

El mar no se detiene: una nueva fuente de energía para México

The Sea Never Stops: A New Source of Energy for Mexico

Efraín Mateos Farfán¹, María Carmen Espinosa Espinosa²

¹Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, México. ²Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Ciudad de México, México.

Contacto: espinosaemc@gmail.com



Figura 1. Tipos de dispositivos para captación de energía marina: turbina de eje horizontal con conducto (arriba izquierda) [Quintero González & Quintero González, 2016], turbina de eje horizontal fija al lecho marino (abajo izquierda y centro) [Hardisty, 2009], turbina de eje vertical [Royal Haskoning, 2011].

Resumen: El océano representa una fuente continua y poco aprovechada de energía renovable. En el contexto de la transición energética, las corrientes marinas surgen como una alternativa con potencial para complementar el suministro eléctrico en regiones costeras. En el Golfo de California, las corrientes presentan variaciones estacionales que influyen directamente en la energía disponible para su aprovechamiento. Mediante simulaciones hidrodinámicas realizadas con el modelo ROMS (*Regional Ocean Modeling System*), se analizaron las condiciones oceánicas en las inmediaciones de las islas Cerralvo y San José, Baja California Sur. Los resultados muestran periodos del año con alta disponibilidad energética, con diferencias estacionales marcadas entre invierno y verano, así como zonas con características favorables para el desarrollo de tecnologías de generación eléctrica. La energía marina se perfila como una alternativa renovable capaz de diversificar las fuentes de energía y contribuir a una transición energética más sostenible en México.

Palabras clave: Energía marina, Modelación oceánica, Generación eléctrica

Abstract: The ocean represents a continuous and largely untapped source of renewable energy. In the context of the global energy transition, marine currents emerge as a promising alternative for complementing electricity supply in coastal regions. In the Gulf of California, ocean currents exhibit seasonal variations that directly influence the amount of energy available for potential use. Hydrodynamic simulations performed with the Regional Ocean Modeling System (ROMS) were used to analyze ocean conditions near Cerralvo and San José islands, Baja California Sur. The results reveal marked seasonal differences between winter and summer, as well as areas with favorable characteristics for the development of electricity-generating technologies. Marine energy stands out as a renewable resource capable of diversifying energy sources and supporting a more sustainable energy transition in Mexico.

Key words: Marine energy, Ocean modeling, Power generation

Introducción

Desde tiempos remotos, el mar ha sido fuente de vida, regulador del clima y escenario de rutas y descubrimientos. Además de su importancia ecológica y económica, el océano representa una fuente continua de energía renovable con potencial para contribuir a la transición energética global. México, con más de 11,000 kilómetros de litoral, posee condiciones favorables para el aprovechamiento de este recurso. Entre ellas destaca Baja California Sur, cuyo sistema eléctrico opera de forma aislada del Sistema Eléctrico Nacional y depende principalmente de centrales que utilizan combustibles fósiles para generar electricidad (SENER, 2024).

Sus corrientes marinas, particularmente en el Golfo de California, representan una oportunidad para diversificar las fuentes de energía. Para conocer mejor su potencial, se utilizan herramientas computacionales capaces de simular el movimiento del océano e identificar las zonas donde estas corrientes podrían aprovecharse para generar electricidad (Shchepetkin & McWilliams, 2005).

Energía marina: aprovechar el movimiento del océano

La energía marina agrupa diversas formas de generación energética que aprovechan los movimientos del océano, como el oleaje, las mareas, las corrientes marinas y las diferencias de temperatura o salinidad. Entre ellas, el

aprovechamiento de las corrientes marinas se perfila como una de las opciones con mayor potencial debido a la continuidad y predictibilidad de este recurso (Hardisty, 2009). Su funcionamiento es relativamente sencillo: turbinas submarinas aprovechan el flujo constante de las corrientes de manera similar a como los aerogeneradores capturan la energía del viento (Figura 1).

Lo que otros países ya están probando bajo el agua.

Diversos países como Reino Unido, Francia, Corea del Sur y Canadá han desarrollado proyectos para aprovechar la energía de corrientes y mareas. Experiencias como las turbinas submarinas instaladas en Escocia o las pruebas realizadas en la Bahía de Fundy, Canadá, han demostrado la viabilidad de estas tecnologías y han permitido mejorar el diseño de los dispositivos y comprender mejor sus desafíos técnicos y ambientales (IEA, 2024; IRENA, 2020).

¿Y en México?

La transición hacia fuentes renovables responde a la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al uso de combustibles fósiles, principales responsables del cambio climático. En México, cerca del 70 % de la electricidad aún se genera a partir de combustibles fósiles, mientras que las energías limpias aportan alrededor del 30 % del total nacional (SENER, 2024). Aunque el país ha avanzado notablemente en fuentes como la solar

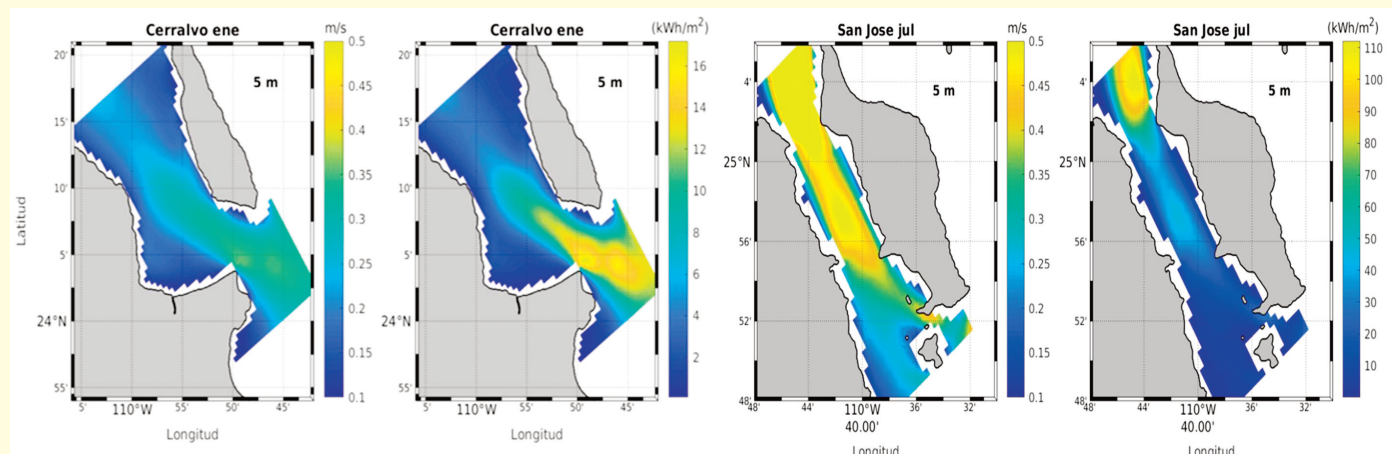


Figura 2. Distribución de la velocidad de corriente y energía cinética disponible a 5 m de profundidad en zonas cercanas a Isla Cerralvo y San José (La Paz, B.C.S.) en enero. Fuente: Elaboración propia con modelado ROMS

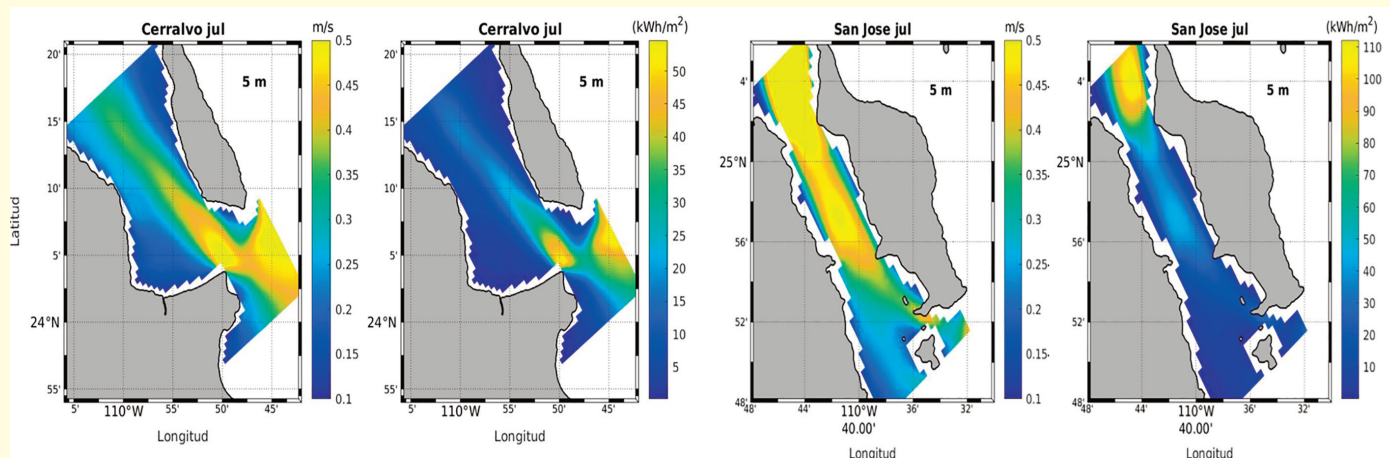


Figura 3. Distribución de la velocidad de corriente y energía cinética disponible a 5 m de profundidad en zonas cercanas a Isla Cerralvo y San José (La Paz, B.C.S.) en julio. Fuente: Elaboración propia con modelado ROMS.

y la eólica, la energía marina aún no cuenta con proyectos comerciales de generación eléctrica, a pesar de los más de 11,000 km de litoral y del potencial energético de sus costas. Una de las regiones con mayor potencial es el Golfo de California, donde las características del relieve submarino y la dinámica de las corrientes marinas favorecen el desarrollo de este tipo de tecnologías. En este trabajo se analizaron las zonas cercanas a Isla Cerralvo y a Isla San José, seleccionadas como caso de estudio por presentar corrientes relativamente estables y condiciones favorables para el aprovechamiento energético, aunque existen otras regiones del litoral mexicano que también podrían aprovechar este recurso.

A pesar de su potencial, el aprovechamiento de la energía marina en México enfrenta diversos desafíos. La instalación y operación de turbinas submarinas requiere inversiones iniciales elevadas, infraestructura especializada y estudios ambientales que garanticen la compatibilidad con los ecosistemas marinos. Además, tecnologías como la energía solar y la eólica han alcanzado un mayor grado de desarrollo y cuentan con costos más competitivos, lo que ha favorecido su adopción frente a alternativas emergentes como la energía marina (IEA, 2024; IRENA, 2020).

Para comprender el verdadero potencial de la energía marina en México es necesario observar cómo se comportan las corrientes a lo largo del año. En el Golfo de California, las variaciones estacionales pueden

incrementar o disminuir la energía disponible, lo que influye directamente en la viabilidad de instalar turbinas submarinas.

Se muestran los resultados obtenidos mediante ROMS (Regional Ocean Modeling System), una herramienta ampliamente utilizada en oceanografía para simular el movimiento del océano (Shchepetkin & McWilliams, 2005). A partir de datos oceánicos y atmosféricos de libre acceso fue posible representar las condiciones del Golfo de California e identificar las zonas donde las corrientes son más intensas y constantes, por lo tanto, con mayor potencial para la generación eléctrica.

Para estimar el potencial energético de las corrientes marinas se emplearon relaciones basadas en la energía cinética del flujo y la densidad de potencia, ampliamente utilizadas en estudios de energía marina. Estos cálculos permiten comparar sitios, identificar periodos con mayor energía disponible y evaluar su posible aprovechamiento (Bermúdez *et al.*, 2014; Hwang & Jo, 2019). La potencia aumenta de forma cúbica con la velocidad de la corriente, por lo que las zonas con corrientes rápidas presentan mayor interés energético (Hardisty, 2009).

Las Figuras 2 y 3 muestran la distribución espacial de la velocidad de corriente y la energía cinética disponible a 5 m de profundidad durante enero y julio, meses que representan dos condiciones estacionales contrastantes. Enero corresponde a uno de los periodos de menor potencial energético, mientras que julio presenta las

condiciones más favorables para el aprovechamiento de las corrientes marinas. Esta comparación permite apreciar cómo la energía disponible cambia tanto en el tiempo como entre distintas zonas de la región.

Aunque enero representa uno de los periodos con menor potencial energético del año, el canal entre Isla Cerralvo y la costa de Baja California Sur concentra las mayores velocidades de corriente para esta época, con flujos promedio entre 0.3 y 0.6 m/s. Esto se traduce en valores superiores a 16 kWh/m², mientras que la zona cercana a Isla San José alcanza alrededor de 1.2 kWh/m², mostrando que incluso durante la temporada de menor energía existen diferencias importantes entre ambas zonas.

La energía disponible se expresa en kWh/m² (kilowatt-hora por metro cuadrado), una unidad que indica la cantidad de energía presente por unidad de superficie. Esta medida también se utiliza en los mapas de recurso solar para identificar las zonas con mayor disponibilidad de energía (UNAM, s. f.). De forma similar, en este estudio permite localizar las áreas donde las corrientes marinas concentran un mayor recurso energético.

En julio, la disponibilidad energética aumenta notablemente en toda la región. La circulación se intensifica hacia el norte y la zona cercana a Isla San José supera los 110 kWh/m², convirtiéndose en el sitio con mayor potencial energético durante el verano. En la isla de Cerralvo también

incrementa su energía disponible, con valores superiores a 50 kWh/m², aunque menores que los registrados frente a Isla San José.

Para poner estos números en perspectiva, los más de 110 kWh/m² registrados cerca de Isla San José indican una alta disponibilidad de energía en el flujo marino.

Los mapas de energía muestran que el potencial para generar electricidad no es uniforme. Incluso dentro de una misma región existen corredores donde las corrientes concentran mucha más energía que las zonas vecinas.

Conclusiones

Las corrientes marinas del Golfo de California representan una alternativa con potencial para diversificar la matriz energética de México. Los resultados obtenidos mediante el modelo ROMS muestran que las zonas cercanas a Isla Cerralvo y San José presentan condiciones favorables para el aprovechamiento de energía marina a lo

largo del año. Su comportamiento relativamente predecible y continuo podría beneficiar especialmente a regiones costeras con sistemas eléctricos aislados.

Aunque aún existen retos tecnológicos, económicos y ambientales para su implementación, el océano mexicano posee características que lo convierten en un recurso estratégico para avanzar hacia un modelo energético más limpio y sostenible. La variabilidad observada entre invierno y verano resalta la importancia de continuar investigando este recurso y desarrollar tecnologías capaces de adaptarse a las condiciones cambiantes del mar.

Referencias

- Bermúdez Contreras, A., Oseguera Cházaro, M., & Flores Irigollen, A. (2014). Estimado grueso de energía cinética en las corrientes marinas de la ensenada de La Paz. *Ciencia desde el Occidente*, 1(1), 35–38.
- Hardisty, J. (2009). *The analysis of tidal stream power*. John Wiley & Sons.
- Hwang, S.-J., & Jo, C. H. (2019). Tidal current

energy resource distribution in Korea. *Energies*, 12(22), 4380. <https://doi.org/10.3390/en12224380>

International Energy Agency. (2024). *Ocean Energy Systems Annual Report 2023*. Ocean Energy Systems. <https://www.ocean-energy-systems.org>

International Renewable Energy Agency. (2020). *Innovation Outlook: Ocean Energy Technologies*. International Renewable Energy Agency. <https://www.irena.org>

Quintero González, J. R., & Quintero González, L. E. (2016). Sistemas de producción y potencial energético de la energía mareomotriz. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(1), 39–45. <https://doi.org/10.19053/1900771X.4078>

Royal Haskoning. (2011). *SeaGen environmental monitoring programme: Final report* (9S8562/R/303719/Edin). Marine Current Turbines Ltd. https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Final_EMP_report_SeaGen.pdf

Secretaría de Energía. (2024). *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2024–2038 (PRODESEN)*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/sener>

Shchepetkin, A. F., & McWilliams, J. C. (2005). The Regional Oceanic Modeling System (ROMS): A split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. *Ocean Modelling*, 9(4), 347–404. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2004.08.002>

Universidad Nacional Autónoma de México. (s. f.). *Atlas Solar de México*. Instituto de Geofísica, Sección de Radiación Solar. https://areas.geofisica.unam.mx/radiacion_solar/atlas.php