

MODELO ESTADÍSTICO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA TEMPERATURA EN SUBSUPERFICIE DEL MAR CARIBE MEXICANO

Jessica Tobal Cupul, Fernando Gómez García y Juan Bárcenas Graniel

¹ Universidad del Caribe, jtobalcupul@gmail.com, fgomez@ucaribe.edu.mx, jbarcenas@ucaribe.edu.mx

Introducción

Debido a la creciente demanda energética actual y los problemas que conlleva la producción energética utilizando combustibles fósiles, diversos países han explorado la utilización de recursos naturales como fuentes renovables de energía.

Este es el caso de la energía por gradiente térmico (OTEC, por sus siglas en inglés), la cual genera electricidad mediante un ciclo termodinámico utilizando la diferencia de temperatura entre el fondo marino y la superficie del océano (Avery y Wu, 1994).

Uno de los criterios más importantes para la selección de un sitio potencial para OTEC, es que la diferencia de temperatura existente entre la superficie y el agua hasta los 1000 m de profundidad sea de por lo menos 20 °C (Garduño-Ruiz *et al.*, 2017). El Mar Caribe mexicano, es uno de los sitios que cumplen con esta condición (Bárcenas, 2014), además que la población colindante a este mar sufre de déficit de energía (Datos abiertos México, 2018).

En la actualidad existen productos satelitales que estiman la temperatura a nivel superficial con gran resolución espacial y temporal; sin embargo, los productos para estimar la temperatura a nivel subsuperficial parecen estar limitados en estas resoluciones, probablemente a causa de la dispersión espacial y temporal de los datos históricos *in-situ*.

Objetivo de estudio

Con el objetivo de proveer una mejor estimación de la diferencia de temperatura en el Mar Caribe mexicano que sirva para la detección de sitios potenciales OTEC en esta área, se ajustó un modelo estadístico para predecir la temperatura a distintas profundidades, que utiliza como variables independientes la temperatura superficial mensual, la latitud, la longitud, el mes y la profundidad.

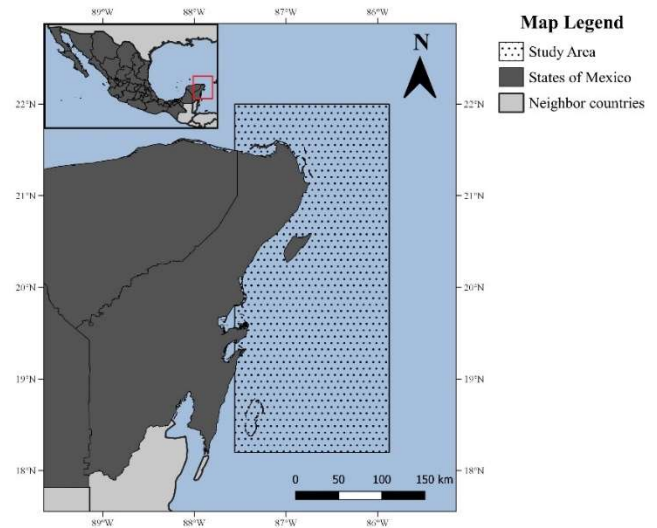


Figura 1. Límites del Mar Caribe mexicano tomados en cuenta para el modelado estadístico.

Metodología

Para conformar la base de datos, se descargaron las mediciones históricas de temperatura entre 0 a 1000 m de profundidad de 1981 a 2018 de las bases de datos del *World Ocean Data Center* y de la base de datos de las boyas Argo; además se obtuvo el promedio mensual de la temperatura superficial nocturna para cada lance.

El modelo estadístico (Ecuación 1) se construyó utilizando regresión lineal múltiple utilizando la longitud (x), la latitud (y), el mes (M), la temperatura superficial nocturna (T_s) y un polinomio de grado m para la profundidad ($P_m(z)$) para determinar la temperatura a nivel subsuperficial (T).

$$T(x, y, z, M, T_s) = \alpha_0 + \alpha_1 x + \alpha_2 y + \alpha_3 M + \alpha_4 T_s + \alpha_5 x P_m(z) + \alpha_6 y P_m(z) + \alpha_7 x^2 P_m(z) + \alpha_8 x^2 P_m(z) + \alpha_9 P_m(z) \quad (1)$$

Los coeficientes y el grado del polinomio se determinaron mediante validación cruzada por el

método *k-flod* utilizando un muestreo estratificado de los lances completos y dividiendo la base de datos en conjunto de validación y conjunto de prueba.

Validación del modelo estadístico

El modelo estadístico se ajustó y validó con los datos históricos entre 0 a 1000 m de profundidad de las bases de datos del *World Ocean Data Center* y de la base de datos de las boyas Argo, desde 1981 a 2018.

Asimismo, se realizó una validación adicional entre el modelo estadístico y otros productos disponibles para la estimación de la temperatura a nivel subsuperficie, utilizando los datos de los lances realizados durante la campaña oceanográfica CEMIE-1 entre abril y mayo de 2019. con otros productos de estimación disponibles. Esto con el objetivo de comparar si el modelo realmente proporcionó una mejora en las estimaciones de temperatura a nivel subsuperficie en el Mar Caribe mexicano.

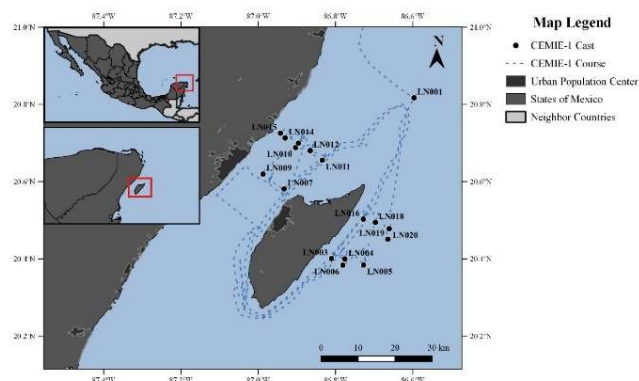


Figura 2. Ubicación de los lances realizados durante la campaña oceanográfica CEMIE-1.

Comparación utilizando datos del CEMIE-1

Se hizo una comparación de la mejora del modelo estadístico con los siguientes productos: 1) *Hadley Centre subsurface temperature and salinity objective analyses (version 4.0.2)* (EN4), 2) *World Ocean Atlas 2018* (WOA2018) and 3) *Hybrid Coordinate Ocean Model* (HYCOM) Dado que estos productos tenían resoluciones distintas en profundidad, la comparación se realizó por separado entre el modelo y cada uno de los productos. La comparativa de los errores medios absolutos del producto (MAE_p) y del modelo estadístico (MAE_{sm}) se muestran en la siguiente Tabla.

Tabla 1. Comparativa de los errores medios absolutos del producto (MAE_p) y del modelo estadístico (MAE_{sm}).

	MAE_p (°C)	MAE_{sm} (°C)	Mejora (%)
EN4	2.15	0.85	60.46
WOA18	0.90	0.55	38.96
HYCOM	0.91	0.55	40.64

Aprovechamiento en una planta OTEC

Además de la comparación de la estimación entre estos productos y el modelo estadístico para el Mar Caribe mexicano, se realizará una evaluación del balance de masa y energía adaptando la metodología de Tobal-Cupul *et al.* (in press), con el objetivo de conocer teóricamente cuáles serían las repercusiones de estos errores en las estimaciones de temperatura subsuperficial en la eficiencia eléctrica de la planta.

Esta evaluación se realizará considerando una planta de ciclo cerrado con capacidad de 50 MW que funciona con amoniaco, fijando la cantidad de flujo másico de agua superficial, de agua subsuperficial y de fluido de trabajo.

Referencias

Avery, W. & Wu, C. (1994). *Renewable energy from the ocean. A Guide to OTEC*. Oxford University Press, Inc.

Bárceñas, J. (2014) Evaluación del potencial de conversión de energía renovable en el Caribe mexicano (Tesis de maestría). Instituto de Ciencias del Mar, Ciudad de México, México.

Datos Abiertos de México (15 de Mayo de 2018) Usuarios y consumo de electricidad por municipio (A partir de 2018) [Base de datos] Consultado en: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/usuarios-y-consumo-de-electricidad-por-municipio-a-partir-de-2018/resource/38b7a514-78c2-4355-9ed0-d6ac72722952>

Garduño-Ruiz, E.P.; García-Huante, A.; Rodríguez-Cueto, Y.; Bárceñas-Graniel, J.F.; Alatorre-Mendieta, M.A.; Cerezo-Acevedo, E.; Tobal-Cupul, J.G.; Romero-Medina, V.M.; Silva-Casarín, R. (2017) *Conversión de Energía Térmica Oceánica (OTEC) Estado del Arte*. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche.

Tobal-Cupul, J.G.; Cerezo-Acevedo, E.; Arriola-Gil, Y.Y.; Gómez-García, H.F.; Romero -Medina, V.M. (in press) *Sensitivity Analysis of OTEC-CC-MX-1 kW Plant Prototype*. *Energies*, 14.



1er Congreso Internacional
CEMIE-Océano



