

# CRITERIOS DE SELECCIÓN DE SITIOS ÓPTIMOS PARA EL DESPLIEGUE DE PLANTAS DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA OCÉANO (OTEC) EN MÉXICO

E. Paola Garduño-Ruiz<sup>1</sup>, Rodolfo Silva<sup>1</sup>, Yandy Rodríguez-Cueto<sup>1</sup>, Alejandro García-Huante<sup>1</sup>, Jorge Olmedo-González<sup>2</sup>, M. Luisa Martínez<sup>3</sup>, Astrid Wojtarowski<sup>4</sup>, Raul Martell-Dubois<sup>5</sup> y Sergio Cerdeira-Estrada<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México., EGardunoR@iingen.unam.mx, RSilvaC@iingen.unam.mx, yandyro84@gmail.com, AGarciaHu@iingen.unam.mx

<sup>2</sup> Laboratorio Electroquímica, ESQIE, Instituto Politécnico Nacional., jorgeolmedog@outlook.com

<sup>3</sup> Red de Ecología Funcional, Instituto de Ecología, A.C., marisa.martinez@inecol.mx

<sup>4</sup> El Colegio de Veracruz, astrid\_leal@yahoo.com.mx

<sup>5</sup> Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, rmartell@conabio.gob.mx, scerdeira@conabio.gob.mx

## Introducción

La energía por Gradiente Térmico del mar, a través de los sistemas de Conversión de Energía Térmica Oceánica (OTEC), aprovecha las diferencias de temperatura ( $> 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) entre las aguas superficiales y profundas ( $\sim 1000\text{ m}$ ) del océano para generar electricidad de manera continua e ilimitada. Este proceso se lleva a cabo mediante el ciclo termodinámico Rankine, que utiliza turbinas de vapor para generar electricidad. Existen dos principales tipos de ciclos: cerrados (CC), que utilizan un fluido de trabajo, como el amoníaco, con un punto de ebullición bajo, que en su fase de vapor impulsa la turbina y Abierto (CA), que utiliza agua de mar como combustible, cuya fase de vapor impulsa una turbina conectada a un generador, produciendo valiosos subproductos (Vega, 2012). Los subproductos de OTEC incluyen: agua desalinizada y aplicaciones de aguas profundas del océano para la acuicultura, agricultura fría, aire acondicionado, etc (Kobayashi et al., 2001).

Los objetivos del presente trabajo fueron: (1) evaluar el potencial térmico en el Pacífico Mexicano y Mar Caribe, mediante datos satelitales diarios de Temperatura de la Superficie del Mar (SST) durante 16 años (2002-2018) a una resolución espacial de 1 km; (2) estimar la cantidad de tiempo que se excede una diferencia de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  y para umbrales específicos de potencia, y (3) seleccionar sitios óptimos para la implementación de OTEC, donde se evaluaron aspectos técnicos, ambientales y sociales.

## Metodología y resultados

El estudio se dividió en diferentes secciones, que describen los procesos utilizados para determinar los sitios óptimos para el despliegue de una planta flotante OTEC-CC-50MW.

### Potencia neta ( $P_{net}$ )

Para determinar la  $P_{net}$  generada por OTEC se utilizó la metodología descrita por Rajagopalan y Nihous (2013), que estima la potencia generada ( $Ec.1$ ), basado en las diferencias de temperatura, caudal de agua y potencia de bombeo ( $P_{pump}$ ,  $Ec.2$ ). Para este proceso fue necesario evaluar: (1) la temperatura del océano profundo, ( $T_d$ ) a 1000 m de profundidad; (2) datos diarios de SST y (3) la diferencia de temperatura del agua de mar entre la superficie y profundidad ( $\Delta T_m$ ), como se muestra en la Figura , donde los valores se extrajeron de un polígono que cubre la línea de costa hasta 15 km de la Zona Económica Exclusiva (ZEE) de México.

### Persistencia ( $P$ )

$P$  se refiere al porcentaje de la serie de tiempo donde la  $P_{net}$  es igual o mayor que los umbrales determinados a) 0.00- 9.90 MW; b) 10.00-12.49 MW; c) 12.50-24.90 MW; d) 25.00-49.90 MW; y e)  $\geq 50.00$  MW. Estos umbrales reflejan la cantidad de módulos de potencia que se necesitan para generar aproximadamente 50 MW.

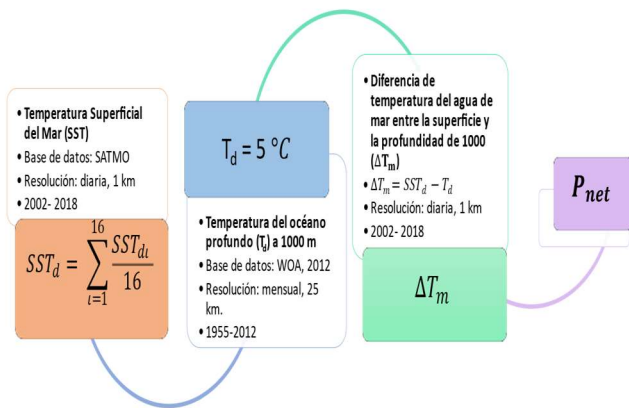


Figura 1. Metodología para determinar la Potencia neta de la planta OTEC.

$$P_{net} = Q_{cw} \frac{3\rho C_p \varepsilon_t g \gamma}{16(1+\gamma)} \frac{(\Delta T_m)^2}{T} - P_{pump} \quad (1)$$

$$P_{pump} = Q_{cw} 0.30 \frac{\rho C_p \varepsilon_t g \gamma}{4(1+\gamma)} \quad (2)$$

### Matriz de Decisión (MD)

La MD se alimentó de varios criterios comparativos, incluidos datos técnicos, aspectos ambientales y socioeconómicos (Figura 2) y alternativas que se muestran como sitios, tales como: *Cozumel, Quintana Roo; Lázaro Cárdenas, Michoacán; Cabo San Lucas, Baja California Sur y Puerto Ángel, Oaxaca.*

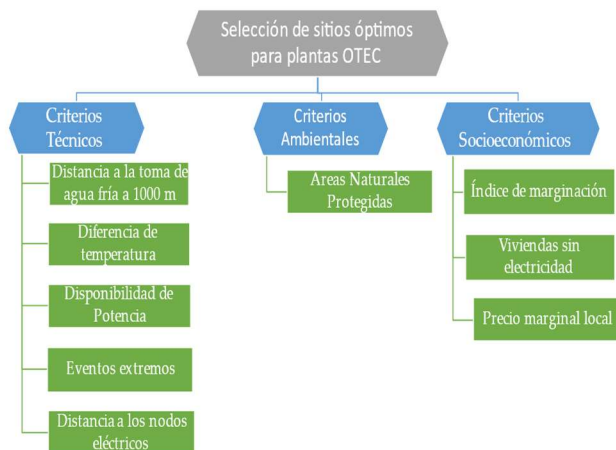


Figura 2. Selección de criterios comparativos para la MD.

### Sitios Óptimos

Por medio del uso de la MD, se seleccionó la mejor herramienta de Análisis Multicriterio, para seleccionar sitios óptimos, mediante un algoritmo de Python (Juan, 2018). Para reducir la subjetividad de la asignación de pesos a cada criterio, se aplicó la técnica del Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) (Saaty, 1990); mientras que para conocer los sitios óptimos, se aplicó la Técnica para el Orden de Preferencia por Semejanza con la Solución Ideal (TOPSIS) (Roy y Słowiński, 2013).

Tabla 1. Clasificación de los sitios para la instalación de OTEC utilizando el método TOPSIS.

Alternativas	Ranking
Cozumel	3
Lázaro Cárdenas	4
Cabo San Lucas	2
Puerto Ángel	1

De acuerdo con el análisis de TOPSIS, los mejores sitios para instalar plantas OTEC fueron: (1) Puerto Ángel, Oaxaca y (2) Cabo San Lucas, BCS.

### Referencias

Juan, B. C. (2018). Scikit-Criteria Documentation.

Kobayashi, H., Jitsuhara, S., & Uehara, H. (2001). The present status and features of OTEC and recent aspects of thermal energy conversion technologies. *National Maritime Research Institute, Japan*. Available: [http://www.nmri.go.jp/main/cooperation/ujnr/24ujnr\\_paper\\_jpn/Kobayashi.pdf](http://www.nmri.go.jp/main/cooperation/ujnr/24ujnr_paper_jpn/Kobayashi.pdf)

Rajagopalan, K., & Nihous, G. C. (2013). An assessment of global ocean thermal energy conversion resources with a high-resolution ocean general circulation model. *Journal of Energy Resources Technology*, 135(4).

Roy, B., & Słowiński, R. (2013). Questions guiding the choice of a multicriteria decision aiding method. *EURO Journal on Decision Processes*, 1(1): 69-97.

Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, 48(1): 9-26.

Vega, L. A. (2012). Ocean thermal energy conversion. *Encyclopedia of sustainability science and technology*, 7296-7328.



1er Congreso Internacional  
**CEMIE-Océano**



