



1er Congreso Internacional  
CEMIE-Océano

# Estudio de viabilidad de un sistema de energía oceánica por gradiente térmico asistido con tecnología termosolar (SOTEC) en las costas del noroeste de México.

Jesús Florido Ortega

Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Centro Mexicano de Innovación en Energía del Océano



## Resumen

En este trabajo se realizó una simulación en tres diferentes costas del noroeste de México para evaluar la viabilidad del precalentamiento del agua superficial del mar con dos colectores solares plásticos comerciales existentes en México para alcanzar el gradiente térmico de 20° C o más necesario en los sistemas OTEC durante un período de tiempo de 1859 días de 2013 a 2018. El programa de simulación se realizó para diferentes cantidades de colectores interconectados en serie de cada modelo probado. Se encontró que el 85% (modelo de primer colector) o el 80% (modelo de segundo colector) del tiempo solar total, se logró un delta de temperatura igual o superior a 20° C.

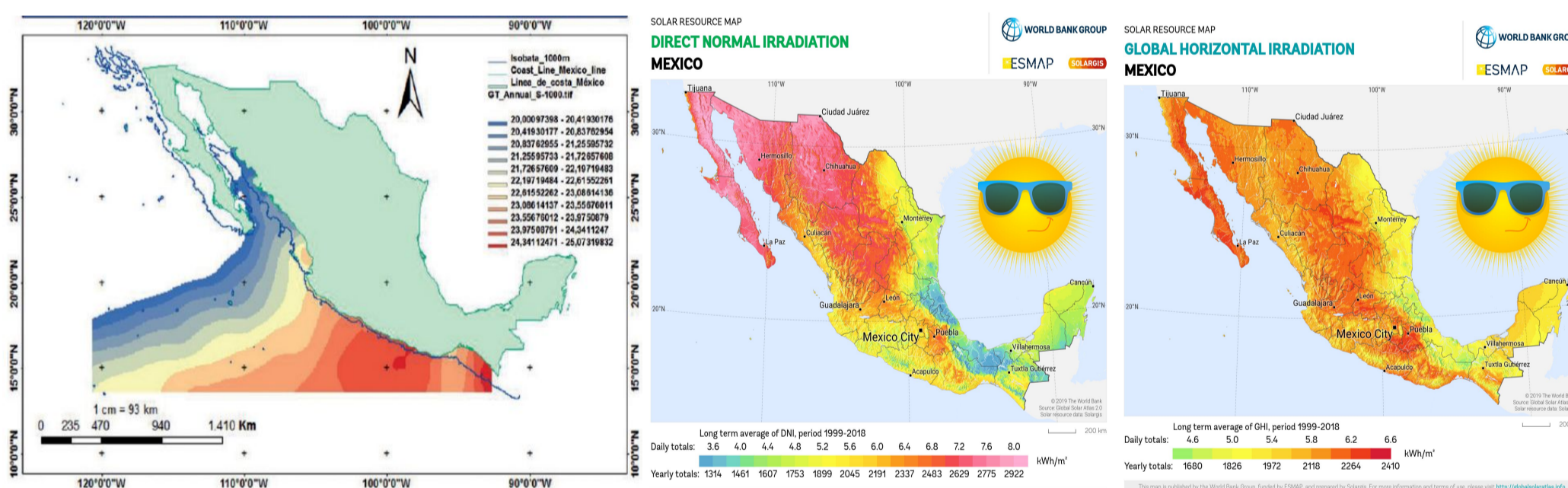
En obras futuras habría que contemplar los periodos nocturnos.

## Introducción

El cambio climático en todo el mundo ha afectado a cada país debido al suministro de estilo de vida real. En aspectos energéticos las energías renovables quedan como opción. Dentro de ellas, el gradiente térmico oceánico se ha estudiado en los últimos años como una alternativa para las regiones costeras que tienen un gradiente natural de al menos 20° C entre el agua superficial del mar y el agua fría poco profunda. Esto permite el funcionamiento de un sistema OTEC que dependiendo del ciclo se genera electricidad con múltiples pseudoprocesos si es el caso.

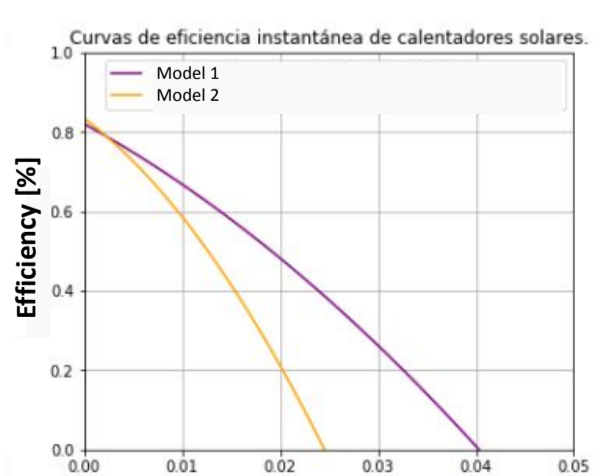
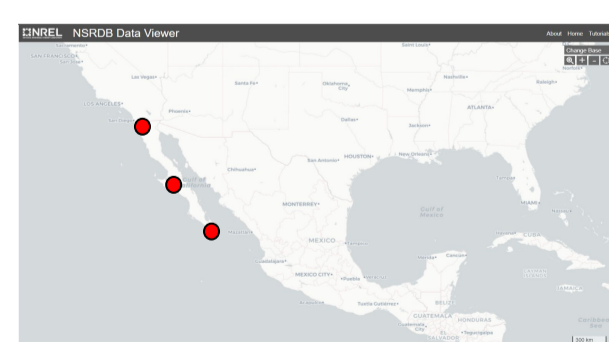
Algunos países tropicales con zonas costeras, como México, tienen gradientes térmicos naturales cerca de la costa. Es por esto que el Centro Mexicano de Innovación en Energía del Océano ha publicado muchos estudios sobre el potencial disponible en las costas suroeste y central de México, sin embargo existen algunas otras zonas costeras de este país con gradiente térmico intermitente durante el año como ocurre en las costas del noroeste de México, mismas que también tienen un alto recurso solar aprovechable.

Las costas del noroeste tienen el mayor potencial solar de todas las costas de México. Es por ello que un sistema OTEC asistido con colectores solares de plástico que calientan el agua superficial del mar podría asegurar el gradiente térmico necesario o incluso más para su funcionamiento durante el día solar. Esto también podría evitar la necesidad de bombear agua fría desde profundidades poco profundas durante su funcionamiento.



## Metodología

- Datos de series de tiempo oceanográficas de la región de estudio [WOD-NOAA, HYCOM]
  - Temperatura de la superficie del mar (1859 días 2013-2018)
  - Salinidad de la superficie del mar (1859 días 2013-2018)
- Recopilación, limpieza y manipulación de datos.
  - Método de agrupación de datos oceanográficos-K medias.
    - Temperatura, salinidad y geoposición
      - Se ajusta mejor a tres grupos.
        - Un sitio de cada cluster.



- Datos de series de tiempo meteorológicas de cada costa [NREL]
  - Radiación solar (DNI, GHI, DHI)
  - Temperatura del aire
  - Humedad relativa
  - \* Cálculos solares en superficie plana
- Solicitud de curvas de eficiencia instantáneas de colectores solares plásticos.
- Cálculo de la termodinámica propiedades del agua de mar
  - Calor específico
  - Densidad
- Simulación de agua superficial del mar calentada con colectores solares.
  - Cabo San Lucas, Baja California Sur.
  - Bahía Asunción, Baja California Sur.
  - Rosarito, Baja California.

## Resultados

Los clusters fueron influenciados principalmente por la temperatura de la superficie del mar. A partir de esto, se seleccionaron tres sitios para cada grupo con la única condición de que cada lugar tuviera la isobata de 1000 m cerca de la costa. Los lugares elegidos fueron: Rosarito, BC; Bahía Asunción, BC y Cabo San Lucas, BCS. Este último, tiene el potencial mínimo OTEC según CEMIE-Océano.

Para cada grupo de colectores simulados en cada costa se asoció una función de probabilidad que representa la probabilidad de abastecer el delta de 20° C o más entre el agua marina superficial y el agua de mar calentada durante un cierto período de horas consecutivas. Los resultados mostraron que 10 colectores solares de cada tipo estudiado fueron suficientes para alcanzar el delta necesario, pero durante unas pocas horas con la menor probabilidad asociada. Además, se encontró que 30 o 35 eran el número máximo de colectores de plástico que podían aprovechar la energía solar disponible en todos los sitios probados.

En todos los casos simulados, el 85% (modelo de primer colector) o el 80% (modelo de segundo colector) del tiempo solar total, se logró un delta de temperatura igual o superior a 20° C. Por otro lado, el rango de horas de funcionamiento aumentó continuamente a medida que la temperatura de la superficie era menor. Para obtener más información, consulte la siguiente tabla:

Resultados significativos por sitios probados.

Lugar	Tipo de colector solar	Número óptimo de colectores en serie	Rango de horas operativas	Probabilidad [%]	Temperatura superficial promedio[°C].
Cabo San Lucas, Baja California Sur.	1	35	6-9	85	27.2
	2	30	3-7	80	
Bahía Asunción, Baja California	1	30	6-9.5	85	23.43
	2	30	3.5-8	80	
Rosarito, Baja California	1	30	5-10	80	19.67
	2	30	3-9	80	

Por último, se encontró una relación directa entre cielos despejados / nublados y un buen / mal calentamiento del agua de mar.

## Conclusiones

- En los tres sitios de estudio se logró alcanzar el delta de temperatura necesario e incluso más entre el agua de mar superficial y la calentada.
- El número óptimo de colectores solares de plástico interconectados en serie en la mayoría de los casos fue de 30.
- Los resultados mostraron que durante el 80% -85% del día solar total es posible lograr las condiciones operativas para un sistema OTEC.
- Se encontró una relación directa entre cielos despejados / nublados y un buen / mal calentamiento del agua de mar.
- Se evita la necesidad de bombear agua de mar desde profundidades poco profundas durante el día solar.

A pesar de todo esto, los sistemas OTEC se caracterizan por ser una tecnología no intermitente, por eso un sistema OTEC que necesita colectores solares para funcionar sigue siendo intermitente. Como se mencionó anteriormente, solo un sitio de los tres tiene el gradiente térmico mínimo para un sistema OTEC convencional. Por eso, solo Cabo San Lucas podría tener la oportunidad de operar con un sistema SOTEC no intermitente bajo los principios operativos convencionales de OTEC. Para hacer posible un sistema SOTEC que opere solo con agua de mar superficial, es necesario resolver el almacenamiento térmico y asegurar el funcionamiento nocturno.

## Referencias

- "Descargue mapas de recursos solares y datos gis para más de 180 países", [online] <https://solarqis.com/es/maps-and-gis-data/download/mexico>, consultado 29/12/2020.
- A. G. H. Erika Paola Garduño Ruiz, E. C. A. Yandy Rodríguez Cueto, Juan Francisco Bárcenas Graniel, Miguel Ángel Alatorre Mendieta, and V. M. R. M. y R. S. C. Jessica Guadalupe Tobal Cupul, Conversión de Energía Térmica Oceánica (otec) Estado del Arte, 1st ed. Campeche: CEMIE-OCÉANO, 2017.
- "NSRDB Data Viewer", [online] <https://maps.nrel.gov/nsrdb-viewer/?aL=0&bL=clight&cE=0&IR=0&mC=24.44714958973082%2C-105.732421875&zL=5>, consultado 29/12/2020.