especies de aves silvestres, de las cuales 82 son acuáticas y marinas, 23 de ellas son especies únicas de México y 19 de ellas se encuentran en categorías de riesgo, por tales motivos desde 2009, la CONABIO incorporó a la laguna de Potosí como un Sitio Prioritario para la Conservación, bajo la categoría de Sitios de Manglar con Relevancia Biológica y con Necesidades de Rehabilitación Ecológica (Vela G, 2015; CONABIO,2009).

MICHOACÁN

El clima de las costas de Michoacán pertenece a la franja del trópico seco con sólo tres o cuatro meses de lluvia en el verano y climas subhúmedos con lluvias en verano (Anexo 1, figura 1). La precipitación media anual varía desde los 600 a los 800 mm anuales; las temperaturas máximas varían entre 25 y 26°C y las mínimas entre 18 y 20°C. Las tormentas tropicales y los huracanes tienen un impacto moderado en las costas de Michoacán, ya que únicamente nueve tormentas y huracanes han tenido un impacto directo en este estado. Pertenece a la región Costa Suroccidental del Pacífico Mexicano, limita al noroeste con Bahía de Banderas, Jalisco, hasta Mazunte cerca de Puerto Ángel en Oaxaca (Moreno *et al.*, 2014). La marea en esta región es clasificada como mixta semidiurna, la dirección del mar es dominante del oeste con una fuerza de corrientes mínima (SEMAR, 2013).

En la costa de Michoacán la principal red eléctrica del SEN se ubica en Lázaro Cárdenas con una capacidad de 2,900 MW (Anexo 1, figura 3). Existen dos sitios con potencial térmico explotable para construir una planta OTEC, como

son Colola y Santa María de Ostula, sin embargo, actualmente Michoacán es el estado con mayor índice delictivos del país, por lo que se recomienda realizar estudios de esta índole con el fin de que la instalación de este tipo de planta no se vea afectada. A continuación, se dará una breve descripción general de cada uno de los sitios.

Colola y Santa María de Ostula son localidades que se encuentran en el municipio de Aquila. En el municipio la temperatura media anual es de 27°C, con máxima de 31.3°C y mínima de 12. °C. El régimen de lluvias se registra entre los meses de junio y agosto, contando con una precipitación media de los 604.8 mm (Climate Data, 2017).

En Colola, hasta el 2010 se registraron 632 habitantes, de los cuales el 9.97% de la población es analfabeta y el 28.16% de la población está ocupada laboralmente, donde la actividad económica de la población es multifuncional, es decir, no realizan una sola actividad. Existen 157 viviendas, de ellas el 84.21% cuentan con electricidad, el 6.02% tienen agua entubada y el 0.75% cuenta con servicio de internet (Pueblos América, 2010). En las viviendas donde no hay servicio de agua entubada, el agua de uso generalmente proviene de pozos particulares y de bombas manuales y eléctricas. El turismo en esta área es relativamente bajo debido a su poca infraestructura, sin embargo, la principal actividad es el “ecoturismo” con campamentos de tortugas donde decenas de voluntarios de todo el mundo arriban a esta playa año con año, para ayudar a la recolección de huevos, su incubación y semanas después, su liberación.

Santa María de Ostula, de acuerdo al Censo de Población y Vivienda de 2010 realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la población de Ostula es de 972 personas, de las cuales el 5.56% de la población es analfabeta y el 31.38% de la población está ocupada laboralmente. Existen 311 viviendas, de ellas el 90.95% cuentan con electricidad y el 28.14% tienen agua entubada (INEGI, 2010). En esta localidad habitan comunidades indígenas Nahuas, los cuales representan el 57.10% de la población. Estas comunidades presentan un alto nivel de pobreza y marginación, su principal actividad económica es como jornaleros en cultivos comerciales como La Placita y Coahuana en Michoacán, aunque algunos otros, los menos, prefieren contratarse en cultivos ilícitos de marihuana, los cuales abundan en la sierra (Guardado, 2004).

Santa María de Ostula se ha caracterizado en los últimos años por sus denuncias contra los abusos de parte tanto de autoridades como grupos delincuenciales y como tal fue una de las comunidades pioneras en organizar grupos de autodefensa.

Áreas Naturales Protegidas de los sitios en Michoacán

En las costas de Michoacán anidan tres especies de tortuga marina consideradas en peligro de extinción: *Golfina*, *Laúd* y *Negra o Prieta*, de esta última se considera que en playa de Colola anidan más del 70% del total mundial



Figura 57. Reservas de tortugas en las costas de Michoacán.
Fuente: elaboración propia con datos de la CONANP (2016).

de tortugas marinas. Esta playa recibe cada año a miles de tortugas que ponen aproximadamente 100 huevos cada una (SEMARNAT, 2008). El monitoreo, vigilancia y protección de nidos de tortuga lo realiza la CONANP, a través del Centro Mexicano de la Tortuga, y con el apoyo de personal de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente y por elementos de la Secretaría de Marina-Armada de México (CONANP, 2016).

OAXACA

La costa de Oaxaca pertenece a la región del trópico seco con sólo tres o cuatro meses de lluvia en el verano, el clima principal del estado es cálido subhúmedo (Anexo 1, figura 1). La distribución de las lluvias en la costa oscila desde los 800 a los 1 000 mm anuales (García, 1988). La temperatura media anual es mayor a 27°C, aunque en la zona costera del Golfo de Tehuantepec es de 25°C. La precipitación muestra una marcada estacionalidad, con meses extremadamente secos (enero a abril) y meses muy lluviosos (de mayo a octubre). En Oaxaca se localiza una parte del llamado istmo de Tehuantepec, en esta zona los “Nortes” (masas de aire frío de invierno que se generan en el golfo de México entre octubre y abril) cruzan el istmo hasta el golfo de Tehuantepec con velocidades sostenidas de 30 m/s y ráfagas de hasta 50 m/s (Gallegos García y Barberán Falcón, 1998). Se conocen como “Tehuanos” o “Tehuantepecanos” (Moreno *et al.*, 2014). El grado de peligro por ciclones tropicales es principalmente bajo en las costas del estado (Anexo 1, figura 2). En las costas de Oaxaca la red eléctrica del SEN se ubican en Huatulco, Juchitán y La Venta (CFE, 2006).

Los Naranjos, se localiza en el municipio Santa María Colotepec. La temperatura correspondiente a esta zona va desde 18°C (mínima) a 33°C (máxima). La

época de lluvias comienza en el mes de mayo y finaliza en octubre, las lluvias van de 50 a 100 mm. Debido a que la temperatura y precipitación ayudan a la fertilidad de la tierra, hace que la costa de Oaxaca sea una de las zonas con mayor potencial para desarrollar actividades agrícolas tradicionales y de alta rentabilidad.

Actualmente cuenta con 130 habitantes, de los cuales el 13.74% de la población es analfabeta y el 19.85% de la población son laboralmente activos. En Los Naranjos hay 34 viviendas, de ellas el 93.55% cuentan con electricidad, no cuentan con servicio de agua entubada ni internet (SEDESOL, 2010). En esta localidad no se reporta actividad turística relevante.

Chacahua, se encuentra en el municipio de Santa María Tonameca. La temperatura media anual es mayor a 28°C y la del mes más frío es superior a 18°C, con lluvias concentradas en el verano y principios del otoño, generalmente de julio a octubre. La precipitación anual es de aproximadamente 1 000 mm (Hernández, 2009).

Esta región cuenta con 143 habitantes, de los cuales el 20.98% de la población es analfabeta y el 47.55% de la población está ocupada laboralmente. En Chacahua hay 54 viviendas, de ellas el 90.48% cuentan con electricidad, el 14.29% tienen agua entubada (SEDESOL, 2010b).

Puerto Ángel presenta condiciones geológicas, climáticas y oceanográficas ideales para proponer una planta OTEC en esta zona (García, 2005). Por tales motivos se describen a continuación algunas características más importantes del área.

Es una localidad situada en la costa del Océano Pacífico en el municipio de San Pedro Pochutla. La temperatura media anual es de 28°C, la cual varía desde 18.8°C (mínima) a 34.7°C (máxima). La época de lluvias y huracanes comienza en el mes de mayo y termina en noviembre. Las lluvias varían 183 mm entre el mes más seco (marzo) y el mes más húmedo (septiembre) (Climate Data, 2017). Posee mareas del tipo semi-diurno con una pleamar media, sus playas se caracterizan por ser arenosas y rocosas, las principales playas son Playa Principal y Playa Panteón que cubren la mayor parte de la orilla del Puerto, en donde Playa Principal suele tener tráfico de barcos de pesca. Las corrientes marinas suelen ser muy irregulares en esta zona y varían con el cambio de dirección del viento (Huante, 1997).

En la región hay 2 706 habitantes (CONAPO, 2016) y 906 viviendas. De las viviendas el 96.15% cuentan con electricidad, el 84.15% tienen agua entubada y el 9.63% cuenta con servicio de Internet (Pueblos de América, 2010). El sistema de alcantarillado presenta una infraestructura muy limitada y deficiente ya que comprende tramos sin drenaje, lo cual obliga a concentrar las aguas negras, parte en fosas colectoras y en fosas sépticas individuales; además una buena parte de la población descarga las aguas de desecho en las calles (García, 2015). El 7.30% de la población es analfabeta y el 41.97% de la población está ocupada laboralmente. La base económica de esta comunidad es prin-



principalmente la pesca, el turismo y el comercio (Huante, 1997). Las actividades marítimas principales son las deportivas como la pesca deportiva, existiendo diversas cooperativas pesqueras con embarcaciones menores.

Puerto Ángel es un centro turístico de tipo tradicional, pequeño y relativamente asilado (SEMAR, 2014). Los hoteles de la parte principal de la ciudad no se encuentran en la misma playa, debido a su carácter comercial, sino que más bien, estos se ubican en las laderas.

Huatulco es un municipio de Oaxaca, pertenece al distrito de San Pedro Pochutla. Su extensión representa el 0.53% del estado, se encuentra aproximadamente a cinco horas de la capital del estado (SECTUR, 2015). Por su posición latitudinal y la influencia de las aguas cálidas del océano Pacífico, presenta un clima cálido subhúmedo con un porcentaje de lluvias en verano mayor al 90%. La menor cantidad de lluvia ocurre en enero con un promedio de 2 mm y la mayor cantidad ocurre en septiembre, con un promedio de 253 mm, siendo época de lluvias y huracanes de mayo a noviembre. La temperatura promedio en el año es de 30°C, en agosto se tienen las temperaturas más altas, mientras que en noviembre se registran las más bajas (Climate Data, 2017b). Su topografía está caracterizada por alturas que van desde el nivel del mar, hasta los 200 metros sobre el nivel del mar. En lo que respecta al medio submarino, se distinguen las zonas de aguas someras o poco profundas, que van de los 0.5 a 1.5 m y las áreas exteriores de mar abierto y aguas profundas, cuyos valores varían de 14 hasta 40 m (SECTUR, 2015).

El municipio cuenta con 38 629 habitantes, de los cuales el 6.5% es analfabeta. Existen 9 943 viviendas, de estas el 98.9% cuenta con agua entubada a la red pública y el 99.6% disponen de red eléctrica que se abastece de una subestación de electricidad en la comunidad “La Crucecita”, la cual alimenta también a los municipios aledaños (SEDESOL, 2010c). Cabe señalar que el servicio de agua potable escasea en los meses de temporada de turistas (vacaciones de verano, fin de año y semana santa), debido a que el líquido se destina para abastecimiento de hoteles 5 estrellas situados en la zona hotelera de Tangolunda (SECTUR, 2015).

Las actividades turísticas en bahía de Huatulco se han desarrollado de acuerdo con todas estas particularidades. Caracterizadas por la contemplación de su flora y fauna o a través del turismo de aventura (FONATUR, 2013). La Bahía, cuenta con un promedio de 2 200 cuartos en hoteles, con clasificación de gran turismo, además de bancos, restaurantes de playa y discotecas. Tangolunda, es el lugar donde se localiza la zona hotelera de 5 estrellas, gran turismo y dos centros comerciales (INAFED, 2010). El dinamismo que genera la actividad turística sobre otras actividades económicas de forma directa se observa en términos de la contribución en la creación de empleos. El sector servicios es el de mayor importancia dado que ofrece más del 61 % de los empleos (SECTUR, 2015).

Áreas Naturales Protegidas de los sitios en Oaxaca

En la región de Los Naranjos se encuentran manglares considerados como ecosistemas de tipo bioma, estos espacios tienen una biodiversidad biológica de alta productividad ya que en ellos podemos encontrar una variedad de especies de aves, peces, crustáceos y moluscos. Estas especies desempeñan una función clave en la protección de las costas contra la erosión eólica y por oleaje. En las lagunas Los Naranjos, Palmasola y estuario del río Colotepec, se identificaron cinco especies de camarones de agua salobre (*Macrobrachium americanum*, *M. tenellum*, *M. michoacanus*, *Cryphiops* sp, y *Palaemonetes* sp.) para los periodos de lluvias, la especie más representativa fue *Palaemonetes* sp (Cabrera, 2013).

En Puerto Ángel posee una diversa comunidad de corales lo cuales se encuentran a una distancia de 50 a 100 m de la línea de costa y a una profundidad de 15 a 20 m. Hasta el momento se sabe de siete diferentes especies, dentro de las cuales el coral negro (*Pocillopora damicornis*) es el más abundante en este lugar (Reyes y Leyte, 1998).

El Parque Nacional Huatulco fue decretado como Área Natural Protegida en 1998, presenta ecosistemas complejos caracterizados por la presencia de especies amenazadas, endémicas y con alto valor ecológico para su conservación, como son: selva baja caducifolia, arrecifes de coral, manglares y selvas inundables. Dentro de los ecosistemas marinos incluye un número importante de mamíferos, peces, arrecifes coralinos, algas y diversos invertebrados sujetos a presión, como el caso del caracol púrpura (CONANP, 2011). En la región marítima se encuentran una de las comunidades con mayor riqueza de especies de coral del Pacífico tropical mexicano, a lo largo de 26 km de la línea costera, se presentan 17 arrecifes de coral, desde el río Copalita hacia la bahía de San Agustín en los que se han registrado 12 especies de corales (SECTUR, 2015).



Figura 58. Diferentes especies de camarones de agua salobre identificados en la región de Los Naranjos, Oaxaca. Fuente: imágenes tomadas de internet.



Figura 59. Diferentes tipos de corales en Puerto Ángel, Oaxaca.
Fuente: imágenes tomadas de internet.



Figura 60. Ubicación general del Parque Nacional Huatulco, Oaxaca.
.Fuente: imágenes tomadas de internet.

MAR CARIBE

En el mar Caribe existen varios lugares para instalar una planta OTEC, debido que la temperatura de superficie es muy estable y la profundidad de 1 000 m se alcanza no muy lejos de la costa. A continuación, se dará una breve descripción de los sitios.

La plataforma continental del mar Caribe es muy estrecha, con solo 20 km frente a Cancún (Quintana Roo) y gradualmente se atenúa hacia el sur y en Puerto Morelos (Quintana Roo) desaparece, confundándose con la ladera del talud continental que alcanza una rápida profundidad de 400 m (Aviña, 2007).

La hidrografía del área está determinada por la corriente de Yucatán (INE, 210). Las aguas provenientes del canal de Yucatán y que constituyen a la corriente de Lazo presentan una termoclina profunda (línea imaginaria que separa dos masas de agua de temperatura diferente), la cual siempre se comporta menos profunda hacia el estrecho de Florida como respuesta a los efectos de la topografía y batimetría de la zona (Aviña, 2007).

Las características físicas de la región costa sur de Quintana Roo son: clima cálido subhúmedo, con lluvias en verano e invierno (Anexo 1, figura 1). La precipitación media varía de 1 300 a 1 500 mm. La temperatura promedio es de 26.5°C (máxima de 28.3°C en junio y mínima de 24.2°C en diciembre). Quintana Roo está ampliamente expuesto a meteoros atmosféricos, desde tormentas tropicales hasta huracanes de cualquiera de las cinco categorías de la escala Simpson Saffir (Anexo 1, figura 2). Comparativamente con los otros estados costeros del país, las costas del estado son las más frecuentadas por los ciclones.

Isla Cozumel es una isla del Caribe mexicano que se localiza a 20 km de la costa del estado de Quintana Roo. Es una isla llana formada de roca caliza misma que proviene de los arrecifes coralinos, en la costa occidental de la isla hay alrededor de 25 arrecifes, algunos en aguas relativamente someras y tranquilas y todos son parte del Parque Marino Nacional Arrecifes de Cozumel. El puerto de Cozumel se encuentra posicionado como el primer lugar en arribo de Cruceros en México y como uno de los destinos turísticos más importantes del mundo, pues representa la principal actividad económica del lugar. Asimismo, existen 94 establecimientos hoteleros, de los cuales la mayoría se clasifican como de 4 estrellas (SECTUR, 2013). La isla está conectada energéticamente con la Riviera Maya (Anexo 1, figura 3), como consecuencia en el año 2008 hubo una crisis financiera y una caída de la demanda energética, se prevé que para el año 2024, el 35% de la generación de energía provenga de fuentes renovables pues la demanda energética será de 408 GW h⁻¹ (SENER, 2016).

Dentro del municipio de Othón P. Blanco se encuentran Xcalak, banco Chinchorro y Mahuahual. El municipio tiene una temperatura media anual de 26.8°C y una precipitación media anual de 1 560 mm (Climate Data, 2017). Xcalak es una localidad que es aún uno de los rincones vírgenes del Caribe mexicano localizado al extremo sur de la denominada Riviera Maya. Se caracteriza por suelos de manglares y marismas, que abarcan grandes áreas pantanosas y cenagosas que, en general, se consideran inapropiadas para los cultivos al presentar condiciones alternantes de inundación o sequía pronunciada durante la estación más seca del año. Esta localidad tiene 375 habitantes y 167 viviendas. De ellas, el 95% cuentan con electricidad y el 31% tienen agua entubada (Pueblos de América, 2017). A 60 km aproximadamente, frente a Xcalak, se localiza el atolón de Banco Chinchorro, que mide 47 km de largo y 18 de ancho y abarca unos 700 km² de superficie, considerado el más grande del Caribe.



Mahahual se encuentra sobre la costa del Mar Caribe, a unos 55 km de la carretera federal Cancún-Chetumal. Es considerado como puerto de altura debido al arribo de Cruceros de la ruta del Caribe, es considerado como el tercer destino de cruceros en el país, después de Cozumel, Ensenada y Baja California. Además, es un centro turístico en desarrollo (SEMAR, 2016). Hay 920 habitantes y 806 viviendas. De ellas, el 75.43% cuentan con electricidad, el 68.26% tienen agua entubada y el 23.55% Internet (SEDESOL, 2010).

Áreas Naturales Protegidas

En casi toda la costa sur se presenta una laguna arrecifal, protegida por el arrecife coralino. El Arrecife Mesoamericano y del Caribe es el mayor sistema arrecifal en el Atlántico, se extiende aproximadamente 700 km desde el extremo norte de la península de Yucatán, en México, hasta las islas de la Bahía, adyacentes a la costa de Honduras, siendo único en el hemisferio Occidental no sólo por su tamaño, sino también por la abundancia y diversidad de corales (casi 60 especies) y su condición prístina. Esta área constituye un hábitat crítico para muchas especies, incluyendo especies amenazadas de mamíferos marinos, reptiles y tortugas. También provee de zonas de desove y anidamiento, reproductivas, de forrajeo, de reclutamiento de larvas y de rutas migratorias para una amplia variedad de animales costeros y marinos (CONANP, 2010). La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) instrumentó el Programa de Regiones Marinas Prioritarias de México, en el cual integro al puerto de Xcalak a la región VII que abarca la costa oriental de la península de Yucatán desde cabo Catoche en Quintana Roo, hasta la frontera costera con Belice. Esta clasificación rige el área costera y oceánica, considerada prioritaria por su alta diversidad biológica (SEMAR, 2008).

En 1996 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el decreto que declara la región conocida como banco Chinchorro y aguas oceánicas adyacentes con el carácter de Reserva de la Biosfera. La Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro tiene una superficie de 144 360 ha, que incluyen formaciones arrecifales, laguna arrecifal, Cayos Lobos, Centro y Norte y aguas oceánicas adyacentes. Ésta reserva ha compilado un listado de 778 especies, de las cuales el 58% es fauna marina, el 14% es fauna terrestre, el 18% es flora marina y el 10% de flora terrestre (INE, 2010). En el mismo año se declaró como área natural protegida al Parque Marino Nacional Arrecifes de Cozumel (Anexo 1, figura 5), debido a que forma parte de la barrera coralina denominada “Gran Cinturón de Arrecifes del Atlántico Occidental”, considerada como la segunda barrera más grande del mundo, considerados como los ambientes marinos más diversos y complejos (CONANP, 1996).



Figura 61. Posibles sitios de instalación otec y Áreas Marinas Protegidas en Mar Caribe. La línea blanca representa las Áreas Marinas Protegidas. Fuente: Imágenes tomadas de Google Earth.



20

Conclusiones

GENERAL

Ciclos

- Se considera que los mejores ciclos para las costas mexicanas son el ciclo abierto y el ciclo híbrido, ya que ambos son los más eficientes y generan productos secundarios.

Tipo de planta

- Las plantas en tierra (on-shore), son más factibles en sitios donde exista mayor riesgo de desastres naturales debido a su mayor estabilidad, sin embargo, el costo de la planta podría incrementarse por el uso de tuberías largas que lleguen a la toma de agua fría. Por otro lado, las plantas flotantes (off-shore) son adecuadas y económicamente más viables en lugares donde el riesgo de desastres naturales sea más bajo.

Tecnología

- Se necesita mayor investigación y desarrollo en el diseño de intercambiadores de calor, tuberías y materiales que resistan el ambiente marino.

Costos

- Actualmente las plantas OTEC representan una gran inversión, como cualquier otro tipo de tecnología naciente. Sin embargo, el inminente desa-



rollo tecnológico hará que, en un futuro cercano, la inversión sea más viable, además que financieramente conviene invertir en plantas de gran tamaño que alimenten de electricidad y que a su vez generen productos secundarios que puedan monetizarse para su autofinanciamiento y que ayude al desarrollo económico de comunidades costeras.

Ecología

- Se necesitan estudios ecológicos en el país que demuestren el impacto ecológico y ambiental que tendrá la planta a gran escala.

Social

- Actualmente existe poca información acerca de los efectos sociales en los que podría impactar este tipo de tecnología nueva, por lo que estudios de en este campo sería de vital importancia para asegurar la aceptación y la inversión.

Regulatorio

- No existe un marco regulatorio para el funcionamiento de OTEC.

SITIOS

En conclusión, se piensa con base al análisis anterior que los mejores lugares para instalar una planta OTEC son:

- **Cabo San Lucas, Baja California Sur.** Considerando que el bombeo de agua fría se haga en la zona de 100 m de profundidad, sería un buen sitio para instalar una planta OTEC OC o híbrida, debido a que presenta un buen gradiente térmico, la cercanía a la toma de agua fría es muy conveniente y se encuentra cerca de la conexión con el Sistema Eléctrico Nacional (SEN). También es ideal debido a su alta actividad turística la cual se beneficiaría con la producción de electricidad, aire acondicionado y agua potable. No obstante, se tendría que tomar en cuenta la concurrencia de huracanes y las áreas naturales protegidas de esta zona.
- **Puerto Vallarta, Jalisco.** Es un sitio ideal considerando que el bombeo de agua fría se haga en la zona de 100 m de profundidad por el buen gradiente térmico que presenta durante gran parte de año, la trasmisión de energía eléctrica generada podría conectarse a la red eléctrica de Puerto Vallarta la cual se conecta a la región de Tepic . Además, una planta OTEC ayudaría a satisfacer la demanda eléctrica, agua potable y aire acondicionado pues es el puerto más importante de México y uno de los lugares más visitados del país. Sin embargo, algunos de los inconvenientes que se pueden mencionar es que la distancia a la isolínea para bombeo de agua fría es poco adecuada, el clima en esta zona es sensible a las variaciones estacionales y a los procesos globales como el fenómeno de “El Niño”.

- **Puerto Ángel, Oaxaca.** Por su excelente gradiente térmico que tiene a lo largo del año, el cual no baja de los 20°C, por su corta distancia a la línea de los 1 000 m de profundidad y de todos los lugares propuestos es el único que no tiene áreas naturales protegidas cercanas a la región. Además de que una planta OTEC serviría para conectar a diferentes localidades de la zona costera oaxaqueña a la red nacional de electricidad.
- **Isla Cozumel, Quintana Roo.** Presenta un buen gradiente térmico a lo largo del año, y el bombeo de agua fría a 1 000 m de profundidad está cercano a 3 km y a los 700 m a aproximadamente 2 km de la costa. Una planta OTEC podría alimentar de energía a playa tanto a la isla como a playa del Carmen y de otros productos secundarios, ya que la distancia es considerablemente corta (Aviña, 2007).

Dentro de las zonas insulares del Pacífico mexicano, los sitios propuestos son:

- **Isla Clarión e isla Socorro,** son adecuadas únicamente en verano y otoño, son las únicas islas con población en el archipiélago, por lo que el uso de la planta beneficiaría a la demanda de energía y agua.



Figura 2. Grado de peligros por presencia de ciclones tropicales México y sitios con potencial térmico explotable. Fuente: Adaptado de Jiménez *et al.* (2012). Mapas de índices de riesgo a escala municipal por fenómenos hidrometeorológicos, informe para el Sistema Nacional de Protección Civil Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). Recuperado de: <https://goo.gl/NdZs4t>.



Figura 3. Mapa de capacidad (Megawatt) de enlaces entre las 53 regiones de transmisión del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) 2015. Fuente: SENER. (2016a). Programa del Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) 2016-2030. Recuperado de <https://goo.gl/vpUzll>.



Figura 4. Áreas naturales protegidas en México y sitios con potencial térmico explotable.
Fuente: Adaptado de SEMARNAT. (2004). Biodiversidad. México, un país megadiverso.
Recuperado de: <https://goo.gl/KUE5IE>.



Figura 5. Situación de la biodiversidad en las regiones prioritarias hidrológicas y marinas de México y sitios con potencial térmico explotable. Fuente: Adaptado de SEMARNAT. (2004). Biodiversidad. México, un país megadiverso. Recuperado de: <https://goo.gl/KUE5IE>.



Referencias

INTRODUCCIÓN

SENER. (2012). Secretaría de Energía. *Prospectivas de Energías Renovables 2012- 2026*. Disponible en: <https://goo.gl/avnHa2>

SENER. (2017) Secretaría de Energía. Consultado 09-06-2017 en <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&subAction=applyOptions>.

Silva, R., Martínez, M.L., Hesp P., Catalan P., Osorio A. F., Martell R., Fossati M., Miot da Silva G., Mariño-Tapia I., Pereira P., Cienfuegos R., Klein A., and Govaere G. (2014). Present and future challenges of coastal erosion in Latin America. In: Silva, R., and Strusińska-Correia, A. (eds.), *Coastal Erosion and Management along Developing Coasts: Selected Cases*. Journal of Coastal Research, Special Issue, No. 71, pp. 1–16. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.

ANTECEDENTES

Aviña, H. (2007). *Factibilidad de instalar una planta OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) en las costas de México* (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Beck, E.J. (1975). Ocean Thermal Gradient Power Plant. *Science*, 189-293 p.

De la Lanza-Espino, G. (2004). *Gran escenario de la zona costera y oceánica de México*. Ciencias



García Huante, A. (2015). *Posibles efectos oceanográficos por la operación de una planta OTEC en puerto Ángel, Oaxaca, México*. (Tesis de Maestría). Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

TECNOLOGÍA

- A Novel Working Fluid for Ocean Thermal Energy Conversion. (2017) (1st ed., pp. 25-28). India. Recuperado http://r744.com/files/1175_NovelWorkingFluidOceanThermalEnergyConversion.pdf
- Ahmad E.; Arash E.; Orag Asef A.; Yunus E.. (2011). Electricity Generation by the Ocean Thermal Energy. *Energy Procedia*, 12, 936-943.
- Alatorre Mendieta M. Á., Hernández Contreras R.E., García Huante A., y Rodríguez Cueto Y. (2017). *Atlas de Potencial Energético del Océano en México por Gradiente Térmico*. Línea Estratégica de Energía por Gradiente Térmico del Centro Mexicano en Innovación de Energías del Océano.
- Avery, W. H. y Wu, C. (1994). *Renewable energy from the ocean: a guide to OTEC*. U.S.A.: Oxford University Press. Research Triangle Institute.
- Banerjee S., Duckers L., Blanchard R. (2015). *A case studies a hypothetical 100 MW OTEC plant analyzing the prospects of OTEC technology*. OTEC Matters. Disponible en: <https://goo.gl/vyEclF>
- Banerjee S; Musa Nor; Jaafar Bakar. (2017). Economic assessment and prospect of hydrogen generated by OTEC as future fuel. *International journal of hydrogen energy*, 42, 26 – 37.
- Bárceñas, G. J. F. (2014). *Evaluación del potencial energético renovable del Caribe Mexicano*. Tesis de maestría no publicada, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México, D.F. México.
- Bernal F. M. (2016). *Estudio Técnico y económicos de una planta OTEC y sus usos secundarios en México*. (Tesis de Maestría). Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Calm, J. and Hourahan, G. (2011). *Physical safety, and environmental data for current and alternative refrigerants*. 1ra ed. Praga: ICR. Consultado el 10 de noviembre de 2016 en <http://www.hourahan.com/wp/wp-content/uploads/2010/08/2011-Physical-Safety-and-Environmental-Data2.pdf>
- Çengel, Y. A. (2012). *Termodinámica*. (7° ed.). México, D.F.: Mc Graw Hill.
- Claude G (1930). *Power from the Tropical Seas*. *Mechanical Engineering*, Vol. 52, No.12, 1039-1044.
- Crews, Richard. (1997). OTEC Sites. Aquarius Rising Maldives – An Ocean Research Centre and Eco-tourist Facility.
- Dhanak, M., & Xiros, N. (2016). *Springer Handbook of Ocean Engineering* (1st ed., pp. 1255, 1256). New York: Springer Nature. Consultado el 17 de mayo de 2017 en https://books.google.com.mx/books?id=xge5DAAAQBAJ&pg=PA1251&lpg=PA1251&dq=university+of+saga++OTEC+working+fluid&source=bl&ots=OmPq1YwFHT&sig=k7HSP_DUh3nzzT74g-qu7ikKPzn4&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjA67TOx_fTAhXFYyYKHeJpDnwQ6AEIaTAl#v=onepage&q=university%20of%20saga%20%20OTEC%20working%20fluid&f=false
- Fengyun Chen; Liang Zhang; Weimin Liu. (2016). Experimental study on the performance of 15 kW OTEC system. *Advances in Energy, Environment and Materials Science*, 50-52.
- Fernández Díez Pedro. (2008). *Conversión de energía térmica del océano*. *Energías Oceánicas*. Disponible en: <https://goo.gl/R6kqGp>

- Fujita Rod; Markham Alexander; Días Días Julio; Martínez García Julia. (2012). Revisiting ocean thermal energy conversion. *Marine Policy*; 36, 463-465.
- Gautret Laurent; Marion Corre Labat. (2009). Reunion Island/Indian Ocean, a French experimental key laboratory for Ocean Energy. 3rd International Conference on Ocean Energy, 6 October, Bilbao.
- Gupta, H., & Roy, S. (2007). *Geothermal Energy: An Alternative Resource for the 21th Century* (1st ed., p. 233). Amsterdam. Consultado el 17 de mayo de 2017 en: https://books.google.com.mx/books?id=3sOyhcp5eZYC&pg=PA233&lpg=PA233&dq=Tuticorin+port+OTEC+working+fluid&source=bl&ots=AnooVi2WcY&sig=GRzpcsPOLJe_dvFA0exsaP9e-KTM&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjJwoSc0_fTAhXNdSYKHdWhCNgQ6AEINzAC#v=onepage&q=Tuticorin%20port%20OTEC%20working%20fluid&f=false
- Hainan Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) Power Plant. (2017). *Power Technology*. Consultado el 17 May 2017, en <http://www.power-technology.com/projects/hainan-ocean-thermal-energy-conversion-otec-power-plant/>
- Hossain, A. Azhim, A. B. Jaafar, M. N. Musa, S. A. Zaki and D. N. Fazreen. (2013). Ocean thermal energy conversion: The promise of a clean future. *IEEE Conference on Clean Energy and Technology (CEAT)*, Lankgwawi, pp. 23-26.
- Hyeon-Ju Kim. (2017). Current status of OTEC around the world. A brief survey report for IEA-OES. KRISO. Korea.
- International Institute of Refrigeration Intergovernmental organization for the development of refrigeration. Disponible en:
- IRENA (2014) OCEAN THERMAL TECHNOLOGY CONVERSION. Consultado el 18 May 2017, en: http://www.irena.org/documentdownloads/Publications/Ocean_Thermal_Energy_V4_web.pdf
- Jhonson Ted. (2013). OTEC Corporation. Africa Conference.
- Jung-In Yoon; Sung-Hoon Seol; Chang-Hyo Son; Suk-Ho Jung; Young-Bok Kim; Ho-Saeng; Lee; Hyeon-Ju Kim ; Jung-Hyun Moon.(2017). Analysis of the high-efficiency EP-OTEC cycle using R152a. *Renewable Energy*, 105, 366 -373.
- Kim Albert; Kim Hyeon-Ju; Lee Ho-Saeng; Cha Sangwon. (2016). Dual-use open cycle ocean thermal energy conversion (OC-OTEC) using multiple condensers for adjustable power generation and seawater desalination. *Renewable Energy*, 85, 344- 358.
- Kim, H.J., D.H. Jung, S. Y. Hong y H.S. Lee. (2013). Offshore structure of OTEC. *Journal of the Korea Society for Power System Engineering*. 13 (3).
- Kim, J and H. J. Kim. (2014). Numerical Modeling of OTEC Thermal Discharges in Coastal Water. *International Conference on Hydroinformatics*. Paper 277.7 pp.
- Klein, S., & Alvarado, F. (1992). *Engineering Equation Solver EES Manual*. Chart Software. Middleton, USA.
- Lee Ho-Saeng; Seung-Won Lee; Hyeon-Ju Kim; Young-Kwon Jung. (2015). Performance Characteristics of 20 Kw Ocean Thermal Energy Conversion Pilot Plant. *Proceedings of the ASME 2015 9th International Conference on Energy Sustainability ES2015*. San Diego, California.
- Lelarge Virgine; Bouchet Thiery; Hermanr Brice; Bouhier Aurélien; Berrou Julian; Cédric Auvray. (2013). *Ocean Thermal Energy Conversion: Solutions Studied*. *Marine Renewable Energy Handbook* (pp 405-462). Bernard Multon. Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/9781118603185>



- Lozano, Á. (2017). Legislación de gases refrigerantes en México - Mundo HVACR. Mundo HVACR. Consultado el 21 de marzo de 2017 en: <https://www.mundohvacr.com.mx/mundo/2015/03/legislacion-de-gases-refrigerantes-en-mexico/>
- Makai's Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) Power Plant, Hawaii. (2017). Power Technology. Consultado el 17 May 2017, en <http://www.power-technology.com/projects/makais-ocean-thermal-energy-conversion-otec-power-plant-hawaii/>
- Marchand. P. (1985). L'énergie thermique des mer. Francia. Institut Français de Recherche pour l'exploitation de la mer IFREMER. ISBN 2905434.05.8
- Marti, J.A., Plocek, T.J., Laboy, M.A., Ruiz, O.E (2010). Ocean thermal energy conversion: Strategies for system integration and implementation using commercially available components and technology. Proceedings of the Annual Offshore Technology Conference, 2, pp. 1428-1433.
- Martins Matthieu; Frantz Sinama; Franck Lucas. (2013). Equivalent Gibbs systems for modelling an onshore OTEC experimental plant on Reunion Island. International Journal of Energy Research, 37, 1112 – 1121.
- McKinnon Tom. (2011). Ocean Thermal Energy Plant Schematic. Disponible en <http://how-nearthradio.org/archives/519>
- Mendoza Vizcaino Javier; Sumper Andreas; Sudria Antoni; Ramirez J. (2016). Renewable technologies for generation systems in islands and their application to Cozumel Island, Mexico. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 64, 348-361.
- Morales Devis Andrea; Montoya Sánchez Raúl; Osorio Andrés; Oterto Días Luis. (2014). Ocean thermal energy resources in Colombia. Renewable Energy, 66, 759-769.
- Myers, E., Hoss, D., Peters, D., Matsumoto, W., Seki, M., Uchida, R., Ditmars, J., & Paddock, R. (1986). The Potencial Impact of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) on Fisheries (1st ed., pp. 4, 6). Consultado el 17 de mayo de 2017 en: <https://swfsc.noaa.gov/publications/CR/1986/8672.PDF>
- Nihous Gérard. (2010). Mapping available Ocean Thermal Energy Conversion resources around the main Hawaiian Islands. Journal of Renewable and Sustainable Energy.
- Ocean Thermal Energy Corporation. (2017). Disponible en <http://oteccorporation.com/>
- Osorio Andrés; Arias Jessica; Devis Andrea; Acevedo Diego. (2016). Beyond electricity: The potential of ocean thermal energy and ocean technology ecoparks in small tropical islands. Energy Policy, 98, 713-724.
- Plocek, T., & Laboy, M. (2009). Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC): Technical Viability, Cost Projections and Development Strategies (1st ed., p. 3). Houston: Offshore Technology Conference. Consultado el 17 de mayo de 2017 en http://www.offinf.com/OIA_at_OTC.
- Propuesta de Proyecto: México. (2014). 1ra ed. Montreal: Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente, pp.7-16. Recuperado el 21 de marzo de 2017 en: <http://www.multilateralfund.org/72/Spanish/1/S7233.pdf>
- Reglamento (UE) N° 517/2014. (2014). Sobre los gases fluorados de efecto invernadero y por el que se deroga el Reglamento (CE) N° 842/2006. Parlamento Europeo y del Consejo. Diario Oficial de la Unión Europea.
- Rong-Hua Yeh; Tar-Zen Su. (2005). Maximum output of an OTEC power plant. Ocean engineering, 32, 685-700.
- Shapiro Laurence. (2014). Ocean thermal energy conversion as based load renewable power. Poer Block Manager for OTEC International.
- Syamsuddin Mega; Attamimi Adli; Nugraha Angga. (2015). OTEC Potential in The Indonesian Seas.

- Yamada Noboru; Hoshi Akira; Ikegami Yasuyuki. (2009). Performance Simulation of Solar-boosted Ocean Thermal Energy Conversion Plant. *Renewable Energy*, 34 (7), 1752-1758.
- Yasuyuki. (2009). Performance Simulation of Solar-boosted Ocean Thermal Energy Conversion Plant. *Renewable Energy*, 34 (7), 1752-1758.

SOCIO-ECONÓMICOS

- Lewis, A., et al. (2011), "Ocean Energy", In O. Edenhofer et al. (Eds.) IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, Cambridge University Press, Cambridge, and New York, http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC_SRREN_Ch06.pdf.
- Muralidharan, S. (2012). Assessment of Ocean Thermal Energy Conversion. MSc thesis.
- Osorio Andrés; Arias Jessica; Devis Andrea; Acevedo Diego. (2016). Beyond electricity: The potential of ocean thermal energy and ocean technology ecoparks in small tropical islands. *Energy Policy*, 98, 713-724.
- Soto Rodrigo; Vergara Julio. (2014). Thermal power plant efficiency enhancement with Ocean Thermal Energy Conversion. *Applied Thermal Engineering*, 62, 105-112.
- Straatman, P.J.T, W.G.J.H.M. van Stark, (2008). A new hybrid ocean thermal energy conversion –Offshore solar pond (OTEC-OSP) design: A cost Optimization Approach. *Solar Energy*, 82, 520-527.
- Syamsuddin Mega; Attamimi Adli; Nugraha Angga. (2015). OTEC Potential in The Indonesian Seas. *Energy Procedia*, 65, 215-222.
- T.J. Plocek, Laboy M. (2009). Ocean Thermal Energy Conversion: technical Viability, Cost Projections and Development Strategies. In *Offshore Technology Conference*. Offshore Technology.
- Takahashi, P.K; Bregman, R. (1993). Ocean Energy, Status and Technology. World Solar Summit. UNESCO Paris 5-9 de Julio 1993. Francia.
- TP Ocean (2016). Strategic Research Agenda for Ocean Energy. European Technology and Innovation Platform for Ocean Energy.
- Universidad Internacional Menéndez Pelayo. (1981). Opciones energéticas: energías tradicionales y energías alternativas, Volumen 2. España: Ministerio de educación, p.10. Recuperado en https://books.google.com.mx/books?id=RuM9CgAAQBAJ&pg=PA12&dq=fluido+de+trabajo+men%C3%A9ndez+pelayo&hl=es&sa=X&ved=0ahUKew-j7i_2DhZbUAhUMTCYKHXSbBnMQ6AEIJAA#v=onepage&q=butano&f=false
- Vega L.A. (1992). Economics of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC). in R.J. Seymour, ed. *Ocean Energy Recovery: The State of the Art*, American Society of Civil Engineers, New York.
- Vega L.A., and Nihous G.C. (1988). At-Sea Test of the Structural Response of a Large Diameter Pipe Attached to a Surface Vessel. *Offshore Technology Conference*, Houston.
- Vega, L. A. (2002). Ocean Thermal Energy Conversion Primer. *Marine Technology Society Journal*, 6(4), 25-35.
- Vega, L. A. (2007). Ocean Thermal Energy Conversion Economics. *Offshore Infrastructure Asso.*
- Vega, L.A (2010). Economics of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC). *Offshore Technology Conference*, Houston, Texas, US, pp. 1-18.
- Vega, L.A (2012). Ocean Thermal Energy Conversion. *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, Springer, pp. 7296 -7328.
- Vega, L.A. (2010). First generation 50 MW OTEC plantship for the production of electricity and desalinated water. *Offshore Technology Conference*, pp. 1 -17.



MEDIO AMBIENTE Y ECOLOGÍA

- Havens Peter; Morgan Charles; MacDonald Donald. (2010). Environmental Planning and Management for OTE pilot projects. In Oceans 2010. IEEE, 1-8.
- López Andrea, Gómez Ivonne, Terán Irene. (2016). Análisis de oportunidades y retos de la energía eléctrica solar en Baja California Sur, impactos económicos. Opción, Año 32, Especial No.13 (2016): 86-103 ISSN 1012-1587
- Marti, J.A. (2008). OTEC: Environmental and socio-economic aspects. Presentation at the Convention of the College of Professional Engineers and Surveyors of Puerto Rico, Fajardo, Puerto Rico, 7-8 August 2008. Disponible en: www.offi.nf.com/EnviroSocialCIAPR.pdf
- Osorio Andrés, Arias Jessica, Devis Andrea, Acevedo Diego, Velasquez Héctor, Arango Santiago. (2016). Beyondelectricity: The potential of ocean thermal energy and ocean technology ecoparks in small tropical islands. Energy Police 98: 713-724.
- Sands, M. D. (1980). Ocean thermal energy conversion (OTEC) programmatic environmental analysis. Vol 1. U.S. Department of Energy.
- Twidell Jhon, Wier Tony. (2006). Renewable Energy Resources. Disponible en <http://maxwell.sze.hu/~marcsa/MegujuloEnergiaforrasok/Books/renewable%20energy%20resources.pdf>

ESTATUS ACTUAL Y PERSPECTIVAS

- Cancino-Solórzano; E. Villicaña-Ortiz; A.J. Gutiérrez Trashorras; J. Xiberta-Bernat. (2010). Electricity sector in Mexico: Current status. Contribution of renewable energy sources. Renewable Sustainable Energy Rev. 14 (1), 454-461.
- Hossain A; Azhim A; Jaafar A.B; Musa M.N.; Zaki A; Noor Fazreen. (2013). Ocean Thermal Energy Conversion: The Promise of a Clean Future. IEEE Conference on Clean Energy and Technology (CEAT).
- Hyeon-Ju Kim. (2017). Current status of OTEC around the world. A brief survey report for IEA-OES. KRISO. Korea.
- Kobayashi H; Jitsuhara S; Uehara H. (2001). The Present Status and Features of OTEC and Recent Aspects of Thermal Energy Conversion Technologies, 24 th Meet. UJNR Mar. Panel, pp 1 – 8. Disponible en: <https://goo.gl/eKW8F9>
- Magagna Davide; Uihlein Andreas. (2015). Ocean energy development Europe: Current status and future perspectives. International Journal of Marine Energy, 11, 84-104.
- Mendoza Vizcaino Javier; Sumper Andreas; Sudria Antoni; Ramirez J. (2016). Renewable technologies for generation systems in islands and their application to Cozumel Island, Mexico. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 64, 348-361.
- Nihous Gerard; Gauthier Michel. (2012). Ocean Thermal Energy Conversion: A Historical Perspective. In Marine Renewable Energy Handbook. Londres UK. Britisj Library Cataloguing in Publication Data.
- SENER. (2012). Prospectivas de Energías Renovables 2012- 2026.). Disponible en: <https://goo.gl/avnHa2>
- Straatman, P.J.T, W.G.J.H.M. van Stark, (2008). A new hybrid ocean thermal energy conversion –Offshore solar pond (OTEC-OSP) design: A cost Optimization Approach. Solar Energy, 82, 520-527.

ANTECEDENTES Y PROYECTOS ACTUALES EN MÉXICO

- Aviña, H. (2007). Factibilidad de instalar una planta OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) en las costas de México (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Bárzenas Graniel Juan Franciso. (2011). Evaluación del potencial de conversión de energía renovable en el caribe mexicano. (Tesis de Maestría). Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Bernal Francisco Marisela (2016). Estudio Técnico y económicos de una planta OTEC y sus usos secundarios en México. (Tesis de Maestría). Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- De la Garza Cuevas César Francisco. (2016). Propuesta de Diseño de un Vaporizador para una Planta OTEC de 1 MW. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- García Huante, Alejandro (2015). Posibles efectos oceanográficos por la operación de una planta OTEC en puerto Ángel, Oaxaca, México. (Tesis de Maestría). Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- García Huante Alejandro (2016- en curso). Determinación del potencial energético del océano pacífico México: Gradiente Térmico. Posgrado en Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Molinari, Robert & Festa, Jhon. (1966). Ocean thermal and velocity characteristics of the Gulf of Mexico relative to the placement of a moored OTEC plant.
- Romero Moya Aldo. (2013). Evaluación del potencial maremotérmico en costa norte y sur del estado de Veracruz. (Tesis de Maestría). Facultad de Ingeniería. Universidad Veracruzana. México.
- Vázquez de la Cerda, Rafael.(1984) Boletín Informativo ESIA IPN Mayo-Junio 1984.
- Ulanski, Santley. L. (1978). Statistical nature of cold fronts within the Gulf of Mexico and their potential influence on OTEC operations.

INSTITUCIONES

- CEMIE-Océano. (2016). Centro Mexicano de Innovación en Energía del Océano. Disponible en: http://www.iingen.unam.mx/es-mx/BancoDeInformacion/BancodelImagenes/Documents/CEMIE_Oceano.pdf
- CEMIE-Océano. (2017). Centro Mexicano de Innovación en Energía del Océano. Disponible en: <http://www.cemieoceano.mx/>
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. (2012). Annual Report 2013-13. Disponible en: <https://goo.gl/J37hD7>
- DCNS (2017). Disponible en: <https://goo.gl/55g6lP>
- Grupo iiDEA. (2017). Instituto de Ingeniería UNAM. Disponible en: <https://goo.gl/ug7L2B>
- Hawaii National Marine Renewable Energy Center .(2017). Disponible en <http://hinmrec.hnei.hawaii.edu/ongoing-projects/>
- Hawaii National Marine Renewable Energy Center. (2013). From the Hawaii Natural Energy Institute at the University of Hawaii. Disponible en: <http://hinmrec.hnei.hawaii.edu/>
- Institute of Ocean Energy, Saga University, Japan. Disponible en: <https://goo.gl/1keeCr>
- Instituto de investigaciones legislativas del Senado de la República. (2004). Nuevas energías renovables: Una alternativa energética sustentable para México. Disponible en: <https://goo.gl/mEeFUo>



- International Energy Agency. (2013). Disponible en: <http://www.iea.org>
- IRENA (2014). Ocean Thermal Energy Conversion Technology Brief. Disponible en: <https://goo.gl/JnWR83>
- Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering KRISO. Disponible en: <https://goo.gl/WfZEQ6>
- KumeGuide.com. Disponible en <https://goo.gl/Nvfzpv>
- Lockeed Martin (2013). Covenant Lockheed Martin, Reignwood Group, signed on 13 April 2013
- NOAA. (1981). National Oceanic and Atmospheric Administration. Ocean Thermal Energy Conversion. Final Environmental Statement. Disponible en: <https://goo.gl/9IVdVC>
- NOAA. (2017). National Oceanic and Atmospheric Administration. Ocean Thermal Energy Conversion. Disponible en: <https://goo.gl/AEOO34>
- NREL. (2011). Advanced Condenser Boosts Geothermal Power Plant Output. Disponible en: <http://www.nrel.gov/docs/fy11osti/49152.pdf>
- OTEC Matters. (2015). Science for the Professions. Edit Petter Dessne and Lans Golmen. University of Boras. Disponible en: <https://goo.gl/DL7Wqq>
- Programa Nacional de Energía 2001-2006. Diario Oficial de la Federación. Disponible en: <https://goo.gl/RHCxZp>
- SENER. (2016). Secretaría de Energía. Disponible en: <http://www.gob.mx/sener>
- SENER. (2012). Prospectivas de Energías Renovables 2012- 2026.). Disponible en: <https://goo.gl/avnHa2>
- OECD. (2016). The Ocean Economy in 2030. Publishing Paris. Disponible en: <https://goo.gl/NM9nDD>
- US Congressional Research Service. (2017). Disponible en: <http://www.crs.gov>
- World Energy Resources.(2016). Marine Energy/ World Energy Council. Disponible en: <https://goo.gl/QFuCzJ>

POSIBLES SITIOS DE INSTALACIÓN OTEC

- Jiménez Espinosa Martín; Baeza Ramírez Carlos; Matías Ramírez Lucia; Eslava Morales Héctor. (2012). Mapas de índices de riesgo a escala municipal por fenómenos hidrometeorológicos. Informe para el Sistema Nacional de Protección Civil Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). Consultado 03-05-2017 en <http://www.anr.gob.mx/Descargas/ Metodologias/Hidrometeorologico.pdf>
- CFE. (2006). Red Troncal del Sistema Eléctrico Mexicano. Consultado 04-05-2017 en http://www.cigre.org.mx/uploads/media/SIN_Mexico-CIGRE.pdf
- CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA. (2007). Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad marina de México: océanos, costas e islas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy Programa México, Pronatura, A.C. México, D.F. Consultado 04-05-2017 en <http://www.conabio.gob.mx/gap/images/9/92/LibroGapMarino.pdf>
- SEMARNAT. (2004). Biodiversidad. México, un país megadiverso. Consultado 04-05-2017 en http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen/04_biodiversidad/cap4.html.
- SENER. (2016a). Secretaría de Energía. Programa del Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) 2016-2030. Consultado 04-05-2017 en http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/102166/PRODESEN_2016-2030_1.pdf

Baja California Sur

- CONANP. (2012). Parque Nacional Cabo Pulmo. Sitio de internet. Consultado 05-04-2017 en <http://pncabopulmo.conanp.gob.mx/>
- CONAPO (2015). Consejo Nacional de Población. Proyecciones de la población de México 2010-2050. Consultado 04-05-2017 en http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos
- Gobierno del Estado de Baja California Sur. (2013). Los Cabos Información Estratégica. Consultado 04-05-2017 en <http://spyde.bcs.gob.mx/files/die/ESTRATEGICOLOSCABOS2013DIGITAL.pdf>
- Hernández Ramírez Hilda. (2004). Diagnostico Ambiental de la Isla Cerralvo, BCS, México. (Tesis de Maestría). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, B.C.S. Consultado 05-04-2017 en https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/404/1/hernandez_h.pdf
- INEGI. (2010). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Baja California Sur. Consultado 29-04-2017 en <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2010/>
- INEGI. (2015). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Clima. Baja California Sur. Consultado 29-04-2017 en <http://www1.inecol.edu.mx/costasustentable/esp/pdfs/Publicaciones/Dunas/BajaCaliforniaSur.pdf>
- Martínez María Luisa; Jiménez Orocio Óscar; Espejer Ileana. (2014). Climas. Clima en las costas de México y su relación con los diferentes tipos de vegetación: Nortes, tormentas tropicales y huracanes. Consultado 29-04-2017 en <http://www1.inecol.edu.mx/costasustentable/esp/pdfs/Publicaciones/Dunas/Climas.pdf>
- PRONATURA. (2017). Estero San José del Cabo. Consultado 05-04-2017 en <http://pronatura-noroeste.org/sitios/estero-san-jose-del-cabo/>
- Rodríguez-Revelo Natalia; Espejel Ileana; Jiménez-Oroció Óscar; Martínez Ma. Luisa; Infante Mata Dulce; Monroy Roberto. (2014). Baja California Sur. El clima costero, Sistema hidrográfico, Paisajes de las playas y dunas. Consultado 29-04-2017 en: <http://www1.inecol.edu.mx/costasustentable/esp/pdfs/Publicaciones/Dunas/BajaCaliforniaSur.pdf>
- SDERMAN. (2016). Secretaría de Desarrollo Económico, Medio Ambiente y Recursos Naturales Gobierno de Baja California Sur. Datos básicos de Baja California Sur. Consultado 05-04-2017 en http://sdemarn.bcs.gob.mx/docs/publicaciones/1_Datos_Basicos_BCS_2016.pdf
- SEMAR. (2012). Secretaría de Marina. Dirección General Adjunta de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología (DIGAOHM). Cabo San Lucas. Consultado 29-04-2017 en <http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioCabosnlucas.pdf>
- SEMARNAT. (2016). Comunicado de prensa Conanp/ Semarnat Núm. 068 / 16. Consultado 05-04-2017 en http://www.conanp.gob.mx/difusion/comunicado.php?id_subcontenido=1041
- Senado de la República. (2012). Proposición con punto de acuerdo relativa a los proyectos turísticos aledaños al área natural protegida Cabo Pulmo, en Baja California Sur. Consultado 05-04-2017 en http://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/62/1/2012-10-04-1/assets/documentos/cabo_pulmo.pdf
- SENER. (2016b). Secretaría de Energía. Prospectiva del Sector Eléctrico 2016-2030. Consultado 04-05-2017 en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177626/Prospectiva_del_Sector_El_ctrico_2016-2030.pdf



Jalisco

- COEPO. (2011). Consejo Estatal de Población. Índice de Desarrollo Municipal Jalisco. Consultado 05-05-2017 en <http://coepojalisco.blogspot.mx/>
- CONANP. (2005). Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Islas Marietas. Consultado 05-05-2017 en www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/Final_IslasMarietas.pdf
- CONANP. (2012). Programa de manejo del área de protección de flora y fauna Cabo San Luca. Consultado 05-05-2017 en <http://www.conanp.gob.mx/anp/consulta/PM%20CABO%20SAN%20LUCAS%20PARA%20CONSULTA%20PUBLICA.pdf>
- García, E. (2004), Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, Serie Libros, núm. 6, Instituto de Geografía, UNAM, México. Consultado 02-05-2017 en http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_lib/modific_al_sis.pdf
- IIEG. (2016). Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco. Cuadernillos Municipales, Región 9 Costa Norte, Cabo Corrientes, 2014, SIEG. Consultado 02-05-2017 en <http://iieg.gob.mx/contenido/Municipios/Cabocorrientes.pdf>
- INEGI.(2016). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Cuentame. Consultado 02-05-2017 en <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/jal/poblacion/>
- Márquez González Antonio Romualdo, Sánchez Crispín Álvaro (2007). Turismo y ambiente: la percepción de los turistas nacionales en Bahía de Banderas, Nayarit, México.
- ONU-HABITAT.(2016a). Índice Básico de las Ciudades Prósperas. Bahía de Banderas, Nayarit México. Informe Final Municipal. Consultado 12-05-2017 en <http://infonavit.janium.com/janium/Documentos/56664.pdf>
- Plan de Desarrollo Municipal 2007-2009. Cabo Corrientes, Jalisco. Consultado 05-05-2017 en http://www.oeidrus-jalisco.gob.mx/municipal/planesdesarrollo/planmpal_des_020.pdf
- Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Bahía de Banderas, Nayarit (2016). Consultado 05-05-2017 en https://www.bahiadebanderas.gob.mx/wp-content/uploads/2016/09/PMDU_Bahi%C3%ACaBanderas_%20consulta%20si%C3%ACntesis.pdf
- Programa Municipal de Desarrollo Urbano.(2012).Gobierno de Jalisco. Consultado 05-05-2017 en <http://www.cabocorrientes.gob.mx/wp-content/uploads/2016/04/Programa-municipal-de-desarrollo-urbano-vigente.pdf>
- SECTUR. (2014). Agendas De Competitividad De Los Destinos Turísticos De México, Jalisco. Consultado 05-05-2017 en <http://www.sectur.gob.mx/wp-content/uploads/2015/02/PDF-Puerto-Vallarta.pdf>
- SEMAR. (2013). Secretaría de Marina. Dirección General Adjunta de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología (DIGAOHM). Puerto Vallarta, Jalisco. Consultado 02-05-2017 en <http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioVallarta.pdf>
- SEMAR.(2014). Puerto Vallarta, México. Consultado 05-05-2017 en <http://www.semar.gob.mx/velero/2014/es/crucero/puerto-vallarta.html>
- Velázquez Ruiz Antonio; Manuel Martínez Luis; Carrillo González Fátima. (2012). Caracterización climática para la región de Bahía de Banderas mediante el sistema de Köppen, modificado por García, y técnicas de sistemas de información geográfica. Invest. Geog. 79. Consultado 02-05-2017 en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112012000300002
- World Meteorological Organization. (2017). Puerto Vallarta, México. Consultado 02-05-2017 en <http://worldweather.wmo.int/en/city.html?cityId=120>

Guerrero

- BBC Mundo. Consultado 03-05-2017 en http://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/05/130422_pueblos_fantasma_guerrero_mexico_narcotrafico_autodefensas_an
- Canal Judicial. (2017). Consultado 03-05-2017 en <https://canaljudicial.wordpress.com/tag/tecpa/>
- Climate-Data. (2017a). Clima de Petatlán. Consultado 03-05-2017 en <https://es.climate-data.org/location/52027/>
- Climate-Data. (2017b). Clima San Juan de la Loma. Consultado 03-05-2017 en <https://es.climate-data.org/location/485704/>
- CONABIO. (2009). Criterios para la selección del sitio de manglar Laguna El Potosí, en Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Consultado 02-05-2017 en http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/manglares/doctos/caracterizacion/PS26_Laguna_El_Potosi_caracterizacion.pdf
- Gobierno Municipal. (2012). Plan Municipal de Desarrollo 2012-2015, H. Ayuntamiento Constitucional de Petatlán, Gro. Consultado 07-05-2017 en <http://petatlan.guerrero.gob.mx/wp-content/uploads/2013/12/PMD-2012-2015-.pdf>
- Plan Municipal de Desarrollo 2015-2018 de Tecpan de Galeana, Guerrero. Consultado 07-05-2017 en <http://tecpa.hayuntamientotecpan.gob.mx/wp-content/uploads/2016/01/00-PMD.pdf>
- SEDESOL.(2013). Unidad de Microrregiones Municipio de Tépca de Galeana, Guerrero. Consultado 03-05-2017 en <http://www.microrregiones.gob.mx/zap/datGenerales.aspx?entra=zap&ent=12&mun=057>
- SEMAR.(2010). Secretaría de Marina. Dirección General Adjunta de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología (DIGAOHM). Zihuatanejo, Guerrero. Consultado 02-05-2017 en <http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioZihuatanejo.pdf>
- SEMARNAT (2004). Manifestación de Impacto Ambiental Playa Potosí Petatlán, Guerrero. Consultado 03-05-2017 en <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/gro/estudios/2004/12GE2004TD022.pdf>
- Vela Correa Gilberto. (2015). El Hombre y su Ambiente. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana UAM. Consultado 02-05-2017 en http://www.uam.mx/transparencia/inforganos/xoc/cbs/2015/xoc_cbs_El_Hombre_y_su_Ambiente_2015.pdf

Michoacán

- Climate Data. (2017). Clima Alquila, Michoacán. Consultado el 07-05-2017 en <https://es.climate-data.org/location/788820/>
- CONANP. (2016). Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas-Prensa. Consultado el 07-05-2017 en <http://www.gob.mx/conanp/prensa/mas-de-30-mil-tortugas-golfina-llegan-en-la-primera-arribada-al-santuario-playa-escobilla-oaxaca>
- Guardado Marin Gustavo. (2004). El Fin de Toda la Tierra. Historia, ecología y cultura de la costa de Michoacán. El Colegio de México: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada: El Colegio de Michoacán. México. P. 255.
- INEGI. (2010). Censo de Población y Vivienda 2010. Consultado el 07-05-2017 en http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx?c=27329&s=est
- Moreno Casasola Patricia; Iníante Mata Dulce; Jiménez Orocio Óscar; Rodríguez Revelo Natalia; Martínez Ma. Luisa; Monroy Roberto. (2014). Michoacán de Ocampo. El clima costero.



Consultado 07-05-2017 en <http://www1.inecol.edu.mx/costasustentable/esp/pdfs/Publicaciones/Dunas/Michoacan.pdf>

Pueblos América. (2010). Colola, Michoacán. Consultado el 07-05-2017 en <http://mexico.pueblosamerica.com/i/colola/>

SEMAR. (2013). Secretaría de Marina. Dirección General Adjunta de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología (DIGAOHM). Lázaro Cárdenas, Michoacán. Consultado el 07-05-2017 en <http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioLazaro.pdf>

SEMARNAT.(2008). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Dirección General de Desarrollo Institucional y Promoción. Consultado el 07-05-2017 en http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_2008/compendio_2008/compendio2008/10.100.8.236_8080/ibi_apps/D3_BIODIV01_06.html

Oaxaca

Cabrera Ruiz José Luis. (2013). Plan Municipal de Desarrollo Santa María Colotepec 2011-2013. Consultado 03-05-2017 en https://www.finanzasoaxaca.gob.mx/pdf/inversion_publica/pmds/11_13/401.pdf

Climate- Data (2017). Clima Puerto Ángel. Consultado 03-05-2017 en <https://es.climate-data.org/location/334667/>

Climate Data, 2017b. Clima de Huatulco. Consultado 03-05-2017 en <https://es.climate-data.org/location/334552/>

CONANP. (2011). Comisión Nacional De Áreas Naturales Protegidas. Parque Nacional Huatulco. Consultado 03-05-2017 en http://www.conanp.gob.mx/rendicion_cuentas/pdf/pdf_rendicion_cuentas/Diagnostico_Huatulco.pdf

CONAPO. (2016). Consejo Nacional de Población. Proyecciones de la Población 2010-2050. Consultado 07-05-2017 en http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos

FONATUR. (2013). Proyectos de inversión en FONATUR, Colegio de Ingenieros Civiles de México, Consultado 03-05-2017 en <http://www.cicm.org.mx/2030/CPH/2013/Presentacion%20CICM%20Abril%202029.pdf>.

Hernández Santos, I. (2009). Propuesta de Programa para el manejo integral de la zona costera. Caso: Municipio de Villa de Tututepec de Melchor Ocampo, Oaxaca, México. Tesis de licenciatura en Biología Marina, Universidad del Mar, Puerto Ángel, Oaxaca, México.

Huante González Yolanda. (1997). Contaminación Biológica en la Bahía de Puerto Ángel, Oaxaca. Consultado 07-05-2017 en <http://www.umar.mx/revistas/2/contaminacion.pdf>

INAFED. (2010). Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal Santa María Huatulco. . Consultado 03-05-2017 en <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM20oaxaca/presentacion.html>

Moreno Casasola patricia; López Rosas Hugo; Iniante mata Dulce; Espejel Ileana; Jiménez Orocio Óscar; Rodríguez Revelo Natalia; Espejel Gonzáles Verónica; Martínez Luisa; Monroy Roberto. (2014). Oaxaca. El clima costero, Sistema hidrográfico, Paisajes de las playas y dunas. Consultado 03-05-2017 en <http://www1.inecol.edu.mx/costasustentable/esp/pdfs/Publicaciones/Dunas/Oaxaca.pdf>

Pueblos de América. (2010). Puerto Ángel. Consultado 07-05-2017 en <http://mexico.pueblosamerica.com/i/puerto-angel-2/>

Reyes Bonilla Héctor; Leyte Morales Gerardo. (1998). Corals and coral reefs of the Puerto Angel region, west coast of México. *Rev. Biol. Trop.*, 46(3): 679-681.

- SECTUR. (2015). Agendas De Competitividad De Los Destinos Turísticos De México Huatulco, Oaxaca. Consultado 03-05-2017 en <http://www.sectur.gob.mx/wp-content/uploads/2015/02/PDF-Huatulco.pdf>
- SEDESOL. (2010). Secretaría de Desarrollo Social .Catalogo de localidades del municipio Santa María Colotepec. Consultado 03-05-2017 en <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/LocdeMun.aspx?tipo=clave&campo=loc&ent=20&mun=401>
- SEDESOL. (2010b). Secretaría de Desarrollo Social. Catalogo de localidades del municipio Villa de Tultepec. Consultado 03-05-2017 en <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/LocdeMun.aspx?ent=20&mun=334>
- SEDESOL. (2010c). Secretaría de Desarrollo Social. Santa María Huatulco, Oaxaca. Consultado 03-05-2017 en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/34748/Oaxaca_413.pdf
- SEMAR. (2014). Secretaría de Marina. Dirección General Adjunta de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología (DIGAOHM). Puerto Ángel, Oaxaca. Consultado 02-05-2017 en <http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioPtoangel.pdf>

Quintana Roo

- Climate- <https://es.climate-data.org/location/193268/> Data (2017). Clima Puerto Ángel. Consultado 31-05-2017 en <https://es.climate-data.org/location/193268/>
- CONANP. (1996). Decreto de área natural protegida zona Arrecifes de Cozumel. Consultado 02-06-2017 en <http://www.conanp.gob.mx/sig/decretos/parques/Arrecifescozumel.pdf>
- CONANP. (2010). Comisión Nacional De Áreas Naturales Protegidas. Arrecifes de Xcalak. Consultado 31-05-2017 en https://simec.conanp.gob.mx/ficha_pdf.php?anp=37®=
- INE. (2010). Instituto Nacional de Ecología. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro. Consultado 01-06-2017 en <http://www.paot.org.mx/centro/ine-semarnat/anp/AN27.pdf>
- INEGI. (2015). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Consultado 31-05-2017 en <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/qroo/poblacion/>
- Pueblos de América. (2017). Consultado 31-05-2017 en <http://mexico.pueblosamerica.com/i/xcalak/>
- SECTUR. (2013). Agendas De Competitividad De Los Destinos Turísticos De México, Cozumel. Consultado 02-06-2017 en <http://www.sectur.gob.mx/wp-content/uploads/2015/02/PDF-Cozumel.pdf>
- SEDESOL. (2010). Secretaría de Desarrollo Social. Catálogo de Localidades. Consultado 01-06-2017 en <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=230040336>
- SEMAR. (2008). Secretaría de Marina. . Dirección General Adjunta de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología (DIGAOHM). Xcalak, Q.ROO Consultado 02-06-2017 en <http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioXcalak.pdf>.
- SENER. (2016). Secretaría de Energía. Evaluación Rápida del Uso de Energía. Cozumel. Consultado 02-06-2017 en http://www.olade.org/realc/docs/doc_87999_20161031080442.pdf

Colección Energías Renovables del Océano

Conversión de Energía Térmica Oceánica (OTEC) Estado del Arte

Cemie-Océano

Se realizó en el Departamento de Difusión y Publicaciones
del Instituto EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche

Se terminó de imprimir en noviembre de 2017
en Print Service Campeche. Campeche, México.
Se imprimieron 1000 ejemplares.



CEMIE-Océano

Centro Mexicano de Innovación
en Energía - Océano



ISBN 978-607-8444-28-1 de la Colección

ISBN 978-607-8444-29-8 del Volumen