



1er Congreso Internacional
CEMIE-Océano

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

Jessica Tobal Cupul¹, Fernando Gómez García² y Juan Bárcenas Graniel³

1 Asistente Técnico, Universidad del Caribe, jtobalcupul@gmail.com
2 Profesor de tiempo completo, Universidad del Caribe, fgomez@ucaribe.edu.mx
3 Profesor de tiempo completo, Universidad del Caribe, jbarcenas@ucaribe.edu.mx



CEMIE-Océano



CEMIE-Océano
Asociación Civil

INTRODUCCIÓN

La tecnología OTEC genera electricidad mediante un ciclo termodinámico utilizando la diferencia de temperatura del océano [1]. Uno de los criterios más importantes para la selección de un sitio potencial, es que la diferencia de temperatura entre la superficie y alguna zona ubicada a lo más a 1000 metros de profundidad, alcance una magnitud de por lo menos 20°C [2].

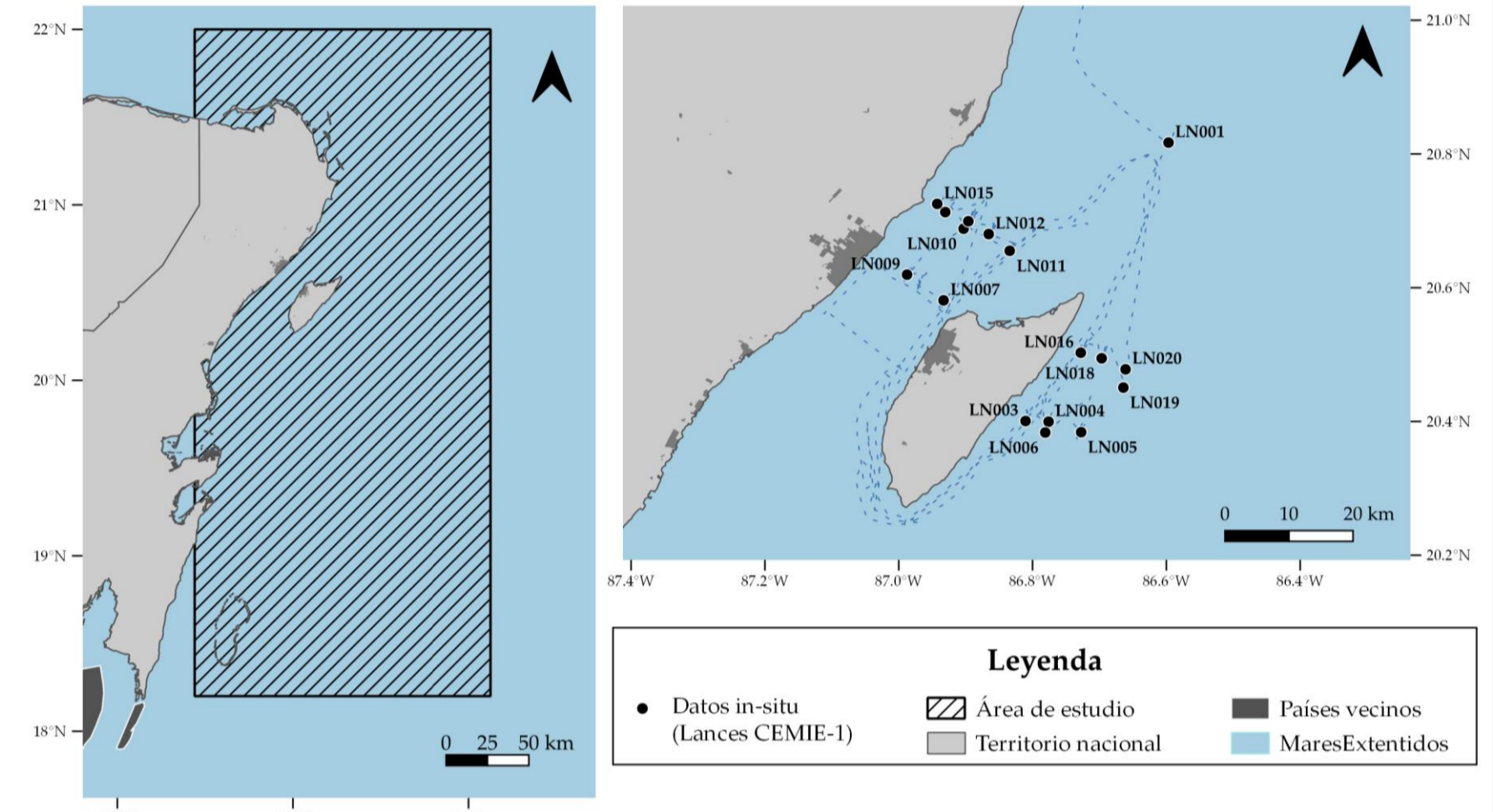
En la actualidad existen productos satelitales que estiman la temperatura a nivel superficial con gran resolución espacial y temporal; sin embargo, los productos para estimar la temperatura a nivel sub-superficial son limitados.

OBJETIVO

Ajustar un modelo estadístico para estimar la temperatura del mar, dentro del polígono de interés y a nivel sub-superficial, que permita la evaluación del gradiente de temperatura con errores de predicción menores a un grado centígrado en promedio.

Las estimaciones del modelo serán validadas al compararse con datos obtenidos *in-situ*.

Figura 1. Polígono de interés (izquierda) para la obtención de datos de temperatura y localización de los lances *in-situ* (derecha) utilizada en la evaluación de la mejora del modelo



METODOLOGÍA

Definición de las variables predictoras

Selección del modelo

Comparación con datos *in-situ*

Conformación de la base de datos

Validación del modelo

BASE DE DATOS

Rango temporal:
1981 a 2018

Extensión espacial:
De 0 a 1000 m de profundidad
Mar Caribe Mexicano

Lances históricos:
World Ocean Data Center [3]
Boyas Argo [4]

Temperatura superficial:
NOAA AVHRR [5]
SIMAR [6]

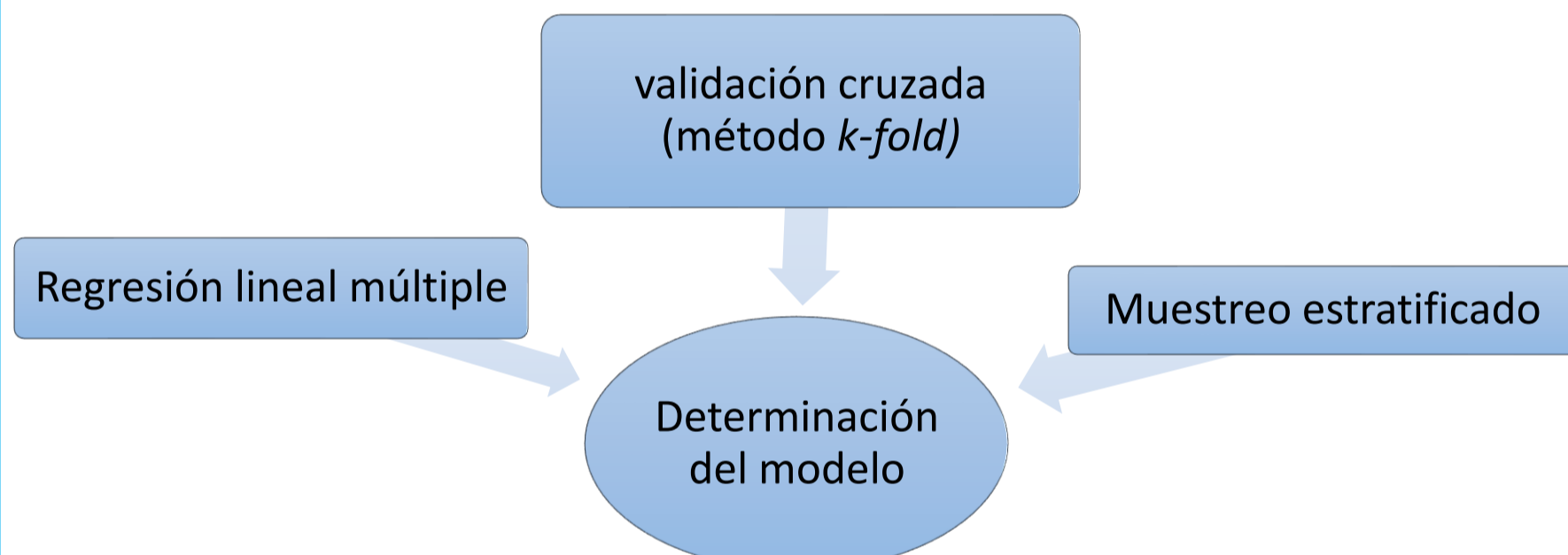
Datos *in-situ*:
Lances de la campaña oceanográfica CEMIE-1 realizada entre abril y mayo de 2019

MODELO ESTADÍSTICO

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

Donde:

x : Longitud en coordenadas WGS84
 y : Latitud en coordenadas WGS84
 M : Número del mes del año (enero=1)
 T_s : a temperatura superficial nocturna en °C
 $P_m(z)$: polinomio de grado m para la profundidad
 T : temperatura a nivel subsuperficial en °C



RESULTADOS

Modelo final (GWR-TMCAS):

Polinomio de grado 6 para la profundidad con interacción simple y cuadrática con x y y .

Métricas obtenidas con el conjunto de validación:

MAE: 0.83°C
MSE: 1.38 °C
 R^2 : 0.9748.

Comparación con datos *in-situ*

Productos comparados:

- 1) Hadley Centre subsurface temperature and salinity objective analyses (version 4.0.2) (EN4) [7]
- 2) World Ocean Atlas 2018 (WOA2018) [8]
- 3) Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM) [9]

Tabla 1. Comparativa de los errores medios absolutos del producto (MAE_p) y del modelo GWR-TMCAS (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

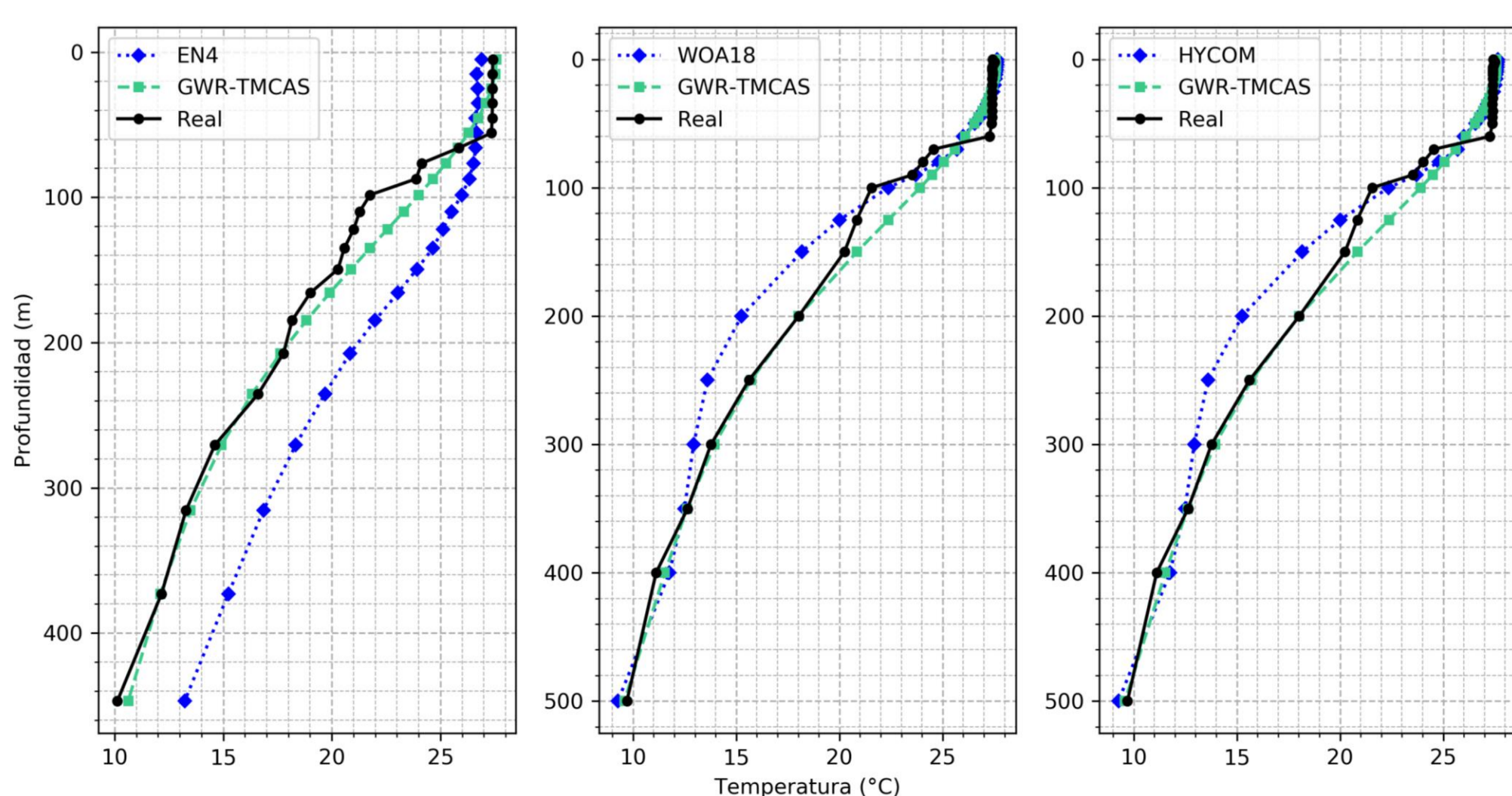


Figura 2. Comparación cuantitativa de las mediciones del lance LN001 del CEMIE-1 con el modelo estadístico (GWR-TMCAS) y los datos de EN4 (izquierda), WOA18 (centro) y HYCOM (derecha).

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El modelo estadístico propuesto permitió estimar la temperatura a nivel subsuperficial en el Mar Caribe mexicano con gran exactitud (MAE del 0.83°C). Los resultados de la evaluación cuantitativa del ajuste del modelo frente a otros productos disponibles en el área de estudio (EN4, WOA2018, HYCOM) utilizando los lances del Crucero Oceanográfico CEMIE-1 de 2019, mostraron que GWR-TMCAS es capaz de proveer en general una mejor estimación para el polígono de interés, pues obtuvo un promedio del error menor en un 38% con respecto a otros productos.

Además de la comparación de la estimación entre estos productos y GWR-TMCAS, es necesario evaluar teóricamente cuáles serían las repercusiones de estos errores en las estimaciones de temperatura subsuperficial en la eficiencia eléctrica de la planta. Por último, los resultados motivan a explorar el potencial de aplicación de técnicas de *machine learning* para la estimación de la temperatura subsuperficial en toda la Zona Económica Exclusiva y ayudar en la aplicación de la tecnología OTEC en México.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencias de México y Tecnología (CONACyT), a la Secretaría de Energía (SENER), al Centro Mexicano de Innovación en Energías Oceánicas (CEMIE-Océano) y la Universidad del Caribe por apoyar este proyecto y proporcionar los recursos para su realización.

REFERENCIAS

1. Avery, W. & Wu, C. (1994). Renewable energy from the ocean. A Guide to OTEC. THE Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory Series In Science and Engineering. Oxford University Press, Inc
2. Garduño-Ruiz, E.P.; García-Huante, A.; Rodríguez-Cueto, Y.; Bárcenas-Graniel, J.F.; Alatorre-Mendieta, M.A.; Cerezo-Acevedo, E.; Tobal-Cupul, J.G.; Romero-Medina, V.M.; Silva-Casarin, R. (2017) Conversión de Energía Térmica Oceánica (OTEC) Estado del Arte. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche.
3. Boyer, T.P., O.K. Baranova, C. Coleman, H.E. Garcia, A. Grodsky, R.A. Locarnini, A.V. Mishonov, C.R. Paver, J.R. Reagan, D. Seidov, I.V. Smolyar, K. Weathers, M.M. Zweng, (2018): World Ocean Database 2018. A.V. Mishonov, Technical Ed., NOAA Atlas NESDIS 87. https://www.ncei.noaa.gov/sites/default/files/2020-04/wod_intro_0.pdf
4. Argo buoy database. Available online: <http://www.argodatamgt.org/Access-to-data/Argo-data-selection> (accessed on January 2019)
5. NOAA AVHRR Pathfinder Version 5.3 Collated Global 4km Sea Surface Temperature databases. Available online: <https://www.nodc.noaa.gov/satellitedata/pathfinder4km53/> (accessed on February 2019).
6. Cerdeira-Estrada, S., R. Martell-Dubois, J. Valdéz Chavarin, L. Rosique-de la Cruz, S. Perera-Valderrama, J. López-Perea, H. Caballero-Aragón, y R. Ressler. 2018-2020. Sistema Satelital de Monitoreo Oceánico-Satellite-based ocean monitoring system (SATMO), en Sistema de Información y Análisis Marino Costero (SIMAR). Conabio, México. Recuperado de <https://simar.conabio.gob.mx/>
7. Good, S., Martin, M., & N., R. (2013). EN4: Quality controlled ocean temperature and salinity profiles and. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH: OCEANS, 118, 6704–6716.
8. Locarnini, R.A., A.V. Mishonov, O.K. Baranova, T.P. Boyer, M.M. Zweng, H.E. Garcia, J.R. Reagan, D. Seidov, K.W. Weathers, C.R. Paver, and I.V. Smolyar (2019). World Ocean Atlas 2018, Volume 1: Temperature. A. Mishonov, Technical Editor. NOAA Atlas NESDIS 81, 52pp.
9. Cummings, J. and Smedstad, O. (2013): Variational Data Assimilation for the Global Ocean. Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrologic Applications, 2(13), 303-343.