



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Evaluación de la pertinencia de la
tecnología OTEC (Ocean Thermal Energy
Conversion) en la región de Bahía de
Banderas**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Ambiental

P R E S E N T A

Hugo Sebastian Ramos Gil

DIRECTORA DE TESIS

Dra. Erika Paola Garduño Ruiz



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2026



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado EVALUACION DE LA PERTINENCIA DE LA TECNOLOGIA OTEC (OCEAN THERMAL ENERGY CONVERSION) EN LA REGION DE BAHIA DE BANDERAS que presenté para obtener el título de INGENIERO AMBIENTAL es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

HUGO SEBASTIÁN RAMOS GIL
Número de cuenta: 315163526

Jurado Asignado

Presidente: Dr. Enrique César Valdez

Vocal: Dra. Erika Paola Garduño Ruiz

Secretario: M.I. Rodrigo Takashi Sepulveda Hirose

1º Suplente: Dra. Iza Canales García

2º Suplente: Ing. José Luis García Urresti

Agradecimientos

Agradezco profundamente a mi mamá, Isabel Gil, por impulsarme siempre a seguir mis ideales y a ver al mundo con empatía, amor y humanidad; y a mi papá, Víctor Ramos, por siempre cuidarme y darme la oportunidad de seguir mis sueños.

A mi hermana Jimena, por ser mi mejor amiga, por enseñarme sobre perseverancia, empatía y por siempre estar para mí cuando lo he necesitado.

A Moni Garita, por siempre escucharme, cuestionarme, enseñarme y crecer a mi lado durante este proceso.

A mis abuelitas Celia Pedroza y Magdalena Ortiz, por ser dos de mis principales pilares en la vida, y por enseñarme sobre la nobleza y la fortaleza necesarias para enfrentar la vida.

A mis hermanos de 4 patas, Iker, Nala, Covi, Mía y Aslan; porque cuando siento que el mundo está en caos, ellos están ahí siempre para recordarme que en cada ser vivo podemos encontrar otras formas de amor.

A mi asesora, la Dra. Paola Garduño, por enseñarme el maravilloso mundo de la tecnología OTEC, y al Ing. Francisco Ponce, por ayudarme y enseñarme durante el procesamiento de datos.

A las personas que a lo largo de estos años formaron parte de la Sociedad de Energía y Medio Ambiente y la División Juvenil de Cambio Climático, porque en ellas encontré compañerxs de lucha, gente maravillosa que me ha mostrado otras formas de ver al mundo y que me ha impulsado a seguir luchando por construir un planeta más justo y humano.

A la Facultad de Ingeniería, la Universidad y a todas las personas que la conformamos, porque la educación pública y gratuita es un derecho que debemos seguir impulsando en nuestro país.

A mis amistades, la familia que he escogido a lo largo de estos años y con los que espero seguir creciendo profesional y personalmente.

Dedico este trabajo a todas esas personas en el mundo que combaten la crisis socioclimática, hoy más que nunca es necesario que la lucha empape cada rincón del mundo, solo así podremos salvar esta hermoso e increíble planeta al que llamamos “hogar”.

Resumen

La transición energética en México requiere de incorporación de nueva capacidad instalada renovable en la matriz energética. Este trabajo analiza la pertinencia de implementar una planta de Conversión de Energía Térmica Oceánica (OTEC) de ciclo híbrido de 50 MW en Bahía de Banderas como alternativa renovable para la transición energética y la generación de subproductos como agua desalinizada. La evaluación de pertinencia se realizó a partir de cuatro dimensiones de análisis propuestas por la OCDE adaptadas al contexto técnico, socioeconómico, climático y financiero, con el fin de obtener una visión integral de la pertinencia del proyecto. Los resultados muestran que la región presenta condiciones técnicas favorables, con suficiente potencial de generación de energía y características oceanográficas adecuadas para la operación de la planta. Desde el punto de vista socioeconómico, aunque actualmente no existe un desabasto importante de agua o energía, el crecimiento proyectado del turismo incrementará la demanda de estos recursos, por lo que la planta podría contribuir a su abastecimiento futuro. En el rubro climático, la presencia de ciclones tropicales representa un factor de riesgo relevante que podría limitar la viabilidad del proyecto si no se incorporan criterios sólidos de adaptación en el diseño. En términos financieros, se cuenta con un contexto favorable caracterizado por interés institucional y disponibilidad de diversos mecanismos de financiamiento aplicables. El conjunto de las evaluaciones sustenta que la instalación de una planta OTEC en la región es pertinente, ya que las cuatro dimensiones analizadas cumplen total o parcialmente con los criterios establecidos, lo que la posiciona como una posible alternativa dentro del contexto energético y de desarrollo regional.

Palabras clave: Energía renovable, OTEC, Potencia neta, Ciclones tropicales, Mecanismos financieros, Desalinización.

Abstract

The energy transition in Mexico requires integrating additional renewable capacity into the national energy mix. This study evaluates the relevance of installing a 50 MW hybrid ocean thermal energy conversion (OTEC) plant in Banderas Bay, Mexico, as a renewable energy source for the energy transition and the production of byproducts, including desalinated water. The evaluation of relevance applies four analytical dimensions established by the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), adapted to the technical, socioeconomic, climatic, and financial context, to provide a comprehensive assessment. The results demonstrate that the region offers favorable technical conditions, including sufficient thermal gradients for energy production and suitable oceanographic characteristics for plant operation. From a socioeconomic perspective, while the region's water and energy supply is currently sufficient, projected tourism growth is expected to increase demand, suggesting that OTEC could play a key role in meeting future resource needs. Climate analysis identifies tropical cyclones as a significant risk factor that could limit the project's viability unless robust adaptation measures are integrated into the design. From a financial perspective, the context is favorable, with institutional interest and access to various financing mechanisms. In summary, the assessment indicates that implementing an OTEC plant in the region is relevant, since all four dimensions meet the established criteria, either fully or partially, positioning it as a viable alternative within the regional energy and development framework.

Keywords: Renewable energy, OTEC, Net power, Tropical cyclones, Financial mechanisms, Desalination.

Índice de contenidos

Índice de figuras	7
Índice de tablas	8
Capítulo I. Introducción	9
1.1. Objetivo	11
1.2. Alcances	11
Capítulo II. Antecedentes y marco conceptual	13
2.1. Marco conceptual de evaluación de la pertinencia	13
2.2. Tecnología de Conversión de Energía Térmica Oceánica (OTEC)	16
2.3. Disponibilidad del recurso térmico a escala global	30
2.4. Antecedentes sobre la influencia de eventos extremos en plataformas marinas flotantes	33
2.5. Análisis de mecanismos de financiamiento de proyectos de energía en México	36
2.6. Zona de estudio: Contexto social y regional de Bahía de Banderas	41
Capítulo III. Metodología	46
3.1. Área de estudio	47
3.2. Caracterización de la disponibilidad del recurso energético	48
3.3. Evaluación socioeconómica de la necesidad poblacional de servicios	50
3.4. Análisis del estado del arte de la influencia de eventos extremos sobre sistemas OTEC	52
3.5. Identificación de mecanismos de financiamiento	53
Capítulo IV. Resultados y discusión	54
4.1. Caracterización de la disponibilidad del recurso energético	54
4.2. Evaluación socioeconómica de la necesidad poblacional de servicios	65
4.3. Análisis del estado del arte de la influencia de eventos extremos sobre sistemas OTEC	75
4.4. Identificación de mecanismos de financiamiento	83
Capítulo V. Conclusiones	89
Capítulo VI. Referencias bibliográficas	90
Capítulo VII. Glosario y lista de abreviaciones	104

Índice de figuras

Figura 1	Distribución de la temperatura promedio anual de la superficie del océano.....	17
Figura 2	Perfil vertical de la termoclina, haloclina y picnoclina.....	18
Figura 3	Costos estimados de capital para plantas OTEC.....	28
Figura 4	Densidad energética [kW/m^3 agua bombeada/s] disponible a 1000 m.....	30
Figura 5	Potencia eléctrica promedio medida entre superficie, 500, 750 y 1000 metros.....	32
Figura 6	Riesgo climático y sus componentes.....	34
Figura 7	Metodología general del trabajo.....	46
Figura 8	Polígono del área de estudio con batimetrías.....	54
Figura 9	Variación estacional de ΔT a las tres profundidades analizadas (promedio y rango mínimo-máximo).....	56
Figura 10	Diferencia de temperatura a 500 metros por estación.....	58
Figura 11	Diferencia de temperatura a 750 metros por estación.....	59
Figura 12	Diferencia de temperatura a 1,000 metros por estación.....	60
Figura 13	Potencia neta a 500 metros por estación.....	61
Figura 14	Potencia neta a 750 metros por estación.....	62
Figura 15	Potencia neta a 1,000 metros por estación.....	63
Figura 16	Comparación mensual de ΔT vs Pnet para 500, 750 y 1,000 metros.....	64
Figura 17	Geometrías con Grado de Rezago Social por AGEB 2020.....	66
Figura 18	Valor promedio anual de PML por región en 2016 (MXN ₂₀₁₆) y 2023 (USD ₂₀₂₃). 69	
Figura 19	Desagregación de la generación eléctrica neta inyectada a la red por CFE en 2023. 70	
Figura 20	Consumo energético registrado por sector en cada uno de los municipios de interés durante 2022.....	71
Figura 21	Conjunto de trayectorias de ciclones tropicales que intersectaron con la zona buffer entre 1970-2025.....	76

Índice de tablas

Tabla 1	Descripción de las regiones marítimas de México.....	19
Tabla 2	Estadísticas descriptivas de la temperatura a diferentes profundidades.....	55
Tabla 3	Comparación de datos de CTD con datos satelitales procesados.....	55
Tabla 4	Cuantificación de AGEB por GRS.....	67
Tabla 5	Índice de Rezago Social por municipio.....	68
Tabla 6	LCOE y CF por tipo de tecnología de generación de energía.....	72
Tabla 7	Caracterización de eventos cuya trayectoria intersectó con zona buffer.....	77
Tabla 8	Matriz de recopilación de impactos reportados en infraestructura energética offshore.....	80
Tabla 9	Matriz de mapeo de mecanismos internacionales de financiamiento aplicables a proyectos de energía renovable en México.....	84
Tabla 10	Matriz de mapeo de mecanismos nacionales de financiamiento aplicables a proyectos de energía renovable en México.....	86

Capítulo I. Introducción

La actual crisis ambiental y climática, originada por el incremento de la temperatura promedio del planeta debido a las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI), evidencia la urgencia de reducir dichas emisiones para transitar hacia modelos energéticos carbono-neutros. En enero de 2026, la concentración atmosférica de CO₂ alcanzó 430 ppm [1], cerca de un 53% superior a los niveles registrados en 1799 [2]. En 2015, ciento noventa y cinco países firmaron el Acuerdo de París (AP), instrumento internacional que, entre otras cosas, compromete a las naciones a realizar acciones para limitar el aumento de la temperatura global por debajo de los 2 °C respecto a los niveles preindustriales y a proseguir esfuerzos para restringirlo a 1.5 °C [3].

El sector energético es responsable de cerca de dos tercios de las emisiones mundiales de GEI [4] y alcanzó un máximo histórico de 37.4 GtCO₂ en 2023 [5]. En México este sector fue responsable del 63.4% de las emisiones totales (480 MtCO₂e), de las cuales la subcategoría de industria de eléctrica aportó 37.3% [6]. Este contexto resalta la necesidad de impulsar estrategias de mitigación de emisiones, particularmente en la generación eléctrica.

Reducir las emisiones de GEI representa un desafío considerable, especialmente para países “petroleros” como México, cuya economía continúa dependiendo en gran medida de los combustibles fósiles [7]. No obstante, desde 2013 el país cuenta con la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), la cual establece lineamientos y acciones para enfrentar el cambio climático [8]. Dentro de su primer eje estratégico de mitigación, la ENCC promueve el aumento de la participación de energías limpias en la generación eléctrica, así como el fortalecimiento de la integración óptima de energías renovables en el Sistema Eléctrico Nacional (SIN). Sin embargo, según el Balance Nacional de Energía (BNE) [9], la capacidad instalada de la industria eléctrica en 2023 apenas contó con cerca de un 34% de energías “limpias”. Pero si hablamos de la energía generada e inyectada a la red, la participación de este tipo de energías apenas llegó a 24.19% en 2023, es decir que, según los datos oficiales más recientes, la generación a partir de fuentes renovables representa menos de una cuarta parte del total nacional, lo que demuestra que aún faltan muchos esfuerzos para mitigar emisiones en el sector.

En 2023, la Secretaría de Energía (SENER) publicó el Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias, el cual identifica una gran variedad de áreas con viabilidad técnica y económica para proyectos renovables [10]. Esto demuestra que actualmente la participación de energías renovables en la generación eléctrica sigue siendo insuficiente para reducir significativamente las emisiones del sector, al mismo tiempo que gran parte del potencial energético renovable del país permanece sin aprovechar.

Respecto al tema de la diversificación, el Atlas aborda únicamente el potencial de energía solar, hidroeléctrica, geotérmica, eólica, mareomotriz y por biomasa; lo que abre la oportunidad de explorar otros tipos de energías renovables aún no evaluadas. Otras tecnologías que generan energía

aprovechando las características del océano no son consideradas en este estudio, tal es el caso de la llamada Conversión de Energía Térmica Oceánica (OTEC). Esta tecnología aprovecha la diferencia de temperatura entre aguas cálidas superficiales y frías de gran profundidad provenientes del océano para generar energía eléctrica y otros valiosos subproductos, como agua desalinizada [11].

Según la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (NOAA) [12], el océano constituye el principal colector de energía solar del planeta, con una elevada capacidad para absorber y almacenar calor de manera estable y prolongada. Esta característica convierte al gradiente térmico oceánico en un recurso energético de gran relevancia. Se calcula que el potencial teórico máximo de generación eléctrica a nivel mundial mediante plantas OTEC flotantes ronda los 87,600 TWh/año [13], lo que evidencia la magnitud del recurso.

En el caso de México, su ubicación en latitudes tropicales y su extensa línea costera, de alrededor de 11,000 km [14], generan condiciones favorables para el aprovechamiento del gradiente térmico oceánico. No obstante, a pesar de este potencial, hasta la fecha no existen plantas OTEC operativas en el país.

En México, si bien no existen antecedentes de plantas OTEC a escala comercial, se han realizado diversos esfuerzos académicos y técnicos [11] orientados a explorar su viabilidad desde la década de 1960, con estudios pioneros en el Caribe mexicano y propuestas conceptuales para el aprovechamiento del gradiente térmico y de suministro de agua potable.

Recientemente se han desarrollado distintos trabajos para identificar zonas con condiciones favorables para la instalación de plantas OTEC, entre las que destaca la zona de Bahía de Banderas, al grado de que desde 2010, estos estudios se han ampliado para incluir evaluaciones técnicas, económicas y de diseño de componentes, así como el análisis de distintos ciclos de operación.

Uno de los mayores hitos en el contexto de la energía oceánica fue la creación del Centro Mexicano de Innovación en Energía del Océano (CEMIE-Océano) en el 2017, impulsado por la SENER y el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCyT), el cual coordinó esfuerzos nacionales para el desarrollo de tecnologías de energía oceánica. Asimismo, diversas instituciones académicas del país continúan desarrollando prototipos a pequeña escala, estudios de modelación y análisis de factibilidad, lo que evidencia que, aunque la tecnología aún no ha sido implementada comercialmente, existe una base científica y técnica en consolidación para su eventual desarrollo en México.

Si bien podrían existir las características necesarias para implementar este tipo de tecnología, la siguiente pregunta que nos podríamos hacer es si sería pertinente considerarla como una posible alternativa de generación eléctrica para el país.

1.1. Objetivo

Evaluar la pertinencia del uso de la tecnología de Conversión de Energía Térmica Oceánica (OTEC) como opción de generación eléctrica en la región de Bahía de Banderas, a partir de un análisis integrado de condiciones técnicas, territoriales, socioeconómicas, climáticas e identificación de posibles mecanismos de financiamiento.

1.1.1. Objetivos Específicos

1. Caracterizar el gradiente térmico oceánico y el potencial energético neto asociado a la tecnología OTEC en la región de Bahía de Banderas, así como las características técnicas que influyen en la instalación de dichos sistemas.
2. Evaluar la necesidad poblacional de servicios de energía eléctrica y agua potable en la región de Bahía de Banderas.
3. Analizar, a partir de una revisión bibliográfica, la incidencia histórica de ciclones tropicales en la región y su posible implicación como amenaza climática para infraestructura OTEC flotante.
4. Identificar y describir los principales mecanismos de financiamiento disponibles a nivel nacional e internacional que podrían habilitar, de manera preliminar, la implementación de proyectos OTEC en México.

1.2. Alcances

El presente caso de estudio está direccionado a evaluar la pertinencia del uso de la tecnología de OTEC como opción de generación eléctrica renovable en la región de Bahía de Banderas, esto a partir de un análisis integrado de condiciones (i) técnicas, (ii) socioeconómicas, (iii) climáticas y (iv) financieras.

En el componente técnico, el alcance del estudio caracteriza el gradiente térmico oceánico y a la estimación del potencial energético asociado a la tecnología OTEC en una región seleccionada, mediante el análisis de información de temperatura oceánica proveniente de datos recabados *in situ*, de la campaña oceanográfica OTEC-1 [15] (09-21 de marzo de 2022) dentro del proyecto CEMIE-Océano, y datos satelitales del Gráfico Batimétrico General del Océano (GEBCO) [16] el Sistema Satelital de Monitoreo Oceánico (SATMO) [17] y el Atlas Oceánico Mundial (WOA) [18].

En cuanto a la dimensión socioeconómica, el estudio realiza una valoración de la necesidad poblacional de servicios de energía eléctrica y agua, productos principales de la tecnología OTEC, mediante la identificación espacial de condiciones de acceso a dichos servicios en los municipios aledaños a Bahía de Banderas.

El análisis de las condiciones climáticas, específicamente la incidencia de ciclones tropicales, tiene como finalidad contextualizar a los ciclones tropicales como una amenaza climática regional

relevante para infraestructura marina flotante y se basa en un proceso de revisión bibliográfica de los eventos pasados en la región de Bahía de Banderas, con base en literatura científica y reportes técnicos existentes.

La identificación del contexto institucional-financiero se enfoca al mapeo y descripción de mecanismos de financiamiento potenciales disponibles a nivel nacional e internacional que podrían, de manera preliminar, habilitar proyectos OTEC en México.

El conjunto de resultados generados en este estudio debe interpretarse como una base que proporcione un primer acercamiento a la pertinencia de la tecnología OTEC en Bahía de Banderas, al mismo tiempo que dé pie a una discusión sobre la viabilidad de promover el desarrollo de estudios posteriores de mayor profundidad en materia de ingeniería, evaluación ambiental, análisis económico y gestión de riesgos climáticos.

Capítulo II. Antecedentes y marco conceptual

2.1. Marco conceptual de evaluación de la pertinencia

La presente sección se basa principalmente en el informe *Aplicación minuciosa de los criterios de evaluación*, elaborado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) [19], del cual se retoman y adaptan los criterios de análisis empleados en esta investigación.

2.1.1 Fundamento metodológico de la pertinencia

El informe citado señala que la evaluación por medio de criterios, aplicada en el contexto de políticas, programas o proyectos, desempeña un papel fundamental en los procesos de diseño e implementación, promoviendo el pensamiento crítico como herramienta para apoyar a las personas responsables de la toma de decisiones. Además, tiene como fin último garantizar que las acciones emprendidas generen resultados positivos y duraderos, tanto para las personas como para el planeta.

Se proponen seis criterios básicos de evaluación que conforman un marco normativo para determinar el valor de una intervención, los cuales son entendidos como herramientas que impulsan a la reflexión sobre la naturaleza de una intervención y sus resultados esperados, otorgando perspectivas complementarias que, en conjunto, conforman una visión integral de la intervención y de sus resultados. Los criterios son: (i) pertinencia, (ii) coherencia, (iii) eficacia, (iv) eficiencia, (v) impacto y (vi) sostenibilidad.

Dado que estos criterios pueden aplicarse y adaptarse a cualquier sector, en esta investigación se adopta como eje central del análisis al criterio de pertinencia, el cual se define como la medida en que una intervención o proyecto está orientado a hacer lo correcto y necesario en un contexto específico, independientemente de su factibilidad técnica o económica, otorgando una medición del grado de concordancia entre los objetivos y las necesidades de las partes interesadas.

La pertinencia puede analizarse a partir de cuatro elementos base:

1. Respuesta a las necesidades

Grado en que una intervención responde a las necesidades y prioridades de la población beneficiaria, obtenido a partir de identificar a todas las partes involucradas, el papel que toman y la adecuación y sentido contextual del proyecto respecto a dichas partes.

2. Calidad del diseño

Nivel de claridad de los objetivos de la intervención y su alineación con las prioridades y necesidades de las partes, identificando posibles deficiencias en el diseño, la idoneidad del proyecto para quien lo ejecuta y consideraciones relativas a su viabilidad técnica.

3. Adaptación temporal

Capacidad de la intervención para ajustar su adecuación en respuesta a cambios contextuales a lo largo del tiempo. Incorpora un análisis de la adaptabilidad de la gestión del proyecto, lo que permite examinar cómo evoluciona conforme cambian las condiciones externas.

4. Sensibilidad contextual

Grado en que una intervención identifica y contextualiza los factores más relevantes para la intervención, tanto en su diseño como en su ejecución. Aborda principalmente el contexto económico, ambiental, social e institucional.

Partiendo de que el criterio de pertinencia suele ser un requisito para cumplir los otros criterios, y que sus elementos no son exhaustivos, sino que deben adaptarse al contexto del proyecto y de la evaluación en cuestión [19]; en esta tesis se propone una adaptación del criterio de pertinencia al contexto de un hipotético proyecto que pretende implementar una planta OTEC en la región de Bahía de Banderas, la cual producirá energía eléctrica renovable para suministrar a la red. Este insumo tendría el potencial de impulsar, en el corto plazo, en una menor participación de fuentes fósiles en la matriz energética, y en el mediano y largo plazo, en un impulso a la infraestructura eléctrica regional, con posibles efectos en el acceso a la energía en términos de cantidad, calidad y costo. Además, esta tecnología también tendría un posible co-beneficio asociado a la desalinización de agua marina, elemento que podría contribuir a fortalecer la seguridad hídrica regional.

2.1.2. Adaptación metodológica

En el contexto de esta hipotética intervención, se pretende responder a la pregunta de si la implementación de este tipo de tecnología es pertinente en una región como Bahía de Banderas. Bajo esta lógica, la pertinencia se entiende en esta investigación como un concepto integral, cuya evaluación se construye a partir de las cuatro dimensiones interrelacionadas mencionadas anteriormente, pero adaptadas al contexto y naturaleza de dicha intervención.

A continuación, se muestra la adaptación realizada para las 4 dimensiones, las cuales constituyen la base conceptual a partir de la cual se derivan los objetivos específicos de este estudio:

1. Respuesta a las necesidades → Dimensión socioeconómica

En el contexto de una tecnología de energía renovable este elemento se adapta a valorar el grado en que el proyecto responde a las necesidades en términos de los principales productos generados por la tecnología OTEC.

Esta dimensión, denominada como “socioeconómica”, pretende caracterizar la disponibilidad de los servicios de generación de energía eléctrica y producción de agua desalinizada, susceptible a utilizarse en procesos de potabilización y abastecimiento de agua, actividades de riego agrícola, entre otros. Además, determinar los beneficios potenciales para su acceso a partir de la instalación de esta tecnología.

2. Calidad del diseño → Dimensión técnica

Esta dimensión se adaptada como “dimensión técnica” a raíz de que define las cualidades técnicas del proyecto para que esté alineado con las necesidades identificadas en la población, evaluando si la región tiene las condiciones necesarias para que la tecnología OTEC abastezca las necesidades poblacionales identificadas de energía y agua, a partir de una caracterización del recurso energético de la Bahía.

3. Adaptación temporal → Dimensión climática

Se denominó como “dimensión climática” al elemento relacionado con la adaptación temporal, esto para identificar la influencia de eventos extremos en el área de estudio, específicamente ciclones tropicales, y los posibles impactos que podría tener sobre sistemas OTEC, amenazando la presencia y funcionamiento de la planta, y por ende los servicios que esta brindaría a la población.

4. Sensibilidad contextual → Dimensión financiera

La sensibilidad contextual se adaptó a partir de una acotación al contexto financiero, esto debido a que, dado que esta dimensión pretende identificar cuáles factores contextuales son más relevantes para el proyecto, se entiende a la dimensión de financiamiento como uno de los factores más relevantes en proyectos de esta envergadura. Esta dimensión pretende identificar y describir los principales mecanismos de financiamiento existentes que podrían impulsar la adopción de la tecnología.

Además, la evaluación de la pertinencia desarrollada en esta investigación requiere de una teoría de cambio sólida que funja como punto de partida, por lo que se plantea que esta se asocie al proceso de transición hacia fuentes de energía renovable como acción contra la aceleración del cambio climático y, por ende, a la necesidad de reducir la dependencia de combustibles fósiles en el sistema eléctrico. En este contexto, la tecnología OTEC se presenta como una alternativa aún poco explorada, pero con ventajas importantes frente a otras tecnologías renovables como la capacidad de aportar energía eléctrica de forma continua y la producción de agua desalinizada como un subproducto de alto valor [11].

No obstante, esta teoría de cambio se encuentra condicionada por una serie de supuestos, entre los que destacan la presencia del gradiente térmico oceánico necesario para el correcto funcionamiento de la tecnología, la necesidad regional de la tecnología y sus productos, la disponibilidad de infraestructura adecuada, la presencia de condiciones climáticas manejables, así como la viabilidad financiera para desarrollar y mantener el proyecto. Esta teoría puede verse comprometida por factores como riesgos financieros y técnicos durante la etapa de diseño, así como, exposición a fenómenos hidrometeorológicos extremos, entre otros.

De esta forma, la pertinencia se aborda como el criterio que permite evaluar si esta teoría de cambio presenta sentido contextual en el área de estudio, no solo en términos de su contribución a la matriz energética nacional, sino también respecto a la existencia de necesidades a nivel regional, como el acceso a energía eléctrica y agua, que pudieran ser atendidas mediante la implementación de esta tecnología.

2.2. Tecnología de Conversión de Energía Térmica Oceánica (OTEC)

2.2.1. Fundamentos de Oceanografía Física

Para comprender la importancia de las tecnologías que aprovechan las energías renovables oceánicas, resulta fundamental comprender no solo la dinámica del océano, sino también sus propiedades físico-químicas, a través de su estudio por medio de la oceanografía. Esta ciencia estudia todos los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en los océanos, así como su estado pasado, presente y futuro [20].

Dentro de los procesos físicos que ocurren en el océano dos de gran relevancia son la circulación oceánica y la distribución de calor en el océano, ambos causantes de la regulación del clima global [21]. De acuerdo con Stewart [22] y Webb [23], los sistemas oceánicos absorben aproximadamente la mitad de la radiación solar que llega a la Tierra.

La mayor parte de la energía absorbida se almacena en la capa superficial del océano, conocida como "capa de mezcla", que suele tener una profundidad de entre 35 a 100 m [24]. Esta transferencia de calor a través o a lo largo de una superficie se llama flujo de calor, el cual suele realizarse principalmente de forma perpendicular a la superficie y en mucho menor medida hacia capas más profundas. Este flujo de calor genera un balance en la superficie del mar que permite el equilibrio del sistema [22]. Sin embargo, no todo el océano absorbe la misma cantidad de calor, sino que este se absorbe en mayor medida en el área entre los trópicos, es decir, entre los 23° de latitud norte y 23° de latitud sur, donde la capa superficial del océano suele alcanzar hasta los 27°C aproximadamente [23].

Gracias a su alta capacidad calorífica, el océano actúa como un enorme regulador térmico que transfiere energía a la atmósfera mediante evaporación, radiación infrarroja, y transporta el excedente de calor hacia otras regiones del planeta a través de la Circulación Meridional de Retorno (CMA), que es un sistema de corrientes oceánicas [25].

Las corrientes oceánicas se refieren a todos los procesos de transporte de masas de agua que actúan de manera simultánea en el planeta, y donde podemos incluir a fenómenos como las corrientes superficiales y profundas [26]. Las corrientes superficiales, impulsadas por el viento y la rotación terrestre, transportan agua cálida desde el ecuador hasta los polos; mientras que las corrientes

profundas (termohalinas), transportan aguas frías y densas desde latitudes altas hacia las profundidades del océano, contribuyendo al equilibrio térmico del planeta [26].

Por lo tanto, a pesar de la enorme extensión superficial del océano, la mayor cantidad de energía térmica almacenada en su superficie se encuentra en la zona ubicada entre los trópicos, como lo muestra la Figura 1.

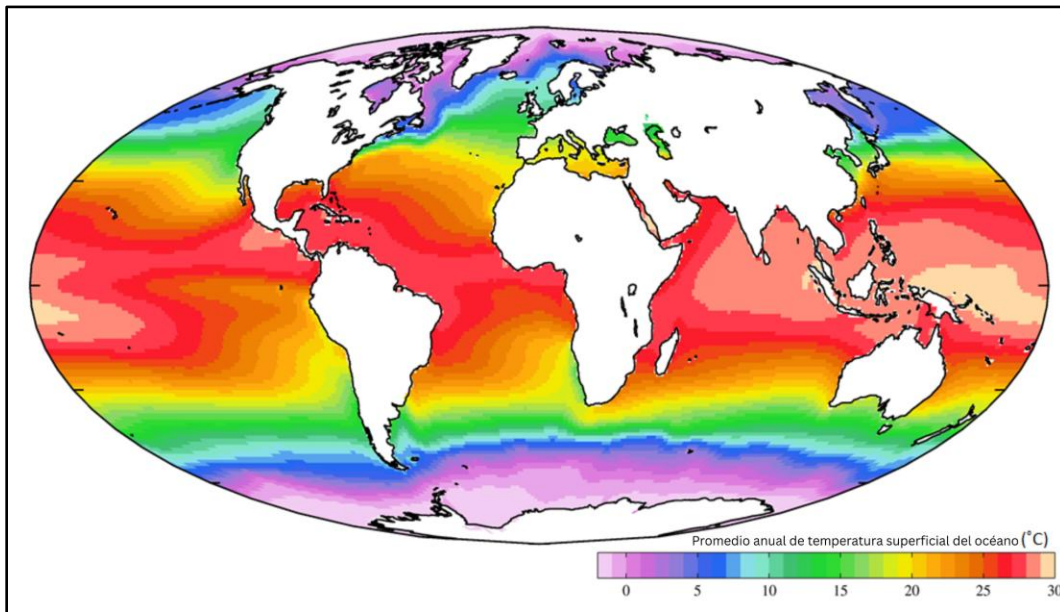


Figura 1. Distribución de la temperatura promedio anual de la superficie del océano según [27]

La temperatura del océano presenta una distribución vertical estratificada, con aguas profundas frías y relativamente estables en temperatura, cercanas a los 4 °C, y aguas superficiales más cálidas influenciadas principalmente por la radiación solar [26].

En la Figura 2A se observa la variación de la temperatura de forma vertical, donde la capa de mezcla se caracteriza por tener una temperatura relativamente homogénea debido a la acción del viento, el oleaje y las corrientes, que favorecen la redistribución del calor. Así mismo se aprecia que el cambio de temperatura con la profundidad no es lineal, sino que presenta un incremento abrupto del gradiente térmico en una zona de transición conocida como termoclina, la cual separa las aguas cálidas superficiales de las aguas frías profundas [22].

Esta estructura se origina porque la radiación solar calienta principalmente las capas superiores del océano, reduciendo su densidad y favoreciendo la estratificación térmica. Por debajo de la termoclina se encuentra el océano profundo, una de las regiones térmicamente más estables del planeta, con variaciones de temperatura menores a medio grado centígrado a lo largo del año [22].

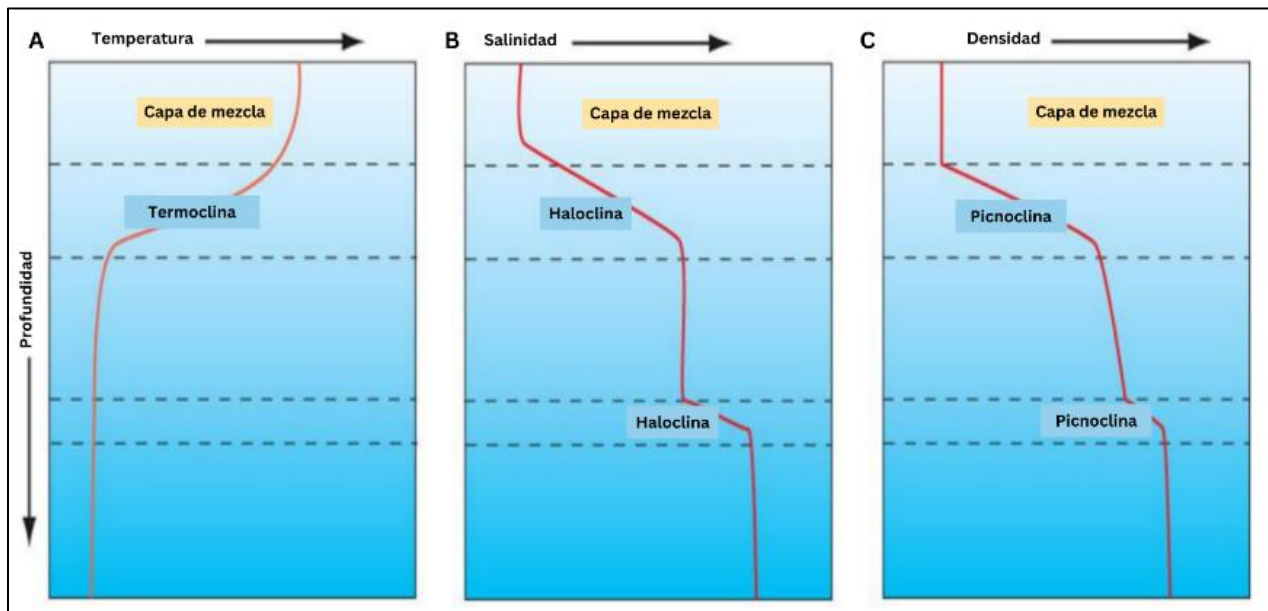


Figura 2. Perfil vertical de la termoclina, haloclina y piconclina. Adaptado de [23] y [28]

La presencia y las características de la termoclina varían según la región geográfica; en zonas tropicales suele ser más marcada y persistente, mientras que en regiones templadas o frías puede presentar una variabilidad estacional o incluso no desarrollarse una termoclina bien definida [22].

Otro parámetro de gran relevancia en los procesos oceánicos es la salinidad y la densidad, la cual suele cambiar conforme aumenta la profundidad como se muestra en la Figura 2B, esto debido principalmente a que un agua con mayor salinidad es más densa. La zona donde se presenta el mayor cambio vertical de salinidad se conoce como haloclina, la cual generalmente coincide con la termoclina [29].

Por otro lado, cuando se habla de un cambio notable en la densidad del agua, se utiliza el concepto de piconclina, que corresponde a la capa donde la densidad aumenta de manera significativa con la profundidad como lo muestra la Figura 2C. Este cambio suele presentarse en la misma región donde ocurre la termoclina y la haloclina, lo cual es consistente dado que la densidad depende principalmente de la temperatura y la salinidad. Por debajo de la piconclina, la densidad puede mantenerse relativamente constante, al igual que la temperatura, o continuar aumentando ligeramente hacia el fondo [23].

El océano está dividido en cinco grandes cuencas oceánicas, conocidas como océano Pacífico, Atlántico, Índico, Ártico y el Antártico [30]. Aunque forman un sistema continuo e interconectado, cada uno presenta características físicas, químicas y dinámicas particulares que influyen en su capacidad para almacenar y transferir energía.

México es un territorio que se encuentra entre las dos cuencas más grandes, limitando al occidente con el Pacífico y al oriente con el Atlántico a través del Golfo de México y mar Caribe, y teniendo

en conjunto poco más de 11,000 km de costa. Además, el espacio marítimo supera los tres millones de kilómetros cuadrados (3,197,021 km²), representando cerca del 65% de la superficie total del territorio mexicano [31].

En el país existe una normativa específica encargada de definir el área de jurisdicción federal y los reglamentos aplicables en la misma, la Ley Federal del Mar, la cual determina en su Artículo 3° que las zonas marítimas mexicanas que forman parte del territorio nacional son, en primer lugar, las aguas marinas interiores (o mar interior), seguido del mar territorial, la zona contigua, la zona económica exclusiva (ZEE) [32] y finalmente la plataforma continental [33].

Además, la ZEE se divide en cuatro regiones principales: Golfo de México (23.23%), Mar Caribe (2.86%), Golfo de California (5.63%) y Océano Pacífico (68.28%) [34].

A partir de la clasificación vigente para las regiones marítimas, en la Tabla 1 se hace un resumen de las especificaciones de cada una, así como de sus respectivas extensiones.

Tabla. 1. Descripción de las regiones marítimas de México

Zona marítima	Descripción	Extensión
Aguas Marinas Interiores [33]	Aguas comprendidas entre las costas nacionales y las líneas de base a partir de las cuales se mide el mar territorial, incluyendo bahías y esteros. En esta zona el Estado ejerce soberanía sobre el agua, el espacio aéreo, el lecho y el subsuelo marinos.	Desde la línea de costa hasta la línea de base
Mar Territorial [33]	Franja de mar adyacente a las costas nacionales, continentales o insulares, donde el Estado ejerce soberanía plena sobre el agua, el lecho, el subsuelo y el espacio aéreo.	Hasta 12 millas náuticas desde la línea de base
Zona Contigua [33]	Zona marítima adyacente al mar territorial que se extiende más allá de éste y permite al Estado ejercer medidas específicas de control.	Hasta 24 millas náuticas desde la línea de base
Zona Económica Exclusiva (ZEE) [33]	Área situada más allá del mar territorial y adyacente a éste, donde el Estado tiene derechos sobre el aprovechamiento de los recursos naturales del agua, el lecho y el subsuelo marinos.	Hasta 200 millas náuticas desde la línea de base
Plataforma Continental [34]	Lecho y subsuelo de las áreas submarinas que se extienden más allá del mar territorial como prolongación natural del territorio continental.	Hasta el borde del margen continental

2.2.2. Marco físico y oceanográfico del pacífico mexicano

El Pacífico Mexicano cuenta con 8,475.06 km de línea de costa [35], representando aproximadamente 68 % del litoral del país, y se extiende desde los 14°N hasta 32°N [36]. Esta región se ha caracterizado en nueve subregiones, siendo dos de las más relevantes la Región Occidental del Pacífico Mexicano y Región Suroccidental del Pacífico, la primera incluye las costas del sur de Sinaloa y Nayarit, caracterizadas por su origen sedimentario y la presencia de sistemas hidrológicos; mientras que la segunda incluye a los estados de Jalisco, Colima, Guerrero y Oaxaca, y comprende una extensión frontal de la costa de 1,528.1 km con amplias extensiones de lagunas costeras de barrera y un total de doce bahías [35].

Toda esta región presenta una geomorfología submarina altamente compleja, donde la plataforma continental es considerablemente estrecha y desciende súbitamente a profundidades de hasta 6,000 metros de profundidad en la fosa de Tehuantepec [37]. Además, se presentan numerosos montes submarinos, cañones, un sistema de dorsales, conos volcánicos y la gran trinchera mesoamericana, la cual alcanza profundidades de hasta 5,000 m [38].

Sin embargo, dado que la estrechez de la plataforma continental se presenta casi en toda la costa pacífica, más del 80% de la ZZE presenta profundidades máximas de más de 2,000 metros, del porcentaje restante se calcula que aproximadamente 6% se en el rango de 1,000 a 2,000 metros de profundidad y poco más de otro 6% en el rango de entre 200 y 500 metros, dejando el restante 6.5% a menos de 200 metros de profundidad [37].

En términos de corrientes, en esta región del Pacífico se encuentra la presencia dos corrientes principales, la corriente de California que se direcciona al ecuador con aguas frías y la corriente nor-ecuatorial, la cual se direcciona al polo norte llevando aguas cálidas [39].

En general las aguas cálidas ecuatoriales de la Corriente nor-ecuatorial dominan la parte del Pacífico Sur Mexicano, modulando las aguas templadas del Golfo de California. Además, en la zona de la Bahía de Banderas se destaca la presencia de características topográficas específicas, las cuales dan lugar a eventos de surgencias, que son procesos de ascenso de aguas frías profundas ricas en nutrientes [39].

La región de Bahía de Banderas se encuentra en la llamada zona de transición, al cual es una región donde confluyen ambos tipos de aguas, siendo su frontera norte la región de Los Cabos y la frontera sur Bahía Banderas, lo que significa que en verano las aguas cálidas procedentes del Ecuador predominan en esta región, mientras que en invierno esta zona de transición se ubica más al sur [39].

Otro fenómeno interesante es la presencia de clorofila, que está estrechamente relacionado con la carga de nutrientes. Específicamente en la región frente a las costas de Nayarit y Jalisco, se presentan

altas concentraciones de clorofila, lo que da lugar a otra serie de procesos biológicos de gran relevancia biológica [39].

En cuanto a las características de la termoclina de la región, se ha detectado que esta presenta un comportamiento intenso y somero específicamente en la región del Pacífico Tropical Oriental (PTO), región que se localiza entre las zonas subtropicales del Pacífico Norte y Sur. Esta termoclina se localiza por debajo de la capa de mezcla, la cual se encuentra en un proceso de mezcla constante dentro de una capa de 20 a 50 m de espesor debido a corrientes convectivas [40].

La presencia intensa de la termoclina atribuye principalmente a que ahí confluyen tanto el sistema de corrientes ecuatoriales del Pacífico oriental como la zona de aguas cálidas del Pacífico oriental, además de que está ampliamente influenciada por el fenómeno de El Niño–Oscilación del Sur (ENSO), el cual genera una variación anual de la temperatura superficial del mar 26 °C a 30 °C. Sin embargo, específicamente en la región cercana a Cabo Corrientes y Bahía de Banderas, la intrusión de la Corriente Costera de Costa Rica provoca variaciones anuales de 5 °C o más [40].

En cuanto a variabilidad fisicoquímica del Pacífico, estudios recientes [41] señalan que regiones como el Pacífico Central Mexicano (PCM), región que comprende las costas de Michoacán, Colima, Jalisco y Nayarit, está fuertemente influenciada principalmente por la interacción entre la corriente de California y la corriente Costera Mexicana, lo que genera una zona de convergencia, lo que a su vez provoca que se presenten comportamientos en variables, como la temperatura superficial del mar (TSM), con poca variabilidad espacial respecto a distancias con la costa, mientras que otras variables como la concentración de clorofila y la productividad primaria muestran una dinámica espacial y temporal mucho más diferenciada. Estas están moduladas por procesos locales como la surgencia y la escorrentía, al mismo tiempo que por una marcada variabilidad estacional y fenómenos como ENOS, los cuales intensifican la variabilidad oceanográfica en la región [41].

Por último, en cuanto a la dinámica del oleaje del Pacífico, investigaciones recientes [42] han demostrado que los niveles más altos de potencia corresponden a la costa suroeste del Pacífico Mexicano. En esta región, los máximos anuales se mantienen elevados de forma consistente a lo largo del periodo de estudio, presentando predominantemente un régimen de oleaje principal de tipo *swell*.

2.2.3. Tipos de tecnologías de aprovechamiento de las energías del océano

El océano puede ser considerado como el medio en el que se encuentra una mayor variedad de fuentes de energía, es por eso que las fuentes de energía marinas han cobrado interés, teniendo factores como su alta disponibilidad geográfica, predictibilidad y el potencial para impulsar sectores como la economía azul [43].

Además, debido a la alta tasa de crecimiento poblacional en las regiones costeras, este tipo de tecnologías pueden representar una solución viable para cubrir una parte importante de la demanda

energética global. Se calcula que cerca del 40 % de la población del planeta se concentra en una franja menor a los 100 km del litoral y se espera que esta cifra se duplique en los próximos años [43]. El caso de México no es diferente, los datos demuestran que entre los años 2000 y 2005, el 23% del crecimiento poblacional total se concentró en zonas costeras [44].

En esta tónica, las formas de generación de energía oceánica pueden agruparse en cuatro principales. (i) energía undimotriz: aprovecha la energía cinética asociada al desplazamiento de las olas o la energía potencial derivada de los cambios en su elevación; (ii) energía mareomotriz: utiliza la energía potencial generada por las variaciones en el nivel del mar debidas a la marea astronómica, así como la energía contenida en el movimiento de grandes masas de agua, que se manifiesta en corrientes que cambian de sentido cada 12 o 24 horas; (iii) energía por gradiente de salinidad: se basa en el aprovechamiento de la energía liberada en el encuentro entre masas de agua dulce y salada, mediante mecanismos de conversión por presión osmótica o separación molecular que permiten generar reacciones de tipo redox; (iv) energía por gradiente térmico (OTEC): aprovecha la diferencia de temperatura del agua superficial y profunda para poner en marcha un ciclo termodinámico capaz de accionar una turbina de vapor y generar energía de carga base [43].

2.2.4. Principios básicos de OTEC

La tecnología OTEC considera al océano como una máquina térmica, lo que define Aviña [45] como un dispositivo que tiene la capacidad de convertir calor en trabajo. La OTEC transforma energía térmica en eléctrica al aprovechar las diferencias de temperaturas (gradiente térmico) entre las aguas oceánicas superficiales y profundas (alrededor de 500 a 1000 m) mediante un ciclo termodinámico llamado Rankine, en el cual un fluido de trabajo es expuesto a una fuente de calor y presión para ser evaporado, para posteriormente direccionar este vapor hacia una turbina que al girar generará la energía eléctrica. Una vez que el vapor pasó por la turbina este se expone a una temperatura menor, la cual lo condensará para volver a comenzar el ciclo [45]. Para garantizar la eficiencia del sistema, es deseable trabajar con gradientes térmicos mayores o iguales a los 20 °C, lo cual ocurre principalmente en zonas tropicales [11].

Tipos de aprovechamiento OTEC

Existen diversas variantes del ciclo OTEC, las cuales se diferencian principalmente por el fluido de trabajo que utilizan; así como diversas configuraciones del sistema. Las principales variantes son:

- **Ciclo abierto:** Este ciclo se basa en el uso de agua marina como fluido de trabajo, la cual entra al ciclo Rankine a temperaturas cercanas a los 25°C y donde es sometida a presiones cercanas al vacío para evaporarla. Posteriormente a que el agua en forma de vapor pasa por una turbina, la cual gira y a partir del generador eléctrico produce energía, para que posteriormente esta sea condensada con ayuda del agua fría de las profundidades, de forma que el agua, ya desalinizada por el proceso de evaporación, vuelve a condensarse y queda disponible como subproducto para un segundo uso y el agua fría es devuelta al océano. [11].

- **Ciclo cerrado:** El ciclo cerrado se diferencia del abierto principalmente por usar fluidos de trabajo con puntos bajos de ebullición como amonio, propano y algunos refrigerantes, esto con el objetivo de lograr un mayor aprovechamiento del diferencial energético, pero a costa de no generar otros subproductos de interés [11]. El agua marina superficial es bombeada a través de un intercambiador de calor donde está contenido el fluido de trabajo, de forma que a las temperaturas del agua se logra evaporar para después pasar por el generador eléctrico. Posteriormente pasa por otro intercambiador de calor donde es condensado por las temperaturas bajas del agua profunda. De esta forma, tanto el agua superficial como el agua profunda son bombeadas de regreso al océano. Una de las mayores ventajas de este sistema es su costo de mantenimiento mínimo, y su mayor eficiencia energética. Sin embargo, dadas las características de los fluidos de trabajo, generalmente implica un riesgo mayor trabajar con estos compuestos pues muchos son compuestos peligrosos [11].
- **Sistemas híbridos:** Los sistemas híbridos son arreglos que combinan características del ciclo abierto y cerrado con el objetivo de optimizar su funcionamiento. Esto a partir de bombear y evaporar agua de la misma forma que en un ciclo abierto, pero usando el vapor de agua para transferir el calor a un fluido de trabajo confinado en un sistema cerrado. De esta forma podemos lograr una mayor producción de energía y al mismo tiempo un caudal de agua desalinizada [11].

Además, existen otras variantes en proceso de investigación como el Ciclo Kalina, el cual usa como fluido de trabajo una mezcla de amoniaco y agua para mejorar ciertas condiciones.

Otro factor que nos ayuda a clasificar la tecnología es la forma de alojar o diseñar el sistema, pues se pueden instalar en tierra firme cercana a la costa (“on shore”, en inglés), o en plataformas flotantes (“off shore”, en inglés) [11].

En la primera variante tenemos muchas ventajas como la disminución de vulnerabilidad de la infraestructura por efectos hidrometeorológicos, pero a costa de una mayor complejidad técnica debido a las largas tuberías necesarias para el bombeo de agua, así como los altos costes de bombeo por una mayor distancia, lo que las hace más viables para plantas que no requieran tanto bombeo, es decir de menores capacidades [11].

Mientras, en la segunda variante se pueden ahorrar costos de bombeo por la cercanía con los puntos de extrusión de agua, pero se requiere una mayor inversión en la infraestructura flotante y es mucho más vulnerable a condiciones meteorológicas [11].

Componentes del sistema OTEC

A pesar de que existen diversas tecnologías OTEC, todas ellas se basan en el mismo principio, por lo que los componentes básicos de todo sistema suelen ser los mismos, entre los que encontramos:

- **Tomas de agua:** Captan el agua cálida de la superficie y el agua fría profunda hasta los 1000 metros a partir de tuberías hechas de materiales resistentes como PVC u otros plásticos duros [46], los cuales deben minimizar pérdidas de energía y evitar impactos en la estabilidad costera o la vida marina.
- **Bombas:** Bombeian el agua de mar hasta los intercambiadores de calor y mantienen la circulación del fluido de trabajo. Además, representan una parte importante del consumo energético de la planta, por lo que se buscará tener la mayor eficiencia posible [11].
- **Evaporador (intercambiador de calor):** Es un sistema de contacto directo (ciclo abierto) o indirecto (ciclo cerrado) que se encarga de poner en contacto los fluidos de trabajo para realizar una transferencia de calor del agua y generar el vapor. Se calcula que este sistema representa entre 20 y 50% de los costos de una planta OTEC [47].
- **Turbina:** Es el componente encargado de transformar la energía térmica del vapor en energía mecánica rotacional, esto mediante el movimiento de la turbina conectada a un generador eléctrico, la cual se acciona con el vapor generado en el evaporador [11].
- **Generador:** Transforma la energía mecánica en electricidad mediante inducción electromagnética, transmitiendo la energía generada mediante cables a las siguientes etapas del sistema eléctrico [11].
- **Condensador (intercambiador de calor):** A partir de transferencia de calor, enfría y condensa el vapor que sale de la turbina utilizando agua fría profunda, para posteriormente devolver el agua al océano en el caso de ciclo cerrado, mientras que en ciclo abierto se genera agua desalinizada como subproducto, la cual puede tener algún tipo de aprovechamiento [11].
- **Sistema de descarga:** Sistema de tuberías encargado de devolver al océano el agua utilizada, controlando su mezcla para no alterar la estratificación térmica ni generar impactos ecológicos, para lograr esto se suelen utilizar difusores sumergidos que facilitan la dispersión gradual del efluente y reducen el impacto ambiental [11].

Consideraciones técnicas y de eficiencia

Uno de los principales retos de la implementación de estas tecnologías es la eficiencia de la máquina, ya que este tipo de tecnología presenta valores de eficiencia en la generación de energía de alrededor 3% a 6%, sin embargo, como menciona Aviña [45], “la gran diferencia de eficiencias entre las centrales termoeléctricas convencionales y las de energías renovables en este caso una planta OTEC, es que la fuente de energía es gratuita y ahí se compensa la desproporción en las eficiencias”. Además, estos valores implican que para generar cantidades importantes de energía se tendría que trabajar con caudales de agua sumamente grandes, lo que podría ser una ventaja si vemos esta como un subproducto de posible valor. Además, se ha comprobado que usar otras energías renovables en

conjunto con los sistemas OTEC, como es el caso de las celdas solares, puede aumentar hasta en un 50% la eficiencia térmica neta anual del sistema convencional [11].

Por otra parte, una de las grandes ventajas que tiene la tecnología OTEC es que puede proporcionar electricidad de manera continua y sin intermitencias al mismo tiempo que presenta un alto factor de capacidad cercano al 90 %, que se refiere a la relación existente entre la energía generada por una planta en un periodo determinado y la energía máxima que habría generado durante el mismo periodo [48].

Subproductos de los sistemas OTEC

La tecnología OTEC posee una ventaja que la diferencia de muchas otras tecnologías de energía renovable, esta es la posibilidad de generar subproductos de alto valor durante su funcionamiento tales como desalinización de grandes cantidades de agua, que a su vez está cargada de importantes concentraciones de nutrientes, hidrógeno y litio. Específicamente hablando de la desalinización de agua, este mismo subproducto se puede usar en sistemas de enfriamiento [11].

La producción de agua desalinizada como subproducto de la generación eléctrica es particularmente relevante para países con escasez hídrica y aquellos donde ya se realizan procesos de desalinización, además, de regiones insulares con grandes industrias turísticas y hoteleras [48]. Una planta de entre 1 - 10 MW puede producir como subproducto entre 1,700 y 3,500 m³ de agua desalinizada al día [11].

Según algunos estudios de caso realizados en Bahamas se estimó que una planta OTEC podría producir agua desalinizada a un costo aproximado de 0.89 USD₂₀₁₂/1000 gal de agua, lo cual podría competir eficazmente contra los costos de las tecnologías de desalinización de agua marina de gran escala, los cuales oscilan entre 2.6 y 4.0 USD₂₀₁₂/1000 gal de agua [49].

Impactos socioeconómicos y regulatorios

La incorporación de energías renovables marinas, como la OTEC, en la matriz energética de México se presenta como una opción interesante para avanzar hacia sistemas energéticos más resilientes y diversificados ya que, en países con características como las de México, estas tecnologías no solo tienen el potencial de reducir emisiones de GEI, ya que emiten entre 30 y 45 veces menos CO₂ que los combustibles fósiles [50]; sino que también pueden atender demandas energéticas locales en zonas costeras y comunidades aisladas, donde la infraestructura convencional resulta limitada o costosa, apoyando en actividades estratégicas como la desalación de agua, el turismo costero y el alumbrado público [51]. Sin embargo, el aprovechamiento de estas tecnologías aún prevé un futuro cercano limitado debido a diversos factores.

Desde el punto de vista regulatorio podemos identificar que, si bien México cuenta con un marco legal general sólido para las energías renovables, este es limitado en diversos aspectos, es decir, la existencia de leyes en materia energética, ambiental y climática no se ha podido traducir a

condiciones habilitantes para nuevas tecnologías debido principalmente a que dichas normas fueron diseñadas para sectores convencionales y no consideran las particularidades técnicas, espaciales y operativas de las Energías Renovables Marinas (MRE) [51].

En consecuencia, el marco institucional actual presenta dos grandes problemáticas, por un lado, la fragmentación institucional donde las autoridades federales, estatales y locales operan muchas veces sin mecanismos claros de coordinación genera procesos complejos y desincentiva la inversión; mientras que por otro lado, esta falta de especificidad sobre energías renovables, como las marinas, genera incertidumbre regulatoria, lo que limita la transición de estas tecnologías desde etapas conceptuales o piloto hacia fases comerciales [51].

En el ámbito social también existen una gran cantidad de consideraciones, por ejemplo, Rivera [51] resaltan la importancia de la Evaluación de Impacto Social como un instrumento clave para identificar posibles conflictos territoriales, la presencia de comunidades indígenas y la coexistencia con actividades económicas preexistentes como la pesca, el turismo o la navegación como entes habilitantes de una tecnología de este tipo.

Además, se destaca la necesidad de una construcción de proceso de gobernanza efectivo como condición habilitante para proyectos de energías renovables marinas [51], donde Akita [52] enfatizan que una gobernanza efectiva requiere procesos participativos continuos, donde la interacción con las comunidades permita no solo mitigar conflictos, sino también integrar el conocimiento local en el diseño y operación de los proyectos. Entonces, para lograr dicha integración de procesos participativos, se vuelve indispensable considerar la importancia de la comunicación temprana y transparente con las comunidades afectadas, evitando a toda costa la noción de falta de participación, la cual suele desembocar en procesos de resistencia social, incluso cuando los impactos físicos son limitados [53].

Wojtarowski y Martínez [54] también respaldan ampliamente la idea de que ignorar la opinión de actores locales puede derivar en oposición y, en muchos casos, cancelación de proyectos de MRE, aun cuando estos puedan generar beneficios ambientales, climáticos y sociales. Lo anterior implica que la transición energética no puede abordarse exclusivamente desde criterios técnicos o económicos, sino que forzosamente debe integrar de manera explícita las dimensiones sociales y culturales que determinan la legitimidad de las intervenciones territoriales a partir de la aceptación y beneficio social de proyectos energéticos [54], [55], [56].

La resistencia social frente a proyectos energéticos se encuentra profundamente vinculada a experiencias históricas de extractivismo, tanto en su dimensión material como simbólica. En contextos latinoamericanos, esta resistencia se explica históricamente debido a la presencia de procesos de explotación de recursos naturales, a su vez asociados a conflictos socioambientales y concentración de beneficios fuera del territorio intervenido, lo que ha generado desconfianza estructural hacia proyectos promovidos por actores externos [54], [57].

En contraste, los procesos de incorporación de las sociedades en las intervenciones se ven ampliamente respaldadas por estudios internacionales que destacan que la aceptación social depende

de procesos de comunicación efectivos y de la percepción de una participación genuina en la toma de decisiones, más allá de esquemas informativos unidireccionales [58], [59]. Este enfoque se alinea con propuestas de democracia energética y transición justa, en las que la participación social temprana y continua es entendida como una condición habilitante para la sostenibilidad a largo plazo de los proyectos energéticos y para la reducción de conflictos socioambientales [60].

Consideraciones ambientales

En cuanto a las emisiones generadas por la tecnología OTEC y su posible potencial de mitigación, investigaciones citadas en informes de Ocean Energy Systems (OES) [61] mencionan que esta tecnología si puede tener emisiones de GEI asociadas, por ejemplo, en el caso de plantas de ciclo abierto se produce una pequeña liberación de CO₂ desde el agua de mar de poco menos de 7 [gCO₂/kWh], que comparado con el valor del factor de emisión del sistema eléctrico nacional, que en 2024 se calculó en 444 [gCO_{2e}/kWh] [62], apenas representa menos del 2%, lo que las hace parecer despreciables. Mientras, en el caso de plantas OTEC flotantes a gran escala de ciclo cerrado las emisiones de CO₂ son prácticamente nulas.

Nickoloff *et al.* [63] evaluaron el potencial de la OTEC como herramienta de mitigación del cambio climático mediante simulaciones de largo plazo con un modelo climático acoplado se determinó que, por cada 1 TW de electricidad generada con OTEC se evitarían aproximadamente 1.5 Pg de carbono por año (PgC/año) considerando la actual intensidad promedio de carbono del sistema eléctrico global, dando lugar a reducciones relativas de la temperatura superficial global de entre 0.95 °C y 4.0 °C. Esto respalda la idea de que la implementación de OTEC a gran escala puede generar reducciones sustanciales en las emisiones de GEI, recalcando que los beneficios climáticos identificados no son exclusivos de OTEC y que resultados similares podrían lograrse con otras tecnologías renovables siempre y cuando logren desplazar generación fósil a gran escala.

Por otro lado, la tecnología OTEC también podría presentar potenciales impactos ambientales, siendo uno de los principales el relacionado con los grandes volúmenes de agua necesarios para la generación eléctrica, principalmente sobre los ecosistemas marinos. El principal problema es que, al no tratarse de una tecnología probada a gran escala, existen riesgos aún no caracterizados para los ecosistemas marinos de profundidad y del fondo marino, los cuales se pueden asociar a procesos de ascenso de grandes volúmenes de agua fría rica en nutrientes. Esto implica que aspectos como la bioincrustación de tuberías e intercambiadores de calor, el ascenso de agua con nutrientes y la descarga de agua de mar, continúen siendo objeto de investigación [48].

Costos de la tecnología OTEC

Actualmente ya han sido probadas plantas de pequeña escala de esta tecnología y la mayoría de sus componentes ya se encuentran comercialmente disponibles [48], pero en términos de costos estos aún son altos. Para plantas a pequeña escala los costos de instalación de se sitúan entre 16,400 y 35,400 USD₂₀₁₀/kW, como lo muestra la Figura 3, mientras que las plantas de mayor escala oscilan

entre 5,000 y 15,000 USD₂₀₁₀/kW, es decir, se reducen considerablemente los costos de energía conforme posee una mayor escala el proyecto. Además, se calcula que en el caso de plantas OTEC flotantes de gran escala se podrían alcanzar costos de hasta 2,500 USD₂₀₁₀/kW [48].

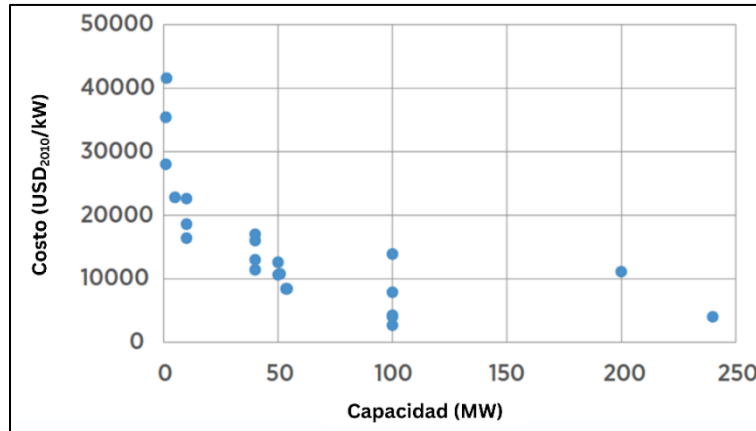


Figura 3. Costos estimados de capital para plantas OTEC según [48]

Además, es importante considerar que estas aproximaciones se basan principalmente en estudios de factibilidad, por lo que no existe mucha información sobre los costos reales de proyectos OTEC [48].

La proyección de los costos del capital de estas tecnologías dependen de cuatro parámetros principales [48]:

1. **Escala del proyecto:** La escala se vuelve un factor determinante en los costos debido a que plantas de pequeña escala (1 a 10 MW) presentan elevados costos indirectos, que aunque se combine con esquemas de producción de subproductos sigue siendo complejo financiar fuera de estados insulares, por lo que es más viable pensar en plantas OTEC de gran escala (10 a 100 MW), idealmente off-shore, las cuales podrían alcanzar costos considerablemente más bajos, y por ende, mayor disponibilidad de financiamiento [48]
2. **Tipo de ciclo:** La elección entre diseños de ciclo abierto, ciclo cerrado, híbrido o de algún otro tipo también tiene gran influencia debido a que diseños de ciclo abierto se estiman en cerca de 27.5% más costos en su fase de construcción que los de ciclo cerrado [49], sin embargo dichos costos y curvas de abatimiento cambian cuando se toma en consideración la generación de ganancias por subproductos como la desalinización de cerca de 120,000 m³ de agua por día, lo que equivale a 240 litros per cápita para una población de 500,000 habitantes [48].
3. **Producción de subproductos:** Si bien los requerimientos técnicos de la planta aumentan cuando se integra generación de subproductos, y por ende, los costos iniciales de la planta, este esquema puede mejorar considerablemente la viabilidad económica de proyectos a mediano y largo plazo, especialmente en regiones donde el agua tiene un alto valor [48].
4. **Selección del sitio:** La determinación del sitio se vuelve determinante debido a que puede afectar la cantidad de energía generada, esto porque el gradiente térmico superficial puede

ser más favorable mar adentro, lo que da más energía, pero aumenta costos por implicar instalación de tuberías más largas o cables submarinos más extensos. Se calcula que una planta OTEC de 100 MW ubicada a 10 km de la costa se podrían alcanzar costos cercanos a 4,000 USD₂₀₁₀/kW [48].

Completando este panorama, podemos calcular que los porcentajes relativos del capital necesario para una instalación rondan entre el 10 % y 35% en la plataforma según sea on-shore u off-shore; y dependiendo de la escala entre 40% y 50 % en sistemas de conducción de agua, entre 20% y 50 % en intercambiadores de calor y entre 1.4 %–2.7 % en operación y mantenimiento [48].

2.2.5. Avance de OTEC en México

México, al tener grandes líneas de costa y estar ubicado en su mayoría en la zona tropical, posee aguas oceánicas con características óptimas para la implementación de tecnologías OTEC. No obstante, el avance tecnológico en el país ha sido relativamente limitado y hasta ahora se ha centrado en estudios de caso en regiones de alto potencial. Entre los años 2007 y 2016 se realizaron investigaciones preliminares en sitios como Puerto Ángel, Cozumel, Baja California y Bahía de Banderas [11].

Un hito importante para el desarrollo nacional de esta tecnología fue la creación del CEMIE-Océano, cuyo objetivo es coordinar los esfuerzos académicos, institucionales y empresariales para el desarrollo de tecnologías energéticas sostenibles; y que ha desarrollado herramientas como el Atlas Nacional de Temperatura Oceánica, avanzando en la identificación de sitios potenciales para la tecnología OTEC [11].

El caso más destacado en términos de desarrollo tecnológico nacional es el prototipo de planta OTEC de ciclo cerrado con potencia neta de 1 kW que actualmente se construye en la Universidad del Caribe. Por su parte, el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) ha trabajado en la búsqueda de sitios adecuados para futuras instalaciones en Baja California Sur, mientras que el Instituto de Ingeniería y el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM han participado activamente en la elaboración del Atlas Nacional de Gradiente Térmico Oceánico y en la modelación hidráulica de las partes clave de una planta OTEC [11].

Recientemente tuvo lugar otro hito en el desarrollo de OTEC en México pues se realizó la campaña de investigación oceanográfica “OTEC-1” como parte del proyecto “CEMIE-Océano”. En esta campaña se realizaron perfiles de conductividad, temperatura y profundidad (CTD), así como batimetría multihaz de hasta 1000 m de profundidad en regiones de interés para la instalación de la tecnología, incluyendo a Bahía de Banderas [64].

Por último, un gran avance es el reconocimiento de la generación de energía oceánica como un sector productivo de relevancia dentro de la Política Nacional para el Manejo Sustentable de Mares y Costas de México, la cual reconoce a la tecnología OTEC como un importante insumo, específicamente en los estados del Pacífico Sur (Chiapas, Oaxaca, Guerrero y Michoacán), al mismo

tiempo que contempla como una línea estratégica transitar hacia la producción de energía renovable oceánica para reducir la dependencia a combustibles fósiles y otras energías contaminantes, teniendo como meta de largo plazo alcanzar que el 25 % de la energía consumida en los estados costeros provenga de energías renovables oceánicas [65].

2.3. Disponibilidad del recurso térmico a escala global

La disponibilidad del recurso térmico para su aprovechamiento mediante OTEC es una materia que tiene muchas décadas de estudio, siendo uno de los más importantes y pioneros en el campo el realizado por Wolff y Lewis en 1980, donde se integraron una vasta serie de sondeos disponibles, incluyendo datos recopilados de atlas hidroclimatológicos existentes para cada uno de los océanos del mundo, con la finalidad de mapear a nivel global el comportamiento de este recurso. De forma que, desde ese entonces ya se concluía que los datos obtenidos demostraban que existen numerosas áreas con un excelente potencial térmico a 1,000 m de profundidad, mientras que a profundidades de 500 m estas son considerablemente más limitadas [66]. Estos resultados los podemos observar en la Figura 4, donde vemos que se presenta la estimación del recurso bruto promedio.

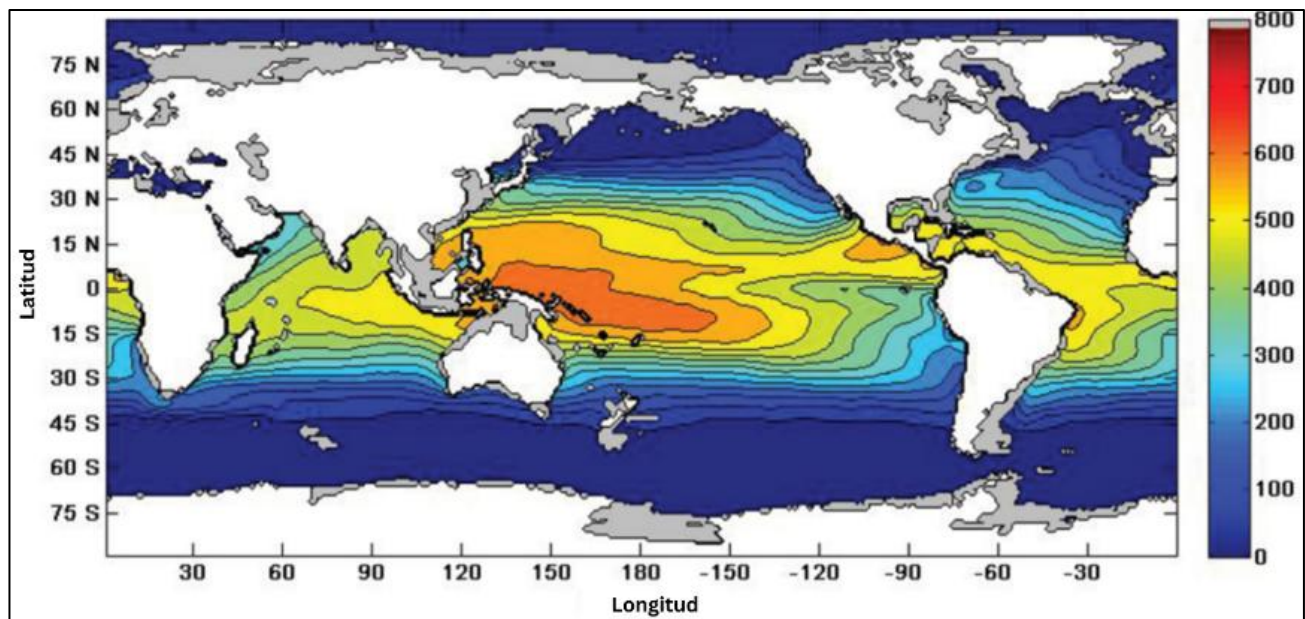


Figura 4. Densidad energética [kW/m^3 agua bombeada/s] disponible a 1000 m según [66]

Estudios más recientes han logrado profundizar significativamente en la identificación de la presencia del potencial térmico en diversas regiones del mundo, sin embargo, cuando se ha intentado cuantificar a nivel global la realidad es que aún no se tienen cifras confiables, pues los cálculos rondan un amplio rango de estimaciones que varían entre 5 TW y 1,000 TW [67].

Un estudio realizado en 2013 por el Marine and Hydrokinetic Energy Technology Assessment Committee [68] calculó que para sustituir los 16 TW de consumo mundial de energía eléctrica se deberían instalar plantas de 100 MW aproximadamente cada 50 km a lo largo del océano tropical, denotando la disponibilidad del recurso.

Además, ese mismo comité de investigación desarrolló un Sistema de Información Geográfica (SIG) de evaluación OTEC para identificar visualmente sitios potencialmente óptimos para la ubicación de plantas OTEC. No obstante, el sistema aún presenta deficiencias adicionales, siendo la principal que no permite identificar la variabilidad temporal del recurso térmico, ya que solo se dispone de promedios estacionales correspondientes a dos años anómalos de El Niño/La Niña, lo cual podría resolverse a partir de medir y analizar información con resolución mensual a lo largo de un período más extenso de al menos una década [68].

Dado que los efectos de retroalimentación de la operación de las plantas sobre el recurso térmico podrían ser el factor limitante para determinar el potencial de instalación y el espaciamiento entre plantas OTEC es indispensable desarrollar modelos del flujo para comprender los posibles impactos sobre el océano [68].

En un estudio realizado por Nickoloff *et al.* [63], se determinó que el potencial energético de OTEC no es ilimitado ni constante en el tiempo, sino que depende fuertemente del estado climático del sistema océano-atmósfera, es decir, se calculó que el océano puede producir cantidades grandes de energía (superiores a 35 TW) solo durante periodos relativamente cortos, antes de que los gradientes térmicos se degraden paulatinamente. Sin embargo, calculando la persistencia a partir de tasas de generación más moderadas (de entre 5 a 10 TW) pueden mantenerse durante siglos o incluso milenios, lo que comprueba que la sostenibilidad de OTEC está determinada por la tasa de extracción de energía [63]. Además, un hallazgo importante es que se demostró que el cambio climático influye negativamente en el potencial sostenible de OTEC a largo plazo ya que en escalas de tiempo largas el calentamiento de las aguas profundas reduce la diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo oceánico [63].

En cuanto a la disponibilidad regional, solo ciertas áreas del mundo han sido estudiadas a profundidad, por ejemplo en el caso de Estados Unidos se ha calculado que el recurso OTEC total para el territorio continental es de unos 394 TWh/año, donde cerca del 87% se concentra en el Estrecho de Florida y la costa este, mientras que el Golfo de México solo aporta el 13 % restante ya que no representa una fuente viable durante el invierno, lo que demuestra que el recurso OTEC continental es altamente estacional y limitado, por lo que la implementación en regiones de ese tipo se vuelve poco viable [68].

México, por otro lado, cuenta con un vasto recurso térmico dentro de la ZEE que puede ser aprovechado mediante tecnología OTEC. Para mapear a mayor profundidad y resolución este recurso, el CEMIE-Océano, desarrolló una serie de informes y mapas del recurso térmico en México,

específicamente identificando Distribución Espacial del Recurso Energético por Gradiente Térmico Oceánico a 500, 750 y 1000 m de profundidad dentro de la ZEE de México [69]. A partir de estos datos se puede ver, que en términos de potencia eléctrica México tiene una buena distribución del recurso, especialmente en la región del Pacífico, donde la Figura 5A muestra que a 500 metros de profundidad la potencia es media, pero esta alcanza valores mucho más importantes a profundidades de 750 y 1,000 metros como se ve en las Figuras 5B y 5C.

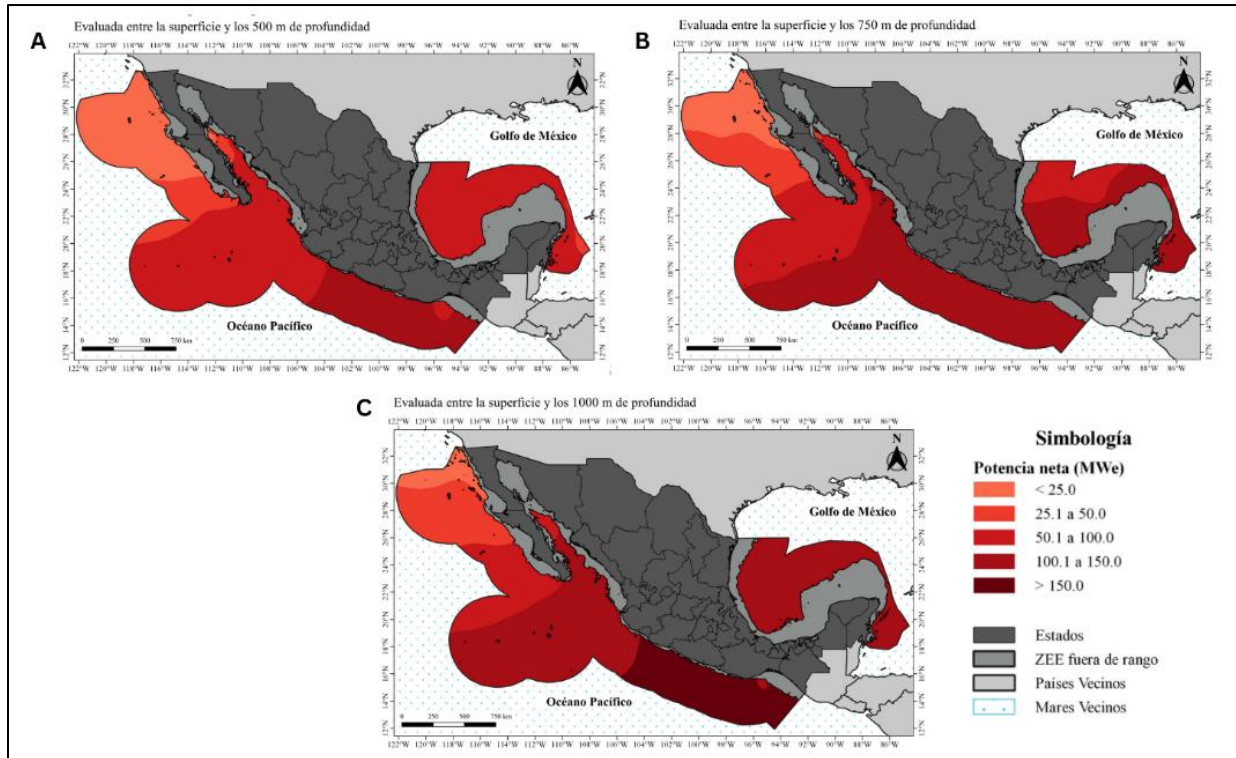


Figura 5. Potencia eléctrica promedio medida entre superficie, 500, 750 y 1000 metros según [69]

El estudio realizado por [40] generó una estimación del recurso energético en el país, donde encontró que varios sitios en las costas del país son adecuados para la instalación de plantas OTEC, sin embargo, se menciona que las variaciones temporales de los gradientes térmicos pueden cambiar el potencial, por lo que deben considerarse al seleccionar sitios adecuados para el despliegue de la tecnología. Además, se hace referencia a que las plantas OTEC más viables podrían ser aquellas que tengan acceso al recurso a una profundidad mínima del agua de 1,000 m y una distancia a la costa menor a 100 km, haciendo más atractivas las regiones del Pacífico Mexicano, donde se calcula que hay una disponibilidad de aproximadamente 150–200 MW durante más del 70% del tiempo y de ~200–250 MW durante más del 60% del tiempo. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que en la práctica, solo una parte del potencial teórico puede aprovecharse, debido a factores ambientales, económicos y sociales que deben ser considerados [67].

Este estudio concluye que la aplicación de esta tecnología parece ser más conveniente en algunas zonas del océano Pacífico, puntualmente, los estados que consideran más viables son Colima, Michoacán, Guerrero, Nayarit y Oaxaca, esto bajo el supuesto de una planta OTEC de 100 MW y considerando una profundidad disponible de 1,000 m para estimar el gradiente térmico [67].

2.4. Antecedentes sobre la influencia de eventos extremos en plataformas marinas flotantes

Los eventos extremos, en particular los ciclones tropicales, pueden generar impactos severos las estructuras marinas y comprometer su integridad estructural y funcionamiento, lo cual aplica también a infraestructura energética oceánica [70], de aquí surge la importancia de tomar en consideración los factores climáticos a la hora de estudiar las infraestructuras energéticas como la tecnología OTEC. Por esta razón, la comprensión de la dinámica de los ciclones tropicales requiere un análisis detallado de sus elementos fundamentales para evaluar su posible impacto en las plataformas marinas flotantes [71]. No obstante, la complejidad de estos fenómenos radica muchas veces en la dificultad de su predictibilidad, lo que subraya la necesidad de comprender sus procesos físicos y los posibles impactos sociales y ecológicos que plantean [72].

El IPCC considera una amenaza climática como uno de los tres componentes que, al interactuar, dan como resultado el concepto de riesgo climático, como lo muestra la Figura 6. Dependiendo de la forma en que esta amenaza coexista con la exposición y la vulnerabilidad, el impacto será diferente [73]. Bajo este marco, una amenaza climática se entiende como la probabilidad de ocurrencia de un evento o tendencia física relacionada con el clima, ya sea natural o antropogénico, el cual puede resultar en impactos directos como pérdidas humanas, afectaciones a la salud, daños a la infraestructura, a los medios de vida, a la provisión de servicios y a los ecosistemas [73].

Además, en un contexto de cambio climático, tienen lugar eventos extremos, que podrían definirse como una serie de condiciones meteorológicas y oceanográficas caracterizadas por su ocurrencia poco frecuente o sus impactos severos [74], [72], [75].

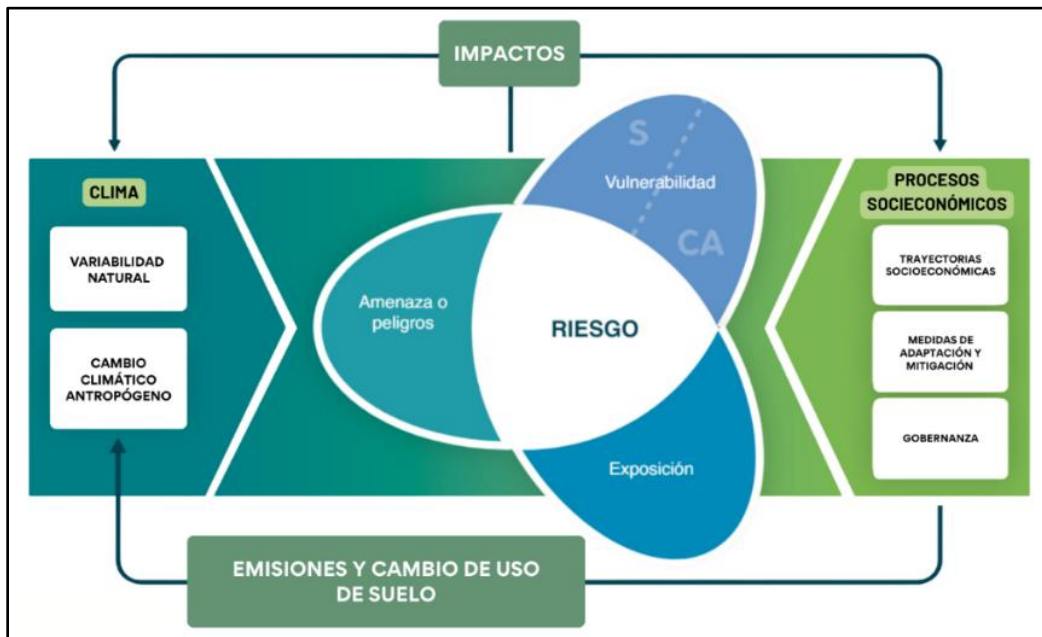


Figura 6. Riesgo climático y sus componentes, adaptado de [73]

Dentro de la generalidad del concepto de las amenazas climáticas uno de los eventos de gran relevancia son los ciclones, los cuales se definen como sistemas meteorológicos de baja presión que se originan sobre aguas oceánicas cálidas y se caracterizan por presentar un fenómeno de circulación atmosférica cerrada con un centro bien definido y que rota en sentido contrario a las agujas del reloj en el hemisferio norte y en sentido horario en el hemisferio sur [74].

Estos sistemas se originan e intensifican principalmente en aguas tropicales o subtropicales a partir del proceso de ciclogénesis, el cual se desencadena cuando existe una disminución de la presión atmosférica [76] y hay presencia de temperaturas de la superficie del mar superiores a los 26 °C [77] dando lugar a una intensa transferencia de energía del océano hacia la atmósfera y establecimiento de una circulación ciclónica [78].

Los ciclones se clasifican en la escala Saffir-Simpson según la velocidad máxima del viento sostenido, donde sistemas con vientos menores a 62 km/h son depresiones tropicales, evolucionando a tormenta tropical al alcanzar vientos entre 63 y 118 km/h, y finalmente se ascendiendo a categoría de huracán o tifón cuando los vientos superan los 119 km/h, a partir de la cual se establecen categorías que van desde el huracán de categoría 1 hasta el de categoría 5 [78], [79], [80], [81].

Estos sistemas ocurren predominantemente durante los meses de verano y otoño del hemisferio respectivo debido a la disponibilidad de calor en la superficie oceánica [82]. La distribución geográfica de los ciclones tropicales se concentra en siete cuencas oceánicas principales, el Atlántico Norte, el Pacífico Norte Oriental y Occidental, Pacífico Suroeste, Índico Norte y Suroeste, donde la frecuencia de estos fenómenos depende de las condiciones de cada región [83]. El Atlántico Norte

y el Pacífico Nororiental son las cuencas con mayor incidencia, donde se registra un promedio de 17 sistemas ciclónicos [84], principalmente entre junio y noviembre [81], y 23 sistemas ciclónicos [85], respectivamente.

Además, en el contexto actual de cambio climático, estudios recientes demuestran que estos eventos están cambiando, por lo que se pronostica a futuro un incremento tanto en su cantidad como en su intensidad [74]. Aunado a esto, otros fenómenos de variabilidad climática como el ENSO favorecen también la formación de ciclones durante sus fases cálida, especialmente en regiones de ciclogénesis [83].

Los ciclones tropicales son uno de los eventos climáticos más peligrosos en regiones tropicales y subtropicales, ya que pueden provocar grandes impactos como inundaciones costeras, daños extensos a la infraestructura y procesos de erosión litoral [86], [87].

Estos eventos generan estados de mar extremos que pueden comprometer la integridad estructural y operatividad de las instalaciones, llegando a provocar accidentes y fallas operacionales significativas, principalmente en casos donde la capacidad de respuesta de infraestructuras diseñadas bajo criterios estacionarios [74], [88].

En el caso de infraestructuras marinas, la literatura técnica señala que los ciclones tropicales constituyen la amenaza meteorológica predominante debido a su elevada capacidad destructiva por las condiciones de carga generadas y las consiguientes fallas estructurales [89], [90]; por lo que resulta fundamental considerar este tipo de fenómenos en el diseño de sistemas resilientes frente a amenazas climáticas de esta naturaleza, principalmente ante escenarios de posible intensificación de los ciclones [87].

México se encuentra en una región geográfica particularmente susceptible a la influencia de estos sistemas, presentando actividad ciclónica tanto en el Atlántico como en el Pacífico, con trayectorias que convergen hacia el territorio nacional [85]. Esta doble exposición y la vulnerabilidad del país incrementan el riesgo de desastres [74].

Anualmente entre cuatro y cinco ciclones tropicales cruzan el territorio nacional en promedio, ocasionando daños considerables a los asentamientos humanos y a las actividades productivas [91].

En el Golfo de México los ciclones suelen presentar vientos de alta intensidad, marejadas ciclónicas, grandes volúmenes de lluvia e inundaciones, representando uno de las principales amenazas, tanto para la población local como para el país, esto debido a caracterizarse como una región crítica para la economía nacional [83]. Mientras, la Península de Yucatán también presenta alta frecuencia de impactos de ciclones, lo cual genera afectaciones sustanciales a la infraestructura costera y marítima, entre 2000 y 2022 el 73% del total de eventos catastróficos en dicha región corresponden a ciclones [92].

La región del Pacífico Mexicano ha registrado un total de 386 ciclones tropicales desde 1863 hasta 2022 [93], de los cuales seis eventos se han catalogados como categoría 5 en la escala Saffir-Simpson, siendo los más intensos el huracán Patricia de 2015 y el huracán Otis en 2023 [94]. Este último alcanzó ráfagas de viento de 329.76 km/h y provocó daños estimados entre 3.5 y 15 mil millones de dólares (USD) en infraestructura como carreteras, edificios y redes eléctricas, además de desplazar a 34,500 familias y causar al menos 51 fallecidos [95], [96], [97].

Otis expuso la falta de preparación del Sistema Nacional de Protección Civil y las autoridades locales, la incapacidad de los modelos de pronóstico para anticipar la rápida intensificación de eventos y las vulnerabilidades estructurales y socioeconómicas que prevalecen en el país, donde las comunidades más pobres resultan ser sistemáticamente las más afectadas [95], [98]. Este panorama plantea la necesidad de incorporar nuevas medidas de adaptación más robustas y mejorar la disponibilidad de puntos de recolección de datos para mejorar los pronósticos meteorológicos y climáticos, especialmente en el Pacífico mexicano [98].

Las proyecciones indican que el cambio climático provocará un incremento en la frecuencia e intensidad de fenómenos naturales como tormentas y huracanes debido al aumento de la temperatura superficial del mar, lo que a su vez representa una amenaza creciente para la infraestructura costera y marítima del país [99], [100].

2.5. Análisis de mecanismos de financiamiento de proyectos de energía en México

La inversión global en energías renovables sigue en aumento y en 2023 alcanzó una cifra de 1.8 billones de dólares [101]. De igual forma, la capacidad eléctrica instalada ha ido en aumento, aumentando un 10% en 2020 respecto a 2019, siendo la energía solar la de mayor crecimiento (21% en ese periodo), seguida de la eólica con un 18% [102].

En el caso mexicano, los nuevos compromisos adoptados en la COP29 y en su NDC 3.0 [103] sobre alcanzar cero emisiones netas para 2050 y realizar un proceso de transición energética requieren instrumentos financieros eficaces que reduzcan la distancia entre la ambición y la implementación [104]. Se calcula que para que el país cumpla los compromisos de reducción de emisiones se requerirían recursos financieros estimados en 105.600 millones de dólares para el escenario incondicional de la NDC 2.0 y 256.000 millones para el condicional en 2030. Aunado a esto, el país también presenta una situación de pobreza energética en 37% de los hogares, los cuales presentan carencia de acceso a fuentes modernas de energía o las limitaciones financieras para costearla [104].

2.5.1 Contexto global y regional del financiamiento energético

A nivel mundial en 2020, el 95% de las inversiones de nueva capacidad instalada se concentraron en tecnologías solar fotovoltaica (41%) y eólica (54%), las cuales se concentraron en un 88% en apenas 15 países como China (33%) y Estados Unidos (16%) [102]. En la región latinoamericana, la hidroenergía representa más del 70% de la capacidad renovable instalada. No obstante, se ha seguido la tendencia mundial, donde la energía solar registró el mayor crecimiento entre 2019 y 2020 (36%), seguida de la eólica (18%), mientras que el resto de tecnologías mostró incrementos menores al 1% [102], esto siendo liderado por Chile, Brasil y Argentina [101].

Sin embargo, actualmente se vive un contexto de incertidumbre financiera global derivada de los estragos de la pandemia por coronavirus y conflictos armados. La crisis económica derivada de la pandemia generó una recesión global de cerca de 3,4% en 2020. Por su parte, eventos como el conflicto entre Rusia y Ucrania han incentivado mayores inversiones en energías renovables a mediano y largo plazo [102].

En América Latina y el Caribe experimentó una recesión de hasta 6,8%, en 2021 [102], escenario que presenta una desaceleración prolongada del crecimiento, limitando el aumento a la inversión pública en energías renovables y dando lugar a mayores esquemas de participación privada en sectores estratégicos. En 2020 las inversiones de la región crecieron un 4,4%, mostrando una baja del crecimiento anual mostrado en periodos anteriores, lo que se asocia a la disminución en los precios de los equipos de energía renovable y falta de aumento en inversión [102].

El caso mexicano es particular porque más de la mitad de la electricidad se genera a partir de gas importado de Estados Unidos, lo que representa un riesgo para la seguridad energética. Para reducir es necesario movilizar grandes flujos de dinero para nueva capacidad renovable [105]. El Programa Sectorial de Energía 2025–2030 (PROSENER) incluye líneas de acción relacionadas con el financiamiento, proponiendo desarrollar tecnologías emergentes financiadas con recursos del Fondo Mexicano del Petróleo para la generación con fuentes limpias y fortaleciendo las finanzas de las empresas productivas del Estado [106].

Además, los escenarios presentados en el PROSENER [107] esbozan un primer acercamiento a la inclusión de más capacidad instalada renovable al mismo tiempo que persisten incertidumbres sobre la definición de metas claras, los mecanismos de implementación y la inversión en infraestructura necesaria para abordar los desafíos estructurales del sector energético en el contexto de la crisis climática [104].

Por su parte, el programa de Financiamiento del Desarrollo 2025-2030, menciona que se seguirá priorizando el fortalecimiento de la infraestructura energética y el aumento de la autosuficiencia nacional, en particular mediante el impulso a las empresas públicas del sector, el desarrollo de

energías renovables y los esquemas de participación mixta que reduzcan la dependencia externa frente a disrupciones climáticas o geopolíticas [107].

México cuenta con diversas fuentes de financiamiento de largo plazo para proyectos de infraestructura, que incluyen recursos federales, fondos especializados, banca comercial y organismos multilaterales [108]. No obstante, el sistema de financiamiento al desarrollo en México presenta debilidades estructurales, pues desde la adopción del modelo neoliberal, el sistema financiero mexicano ha dejado de concebirse como instrumento directo de desarrollo económico y ha priorizado procesos de liberalización y desregulación orientados a la rentabilidad financiera [109].

2.5.2 Mecanismos de Financiamiento Público

El financiamiento público tiene un papel fundamental en un contexto donde la transición energética mexicana enfrenta restricciones fiscales, alta dependencia de combustibles fósiles importados y una brecha significativa entre metas climáticas y capacidad de inversión [109]. Alcanzar los objetivos planteados no se trata únicamente de asignar recursos presupuestales, sino de diseñar instrumentos capaces de reducir riesgos, mejorar la bancabilidad y movilizar capital privado hacia sectores estratégicos [110].

La transición energética consta en gran medida de tecnologías intensivas en capital y con horizontes de recuperación prolongados, por lo que el Estado debe asumir funciones catalíticas mediante esquemas de mitigación de riesgos, financiamiento concesional y estructuración de proyectos bancables [110]. Esto resulta particularmente relevante cuando los mercados financieros perciben altos niveles de incertidumbre regulatoria, tecnológica o de mercado, como ocurre en tecnologías emergentes o no convencionales [111].

En México existe toda una gama de herramientas financieras para el sector, pero la gran mayoría dependientes del Presupuesto de Egresos de la Federación (PEF), el cual constituye el principal instrumento de asignación de recursos públicos y refleja las prioridades estratégicas del Estado mexicano. Este asigna recursos para el financiamiento directo de infraestructura energética y la capitalización de fondos y fideicomisos especializados [108].

El PEF canaliza recursos hacia instrumentos como el Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE) como mecanismo financiero orientado a promover inversión en energías limpias y eficiencia energética [102].

Así mismo, también está la banca de desarrollo mexicana, la cual cumple una función intermedia entre política pública y mercado financiero. Su relevancia radica en su capacidad para estructurar financiamiento de largo plazo, asumir riesgos parciales y facilitar la participación de banca comercial mediante esquemas de garantía o refinanciamiento [108].

Esta banca se conforma de una diversidad de instituciones como el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS), que usa instrumentos como garantías de pago oportuno y mecanismos de refinanciamiento garantizado para reducir el riesgo percibido por intermediarios financieros y mejorar las condiciones crediticias de los proyectos [102]. Este tipo de instrumentos buscan que el capital público asume posiciones de mayor riesgo para atraer capital privado [111].

Por su parte, Nacional Financiera (NAFIN) y Banco Nacional de Comercio Exterior (BANCOMEXT), suelen actuar como vehículos de canalización de recursos concesionales o líneas de crédito orientadas a sectores estratégicos, incluyendo infraestructura energética [108].

Además, existen otros mecanismos como el FOTEASE, un mecanismo de promoción de energías renovables y eficiencia energética, particularmente en generación distribuida y sectores domésticos, contribuyendo a la descarbonización del sector eléctrico y a la reducción de pobreza energética [104], [102]. Y también el Fondo Nacional de Infraestructura (FONADIN), fideicomiso orientado a maximizar la participación privada en proyectos de infraestructura con alta rentabilidad social pero menor rentabilidad financiera inmediata [102].

Bajo esta arquitectura financiera la banca de desarrollo y su interacción con organismos multilaterales ayudan a contribuir a reducir el costo promedio de la deuda en proyectos renovables y por ende impulsar su implementación [108], [112].

2.5.3 Mecanismos de Financiamiento Privado

Actualmente la inversión pública en proyectos de energías renovables representa una fracción limitada del total del sector, aproximadamente 14–15% a nivel global, por esto se prevé que la mayor parte de la expansión futura dependerá del sector privado [102]. Bajo este escenario el reto principal no es sustituir financiamiento privado por público, sino generar condiciones que promuevan el impulso del financiamiento privado, por ejemplo a partir de la creación de proyectos bancables con contratos de largo plazo y en el uso focalizado de instrumentos combinados [110], [111].

En el sistema financiero mexicano, la banca comercial participa en proyectos de infraestructura principalmente mediante créditos, siendo un factor fundamental para impulsar proyectos de desarrollo como lo puede ser el sector energético. En el contexto energético renovable el involucramiento de la banca comercial depende de factores como estabilidad regulatoria, existencia de contratos de largo plazo y mecanismos de mitigación de riesgo, por lo que, en ausencia de estos elementos, el costo de capital tiende a incrementarse, afectando la entrada de estos capitales [110].

En el Plan de Acción de Addis Abeba, marco relacionado con el financiamiento al desarrollo, se ha reconocido la importancia de identificar nuevos vehículos de inversión como fondos de capital de riesgo orientados al desarrollo, asociaciones público-privadas, financiación combinada, entre otros; los cuales sirvan como medidas para impulsar nuevos flujos financieros, eliminando barreras financieras [113].

Además de mecanismos de crédito bancario tradicionales, México ha mostrado mayor apertura en el ámbito de finanzas sostenibles impulsando bonos verdes, sociales y sostenibles, así como bonos azules vinculados a protección oceánica. Estas herramientas abren nuevas vías de financiamiento alineadas con criterios ambientales, sociales y de gobernanza, aunque su efectividad depende de marcos regulatorios claros y mecanismos de verificación robustos [114].

No obstante, persiste un problema estructural respecto a esta fuente de financiamiento y es que el sistema bancario privado ha tendido a concentrar crédito en sectores de menor riesgo, limitando su contribución al desarrollo productivo y de bienestar [105], [109]. En el contexto de transición energética, impulsar el financiamiento privado de infraestructura que promueva el desarrollo sostenible constituye un desafío central y a largo plazo se ve como la única opción viable para desarrollar la transición energética.

2.5.4 Mecanismos de Financiamiento Internacional

El financiamiento internacional, tanto multilateral como bilateral, cumple funciones estratégicas en la transición energética mexicana. Más allá del volumen de recursos, estos organismos aportan estándares técnicos, esquemas de mitigación de riesgo y asistencia para estructuración de proyectos [102].

En tecnologías renovables, la participación de bancos multilaterales puede reducir costos de deuda y facilitar financiación, especialmente cuando el mercado local percibe alto riesgo [112].

La banca bilateral y los organismos multilaterales también cumplen un rol fundamental en financiamiento de estudios de factibilidad, fortalecimiento institucional y asistencia técnica, etapas críticas para tecnologías emergentes. Sin estos apoyos, muchas iniciativas no alcanzan madurez suficiente para acceder a financiamiento comercial [111].

La articulación entre banca de desarrollo nacional y financiamiento internacional puede constituir un mecanismo clave para escalar proyectos estratégicos y reducir barreras estructurales [111].

2.5.5 Barreras y oportunidades de financiamiento para energías renovables no convencionales

Las energías renovables, especialmente las no convencionales, enfrentan importantes barreras, una de estas es la desventaja respecto a tecnologías maduras como solar o eólica por percepciones de mayor riesgo financiero y tecnológico, la limitada experiencia bancaria, la necesidad de infraestructura específica y la incertidumbre regulatoria [110].

Desde la perspectiva técnica, específicamente en proyectos de generación de energía, una barrera común es la relacionada con cuestiones geográficas, como la proximidad a redes eléctricas, centros de control e infraestructura logística influye directamente en la bancabilidad del proyecto [67]. Por

otro lado, los instrumentos de mitigación de riesgo, garantías, deuda subordinada, capital de primera pérdida, adquieren especial relevancia para redistribuir riesgos y movilizar capital privado [111]. Asimismo, el desarrollo de vehículos de mercado [112], junto con bonos etiquetados [114], representa oportunidades para diversificar fuentes de financiamiento.

El compromiso climático de México y su potencial de mitigación en el sector eléctrico [104] ofrecen una ventana de oportunidad para reconfigurar la arquitectura financiera hacia una transición energética justa e inclusiva. No obstante, la materialización de esta oportunidad dependerá de la coherencia entre metas, instrumentos financieros y capacidad institucional para ejecutarlos [104].

2.6. Zona de estudio: Contexto social y regional de Bahía de Banderas

En el contexto de tecnologías OTEC la zona de implementación conforma un factor fundamental, esto debido a que no en cualquier región se cuentan con las características y servicios adecuados para instalar estas tecnologías, por esta razón es que se debe de tener un contexto amplio y bien estudiado del área, con la finalidad de identificar la coexistencia de todos los factores que habilitarían la implementación. En el caso de la Bahía de Banderas, estudios sugieren que esta región cumple con los criterios básicos para la implementación de esta tecnología [11], sin embargo, es necesario ahondar en las características ambientales, sociodemográficas e incluso de infraestructura para poder determinar la viabilidad de esta tecnología.

2.6.1 Delimitación geográfica

La Bahía de Banderas se localiza en el centro-occidente del Pacífico Mexicano y fue formada principalmente por la desembocadura de los ríos Ameca y Pitillal [115]. Tiene una longitud de 102 km y se caracteriza por ser una cuenca alóctona exorreica compartida entre dos estados, por el lado norte Nayarit y por el lado sur Jalisco [35]. Esta bahía se ubica geográficamente entre los 29° 54' y 21° 5' de latitud norte y los 104° y 105° 46' de longitud oeste; y forma parte de la Planicie Costera del Pacífico Mexicano, comprendiendo parte de los municipios de Bahía de Banderas (Nayarit), Puerto Vallarta, y Cabo Corrientes (Jalisco), así como otros municipios cercanos como San Sebastián del Oeste, Mascota, Talpa de Allende, Tomatlán. [116]

La región de Bahía de Banderas presenta dos climas principales, cálido subhúmedo en la zona costera y semicálido subhúmedo en la sierra por encima de los 700 msnm, en general con temperaturas promedio anuales que van de los 18 a 28° C y con precipitación anual de 830 mm a 1,783 mm con influencia monzónica y de huracanes y temporada de lluvia principalmente entre los meses de junio a octubre [35], [116].

En cuanto a la precipitación, esta se suele presentar con una alta variabilidad, especialmente en áreas montañosas, mientras que, en cuanto a la temperatura, se presenta una temporada cálida en los meses

de junio a septiembre, y una temporada menos cálida cercana a enero, con temperaturas de 14 °C. Además, gran parte de esta región presenta poca oscilación térmica (entre los 5 y 7° C). [116]

Un fenómeno interesante es que, por la naturaleza de los vientos, se genera un calentamiento desigual entre la superficie terrestre y el agua superficial del océano, donde durante el día la tierra se calienta más rápidamente que el agua, y después de la puesta del sol la superficie terrestre se enfría más rápidamente que el agua. [116]

La bahía presenta en su parte baja, selva y bosque tropical sub-caducifolio, bosque de manglar en los esteros y bosque tropical caducifolio, mientras que en la parte alta hay presencia de bosques de encino y de pino-encino, especialmente en los cuatro sistemas montañosos que la rodean, los cuales permiten que gran parte de la costa sur y este de la zona sirvan de sistemas de captación de la humedad durante la época de lluvias. [116]

2.6.2 Caracterización socioeconómica

La Bahía de Banderas es una zona de gran importancia nacional, del lado de Jalisco, Puerto Vallarta se posiciona como la segunda zona económica más importante del estado y el tercer puerto más importante de México, con una población de 291,839 habitantes y un incremento del 14.1% respecto a 2010 [117]. Mientras, el otro municipio del lado de Jalisco, Cabo Corrientes, registró una población de 10,940 habitantes en 2020, teniendo un incremento de 9.08%. respecto al año 2010 [118].

Por el lado de Nayarit, el municipio de Bahía de Banderas registró una población de 187,632 habitantes, mostrando un súbito crecimiento de 51.1%. respecto al 2010 [119]. Estos dos últimos municipios presentan una fragmentación y dispersión urbana con conexiones deficientes en el espacio conurbado [120].

Las zonas costeras mexicanas experimentan un crecimiento poblacional irregular y concentrado en unas cuantas localidades urbanas, generando presiones económicas, sociales, institucionales y ambientales significativas sobre las áreas costeras y marinas [36]. Estos problemas se pueden atribuir a temas como la falta de ordenamiento territorial, el uso inadecuado del espacio rural y urbano, cambios abruptos en el uso de suelo y aumento en demanda de recursos, a su vez generando otros rezagos como presiones ambientales crecientes en aquellas localidades donde aumentan las oportunidades de empleo y el incremento en la vulnerabilidad poblacional y de infraestructura. [36].

La región se sostiene económicamente a partir de actividades como el turismo, servicios, agricultura, ganadería y pesca [121]. La actividad económica de mayor relevancia es el turismo y la provisión de servicios especializados, principalmente en Puerto Vallarta, consolidando a la región como foco de gran inversión turística y hotelera, fungiendo como detonador para el desarrollo regional y llevando beneficios económicos [120].

Además, a este sector se le asocian servicios como la navegación transporte marítimo de pasajeros y actividades recreativas como paseos en lancha, buceo y deportes acuáticos, dotando a la región con infraestructura portuaria especializada que permiten atender simultáneamente cruceros de gran capacidad y abastecer diversas rutas de navegación que conectan con puertos de Estados Unidos y otros destinos del Pacífico mexicano [122].

También se ha visto que el desarrollo turístico ha sido mermado por intereses contrapuestos y la rapidez de la expansión urbana, transformando severamente los entornos y comunidades [120]. Algunos de los impactos más importantes han sido la conversión de tierras en propiedad privada, contaminación y la explosión de conflictos sociales [36].

La pesca tiene una gran relevancia debido a que es la actividad principal de la mayoría de la población de los municipios costeros [35], incluso, México ocupa el lugar 17 a nivel mundial en nivel pequero [36]. Estados como Nayarit, Jalisco, Colima y Michoacán representan aproximadamente cuatro quintas partes del valor total de producción de la acuicultura proviene de actividades pesqueras y acuícolas [36]. Los ecosistemas costeros de estas regiones son altamente productivos por la disponibilidad de nutrientes que aportan los ríos y escurrimientos terrestres [35].

Actualmente el número de embarcaciones pesqueras operativas muestra una tendencia decreciente, lo que puede deberse a cambios en las artes de pesca, lo que a su vez sugiere que es importante promover una aplicación efectiva de la regulación pesquera que permita salvaguardar la integridad de los ecosistemas, aplicando acciones como vedas, tipo de pesca permitidas y vigilancia para evitar pesca ilegal en zonas restringidas o la captura de especies amenazadas [36].

Sin embargo, en las últimas décadas esta actividad ha modificado los sistemas acuáticos, impactando directamente a los ecosistemas y servicios ambientales, sociales y económicos [35]. Esto se atribuye principalmente a factores como la pérdida de extensas áreas de manglar debido a la expansión de granjas camaronícolas, la alteración de los flujos naturales de agua, el crecimiento poblacional y su desarrollo socioeconómico, incrementado así los cambios e impactos en la geomorfología costera [35], [36].

Otra actividad de gran relevancia en la región de Bahía de Banderas es la agricultura, la cual presentó valores de exportación de USD₂₀₂₄ \$4.65M en el municipio del mismo nombre, siendo sus principales productos el maíz, semillas de girasol y quebrantadas (US\$212k) [123]. Esta actividad es altamente dependiente del aporte de lluvias en la zona agrícola del Valle de Banderas y de Las Palmas, así como de la Sierra de El Cuale [116].

A pesar de tener un cierto grado de diversificación de fuentes económicas, el grado de marginación y el de rezago social en los municipios de la región presenta desigualdades importantes, por un lado el municipio de Bahía de Banderas presenta grados muy bajos en ambos indicadores, en contraste con el promedio del estado de Nayarit que presenta valores alto y medio respectivamente [119]; por

su parte Cabo Corrientes tiene una clasificación de bajo en ambas categorías [124]; así mismo, el municipio de Puerto Vallarta presenta una situación contradictoria al presentar niveles de algún grado de pobreza en cerca del 60% de la población, al mismo tiempo que un nivel bajo en rezago social [125].

En la misma tónica, un indicador socioeconómico importante es la disponibilidad del acceso a agua, donde se calcula que el uso agrícola tiene concesionado casi el 60% del agua superficial, seguido de la generación de energía eléctrica con el 35%, y dejando al uso público urbano con apenas el 4%. Mientras en el caso del aprovechamiento subterráneos la agricultura tiene valores similares, mientras que el 17.8% es público urbano, el 13.7% es de servicios y el 3.3% es industrial [126].

En cuanto a infraestructura se estima que la capacidad instalada de potabilización tuvo una producción de 37,547,109 m³ en el año 2022 con un 32% de pérdidas físicas del volumen total extraído [126].

2.6.3 Contexto energético regional

En México el sector de energía eléctrica está concentrado en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN), que es el conjunto de la infraestructura integral diseñada para generar, transmitir y distribuir electricidad en diferentes tensiones en todo el país. Como sistema energético está conformado por Centrales Eléctricas de distintas tecnologías, la Red Nacional de Transmisión (RNT), Redes Generales de Distribución (RGD) y redes particulares que hacen llegar la electricidad producida por las centrales hacia los usuarios [127], [128].

A su vez, este sistema se puede dividir en sistemas, siendo el más grande y más importante el Sistema Interconectado Nacional (SIN), conformado por 7 de las 8 Gerencias de Control Regional (GCR) del país (Central, Oriental, Occidental, Noroeste, Norte, Noreste y Peninsular), en las cuales se realiza una operación conjunta para atender a toda la diversidad de demandas y situaciones operativas [128].

Al 2023, en la GCR Occidental (OCC), región donde se encuentra la Bahía de Banderas, se tenía registro de que no existían centrales eléctricas privadas de relevancia, sino que casi el total de la energía es suministrada por CFE, específicamente mediante 3 plantas hidroeléctricas [128]. Mientras, en 2022 se registró que la OCC fue la gerencia que registró el mayor consumo anual acumulado, actualmente alcanzando una participación de 3,401,430 MWh, lo que equivale a 21.8% del total nacional [127], [128].

El proceso de suministro de energía en el país se divide según el consumo del usuario en suministro Básico, Calificado, de Último Recurso y Autoabastecimiento Remoto, los cuales a su vez se pueden clasificar en seis sectores principales: Residencial, Comercial, Servicios, Agrícola, Empresa Mediana y Gran Industria [128]. Algo importante a considerar es que los precios futuros de la

energía pueden ser inciertos debido a que dependen profundamente de condiciones climáticas, procesos de descarbonización, evolución de la matriz energética y el cambio tecnológico [129].

Algo que se puede esperar es que, debido a impactos derivados del cambio climático, se generen aumentos significativos de la demanda energética, lo cual se podría acrecentar por el inminente incremento de la demanda debido a la electrificación derivada de la transición energética [129].

2.6.4 Áreas Naturales Protegidas en la región

México es considerado un país megadiverso, el cual lo presenta gran riqueza en ecosistemas marinos, los cuales albergan aproximadamente 10 % de las especies descritas en el mundo [116], especialmente el litoral del Pacífico Mexicano presenta una enorme variedad de ecosistemas y hábitats con numerosas especies endémicas y transitorias [36].

La conservación de esta riqueza se ejerce mediante diversas acciones, siendo una de las más relevantes las llamadas Áreas Naturales Protegidas (ANP), las cuales son espacios que cuentan con distintas categorías de protección, objetivos y esquemas de zonificación, desde reservas de la biosfera y parques nacionales, hasta santuarios y áreas de protección de flora y fauna [130].

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) administraba un total de 232 en el año 2025, las cuales cubren poco más de 98 millones de hectáreas y de las cuales casi 75 millones de hectáreas corresponden a las 40 Áreas Marinas Protegidas (AMP) registradas [130].

Específicamente la Bahía de Banderas tiene dos AMP aledañas, por un lado, el Parque Nacional Islas Marietas, el cual cuenta con más de 1,300 hectáreas y se encuentra dentro de la Bahía de Banderas, siendo considerado como el sitio de mayor biodiversidad coralina en la Bahía [131]. Mientras, la zona cercana al litoral de Cabo Corrientes se encuentra una sección de la reserva de la biosfera Pacífico Profundo Mexicano, que es considerada el área de conservación más importante a nivel mundial en términos de biodiversidad y que comprende dos ecorregiones marinas, siendo la Pacífico Transicional Mexicano es la más grande del país con el 33 por ciento de la zona económica exclusiva [131].

La conservación de la alta diversidad marina y costera de la región del Pacífico Mexicano resulta estratégica su valor ecológico y los servicios ambientales que provee. Sin embargo, esta región muestra señales crecientes de presión derivadas del cambio climático, el crecimiento urbano, el desarrollo industrial, la contaminación y la sobrepesca [36].

Si bien la creación de Áreas Marinas Protegidas se ha consolidado como uno de los principales instrumentos de conservación y existe evidencia que señala que las ANP pueden ser altamente eficaces para preservar la biodiversidad, también persiste un debate respecto a su efectividad real, particularmente en contextos donde las capacidades institucionales y de vigilancia de parte de SEMARNAT, PROFEPA, y CONANP son limitadas [116]. Además, la gestión de estas áreas aún

enfrenta grandes problemáticas, como el hecho de que la legislación actual aún no prohíbe explícitamente actividades como la minería o la extracción de hidrocarburos dentro de estos espacios [116]. Aunado a esto, también debe tomar protagonismo la relación histórica de las comunidades indígenas y locales en estrategias de conservación, especialmente en un contexto donde el crecimiento poblacional y las políticas de desarrollo económico voraz han intensificado la degradación ambiental, transformación del paisaje y desplazamiento de comunidades [116].

Capítulo III. Metodología

Este capítulo describe la metodología para evaluar la pertinencia de implementar una planta hipotética de OTEC en Bahía de Banderas. El análisis se estructura a partir de los criterios de evaluación propuestos por la OCDE en su documento *Aplicación minuciosa de los criterios de evaluación* [19].

Con base en esta propuesta se elaboró la presente metodología mostrada en la Figura 7, la cual toma los cuatro elementos específicos de la pertinencia y los adapta a cuatro dimensiones de análisis: técnica, socioeconómica, climática y financiera. Además, se determina un área de influencia para cada una de las 4 dimensiones, de forma que se puedan estudiar con un marco bien definido.

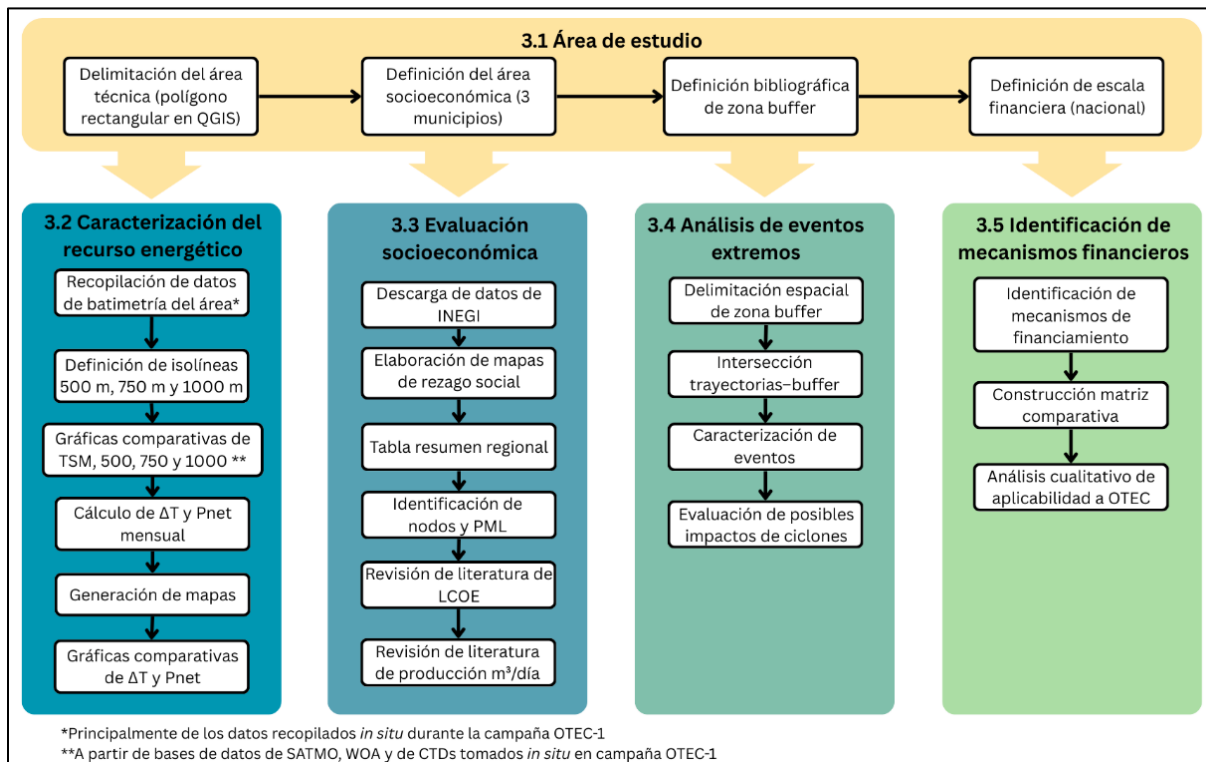


Figura 7. Metodología general. Elaboración propia

A partir de integrar los resultados obtenidos en las 4 dimensiones analizadas se determina la pertinencia del desarrollo de una tecnología de este tipo, de modo que esto pueda servir como un primer mapeo sobre qué factores se deberán considerar para posteriores estudios de factibilidad de la misma.

3.1. Área de estudio

El área de estudio central es la región de Bahía de Banderas, dentro de la cual se seleccionaron áreas de trabajo diferenciadas para cada una de las dimensiones de análisis, esto con la finalidad de que cada evaluación se realice a la escala espacial más adecuada de acuerdo con la naturaleza de la dimensión en cuestión y sus objetivos específicos. De esta forma se logró analizar la pertinencia de la implementación de una planta OTEC desde distintos enfoques, asociando cada área de estudio con la naturaleza de cada elemento evaluado y manteniendo marcos espaciales bien definidos y coherentes entre sí.

3.1.1. Dimensión técnica

La dimensión técnica buscó caracterizar la disponibilidad del recurso energético, por lo que se definió como área de estudio, en el Sistema de Información Geográfica (SIG) QGIS, un polígono rectangular delimitado mediante coordenadas geográficas (EPSG:4326) en los siguientes vértices de referencia:

- Punto 1: 20.408146607 N, -105.729122705 O
- Punto 2: 20.770359876 N, -105.731094050 O
- Punto 3: 20.76962041 N, -105.23015683 O
- Punto 4: 20.40740785 N, -105.23409848 O

Este polígono se estableció con base en la cobertura espacial de los datos de batimetría disponibles en bases de datos públicas y otros estudios consultados, y la extensión de los datos satelitales de temperatura superficial y subsuperficial. Con estas referencias se aseguró de cubrir la totalidad de la región de la bahía de banderas.

3.1.2. Dimensión socioeconómica

En el caso de la dimensión socioeconómica, el área de estudio se definió como la región de influencia inmediata de una posible planta OTEC, conformada el área de los municipios de Puerto Vallarta y Cabo Corrientes, en el estado de Jalisco, y Bahía de Banderas, en el estado de Nayarit. Esta selección se debe a que estos son los municipios fronterizos con la Bahía y a su carácter como posibles beneficiarios directos de los servicios asociados a la tecnología OTEC.

3.1.3. Dimensión climática

Para la dimensión climática, el área de estudio se delimitó mediante una zona buffer espacial fija de 150 km alrededor del área técnica de estudio, definida con base en literatura especializada sobre la influencia y efectos asociados a ciclones tropicales. Este buffer permitió analizar los eventos históricos reportados en la región y clasificarlos para identificar potenciales impactos sobre una instalación OTEC.

3.1.4. Dimensión financiera

Finalmente, la dimensión financiera se abordó a escala nacional, debido a que se busca identificar los posibles mecanismos de financiamiento vigentes para este tipo de tecnologías de generación eléctrica, las cuales dependen de decisiones, instrumentos y políticas públicas definidos a nivel federal.

3.2. Caracterización de la disponibilidad del recurso energético

Para la caracterización del recurso energético asociado a la tecnología OTEC se siguieron las recomendaciones reportadas en la literatura especializada [69], evaluando los límites de profundidad de 500 m, 750 m y 1000 m. A partir de estos umbrales se determinó la disponibilidad energética en términos de diferencia de temperatura (ΔT) entre la Temperatura Superficial del Mar (TSM) y las temperaturas de cada profundidad (500, 750, y 1000 m) considerada dentro del área de estudio. Con base en dicha disponibilidad térmica se estimó el potencial energético susceptible de ser aprovechado mediante la tecnología OTEC.

3.2.1. Delimitación batimétrica

La delimitación batimétrica tuvo como objetivo identificar las zonas del polígono de estudio que alcanzaran las profundidades mínimas requeridas para cada escenario evaluado, definiendo las isolíneas correspondientes a 500 m, 750 m y 1000 m.

Se descargaron bases de datos de batimetría satelital provenientes del (GEBCO) [16], las cuales se utilizaron como referencia general de la morfología submarina regional. De manera complementaria, se incorporó información *in situ* obtenida durante la campaña oceanográfica OTEC-1 ¹del proyecto CEMIE- Océano [15], realizada del 9 al 21 de marzo de 2022, la cual generó mapas de batimetría multihaz para una porción relevante de la Bahía de Banderas. Asimismo, se integró información batimétrica previamente obtenida por Mortera [132].

Todas las bases de datos, tanto satelitales como *in situ*, se recortaron al polígono designado en la sección 3.1.1 y fueron procesados en QGIS, donde se filtraron por profundidad para comparar su correspondencia espacial y evaluar posibles discrepancias entre los distintos métodos de

¹ Los datos de la campaña oceanográfica OTEC-1 fueron reportados en el Reporte Técnico de la Campaña de Investigación Oceanográfica OTEC-1, Proyecto CEMIE-O, el cual no fue publicado; sin embargo, dichos datos son referidos en la tesis de maestría [15].

adquisición. A partir de la integración y el análisis comparativo de ambas fuentes, se definieron las isolíneas correspondientes a 500 m, 750 m y 1000 m dentro del polígono, obteniendo un mapa con las isolíneas reales en el área de estudio.

3.2.2. Análisis térmico

El análisis térmico tuvo como finalidad cuantificar el gradiente térmico vertical en el área de estudio. Para ello, se obtuvieron datos de TSM (en °C) y de temperaturas profundas (T_p , en °C) a 500 m, 750 m y 1000 m, que posteriormente se compararon de forma estacional.

Los datos de TSM se obtuvieron del (SATMO) [17], del cual se descargó una serie temporal diaria en formato ráster correspondiente al periodo comprendido entre el 1 de enero de 2004 y el 31 de diciembre de 2023 (19 años), con una resolución espacial de $0.01^\circ \times 0.01^\circ$. Para las temperaturas en profundidad se utilizó la base de datos (WOA) [18], de la cual se descargaron capas ráster correspondientes al periodo 1956–2018 con una resolución espacial de $\frac{1}{4}^\circ \times \frac{1}{4}^\circ$. Dado que la resolución espacial de las capas del WOA era distinta a la de la SATMO, estas capas fueron remuestreadas mediante interpolación espacial a una resolución de $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ para asegurar la compatibilidad espacial entre ambos conjuntos de datos.

Posteriormente, los datos se procesaron en el lenguaje R para calcular promedios anuales, mensuales y estacionales. Con el fin de verificar la coherencia entre las fuentes de información satelital, se realizó un ejercicio comparativo con datos de CTD obtenidos *in situ* durante la expedición OTEC-1 [15]. En esta expedición se realizaron tres perfiles de CTD en puntos diferentes, por lo que se extrajeron los valores correspondientes y se compararon con las mediciones directas, siendo esta comparación de carácter exploratorio y sin constituir una validación estadística formal, debido a la limitada disponibilidad de mediciones *in situ*.

Finalmente, se calcularon los valores promedio mensuales de la diferencia de temperatura (ΔT) entre la superficie y cada una de las profundidades evaluadas (500 m, 750 m y 1000 m) (ver Ecuación 1). Posteriormente, estos valores se agruparon en promedios trimestrales de las estaciones de invierno (diciembre–febrero), primavera (marzo–mayo), verano (junio–agosto) y otoño (septiembre–noviembre). Con base en estos resultados se generaron los mapas estacionales de ΔT para cada profundidad considerada.

$$\Delta T_{j,k} = TSM_{j,k} - T_{pi} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde $\Delta T_{j,k}$ es la diferencia de temperatura para cada pixel (j, k); $TSM_{j,k}$, es la temperatura superficial de mar en el pixel (j, k); y T_{pi} , es la temperatura profunda a cada nivel de profundidad i .

3.2.3. Estimación del potencial energético

A partir de los valores de ΔT , se estimaron los órdenes de magnitud de la potencia neta para una planta de 50 MW netos del tipo híbrido, empleando las formulaciones propuestas por Rajagopalan y Nihous [133] (ver Ecuaciones 2 y 3); así como las consideraciones de Garduño-Ruiz [134] y se obtuvieron mapas de distribución espacial de la potencia neta estacional.

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

$$P_{pump} = Q_{cw} 0.30 \frac{\rho C_p \varepsilon_{tg} \gamma}{4(1+\gamma)} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde el Q_{cw} es el volumen de flujo de agua fría necesario para obtener cierta potencia ($Q_{cw} = 192.3 \text{ m}^3/\text{s}$); γ es la razón entre el flujo de agua caliente y fría, considerado igual a 1.5; ΔT es la diferencia de temperatura entre agua superficial y profundidad (500 m, 750 m, 1000 m); T es la temperatura absoluta de agua marina superficial, en grados Kelvin; ρ es el promedio de la densidad de agua de mar (1025 kg/m^3); C_p es la entalpía específica del agua marina (0.004 MJ/kgK) y ε_{tg} es la eficiencia del turbogenerador (0.75). La potencia de la bomba (Ecuación 3), corresponde al 30 % del primer término en el lado derecho (Ecuación 2), considerando condiciones ideales ($\Delta T_m = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ y $T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$).

Adicionalmente, se realizó una comparación gráfica entre el ΔT ($^\circ\text{C}$) y la potencia neta estimada (MW), con el fin de analizar la relación de dependencia entre ambos parámetros a escala mensual, permitiendo visualizar la sensibilidad del potencial energético ante variaciones en el gradiente térmico.

3.3. Evaluación socioeconómica de la necesidad poblacional de servicios

La evaluación en la dimensión socioeconómica tuvo como objetivo analizar la necesidad de servicios básicos en el área de influencia del proyecto, específicamente electricidad y agua potable en la vivienda, con el fin de determinar si la implementación de una planta OTEC podría contribuir a atender brechas existentes en la región. Para ello se identificó espacialmente el nivel de rezago social especialmente en los rubros de población y viviendas sin acceso a servicios energéticos y de suministro de agua potable, además, se hizo una evaluación comparativa de costos energéticos regionales y la tecnología OTEC, así como la estimación del posible suministro de agua desalinizada asociado a la misma.

3.3.1. Análisis espacial del rezago social

Se identificó la distribución geográfica del Grado de Rezago Social (GRS) 2020 en los municipios de Puerto Vallarta, Cabo Corrientes y Bahía de Banderas. A partir de descargar las capas de geometrías municipales del INEGI y las capas de GRS por Área Geoestadística Básica (AGEB) (2020). Las capas se procesaron en QGIS, filtrando únicamente las AGEB correspondientes a los tres municipios, con lo cual se generó un mapa de distribución territorial del rezago social.

3.3.2. Cuantificación de población y viviendas sin acceso a servicios básicos

A partir de las bases de datos del Índice de Rezago Social (IRS) por localidad (2020), se filtraron las localidades correspondientes y se cuantificaron específicamente la población y las viviendas sin acceso a agua y a energía eléctrica, para lo cual solo se consideró la información sobre el número de habitantes, el número de viviendas, las viviendas sin agua y las viviendas sin electricidad. Con esta información se elaboró una tabla resumen desagregada por municipio y total regional.

3.3.3. Evaluación comparativa de costos energéticos en la región

Para contextualizar el entorno energético en el que podría insertarse una planta de generación eléctrica OTEC, se realizó una revisión bibliográfica para identificar valores representativos del Precio Marginal Local (PML), que refleja el costo de la electricidad en un punto específico de la red, considerando generación y restricciones de transmisión [135]. Se consultó la información de PML correspondiente a la región de estudio y con esto se obtuvo un valor de referencia correspondiente al año 2023.

Posteriormente, se identificaron las principales tecnologías de generación eléctrica que podrían abastecer la región de estudio mediante la revisión de los diagramas unifilares del sistema eléctrico publicados por el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE). A partir de esta identificación, se recopilaron valores de Costo Nivelado de Energía (LCOE) reportados en la literatura especializada para cada una de estas tecnologías, así como para la tecnología OTEC. El LCOE es una medida que nos permite conocer el costo promedio de generar electricidad con una tecnología específica y, por lo tanto, nos permite realizar comparaciones [134].

Con esta información se elaboró un cuadro comparativo de los LCOE de las distintas tecnologías para evaluar la posición relativa, en términos de costos, de la tecnología OTEC dentro del conjunto de opciones de generación eléctrica en la región.

3.3.4. Estimación del posible suministro de agua desalinizada

Finalmente, se estimó el posible aporte en términos de suministro de agua desalinizada asociado a una planta OTEC hipotética de 50 MW. Para ello, se recopilaron estimaciones de producción de agua desalinizada reportadas en tesis y literatura técnica previa, expresadas en m³/día.

Dicha producción potencial fue comparada con los datos obtenidos en la Sección 4.2.2 de población sin acceso a agua potable identificada en el área de estudio, utilizando un consumo promedio per cápita que se detalla en la sección de resultados. Esta aproximación permitió obtener un primer orden de magnitud del posible impacto de la planta en términos de cobertura de agua potable, sin constituir una estimación hidráulica detallada.

3.4. Análisis del estado del arte de la influencia de eventos extremos sobre sistemas OTEC

El análisis de la posible influencia de ciclones en la tecnología OTEC tuvo como objetivo evaluar la exposición histórica de la región de la Bahía de Banderas a ciclones tropicales, delimitando una zona buffer de 150 km de radio y caracterizando los eventos ocurridos en la misma. Además, se analizaron los posibles impactos sobre sistemas OTEC, tomando como referencia experiencias documentadas en otras infraestructuras energéticas offshore, de forma documental y descriptiva, basándose exclusivamente en fuentes bibliográficas y bases de datos históricas.

3.4.1. Delimitación de zona buffer y caracterización de eventos históricos

Se delimitó una zona de influencia de ciclones tropicales mediante la generación de un buffer espacial fijo de 150 km alrededor del área técnica de estudio. Este buffer se definió considerando que, de acuerdo con literatura especializada [136], los efectos asociados a ciclones tropicales pueden extenderse varios kilómetros desde el centro del sistema, pudiendo afectar infraestructuras marinas aun cuando no exista un impacto directo del ciclón sobre la zona de interés o infraestructura.

Posteriormente, se trabajó con la base de datos histórica de trayectorias de ciclones tropicales del Pacífico Nororiental publicada por la NOAA. La información se consultó mediante la interfaz de visualización disponible en línea proporcionada por la misma institución, la cual permite analizar las trayectorias históricas de ciclones tropicales en relación con áreas geográficas específicas. Para este análisis se seleccionó el periodo comprendido entre 1970 y 2025, con el objetivo de incluir el mayor número posible de eventos registrados.

A partir de esta base de datos se identificaron todos los eventos cuya trayectoria intersectó con el área buffer previamente delimitada y que fueron catalogados en categoría igual o superior a 2 en la escala Saffir-Simpson al considerarse que esta categoría representa el umbral mínimo a partir del cual podrían generarse daños relevantes para infraestructura marina. Una vez identificados, se realizó una caracterización descriptiva de cada evento mediante la elaboración de una tabla en la que se incluyeron variables como año de ocurrencia, categoría máxima alcanzada según la escala Saffir-Simpson, clasificación por vecindad según la distancia aproximada desde el centro de la Bahía de Banderas hasta el punto más cercano de la trayectoria del ciclón, así como los impactos reportados en infraestructura.

Con esta información se identificó la ocurrencia histórica de ciclones tropicales cercanos al área de estudio y sus posibles efectos, estableciendo así un marco de referencia para discutir la exposición y vulnerabilidad potencial de una infraestructura OTEC en la región.

3.4.2. Matriz comparativa de posibles impactos en sistemas OTEC

Con el fin de contextualizar los posibles efectos de ciclones tropicales sobre una planta OTEC offshore, se realizó una revisión de literatura técnica y reportes de casos sobre impactos de eventos extremos en infraestructuras energéticas marinas, incluyendo plataformas petroleras offshore, parques eólicos marinos y otras tecnologías de generación en ambiente oceánico.

A partir de la revisión bibliográfica se identificaron los principales tipos de impacto documentados y, con base en esta información, se construyó una matriz comparativa que relacionó el tipo de amenaza climática, tipo de impacto observado y su posible implicación para un sistema OTEC. Esta matriz permitió trasladar de manera cualitativa la evidencia disponible en otras tecnologías hacia un escenario hipotético de instalación OTEC en Bahía de Banderas.

3.5. Identificación de mecanismos de financiamiento

La dimensión financiera se integró a partir de un mapeo general de los mecanismos de financiamiento existentes que potencialmente podrían ser aplicables a un proyecto de generación eléctrica en México, priorizando aquellos instrumentos que, por sus características financieras, operativas y de elegibilidad, presentan condiciones de compatibilidad con tecnologías como la OTEC.

3.5.1. Matriz de mapeo de mecanismos de financiamiento

Este mapeo consistió en la identificación de los principales instrumentos de financiamiento vigentes a nivel nacional e internacional compatibles con proyectos de energía renovable, clasificándolos en las categorías de financiamiento público nacional, financiamiento internacional e instrumentos privados o esquemas mixtos. Posteriormente, cada mecanismo identificado se integró en una matriz en la cual se analizaron cuatro elementos básicos: la institución otorgante, el tipo de apoyo ofrecido (crédito, subsidio, garantía, fondo o esquema de asociación), el rango aproximado de montos disponibles y los requisitos generales de elegibilidad.

A partir de esta matriz se estableció un panorama general del tipo de financiamiento disponible, sus condiciones de acceso y su posible aplicabilidad a un proyecto OTEC. Asimismo, se realizó un análisis del nivel de alineación de cada mecanismo con proyectos de energías renovables, especialmente en tecnologías emergentes como OTEC, identificando barreras financieras asociadas a su desarrollo en el contexto actual del sector energético mexicano y posibles oportunidades.

Capítulo IV. Resultados y discusión

La realización de este trabajo dio como resultados una serie de análisis en diversas dimensiones, los cuales pretenden dar un panorama general sobre los impactos, positivos y negativos, que tendría la implementación de tecnología OTEC en la región de Bahía de Banderas. Si bien estas dimensiones no pretenden abarcar todas las posibles implicaciones de su instalación, si dan un panorama amplio sobre cómo debería hacerse dicha implementación y qué factores no podrían faltar, tanto en la fase de planeación como en la de implementación y funcionamiento.

4.1. Caracterización de la disponibilidad del recurso energético

4.1.1. Delimitación batimétrica

El área de estudio para el análisis de potencial energético se definió a partir de seleccionar el área perteneciente a la Bahía de Banderas, teniendo como límite al norte Punta Mita, Nayarit y como límite al sur el poblado de Los Corrales, Jalisco. A partir del polígono definido (ver sección 3.2.1) como área de estudio, en la Figura 8 se muestran las batimetrías resultantes de la integración de las bases de datos provenientes de GEBCO, OTEC-1 y Mortera, donde la isolínea morada representa la profundidad de 500 m, la azul 750 m y la verde 1000 m. Se resalta que en el área cercana a Puerto Vallarta se forman dos grandes cañones que bajan a altas profundidades y que, en la costa del municipio de Cabo Corrientes, se encuentra un talud que baja súbitamente a más de 1000 m de profundidad. Estos hallazgos son importantes porque significan que la región cuenta con puntos donde el talud se encuentra cercano a la costa y donde se puede tener acceso al agua fría de las profundidades, lo cual representa grandes ventajas para la tecnología OTEC.

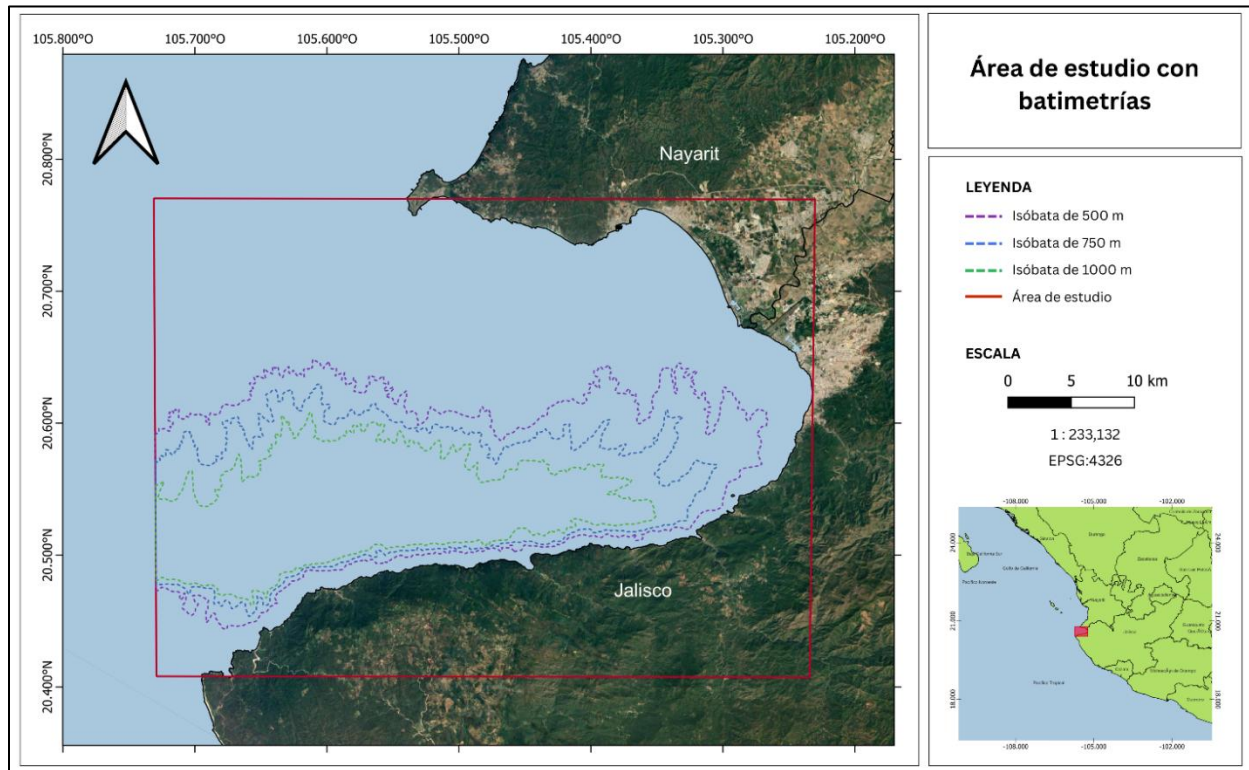


Figura 8. Área de estudio con representación de isóbatas. Elaboración propia

4.1.2. Análisis térmico

La Tabla 2 muestra las estadísticas descriptivas de temperatura a 500 m, 750 m y 1000 m de profundidad dentro del polígono de estudio. La temperatura a 1,000 m de profundidad presenta una variabilidad muy reducida, de apenas 0.0071 °C, lo cual puede ser casi despreciable en el contexto de OTEC, mientras que en los 500 m se observa una mayor variabilidad térmica, probablemente asociada a los cambios estacionales, arrojando una desviación de 0.0183 °C.

Tabla 2. Estadísticas descriptivas de la temperatura a diferentes profundidades

Profundidad (metros)	Media (°C)	Desviación estándar (°C)	Mínimo (°C)	Máximo (°C)
500	7.9066	0.0183	7.8748	7.9409
750	5.7175	0.0059	5.7084	5.72982
1000	4.4450	0.0071	4.4343	4.461124

El proceso de verificación de la coherencia entre fuentes de información, en el cual realizó una comparación exploratoria, entre los valores obtenidos a partir de datos satelitales y los perfiles de temperatura registrados *in situ* mediante CTD durante la expedición OTEC-1 (ver Tabla 3); mostró que no existen diferencias significativas entre ambas fuentes de información. El rango de variación

de valores se mantuvo entre 0.0007 °C y cerca de 0.32 °C. Si bien algunas variaciones podrían atribuirse a variaciones temporales asociadas al momento específico de las mediciones, ya que algunos perfiles se realizaron durante horarios nocturnos, en general los datos son consistentes.

Tabla 3. Comparación de datos de CTD con datos satelitales procesados.

Estación de muestreo	Fecha y hora de medición	Temperatura <i>in situ</i> (°C)	Temperatura satelital (°C)	Diferencia (°C)
CTD 3 500 m (105.5374°W, 20.52328°N)	10/03/2022 18:17	8.0096	7.9067	0.103
CTD 3 750 m (105.5374°W, 20.52328°N)		6.0432	5.7175	0.3256
CTD 3 1000 m (105.5374°W, 20.52328°N)		4.5234	4.4450	0.0783
CTD 4 500 m (105.5046°W, 20.52938°N)	11/03/2022 01:24	7.9074	7.9066	0.0007
CTD 4 750 m (105.5046°W, 20.52938°N)		6.037	5.7175	0.3194
CTD 4 1000 m (105.5046°W, 20.52938°N)		4.5707	4.4450	0.1256
CTD 9 500 m (105.6059°W, 20.50146°N)	20/03/2022 03:06	7.9232	7.9066	0.0165
CTD 9 750 m (105.6059°W, 20.50146°N)		5.8405	5.7175	0.1229
CTD 9 930 m (105.6059°W, 20.50146°N)		4.9591	4.4450	N/A

Nota: Datos provenientes de la Campaña oceanográfica OTEC-1

En la Figura 9 se presentan los comportamientos mensuales de los valores promedio de diferencia de temperatura (ΔT) entre la superficie y cada una de las profundidades analizadas. El comportamiento del ΔT es similar para las tres profundidades, lo cual es atribuible a un comportamiento altamente influenciado por las variaciones estacionales, puesto que los valores más bajos se registran durante los meses de invierno (diciembre-febrero) y primavera (marzo-mayo), mientras que los valores más elevados se alcanzan durante verano (junio-agosto), y otoño (septiembre-noviembre), particularmente entre julio y octubre. En el caso particular de la

profundidad de 1000 m, los valores máximos superan los 25 °C durante el mes de agosto, mientras que a 750 m se aproximan a 24 °C y a 500 m alcanzan aproximadamente 22 °C.

Además del incremento estacional del ΔT , es posible observar en el comportamiento de las tres profundidades analizadas que durante los meses de verano y otoño los valores mínimos y máximos se encuentran más cercanos al valor promedio, es decir que se presenta una mayor estabilidad térmica durante este periodo. Por el contrario, durante los meses de invierno y primavera la diferencia entre los valores mínimos y máximos respecto al promedio es mayor, incluso llegando a rondar el medio grado de diferencia, lo que refleja una mayor variabilidad en el gradiente térmico.

Este patrón puede atribuirse principalmente al comportamiento de la temperatura superficial del mar, la cual presenta variaciones más pronunciadas a lo largo del año debido a cambios en la radiación solar y a los procesos de mezcla superficial, lo que provoca que incremente la temperatura superficial durante los meses de verano, generando mayores diferencias de temperatura.

Desde la perspectiva del aprovechamiento energético mediante tecnología OTEC, este comportamiento resulta favorable, ya que durante los meses de verano y otoño no solo se alcanzan los mayores gradientes térmicos, sino que estos se mantienen relativamente estables durante periodos prolongados, lo cual podría favorecer condiciones de operación más constantes para una planta de este tipo.

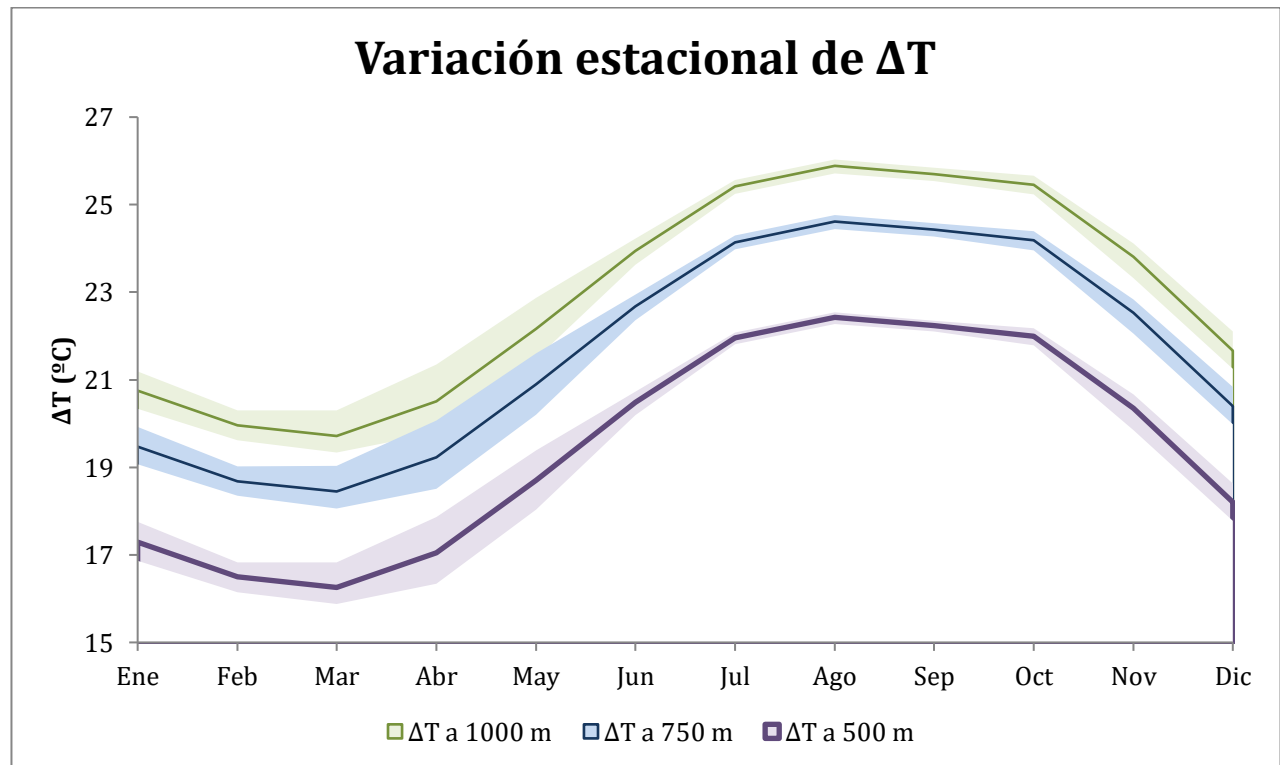


Figura 9. Variación estacional de ΔT a las tres profundidades analizadas (promedio y rango mínimo-máximo)

En cuanto a la distribución espacial de los gradientes térmicos, la cual se agrupó en promedios trimestrales correspondientes a invierno, primavera, verano y otoño conforme a lo establecido anteriormente (ver Sección 3.2.2.), se observa que la diferencia estacional está claramente marcada en cada profundidad, donde la temporada de invierno y primavera presenta en todos los casos los valores más bajos.

En el caso de la profundidad de 500 m, los mapas presentados en la Figura 10 demuestran que durante invierno y primavera el gradiente térmico se mantiene relativamente estable en valores cercanos a 17 °C, mientras que durante la transición hacia verano se observa un incremento de temperatura notable, probablemente asociado al calentamiento de la superficie oceánica. Este comportamiento se mantiene durante verano y otoño, estaciones en las cuales se registran las mayores diferencias de temperatura de hasta 21.6 °C, hasta que nuevamente disminuyen con la entrada del invierno.

Asimismo, los mapas espaciales muestran que los valores más elevados de ΔT en las cuatro estaciones se concentran hacia el sector noroeste del polígono de estudio, en dirección al océano abierto.

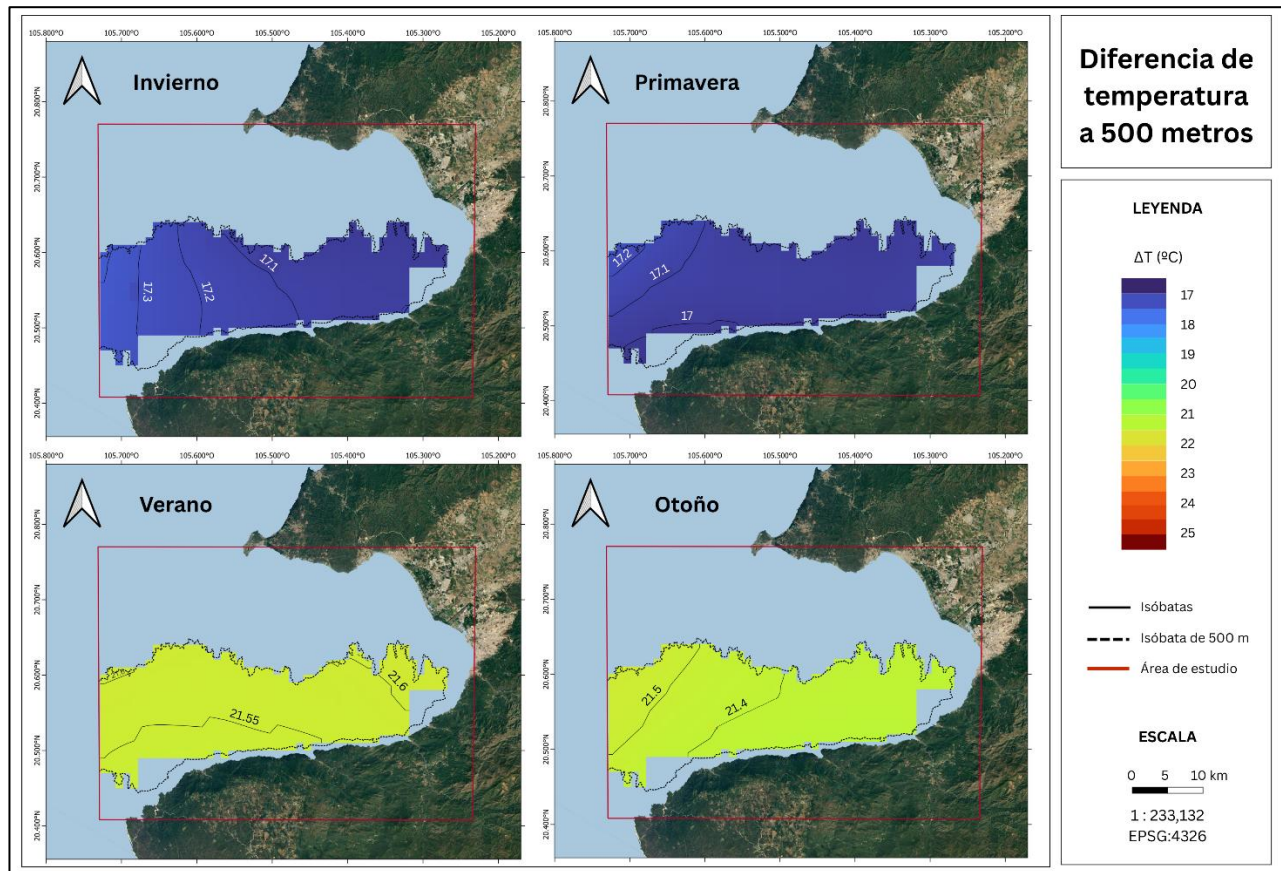


Figura 10. Diferencia de temperatura a 500 metros por estación. Elaboración propia

Para la profundidad de 750 m, la Figura 11 presenta los mapas donde se muestran claras tendencias estacionales similares a las registradas a 500 m; sin embargo, los valores de ΔT son considerablemente mayores. En este caso, durante la primavera se registran valores cercanos a 19.2 °C, mientras que durante el otoño se alcanzan valores de hasta 23.6 °C. Estos valores ya son más cercanos al rango mínimo de 20 °C para considerar condiciones favorables para el funcionamiento de sistemas OTEC.

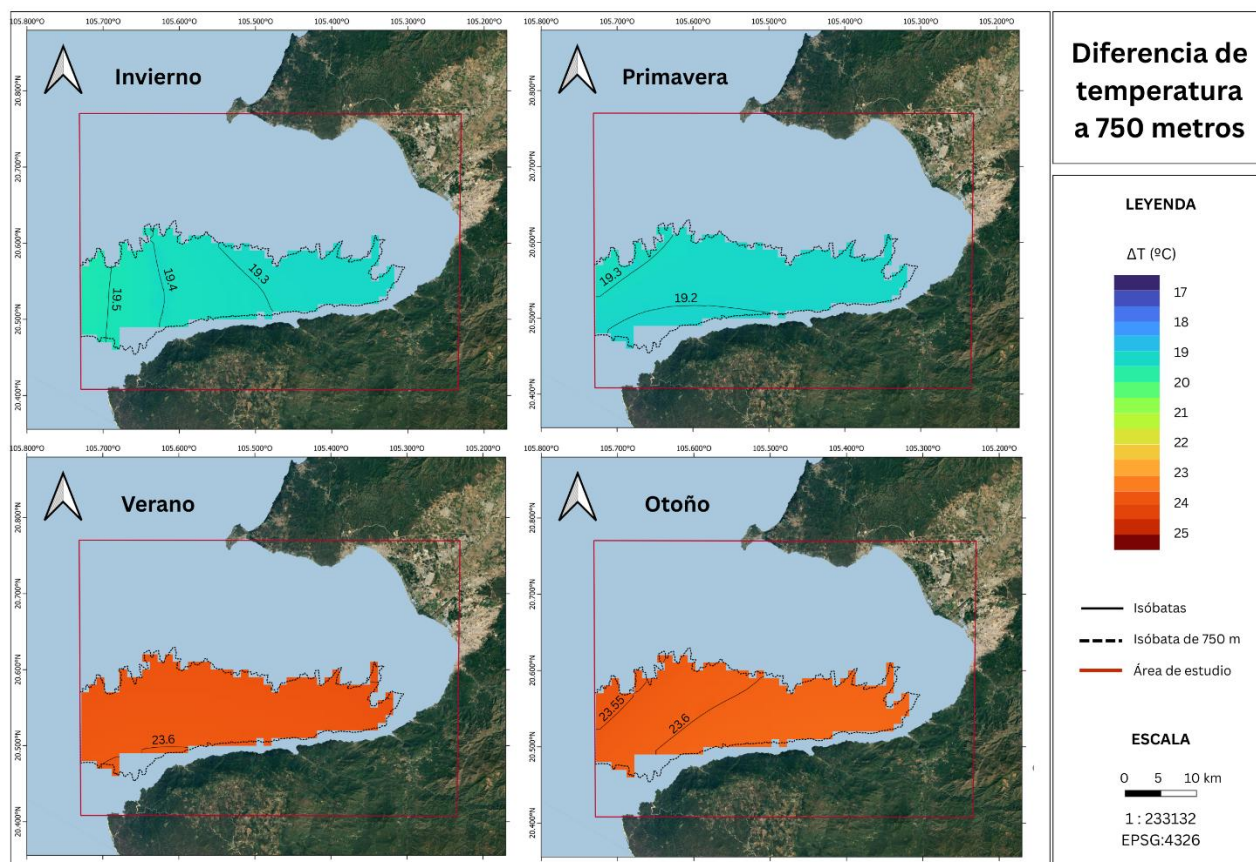


Figura 11. Diferencia de temperatura a 750 metros por estación. Elaboración propia

Finalmente, los mapas de la profundidad de 1000 m, presentados en la Figura 12, muestran nuevamente un comportamiento estacional similar, pero con diferencias de temperatura aún mayores. Mientras que el valor menor es el correspondiente a la primavera con 20.5 °C, durante verano y otoño se alcanza una diferencia de 25 °C, particularmente en zonas relativamente cercanas a la costa.

Un factor que caracteriza los valores de esta profundidad es que, incluso durante los meses más fríos del año, el gradiente térmico supera los 20 °C de umbral mínimo recomendable para la operación eficiente de sistemas OTEC. Esto sugiere que, a esta profundidad, las condiciones térmicas podrían

permitir un funcionamiento relativamente estable y eficiente de una planta OTEC durante todo el año ya que los valores de $\Delta T > 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ pueden aumentar la generación de energía hasta en un 15 % [137].

Además, la cercanía a la costa de altos valores y grandes profundidades podría reducir la longitud de las tuberías necesarias para la captación de agua fría y caliente o de los cables para su interconexión, lo que disminuiría potencialmente los costos de instalación y operación del sistema.

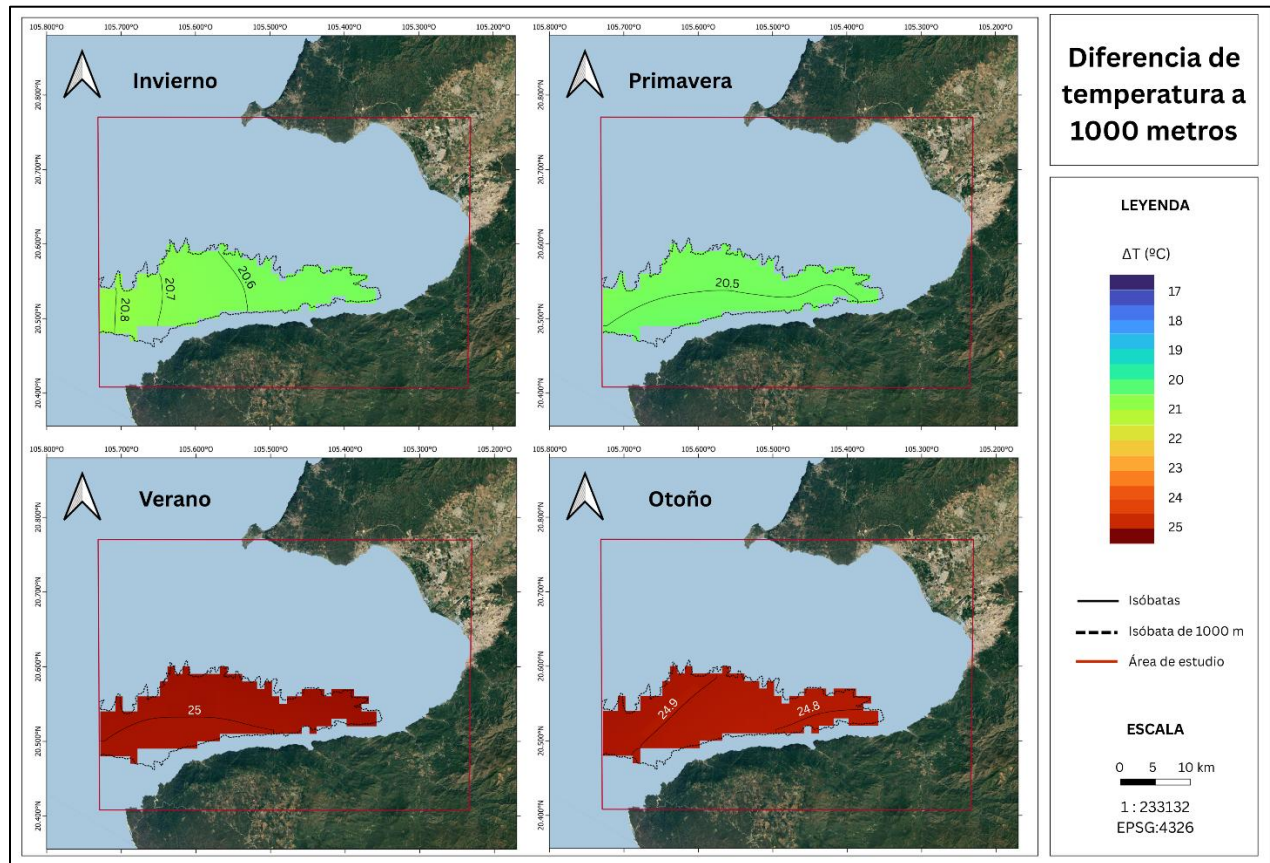


Figura 12. Diferencia de temperatura a 1,000 metros por estación. Elaboración propia

4.1.3. Estimación del potencial energético

Para la profundidad de 500 metros, la Figura 13 muestra que el comportamiento estacional de la potencia neta reproduce el mismo patrón observado previamente en los mapas de ΔT . Es decir, durante los meses de invierno y primavera, cuando el gradiente térmico es menor, también se registran valores más bajos de potencia neta. En contraste, durante el verano y el otoño, cuando el diferencial térmico aumenta, se observan los valores más altos de potencia. En este caso, los valores máximos alcanzan aproximadamente 74 MW, concentrándose principalmente en zonas cercanas a la costa de Cabo Corrientes.

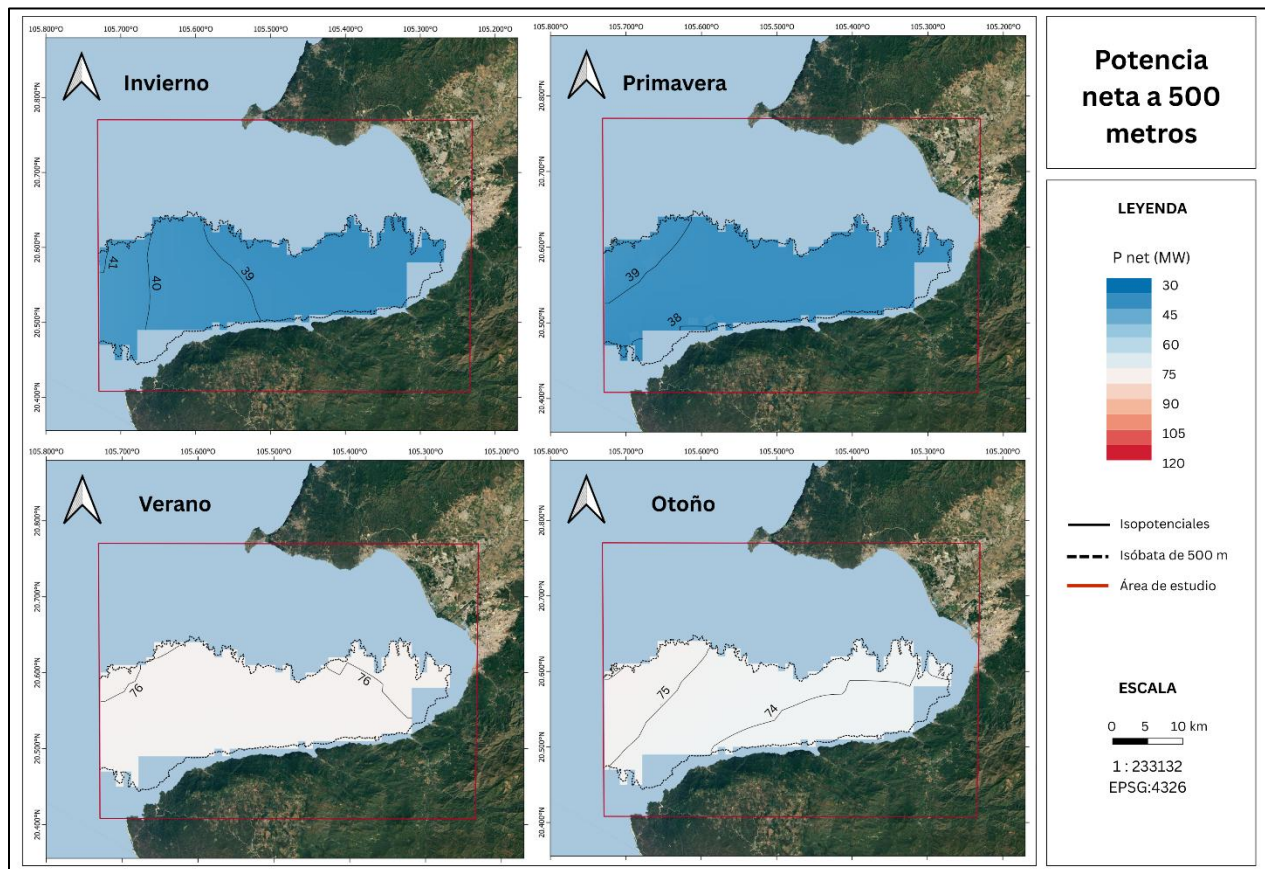


Figura 13. Potencia neta a 500 metros por estación. Elaboración propia

Para la profundidad de 750 metros, se observa en la Figura 14 nuevamente el mismo patrón estacional, aunque con valores de potencia más elevados. Durante los meses con menor potencial energético se registran valores cercanos a 56 MW, mientras que durante los meses de verano estos valores aumentan considerablemente, alcanzando aproximadamente los 96 MW, lo cual representa un incremento cercano al 30 % en verano respecto a los valores registrados a 500 metros durante la misma temporada.

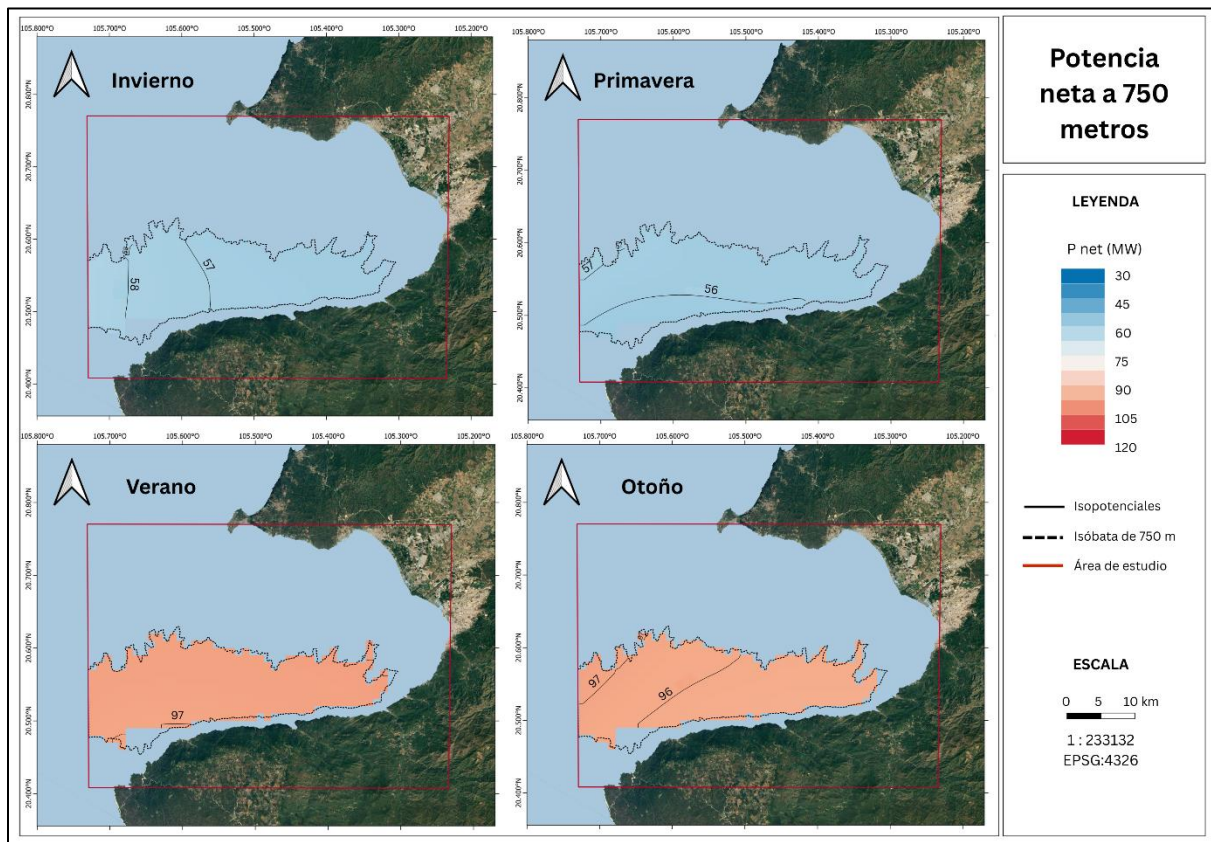


Figura 14. Potencia neta a 750 metros por estación. Elaboración propia

Finalmente, para la profundidad de 1000 metros, cuyos resultados se presentan en la Figura 15, se observa nuevamente el mismo comportamiento estacional. Sin embargo, a esta profundidad se observa que, incluso durante los meses de invierno y primavera, los valores de potencia neta se mantienen cercanos a 67 MW, lo cual es comparable con los valores máximos observados para la profundidad de 500 metros. Durante los meses de mayor potencia, entre verano y otoño, los valores estimados alcanzan un pico de potencia de aproximadamente 109 MW, lo que representa un incremento cercano al 50 % respecto a los valores obtenidos a 500 metros para los mismos meses.

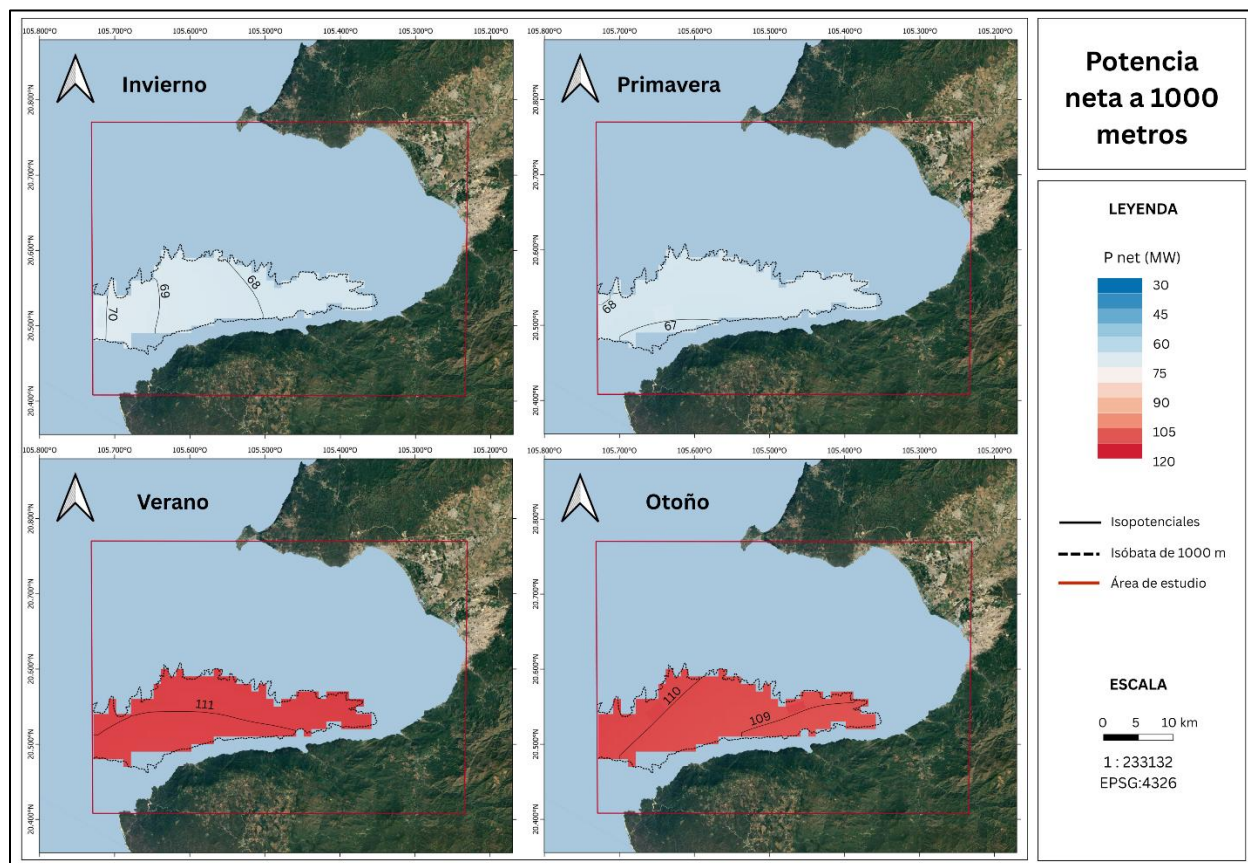


Figura 15. Potencia neta a 1,000 metros por estación. Elaboración propia

Adicionalmente, la comparación gráfica entre el diferencial de temperatura (ΔT) y la potencia neta (P_{net}) para cada profundidad mostrada en la Figura 16, mostraron la estrecha interrelación entre los dos parámetros antes evaluados.

La Figura 16A, correspondiente a 500 metros, muestra que cuando el ΔT alcanza su valor mínimo cercano a $16.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, la potencia asociada es relativamente baja, con valores cercanos a 32 MW. Por el contrario, cuando el diferencial térmico aumenta hasta aproximadamente $21\text{ }^{\circ}\text{C}$, la potencia neta estimada supera los 80 MW.

Asimismo, la Figura 16B correspondiente a la profundidad de 750 metros, muestra una tendencia similar, aunque con valores de potencia considerablemente mayores. En este caso, incluso con valores relativamente bajos de ΔT durante el invierno (del orden de $19\text{ }^{\circ}\text{C}$), la potencia estimada ya se aproxima a 50 MW. Durante los meses de verano, cuando el diferencial térmico aumenta, los valores de potencia superan los 100 MW.

Finalmente, la Figura 16C, correspondiente a la profundidad de 1000 metros, muestra de manera consistente los valores más elevados de potencia. En este caso, incluso el punto más bajo del gradiente térmico, cercano a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, se asocia con potencias cercanas a 60 MW, mientras que el

punto máximo, superior a 25 °C durante el verano, el valor de potencia se duplica, presentando valores cercanos a 120 MW.

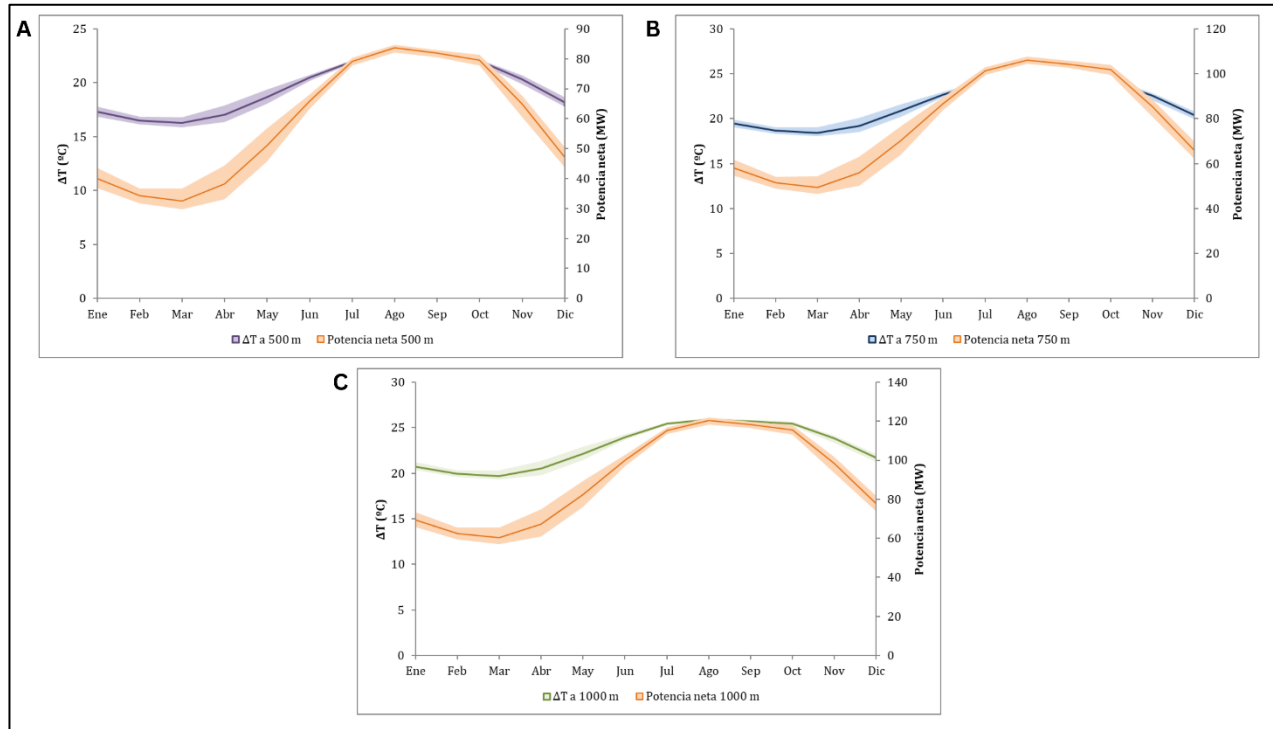


Figura 16. Comparación mensual de ΔT vs Pnet para 500, 750 y 1,000 metros. Elaboración propia

4.1.4. Discusión sobre dimensión técnica

El comportamiento anual del ΔT a las profundidades de 750 m y 1000 m muestran un comportamiento más estable a lo largo del año en comparación con la profundidad de 500 m, lo cual sugiere que estas profundidades presentan condiciones más favorables para el funcionamiento continuo de la tecnología OTEC. Además, los valores de potencia estimados indican que ambas profundidades podrían ofrecer niveles de generación energética adecuados, aunque, si se tuviera que escoger una opción, la profundidad de 1,000 m definitivamente sería la que presenta mejor rango de funcionamiento para la planta, aunque este implique una mayor longitud de cable submarino para transportar energía.

En el caso de la profundidad de 500 m, la instalación de la toma de agua podría presentar problemas técnicos asociados a que durante los meses de invierno y primavera los valores de potencia disminuyen de forma considerable, lo que podría afectar la eficiencia del sistema.

Una ventaja importante del área de estudio es que la distancia desde la costa del municipio de Cabo Corrientes hasta las isóbatas de 750 m y 1000 m es relativamente corta, del orden de 2 km a 3 km

aproximadamente. Esto implica que la longitud de los sistemas de cableado sería más corta, lo cual representa una ventaja potencial en términos de costos para un proyecto OTEC.

La variación estacional del gradiente térmico, por su parte, sí podría representar un desafío operativo, particularmente durante invierno y primavera, cuando se observa una disminución en los valores de potencia estimada. Sin embargo, los resultados obtenidos a una profundidad de 1000 m indican que, incluso durante estas temporadas, el gradiente térmico se mantiene por encima de 20 °C, valor comúnmente citado en la literatura como umbral mínimo para el funcionamiento eficiente de sistemas OTEC. Durante los meses de verano y otoño se observan condiciones particularmente favorables, no solo por los valores elevados de potencia neta estimada, sino también por la mayor estabilidad de los gradientes térmicos.

Una consideración importante es referente a la localización geográfica del potencial energético, si bien la cercanía de la isóbata de 1000 m a la costa representa una ventaja importante, sería necesario analizar con mayor detalle la infraestructura energética existente en la zona sur de la Bahía, particularmente en el municipio de Cabo Corrientes, ya que es en esta región donde se observa la mayor proximidad entre la costa y las profundidades requeridas para la operación de una planta OTEC.

Contemplando todos estos factores analizados podemos asegurar que, respecto a la dimensión técnica de la pertinencia, la Bahía de Banderas cuenta con las características necesarias para el correcto funcionamiento de una planta OTEC *off-shore*, especialmente en su región sur, la cual presenta condiciones idóneas a 1,000 m de profundidad para generar potencias considerables, asegurando un suministro estable a lo largo de todo el año.

4.2. Evaluación socioeconómica de la necesidad poblacional de servicios

4.2.1 Análisis espacial del rezago social

La distribución espacial de los datos de GRS se muestra en la Figura 17, la cual recorta una parte de los municipios de Cabo Corrientes y Bahía de Banderas, debido a que en esas zonas no existen otras AGEB identificadas. La mayoría de las AGEB de la zona de estudio se localizan en el municipio de Puerto Vallarta, lo cual puede estar asociado al desarrollo urbano y turístico de la región, particularmente en las áreas cercanas a la costa. En este municipio predominan niveles de GRS correspondientes a las categorías de bajo a muy bajo. En contraste, el municipio de Bahía de Banderas presenta un panorama distinto, donde si bien existen algunas zonas costeras turísticas, la mayoría de las AGEB se ubican hacia el interior del municipio, lo que podría estar asociado a poblaciones vinculadas a actividades agrícolas o de servicios. Asimismo, se observan AGEB de

menor tamaño, lo que podría sugerir una mayor divergencia en GRS, mientras que la clasificación indica predominantemente un GRS medio.

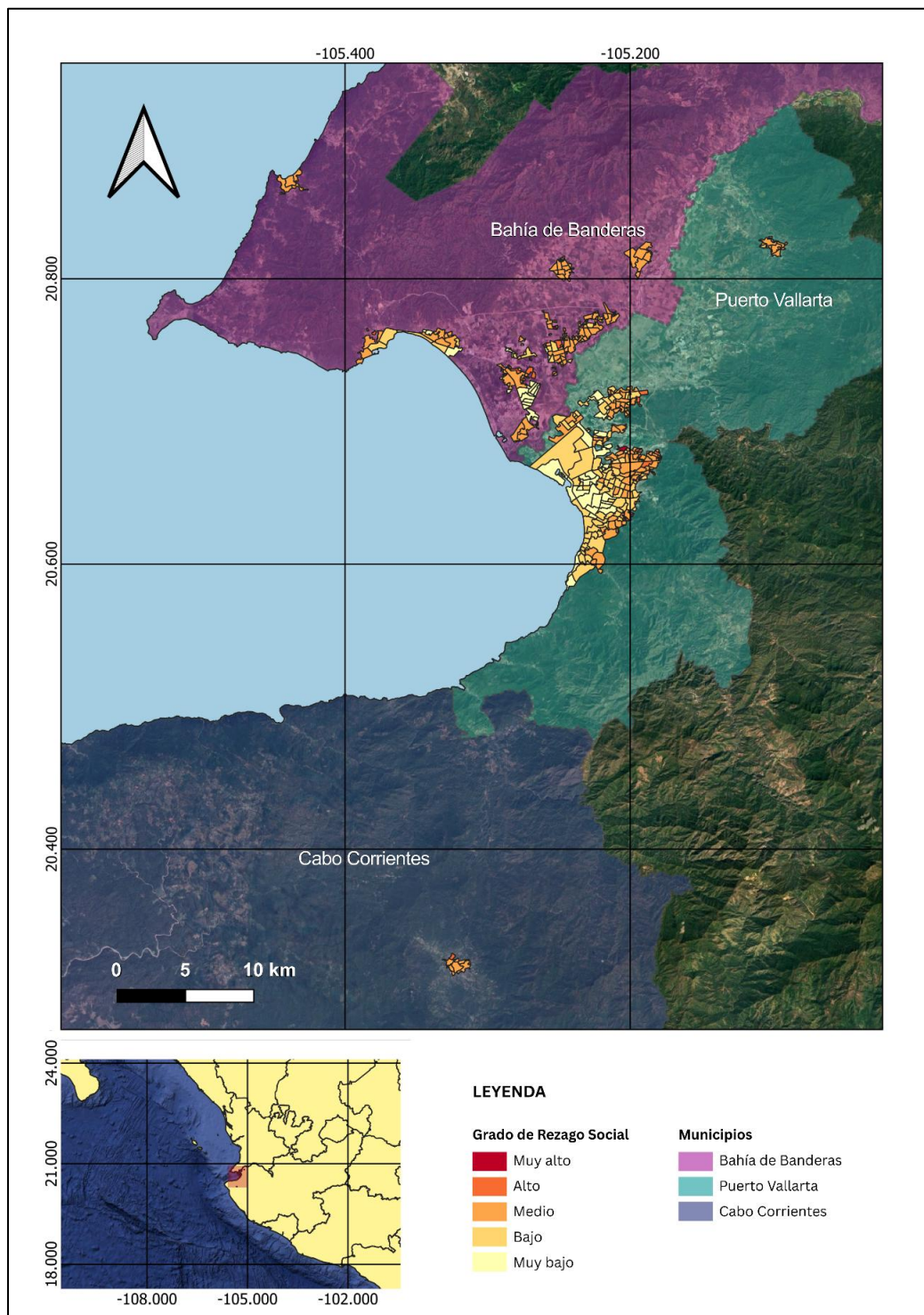


Figura 17. Geometrías con Grado de Rezago Social por AGEB, 2020. Elaboración propia con datos de [138]

Por su parte, el municipio de Cabo Corrientes presenta una situación radicalmente diferente a los otros dos ya que este cuenta con un número reducido de poblaciones clasificadas como AGEB, lo cual indica que existen pocos asentamientos con más de 2,500 habitantes, incluso llegando a excluir poblados turísticos de importancia para la región como Yelapa.

En cuanto a la cuantificación de las AGEB dentro del área de estudio, en la Tabla 4 se muestra el número correspondiente a cada una de las cinco categorías de rezago social. Como primer análisis, puede observarse que la mayoría de las AGEB se ubican en grados bajo o medio, mientras que menos del 9% de las AGEB de los municipios seleccionados presentan un GRS alto o muy alto.

Tabla 4. Cuantificación de AGEB por GRS

Grado de RS	Número de AGEB
Muy Bajo	67
Bajo	111
Medio	217
Alto	35
Muy Alto	4
Total	434

Sin embargo, debido a la naturaleza de este indicador, no es suficiente limitar el análisis únicamente al GRS, ya que este incorpora no solo variables relacionadas con los servicios en la vivienda, sino también otros aspectos como educación o acceso a la salud. Por esta razón, se optó por trabajar posteriormente con los datos desagregados de este indicador.

4.2.2. Cuantificación de población y viviendas sin acceso a servicios básicos

La cuantificación de la población y las viviendas sin acceso a agua y energía eléctrica se presenta en la Tabla 5, la cual muestra la información desagregada por municipio y para el total regional.

Tabla. 5. Índice de rezago social por municipio.

	Bahía de Banderas	Puerto Vallarta	Cabo Corrientes	Total
Total de habitantes	167,097	277,440	3,835	448,372
Total de viviendas	49,131	82,196	1,063	132,390
Promedio de habitantes por vivienda	3.4	3.4	3.6	3.46
Viviendas sin agua	412	616	8	1,036

Porcentaje de viviendas sin agua	0.84%	0.75%	0.75%	0.78%
Viviendas sin electricidad	298	147	10	456
Porcentaje de viviendas sin electricidad	0.61%	0.18%	0.94%	0.57%

Nota: *Elaboración propia con datos del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) [139]*

El número de habitantes registrados por cada municipio presenta diferencias considerables, mientras que en Cabo Corrientes la población apenas se encuentra por debajo de los 4,000 habitantes, Puerto Vallarta supera los 277,000, lo que representa una población cerca de 70 veces mayor.

A pesar de las diferencias considerables en población, los tres municipios muestran comportamientos relativamente similares; en el caso del promedio de habitantes por vivienda, los tres municipios se sitúan en un promedio de alrededor de 3.5 personas. Mientras que, en el acceso a servicios, las viviendas sin acceso a agua se mantienen en rangos muy reducidos, entre 0.75% y 0.84%, y en el porcentaje de viviendas sin acceso a electricidad, se observan ligeras variaciones entre municipios, aunque en ningún caso alcanza el 1% del total de viviendas, lo que indica una cobertura prácticamente total del servicio.

Estos resultados son consistentes con lo observado previamente en la Tabla 4, donde la mayoría de las AGEB presentan niveles de GRS bajo o muy bajo, lo cual podría reflejar los bajos porcentajes de carencias en servicios analizados. Asimismo, la amplia cobertura de servicios básicos ayuda a explicar por qué la mayoría de las localidades se clasifican dentro de categorías de rezago social medio o bajo.

Además, estos valores son congruentes con los presentados por un reporte reciente de ONU Hábitat [121], donde se menciona que en el municipio de Bahía de Banderas, el 95 % de la población tiene acceso a los servicios básicos de agua potable, drenaje y electricidad en la vivienda, por lo que se calculan cerca de 9,382 personas sin acceso a dichos servicios. Por su parte, Muñoz [129] menciona que cerca del 80 % de los municipios en México presentan desigualdad baja y media-baja, lo que sugiere que el consumo por usuario es relativamente homogéneo en un municipio, lo que daría aún más respaldo a los valores presentados por AGEB.

4.2.3. Evaluación comparativa de costos energéticos en la región

La evolución temporal del PML se presenta en la Figura 18 a partir de valores promedio de referencia correspondientes a los años 2016 y 2023. Los valores de 2016 (A) se obtuvieron de

Para determinar las tecnologías de generación existentes en nuestra región, primero se abordó de forma regional, es decir, se identificaron cuáles son las tecnologías y porcentajes de generación presentes en la región Occidental del SEN. En esta se registró en 2023 una generación eléctrica neta inyectada a la red de 50,609 GWh, lo que la convierte en la tercera región con mayor generación de todo el país. Del 100% inyectado a la red, cerca del 55.8% fue generado por plantas de CFE y el restante 44.2% fue generado bajo otra modalidad de generación. El porcentaje generado por la CFE se divide según las tecnologías mencionadas en la Figura 19.

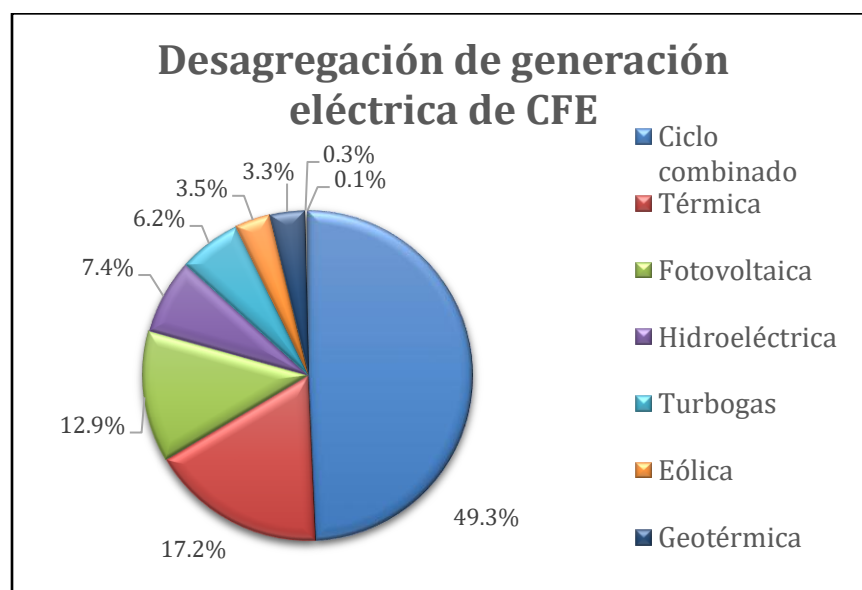


Figura 19. Desagregación de la generación eléctrica neta inyectada a la red por CFE en 2023. Elaboración propia con datos de Secretaría de Energía [128]

Profundizando en la generación eléctrica de los estados de Jalisco y Nayarit, donde se localizan los municipios de interés, los datos publicados por la CFE indican que en 2023 la capacidad instalada en Nayarit era de 1,712 MW, correspondiente en su totalidad a generación hidroeléctrica operada por la propia CFE. Por su parte, en el estado de Jalisco se registraron 1,126 MW también de origen hidroeléctrico pertenecientes a la CFE; sin embargo, en este estado también se observa participación de generación privada, específicamente con 900 MW de ciclo combinado, seguidos de 736 MW de generación fotovoltaica y 184 MW de energía eólica [128].

Entre las centrales de mayor relevancia en estos dos estados de la región occidental destacan tres centrales hidroeléctricas por ser las principales fuentes de capacidad instalada, las centrales Aguamilpa y Leonardo Rodríguez Alcaine “Solidaridad”, ambas ubicadas en el estado de Nayarit, así como la Central La Yesca, localizada en el estado de Jalisco [128]. Asimismo, se puede observar

en el diagrama unifilar de CENACE [142] que estas son las centrales eléctricas más cercanas interconectadas a los nodos que alimentan la región de la Bahía de Banderas.

En cuanto al consumo energético específicamente para los municipios de interés, la Plataforma Nacional de Energía, Ambiente y Sociedad [127] presenta los datos de consumo total del año 2022, agrupados por sector como se muestra en la Figura 20. Como podemos observar, existe una diferencia considerable entre los consumos energéticos reportados entre los municipios de Puerto Vallarta y Bahía de Banderas a comparación de Cabo Corrientes, donde hace sentido que los consumos sean sumamente bajos debido a la baja población reportada. Además, se muestra claramente cómo los sectores que mayor consumo reportan son los de residencial y el de industria y negocios, los cuales se refieren a pequeños y medianos negocios como pueden ser los del sector turismo. De hecho, la misma plataforma ni si quiera reporta datos en el sector de Gran Industria en ninguno de los tres municipios, es esa la razón de que no aparezca ese rubro.

Este análisis va en concordancia con la predominancia del sector turismo en los tres municipios, dejando clara la homogeneidad de las actividades económicas de la región de estudio.

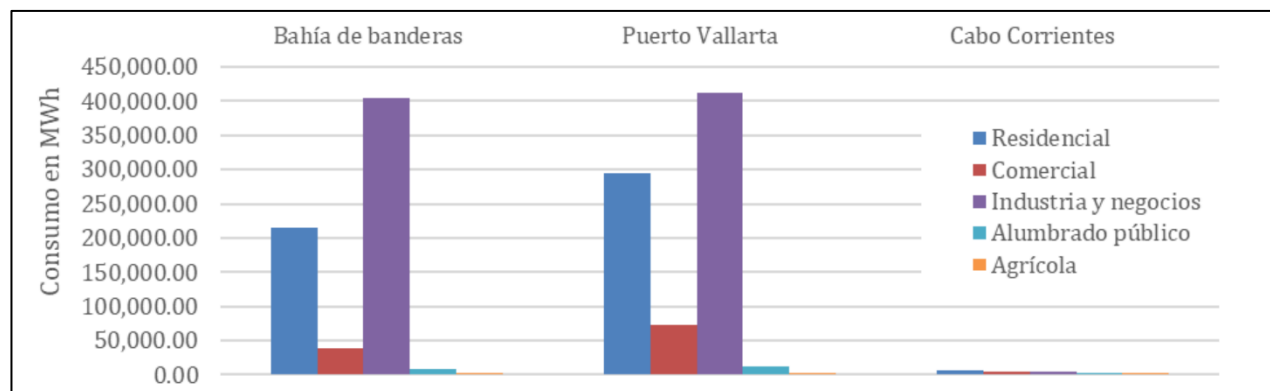


Figura 20. Consumo energético registrado por sector en cada uno de los municipios de interés durante 2022. Elaboración propia con datos de CONAHCYT [127]

Se realizó una búsqueda bibliográfica de los datos de LCOE asociados a las seis tecnologías de generación con mayor participación en la región, para compararlas con la tecnología OTEC. Esta comparación se muestra en la Tabla 6 y, para su cálculo, se usaron valores referenciados de la bibliografía, los cuales se ajustaron al valor de 2025 con la herramienta de [143].

Tabla 6. LCOE y CF por tipo de tecnología de generación de energía.

Tecnología	LCOE (USD ₂₀₂₅ /MWh)	Factor de planta (%)
Ciclo combinado	63.40	59.61
Térmica	63.4 – 110.94	20.26
Fotovoltaica	43 - 55	28.46

Hidroeléctrica	57	31.78
Turbo gas	87.18 – 132.06	Sin dato
Eólica	34 - 40	32.75
OTEC	172- 305	60 - 90

Nota: Elaboración propia con datos provenientes de CONAHCYT [127], IRENA [144], IEA [145], Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable [146], y Garduño-Ruiz (2022) [134].

Actualmente la tecnología OTEC aún presenta valores de LCOE considerablemente altos para considerarse “competitiva” en términos económicos respecto al resto de las tecnologías, lo cual es completamente normal en una tecnología emergente. Sin embargo, algo que se debe considerar es que gran parte de este LCOE depende de factores técnicos controlables, por ejemplo, mientras más cerca esté la planta de la toma de agua fría o se tenga un mayor factor de planta, se puede reducir considerablemente el LCOE [134]. Adicionalmente, las estimaciones de LCOE solo consideran la generación de energía, mientras que los sistemas OTEC ofrecen una variedad amplia de subproductos, como el agua desalinizada, que ofrecerían una ventaja competitiva en el mediano-largo plazo.

4.2.4. Estimación del posible suministro de agua desalinizada

Para estimar la posible dotación diaria de agua que podría suministrarse a la población, se utilizó el valor reportado en la Tabla 5 correspondiente al número de viviendas sin acceso a agua en los tres municipios del área de estudio. Este valor se multiplicó por la media de habitantes por vivienda (3.46 personas por vivienda), obteniendo un total estimado de 3,585 personas sin acceso a este servicio. Adicionalmente, se realizó un segundo escenario considerando que los reportes más recientes indican que la cobertura del servicio de agua en el municipio de Puerto Vallarta, el más poblado de los tres, se encuentra entre 95 % [121] y 97.8 % [126]. Tomando el valor inferior (95 %) como el escenario de mayor demanda potencial, se estimó un total de 15,325 personas sin acceso al servicio.

A partir de estos dos escenarios de demanda, y basando el cálculo de producción en la aproximación reportada por Garduño-Ruiz [134], se utilizó un valor de 12,162,000 L/día como capacidad de desalinización para una planta OTEC de ciclo híbrido de 50 MW.

En cuanto al consumo diario de agua por persona, este puede variar según diversos factores; sin embargo, reportes como el del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [126] estiman para el municipio de Puerto Vallarta un consumo promedio de 167 litros diarios por persona, considerando tanto habitantes como turistas. Este valor se obtiene a partir de un consumo mensual aproximado de 5 m³ por habitante. Dado que Puerto Vallarta es el municipio con menor GRS dentro del área de estudio, este valor puede considerarse como una referencia mínima razonable para estimar la demanda diaria de agua en los tres municipios analizados.

A partir de estos valores se evaluaron los dos escenarios de demanda planteados:

1. Situación 1 (3,585 personas sin acceso a agua potable): Después de cubrir la demanda de todas las personas sin acceso a agua potable, permanecería disponible aproximadamente el 95 % del volumen de agua desalinizada producido por la planta.
2. Situación 2 (15,325 personas sin acceso al agua potable): En este escenario más conservador, después de abastecer a todas las personas sin acceso al servicio, permanecería disponible aproximadamente el 78 % del volumen de agua desalinizada producido.

Estos resultados indican que la incorporación a la red del volumen de agua que podría producir una planta OTEC con las características aquí planteadas podría cubrir la demanda residencial de agua restante en los tres municipios aledaños a la Bahía de Banderas, además de generar excedentes que potencialmente podrían destinarse a otras actividades.

4.2.5. Discusión sobre dimensión socioeconómica

A partir del análisis socioeconómico realizado, es posible identificar varios elementos relevantes sobre las condiciones actuales de la región de estudio y su relación con el posible desarrollo de proyectos energéticos basados en tecnología OTEC.

El análisis del GRS muestra que la región no presenta niveles elevados de rezago en términos generales, dado que la mayor parte de la población cuenta con condiciones relativamente favorables de acceso a servicios y teniendo a la mayoría de las AGEB en un nivel medio o bajo. Esto también se refleja en los datos desagregados de acceso a servicios básicos, donde tanto la falta de acceso a agua potable como a la electricidad en la vivienda se mantiene por debajo del 1 % en los tres municipios analizados. A pesar de esto, la región presenta una estrecha relación de sostén económico en el sector turístico, lo cual implica una demanda creciente de servicios básicos, particularmente agua y energía; esto está asociado a las mismas actividades turísticas y hoteleras. En este sentido, se podría esperar que la demanda de estos servicios continúe incrementándose conforme el sector turístico siga expandiéndose en la región.

En cuanto al análisis de los costos energéticos, una característica favorable de la región es que no se encuentra asociada a nodos con valores de PML particularmente elevados dentro del SIN, lo cual podría contribuir a facilitar el acceso a servicios energéticos de calidad para la población, al mantenerse en rangos de costos relativamente medios. Si además se considera que el análisis del consumo energético mostró que la demanda en los municipios se concentra principalmente en el sector residencial y el de la industria y negocios vinculados al turismo, nos topamos con que esta estructura relativamente homogénea de consumo podría evitar algunas de las complejidades asociadas a regiones con alta presencia de gran industria o sectores energéticamente más intensivos.

Por otro lado, a partir de la revisión de la infraestructura de generación regional, es posible suponer que una parte importante de la energía que abastece a los municipios proviene de las centrales

hidroeléctricas cercanas. Esta situación podría contribuir a mantener cierta estabilidad en los costos de generación eléctrica. Sin embargo, también podría representar un factor de vulnerabilidad en escenarios de sequías severas que afecten la disponibilidad del recurso hídrico para la generación.

En relación con la comparación de costos entre tecnologías de generación, el análisis del LCOE muestra que la tecnología OTEC aún presenta valores considerablemente elevados en comparación con las otras tecnologías que actualmente dominan el mercado, lo cual es totalmente consistente con lo esperado para una tecnología emergente que aún no ha alcanzado economías de escala. No obstante, esta desventaja económica podría verse compensada al considerar los beneficios adicionales asociados, como la posibilidad de producir agua desalinizada como subproducto del proceso. Como se mostró anteriormente, la cantidad de agua que podría generarse mediante una planta de 50 MW sería suficiente para cubrir la demanda residencial de la población que actualmente no cuenta con acceso al servicio en los tres municipios analizados, además de generar volúmenes excedentes que podrían destinarse a otros usos.

No obstante, aún existe información relevante que sería necesario recopilar para comprender con mayor detalle la dinámica de la demanda hídrica en la región. Por ejemplo, algunos estudios señalan la necesidad de desarrollar análisis más profundos para identificar con mayor precisión las zonas dentro de municipios, como Puerto Vallarta, que aún presentan carencias en servicios básicos, así como las barreras específicas que dificultan su implementación [126]. Además, el papel del turismo en el consumo de agua resulta particularmente relevante, pues según estimaciones recientes [126], el consumo anual de agua para la población censada de Puerto Vallarta asciende a aproximadamente 17,163,060 m³; sin embargo, al incorporar el consumo asociado al sector turístico, este valor puede alcanzar hasta 48,385,924 m³ anuales. Esto indica que el sector turístico ejerce una presión considerable y creciente sobre los recursos hídricos regionales, lo que refuerza la importancia de explorar alternativas tecnológicas que también busquen subsanar este problema.

Asimismo, algunos autores señalan que las energías marinas renovables no deben considerarse necesariamente como tecnologías sustitutivas desde su génesis, sino como tecnologías complementarias dentro de la matriz energética nacional [51]. Esto resulta particularmente relevante en el contexto donde de las zonas costeras del Pacífico mexicano presentan un crecimiento sostenido de la demanda energética, asociado al desarrollo turístico y urbano [70], por lo que tecnologías como OTEC podrían desempeñar un papel importante para cubrir incrementos en la demanda energética regional, mientras que en el mediano plazo podrían contribuir a reducir gradualmente la dependencia de combustibles fósiles y bajo esquemas descentralizados como sistemas complementarios u off-grid para comunidades aisladas o con limitaciones en la infraestructura energética [74].

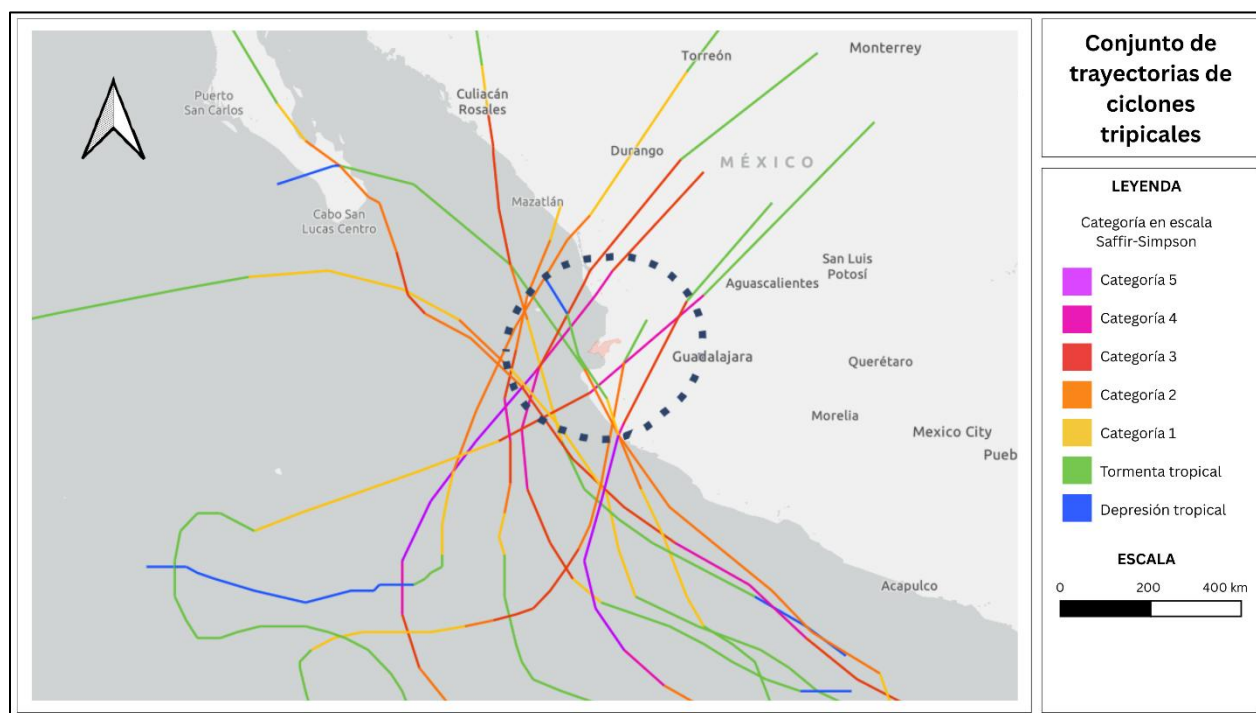
Bajo esta perspectiva, podemos considerar que este estudio de caso se puede considerar parcialmente pertinente en la dimensión socioeconómica, especialmente en una planeación donde el proyecto efectivamente busque no solo solucionar la demanda de recursos actual, sino la que se presenta a futuro en la región debida principalmente al crecimiento urbano y turístico de la región.

4.3. Análisis del estado del arte de la influencia de eventos extremos sobre sistemas OTEC

4.3.1. Delimitación de zona buffer y caracterización de eventos históricos

La identificación de la ocurrencia histórica de ciclones tropicales en la región de Bahía de Banderas, acotada a 150 km alrededor del área de estudio [136], quien indica que este nivel de vecindad² 3 permite identificar áreas potencialmente afectadas por fenómenos asociados al ciclón, aun cuando no exista un impacto directo del centro del sistema.

Por medio de la plataforma de visualización de trayectorias históricas de ciclones tropicales de la NOAA [147] se filtraron, de todos los eventos ocurridos en el periodo de 1970 a 2025, aquellos que hayan alcanzado el nivel de huracanes de categorías 2 o mayor en la escala de Saffir-Simpson, esto con base en un buffer de vecindad 3 (150 km), con el objetivo de identificar los eventos relevantes para el área de estudio, como se muestra en la Figura 21. Se identificaron once eventos ciclónicos cuya trayectoria intersectó el área de influencia, en la cual se aprecian las trayectorias de los ciclones identificados junto con las distintas etapas de intensidad alcanzadas por cada sistema.



² El término vecindad se refiere al área geográfica periférica adyacente a la trayectoria de un ciclón tropical y se usa para determinar zonas de impacto de este. [136] los clasifica según el diámetro desde el centro del sistema, determinando a la vecindad 1 de 100 km, vecindad 2 de 200 km y vecindad 3 de 300 km.

Figura 21. Conjunto de trayectorias de ciclones tropicales que intersectaron con la zona buffer entre 1970-2025.
Elaboración propia con datos de NOAA [147]

El análisis de estas trayectorias muestra que solo dos eventos atravesaron directamente la Bahía de Banderas: los ciclones Eugene en 1987 y Calvin en 1993; ambos ingresaron a la región como tormentas tropicales, aunque el ciclón Calvin alcanzó categoría 2 al impactar el municipio de Cabo Corrientes, cerca del poblado de Yelapa.

Adicionalmente, se identificó al huracán Lidia de 2023 como un evento que impactó zonas cercanas a la región de estudio, tocando tierra en la región norte de Cabo Corrientes como categoría 3, e intensificándose posteriormente hasta categoría 4. Este evento representa el ciclón de mayor intensidad registrado en las inmediaciones del área de estudio durante el periodo analizado.

Otro evento relevante fue el huracán Kenna de 2002, que alcanzó categoría 4 y pasó a varias decenas de kilómetros de Punta Mita, generando impactos significativos en la región del Pacífico mexicano.

En la Tabla 7 se enlistan los principales ciclones registrados, así como la categoría máxima, la clasificación de vecindad según la distancia aproximada al centro de la Bahía y los principales impactos reportados, información que se basó principalmente en los informes técnicos de la NOAA [147] asociados a cada evento, los cuales también están disponibles en la plataforma y describen las trayectorias, intensidades y principales impactos registrados por el evento en cuestión.

Tabla 7. Caracterización de eventos cuya trayectoria intersectó con zona buffer (150 km).

Nombre del evento	Categoría (Saffir-Simpson)	Máxima velocidad del viento (kt)	Vecindad	Impactos
Nanette 1971	H 2	85	V3	Sin datos relevantes
Eugene 1987	H 2	85	V1	Sin datos relevantes
Calvin 1993	H 2	95	V1	37 muertes en Baja California; derrame de ~4,000 toneladas de ácido sulfúrico en costas de Michoacán por buque; daños estimados ~32 millones USD [148].
Rosa 1994	H 2	90	V3	4 muertes en Nayarit; impacto en Escuinapa; inundaciones y daños por viento y lluvia; ~150 ha de manglar severamente afectadas en la costa norte de Nayarit [149].
Kenna 2002	H 2	145	V2	4 muertes (Nayarit), >100 heridos; daños severos en Puerto Vallarta con ~5 millones USD principalmente en hoteles por marejada; 80–90% de viviendas dañadas/destruidas en San

				Blas; embarcaciones camaroneras arrastradas hasta ~300 m; evacuación masiva (~8,800 personas) [147].
Lane 2006	H 3	110	V3	4 muertes por inundaciones y deslaves; inundaciones urbanas en Sinaloa (Culiacán, El Dorado, Mazatlán); carreteras destruidas y comunidades aisladas; un puente colapsado; daños agrícolas amplios; inundaciones, evacuaciones y daños a cultivos también en Michoacán, Colima y Jalisco; ~200 viviendas inundadas en Acapulco [147].
John 2006	H 4	115	V3	5 muertes (Baja California); ~450 viviendas destruidas o dañadas (La Paz y Mulegé); inundaciones por desbordamiento de presa que aislaron ~15 localidades; pérdidas agrícolas y ganaderas; marejada ~3 m en Acapulco e inundaciones costeras; deslaves que aislaron ~70 comunidades en Guerrero; sin daños reportados en Bahía de Banderas [147].
Jova 2011	H 3	110	V1	9 muertes (principalmente Jalisco y Colima); ~107,000 personas sin electricidad; ~2,600 evacuadas; inundaciones, deslaves y colapso de viviendas; daños a infraestructura (puentes, líneas eléctricas) y cierre del puerto de Manzanillo [147].
Patricia 2015	H 5	185	V2	6 muertes (2 directas, 4 indirectas); >10,000 viviendas dañadas o destruidas (principalmente en Jalisco); daños agrícolas severos en ~100,000 acres; inundaciones, comunidades aisladas y carreteras cerradas (incluida la carretera 200); daños estructurales extensos en poblaciones costeras; pérdidas estimadas ~325 millones USD [147].
Orlene 2022	H 4	115	V3	0 muertes; ≥600,000 USD en daños; inundaciones, deslaves y cortes eléctricos (~50,000 personas) en Nayarit–Sinaloa–Jalisco; inundaciones y refugios activados en Puerto

				Vallarta; carreteras cerradas y ~80 viviendas dañadas en Jalisco [147].
Roslyn 2022	H 4	115	V2	4 muertes en Nayarit (1 indirecta en Bahía de Banderas); ≥ 3.5 millones USD para reconstrucción; ~160,000 sin electricidad; inundaciones, deslaves y daños a viviendas; oleaje fuerte y daños en restaurantes de playa en Puerto Vallarta [147].
Lidia 2023	H 4	120	V1	3 muertes (1 cerca de Punta Mita, Bahía de Banderas); daños por viento y lluvia (techos, árboles); afectaciones en Puerto Vallarta y bloqueos en la carretera 200; ≥ 77.6 millones USD en daños en Jalisco [147].

Nota: *Elaboración propia.*

En términos de temporalidad, los registros muestran que la ocurrencia de estos eventos no ha sido completamente regular, presentándose intervalos de hasta 16 años entre eventos relevantes. No obstante, en años recientes la incidencia de ciclones cercanos a la región ha aumentado, así como la intensidad máxima alcanzada por algunos sistemas. Mientras que en los registros más antiguos predominan ciclones de categoría 2 y 3, en las últimas décadas se han registrado eventos de categoría 4, e incluso un evento de categoría 5, correspondiente al huracán Patricia de 2015.

Si bien este análisis no constituye un estudio formal de tendencias en frecuencia o intensidad de ciclones tropicales, estos patrones sugieren la conveniencia de realizar análisis climáticos más detallados para evaluar si efectivamente existe un incremento en la frecuencia o intensidad de estos fenómenos en la región, ya que esto podría tener implicaciones importantes para el despliegue de infraestructura energética en zonas costeras.

La mayoría de los daños asociados a estos ciclones no se concentraron en ninguno de los 3 municipios aledaños a la Bahía de Banderas por el hecho de que casi ninguno tocó tierra en estos, a excepción del municipio de Cabo Corrientes el cual registró contacto con un par de sistemas. A pesar de esto, si hay registro de estragos en los municipios de Puerto Vallarta y Bahía de Banderas, siendo un ejemplo el huracán Kenna en 2002 y más recientemente eventos como Orlene, Roslyn y Lidia, los cuales ocasionaron daños importantes en infraestructura regional e incluso pérdidas humanas en al menos uno de los municipios analizados. No obstante, los datos también muestran que la mayoría de los eventos registrados han pasado por la zona externa de la Bahía de Banderas y sin afectar sus zonas urbanas o a posibles ubicaciones de infraestructura energética.

Una primera conclusión es que la región es susceptible al impacto de ciclones tropicales, particularmente considerando que en las últimas décadas los eventos registrados han presentado una mayor intensidad en zonas cercanas al área de estudio. Por lo tanto, este tipo de fenómenos

representa un factor relevante a considerar en la planeación y diseño de una planta OTEC en la región.

4.3.2. Matriz comparativa de posibles impactos en sistemas OTEC

La literatura revisada sobre casos de estudio de impactos de ciclones sobre infraestructura energética marina mostró que existen una gran diversidad de tipos de impactos asociados a eventos extremos que pueden afectar la integridad estructural, la estabilidad operativa y la continuidad de funcionamiento de sistemas offshore.

Como se muestra en la Tabla 8, la información recopilada proviene principalmente de investigaciones realizadas en otros tipos de infraestructuras marinas que comparten características con plantas OTEC del tipo offshore como lo son las turbinas eólicas y plataformas petroleras, específicamente en el Golfo de México.

Cabe aclarar que, si bien esta matriz engloba e identifica los principales mecanismos mediante los cuales los ciclones tropicales pueden afectar la infraestructura energética marina, la mayoría de estos estudios no se enfocaron en tecnología OTEC debido a la falta de plantas de gran envergadura. Sin embargo, la tecnología OTEC comparte diversas características o configuraciones con estas tecnologías, lo que las hace equiparables en cuanto a posibles impactos por ciclones. De esta forma se pudo trasladar la experiencia recabada de otras tecnologías marinas hacia el contexto de OTEC.

Tabla 8. Matriz de recopilación de impactos reportados en infraestructura energética offshore.

Fenómeno físico (A)	Infraestructura y mecanismo (B)	Impacto (C)	Implicación en OTEC (D)	Referencias
A1. Viento extremo con cambios de dirección	Sobrecargas estructurales por viento extremo que exceden la capacidad resistente de la estructura.	Falla estructural severa, pandeo de torres y colapso total.	Colapso estructural parcial o total en caso de estar cimentada sobre algún tipo de la plataforma o de no alinearse hacia ciertas direcciones de carga.	[150] [151] [152] [153]
A2. Oleaje extremo y rompiente	Cargas extremas sobre elementos estructurales por impacto <i>slam</i> de olas rompientes.	Daño a estructura por las fuerzas de tipo <i>slam</i> incrementan la demanda dinámica sobre los soportes.	Afectaciones en la plataforma, conexiones estructurales y soportes del sistema, especialmente en zonas expuestas al oleaje.	[151]
A3. Evolución compleja	Diferencias temporales entre el pico del viento, el pico del oleaje y la respuesta dinámica de la plataforma.	La no coincidencia genera sobrecargas en puntos diferentes que se pueden retroalimentar.	Si solo se dimensiona para un valor pico aislado y no la evolución completa del evento podría haber falla estructural.	[147] [152]
A4. Corrientes extremas	Acción de corrientes sobre la estructura flotante y el sistema de amarre, generando	Daño en componentes de amarre por aumento de tensiones sobre el	Desplazamiento de la plataforma y daños severos a la misma por el	[147] [152] [153]

	sobrecargas y aumento de tensión de fondeo	punto admisible de los sistemas.	rompimiento del sistema de fondeo.	
A5-1. Fenómenos combinados	Acción conjunta de viento, oleaje y corrientes extremas genera cargas excesivas transmitidas del sistema principal a otros componentes.	Movimientos excesivos de la plataforma como desplazamiento horizontal, ascenso y descenso, e inclinación.	Desplazamientos excesivos del sistema (horizontal, vertical y cabeceo), cambio del punto de bombeo de agua y doblamiento de tuberías.	[147] [152] [153]
A5-2. Fenómenos combinados	Acción conjunta de viento, oleaje y corrientes extremas generan daño funcional severo al sistema principal.	Sobrecargas repetidas por diferentes mecanismos físicos que pueden exceder tensiones admisibles.	Falla múltiple de componentes del sistema	[147] [152]
A6. Exposición acumulada a ciclones	Riesgo acumulado en el largo plazo.	Sobrecargas constantes y en eventos diferentes en todos los componentes de la planta.	Podría comprometer la totalidad del sistema, principalmente aquellos componentes más susceptibles a desgaste.	[151] [147]
A7. Paso del ciclón (operación)	Interrupción operativa durante el evento por cuestiones de seguridad	Pérdida temporal o prolongada de producción.	Afectación a la continuidad del suministro eléctrico y la disponibilidad de subproductos.	[151] [153]

Uno de los principales fenómenos que puede presentar afectaciones severas en el sistema son las corrientes extremas (A4) debido a que puede presentar incrementos importantes en la tensión de las líneas de amarre, superando los valores admisibles del diseño del sistema y causando otras afectaciones en la planta, especialmente bajo panoramas de evolución compleja del ciclón (A3). Además, para el caso particular de Bahía de Banderas se recomendaría hacer un estudio específico sobre cómo adaptar dicho sistema a las condiciones morfológicas de la región en condiciones

A pesar de que los vientos extremos (A1), se mencionan como eventos potencialmente riesgosos en los estudios de caso consultados, se podría considerar para OTEC no presentan el mismo nivel de amenaza debido a su diferencia en características estructurales.

En el caso de rachas de oleaje extremo (A2) se reporta que estas tienen gran potencial de generar daños en plantas relacionados con fuerzas de tipo *slam*, lo cual podría afectar severamente a sistemas como el casco, los soportes o la conexión de tuberías. Además, en un escenario de exposición acumulada (A6), donde la planta tenga que enfrentar diversos eventos en cortos periodos de tiempo estos efectos podrían acumularse, alcanzando el punto máximo de soporte de la planta.

Por otra parte, la acción combinada de fenómenos como viento, oleaje y corrientes (A5-1 y A5-2) representa uno de los escenarios más complejos debido a que implicaría la acción conjunta de los fenómenos mencionados anteriormente, donde se podrían presentar una serie de impactos como

desplazamientos (horizontal, ascenso y descenso, e inclinación) excesivos del sistema, cambio del punto de bombeo de agua y doblamiento o ruptura de tuberías por sobrecargas repetidas, los cuales a su vez podrían desembocar en una falla múltiple del sistema.

Además de los impactos estructurales provocados por ciclones, un factor poco estudiado son las posibles interrupciones operativas (A7) que estos fenómenos pueden causar en instalaciones offshore. Estos eventos podrían provocar cierres temporales de la producción, ya sea como medida preventiva o como consecuencia de daños estructurales que requieren inspección y reparación, causando una suspensión temporal de sus operaciones y por ende del suministro de energía y agua.

4.3.3. Discusión sobre dimensión climática

Dado el nivel de importancia de la ubicación de la instalación y los posibles impactos climáticos asociados a la tecnología OTEC, estos son factores determinantes para evaluar su viabilidad y pertinencia. En este tenor, la Bahía de Banderas presenta diversas características favorables para el aprovechamiento de esta tecnología al mismo tiempo que también enfrenta importantes retos derivados de su condición como zona de intensa actividad ciclónica.

Si bien hay literatura que menciona que los sistemas OTEC pueden soportar eventos extremos con periodos de retorno de hasta 100 años [155], los estudios mencionados anteriormente muestran que los ciclones tropicales pueden afectar la infraestructura energética offshore a través de una gran variedad de mecanismos, por lo que estudiar cada uno a fondo sería un paso fundamental para determinar la factibilidad de una planta.

Aunque la región de la Bahía de Banderas no tiene registros históricos de impactos importantes de ciclones tropicales, el riesgo de ocurrencia es latente [156], por lo que sería fundamental contar con información detallada sobre las características locales del oleaje y otros fenómenos para fortalecer los procesos de gestión del riesgo y adaptación a nivel local [36]. Esto se vuelve especialmente importante en un contexto en el que pareciera que los ciclones recientes tienen cada vez mayor intensidad, lo cual se asocia a cambios en los patrones de temperatura y precipitación, alteraciones en las circulaciones oceánicas y calentamiento oceánico [36].

En el municipio de Puerto Vallarta ya se ha registrado que el incremento en la exposición a huracanes ha llevado al desplazamiento de algunas comunidades como medida de reducción de riesgo, generando incluso problemas sociales [157]. Al mismo tiempo, eventos como Patricia y Otis han demostrado que es urgente promover procesos de adaptación local que permitan que la infraestructura existente en el Pacífico Mexicano no se vea amenazada de manera importante frente a estos sistemas. Para el caso de Bahía de Banderas sería un factor fundamental para el desarrollo de tecnología OTEC que esta se planeé con los mayores estándares de reducción de riesgos y adaptación a eventos hidrometeorológicos.

Por su parte, el análisis bibliográfico sobre infraestructura energética marina en contexto de ciclones denota que, por un lado, falta mucha investigación referente a los posibles impactos que fenómenos físicos marinos podrían tener sobre infraestructura OTEC, sin embargo, también muestra que los impactos en otros tipos de infraestructura están ampliamente estudiados y que existe una base técnica sólida en cuanto estándares de diseño.

Como ya se mencionó, los impactos considerados como más relevantes para OTEC, cuya estabilidad depende en gran medida del comportamiento de la plataforma flotante y de su sistema de amarre, son aquellos que acarrearán sobrecargas estructurales, principalmente en los sistemas de fondeo y tuberías, dos de los componentes más vulnerables de la planta. En contraparte, se podría esperar que fenómenos que son peligrosos para otras infraestructuras, como el viento, no se apliquen de la misma forma para la planta.

A pesar de que fenómenos como la exposición acumulada a lo largo de la vida útil de la infraestructura y la evolución temporal del fenómeno pueden tener relevancia, la bibliografía indica que las características de diseño podrían reducir considerablemente estas vulnerabilidades, por lo que se considera fundamental que, al desarrollar dichas tecnologías, se realice con los mayores estándares de seguridad en caso de ciclones tropicales y sus fenómenos físicos relacionados.

Así mismo, un efecto indirecto importante no evaluado pero que valdría la pena profundizar sería el aumento del transporte de sedimentos durante eventos de precipitación intensa, comunes en esta región del Pacífico [35], y sus posibles afectaciones al funcionamiento de la planta.

Este análisis establece una base sólida para evaluar los posibles impactos climáticos sobre una planta OTEC offshore debidos a ciclones tropicales de gran magnitud en investigaciones futuras y da pie a posteriores estudios para la identificación de criterios de diseño y selección de sitio que permitan reducir la exposición y vulnerabilidad. Además, deja una gran oportunidad para profundizar en cada uno de los fenómenos descritos y sus posibles impactos en estas tecnologías.

A partir de los resultados obtenidos en esta sección debemos considerar que la dimensión climática del estudio presenta un panorama complejo, caracterizado por la incertidumbre sobre la ocurrencia de los fenómenos y de su intensidad. Sin embargo, también presenta evidencia sólida de que los impactos asociados a ciclones ya están bien clasificados y de que el siguiente paso sería adaptar los sistemas OTEC a dichas condiciones con la finalidad de aumentar su resiliencia frente a estos fenómenos, especialmente en un contexto de cambio climático donde debemos pensar que su frecuencia irá en constante aumento.

Así mismo, podemos determinar que las condiciones climáticas existentes en la región de Bahía de Banderas podrían ser viables para hacer de un proyecto de estas características pertinente, siempre y cuando se cuente con evaluaciones y proyecciones climáticas sólidas, así como planes de adaptación y reducción de vulnerabilidades, tanto para la infraestructura como en toda la región.

4.4. Identificación de mecanismos de financiamiento

El mapeo de mecanismos financieros existentes en México identificó no solo el nivel de alineación de cada uno, sino también propone la forma general que podría tener la ruta de financiamiento para un proyecto de estas características. Esta ruta está moldeada a partir de características presentadas por OTEC como la gran inversión de capital requerida y el riesgo financiero que presenta una tecnología emergente [111].

Este mapeo se centró en las etapas que pueden considerarse clave para el desarrollo de un proyecto de esta naturaleza, por lo que, las matrices desarrolladas, se enfocaron específicamente en el financiamiento internacional y el financiamiento nacional, dejando la participación del sector privado únicamente como una evaluación de carácter cualitativo.

Asimismo, se decidió trabajar en dos matrices diferentes, esto debido a que los mecanismos internacionales y nacionales no solo difieren en la institución otorgante, sino también en la escala de los recursos, el tipo de apoyo ofrecido, la etapa del proyecto en la que suelen intervenir y las barreras asociadas a su acceso. En ambos casos, cada mecanismo se sistematizó a partir de cinco elementos básicos: institución otorgante, tipo de apoyo, rango aproximado de montos, requisitos generales de elegibilidad, etapa del proyecto en la que podría intervenir y principales barreras identificadas para su aplicación.

4.4.1. Matriz de mapeo de mecanismos de financiamiento

Como se mostró en el marco teórico (ver Sección 2.5) suele haber una secuencia bien marcada en la maduración financiera de proyectos de esta naturaleza. En esta secuencia se muestra que, en las etapas más tempranas, los proyectos energéticos de mayor riesgo suelen depender de recursos externos como cooperación bilateral, fondos climáticos y esquemas concesionales, para catalizar esfuerzos [110], [111].

En la Tabla 9 se presentan los mecanismos internacionales identificados, donde coexisten fondos climáticos de alcance global junto con instituciones multilaterales, bilaterales y regionales con experiencia en financiamiento para infraestructura, transición energética y acción climática.

Tabla 9. Matriz de mapeo de mecanismos internacionales de financiamiento aplicables a proyectos de energía renovable en México

Mecanismo/ institución	Tipo de inversión	Rango de montos	Elegibilidad	Etapas del proyecto	Barreras
Global Environment Facility (GEF)	Subvenciones, financiamiento concesional	Inversión: Hasta 11 millones de USD Cofinanciado:	Países en desarrollo, proyectos alineados a una de sus 5 áreas temáticas (cambio climático, biodiversidad, aguas)	Preinversión e implementación temprana	Procesos complejos y largos de aprobación, necesidad de alineación con prioridades

		Montos de hasta 100 millones de USD o superiores [158]	internacionales, degradación de tierras y desechos químicos) y alineados a prioridades nacionales		nacionales, dependencia de agencias implementadoras y de con financiamiento nacional.
Green Climate Fund (GCF)	Subvenciones, préstamos concesionales, garantías, equity	Inversión: Alrededor de 39 millones de USD por proyecto Cofinanciado: Montos Alrededor de 61 millones de USD [159]	Países en desarrollo, proyectos con alto impacto climático, alineación con NDC y prioridades nacionales, canalización mediante entidades acreditadas, 50% en mitigación y 50% en adaptación.	Preinversión, implementación y escalamiento	Procesos complejos, necesidad de entidad acreditada, altos requisitos técnicos y de impacto, tiempos largos de aprobación
Banco Interamericano de Desarrollo (BID)	Préstamos soberanos y no soberanos, financiamiento concesional, asistencia técnica, garantías	Desde 0.2 millones de USD hasta 500 millones de USD en diferentes modalidades [160]	Gobiernos, entidades públicas y privadas en países miembros; proyectos alineados con desarrollo sostenible y transición energética	Preinversión, implementación y escalamiento	Procesos largos, requisitos técnicos elevados, necesidad de estructuración robusta, dependencia de aprobación gubernamental
Banco Mundial (IBRD/IFC)	Préstamos soberanos, financiamiento concesional, asistencia técnica, garantías, equity	Desde 44 millones de USD hasta más de 200 millones bajo diferentes modalidades [161]	Gobiernos y sector privado en países miembros; proyectos alineados con desarrollo sostenible, mitigación/adaptación climática y prioridades nacionales	Preinversión, implementación y escalamiento	Tasas de repago, procesos largos, altos estándares ambientales y sociales, complejidad institucional, necesidad de fuerte alineación gubernamental
Banco de desarrollo alemán (KfW)	Préstamos concesionales, subvenciones, cooperación financiera, asistencia técnica	Desde 80 millones de USD hasta más de 150 millones bajo diferentes modalidades [162]	Gobiernos y entidades públicas en países en desarrollo; proyectos alineados con desarrollo sostenible y acción climática, generalmente mediante acuerdos bilaterales	Preinversión, implementación y fortalecimiento institucional	Acceso condicionado a cooperación bilateral, financiamiento mayormente concesional, dependencia de alineación gubernamental
Banco de Desarrollo de América Latina (CAF)	Préstamos, asistencia técnica y financiamiento de infraestructura	Desde 100 millones de USD [163] hasta 300 millones [164] bajo diferentes modalidades	Gobiernos y entidades públicas/privadas en América Latina; proyectos de infraestructura y desarrollo sostenible	Implementación	Menor nivel de concesionalidad, menor enfoque específico en cambio climático, dependencia de estructuración financiera sólida.

Agencia Francesa de Desarrollo (AFD)	Préstamos concesionales, subvenciones y cooperación financiera	Hasta préstamos por € 800 millones [165]	Gobiernos y entidades públicas; proyectos alineados con desarrollo sostenible, transición energética y acuerdos bilaterales	Preinversión, implementación y escalamiento	Dependencia de acuerdos bilaterales, procesos técnicos exigentes, financiamiento predominantemente reembolsable
--------------------------------------	--	--	---	---	---

Dentro de la amplia variedad de mecanismos identificados predomina una amplia heterogeneidad. Si bien la mayoría de las instituciones fueron seleccionadas por su relación previa con el gobierno mexicano, la realidad es que cada una opera bajo esquemas muy particulares. No obstante, se identificó que todos estos fondos requieren una vinculación directa con el gobierno federal, la cual se centraliza a través de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, actuando como la entidad encargada a nivel nacional de gestionar todos estos fondos.

Dentro de este conjunto de instituciones destacan dos en particular: el Global Environment Facility (GEF) y el Green Climate Fund (GCF), ambos fondos internacionales utilizados en el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), los cuales son especialmente relevantes para proyectos de carácter climático [166]. Estos fondos suelen enfocarse en fases iniciales o de implementación temprana de proyectos mediante subvenciones, financiamiento concesional, garantías u otras modalidades de apoyo, además de movilizar cofinanciamiento [110].

En particular, el GCF presenta oportunidades relevantes para una tecnología como OTEC, dado que su financiamiento está dirigido específicamente a proyectos enfocados en cambio climático, asignando el 50% de sus recursos a la mitigación y el otro 50% a la adaptación. OTEC podría insertarse en ambas categorías, ya que tiene el potencial de contribuir tanto a la reducción de emisiones como al fortalecimiento de la resiliencia, y además se alinea con dos de los ejes temáticos prioritarios del fondo.

Por otro lado, los organismos multilaterales, como el BID y el Banco Mundial, también juegan un papel importante, pues México mantiene actualmente contratos de financiamiento a largo plazo para proyectos de infraestructura con estos [108], [160], [161]. Estas instituciones contribuyen, en diversos sectores, a la reducción del costo de la deuda, a la provisión de asistencia técnica y a la estructuración de proyectos bancables [112]. Otros mecanismos de cooperación bilateral y regional, como KfW, AFD y CAF, también tienen relevancia en México puesto que ya se tiene una amplia trayectoria recibiendo apoyos mediante financiamiento concesional, cooperación financiera y apoyo a proyectos de infraestructura y desarrollo sostenible [111].

El conjunto de mecanismos internacionales identificados y la larga relación que México ha tenido con estos sustentan que podría existir una oferta amplia y diversa de instrumentos aplicables al

desarrollo de OTEC en México, especialmente porque, al estar en etapas iniciales, su viabilidad depende en gran medida de profundizar estudios de factibilidad técnica y bancabilidad. Sin embargo, también se identificaron barreras importantes, entre las cuales sobresale el requisito de que los proyectos se presenten como prioridad nacional, lo que puede retrasar su implementación debido a la competencia con otras agendas estratégicas del sector energético.

Aunado a esto, en el contexto actual de búsqueda de independencia energética de las exportaciones de gas natural de Estados Unidos, OTEC podría posicionarse como una alternativa con amplios beneficios, desde la diversificación de la matriz energética hasta el fortalecimiento de la seguridad hídrica y la descarbonización del sistema eléctrico nacional.

Las fases posteriores, donde el proyecto podría consolidarse con la planeación y ejecución de la planta misma, requerirían de la aplicación de otros mecanismos nacionales de banca de desarrollo o fondos públicos orientados a infraestructura y transición energética, los cuales puedan inyectar mayores flujos de capital [98], [102]. La Tabla 10 presenta la matriz correspondiente a los mecanismos financieros nacionales que podrían acoplarse a proyectos de energías renovables en esta fase.

Tabla 10. *Matriz de mapeo de mecanismos nacionales de financiamiento aplicables a proyectos de energía renovable en México*

Mecanismo/ institución	Tipo de inversión	Rango de montos	Elegibilidad	Etapa del proyecto	Barreras
Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS)	Créditos de largo plazo, garantías, refinanciamiento, estructuración de proyectos	Hasta 13 mil millones de MNX en bonos en 2025 [108]	Gobiernos subnacionales, entidades públicas y proyectos de infraestructura alineados con prioridades nacionales	Implementación y escalamiento	Dependencia de capacidad de pago del sector público, financiamiento reembolsable, necesidad de proyectos estructurados y dependencia de participación privada (FONADIN).
Nacional Financiera (NAFIN)	Créditos, garantías, fondeo a intermediarios financieros, estructuración de proyectos	Mas de 400 mil millones de MNX en cartera de crédito [167]	Empresas, proyectos de infraestructura y sectores estratégicos alineados con prioridades de desarrollo y política pública nacional	Implementación y escalamiento	Dependencia de intermediarios financieros, financiamiento reembolsable, necesidad de proyectos bancables
Secretaría de Energía	Subvenciones y prestamos con	Inversiones de más de	Proyectos de energías limpias y	Preinversión e implementación	Enfoque en proyectos de

(SENER) por Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE)	tasas preferenciales.	500 millones de pesos [168]	eficiencia energética, con énfasis en generación distribuida y sectores de menor escala	(principalmente en proyectos de menor escala)	pequeña escala y menor riesgo, limitada aplicación en tecnologías emergentes de gran escala
--	-----------------------	-----------------------------	---	---	---

A nivel de mecanismos nacionales aplicables a OTEC se observó una menor cartera de instrumentos, lo cual se puede atribuir a que, al ser gestionados a nivel federal, estos flujos financieros suelen estar mucho más centralizados. Específicamente se abordaron tres instituciones o instrumentos: BANOBRAS, NAFIN y el FOTEASE, los cuales tienen atribuciones y capacidades suficientes para impulsar proyectos energéticos, mitigando riesgos y promoviendo esquemas de bancabilidad.

BANOBRAS se identificó como una institución de gran relevancia dentro de la banca de desarrollo, particularmente vinculada al financiamiento de infraestructura mediante créditos de largo plazo, garantías y mecanismos de estructuración financiera [108]. Dado que uno de sus principales ejes de financiamiento es el sector energético, este se consideró con un alto grado de alineación con tecnología OTEC. Específicamente el FONADIN, un fondo que forma parte de su arquitectura institucional resulta de gran relevancia en la asignación de financiamiento orientados a mejorar la bancabilidad de proyectos de infraestructura con alta rentabilidad social como podría ser OTEC [169].

Por otro lado, NAFIN también presenta un grado de alineación importante por su función como canalizador de recursos y facilitador del acceso a financiamiento para sectores estratégicos, lo cual puede resultar relevante en fases donde el proyecto requiera una mayor articulación con intermediarios financieros o esquemas mixtos [108], [112].

Asimismo, se evaluó el FOTEASE, un fondo creado para promover los objetivos de la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (ENTEASE). A pesar de que este es uno de los instrumentos sectoriales más directamente vinculados a la política energética nacional, su implementación histórica se ha concentrado principalmente en proyectos de generación distribuida y eficiencia energética de menor escala [169], lo cual limita su alineación con un proyecto OTEC.

4.4.2. Discusión sobre dimensión financiera

Las Tablas 9 y 10 demuestran, por un lado, la diversidad de mecanismos disponibles, mientras que por otro lado sostienen la viabilidad financiera de proyectos de energías renovables en México, haciendo explícito que estos no dependen únicamente del acceso a crédito directo, sino también de instrumentos de mitigación de riesgo y estructuración.

Mientras que los mecanismos internacionales muestran mayor aplicabilidad para asumir riesgos elevados y financiar estudios de factibilidad, los mecanismos nacionales tienden a concentrarse en proyectos más estructurados, con menor incertidumbre y una ruta clara de implementación [169], [108], [110]. Es por esto que la ruta de financiamiento para una tecnología como OTEC comienza, en sus primeras etapas basándose en financiamiento internacional para impulsar estudios de factibilidad que permitan sentar bases sólidas de su viabilidad. Una vez que el proyecto avanza a una etapa donde su nivel de madurez es tal que el riesgo es menor y se comprueban los beneficios asociados, entonces podrían incorporarse otros mecanismos, tanto internacionales como nacionales, orientados implementación del proyecto.

Por la naturaleza del caso mexicano, donde los grandes flujos de capital necesarios implican una barrera importante, la ruta de financiamiento podría seguir una trayectoria combinada donde se articulen simultáneamente diversos recursos internacionales e instrumentos públicos nacionales, además de que un elemento clave sería que desde las primeras etapas se desarrollen esquemas para facilitar la participación de capital privado, lo cual sería indispensable para asegurar la sostenibilidad de estas tecnologías en el largo plazo.

Una barrera identificada importante para los mecanismos internacionales es la volatilidad financiera debida a tensiones geopolíticas, lo cual ha debilitado profundamente los esquemas de cooperación multilateral, haciéndolos cada vez más escasos en recursos. Este fenómeno ya comienza a observarse en la reconfiguración de acuerdos internacionales, por lo que valdría la pena explorar si en el caso mexicano se pueden impulsar las inversiones del sector privado en etapas tempranas para subsanar este problema, principalmente mediante instrumentos como bonos verdes sostenibles y esquemas de financiamiento combinado [111], [133].

Así mismo, se identificó otra limitación estructural del sistema financiero global, específicamente aplicable a países en vías de desarrollo. Este tiene que ver con el financiamiento concesional, el cual suele ser determinante para habilitar las primeras fases de proyectos a partir flujos de capital con condiciones “preferenciales”, pero que en la práctica generan dependencia prolongada de deuda concesional en países con sistemas financieros frágiles.

A pesar de las barreras existentes, el caso de México también presenta condiciones sumamente favorables para el desarrollo de OTEC, siendo una de ellas la existencia de condiciones institucionales y regulatorias que impulsan el financiamiento de este tipo de proyectos como la taxonomía sostenible y la estrategia de movilización de financiamiento sostenible, los cuales sientan las bases de un marco de referencia para orientar recursos hacia proyectos alineados con la transición energética y la lucha contra el cambio climático [170], [171].

Además, estas tecnologías emergentes también se han comenzado a incluir en instrumentos y compromisos de política pública nacional, como el caso de la Política Nacional para el Manejo Sustentable de Mares y Costas de México, la cual incorpora compromisos explícitos relacionados

con el impulso de energías renovables oceánicas, incluso proponiendo una meta a largo plazo de generación del 25% de la demanda eléctrica de estados costeros mediante estas tecnologías. Desde una perspectiva financiera, este tipo de alineación institucional abre nuevas oportunidades para acceder a recursos internacionales y fortalecer la viabilidad de proyectos de esta naturaleza.

El panorama financiero relacionado a la implementación de una tecnología como OTEC presenta una situación relativamente prometedora, por un lado existen limitantes de capital por los grandes flujos que requiere un proyecto de esta envergadura y el panorama internacional parece incierto, pero por el otro el país presenta señales importantes de interés en impulsar estas tecnologías a la par de que en años recientes se ha impulsado la estructuración de todo un sistema financiero que podría habilitar los flujos necesarios para estas tecnologías en el mediano plazo.

Este escenario implica que, para desarrollar un proyecto de estas características, se deberá diseñar una ruta de financiamiento que se base en la diversificación de fuentes, al mismo tiempo que base las primeras etapas en financiamiento a fondo perdido, idealmente de fondos internacionales, lo cual permita elaborar toda la etapa de planeación. Asimismo, el fortalecimiento del marco institucional, incluyendo instrumentos como la taxonomía sostenible, puede facilitar la atracción de inversión privada, la cual también podría ser necesaria en el largo plazo.

Con base en lo anterior, se puede considerar que la dimensión financiera sería pertinente, siempre y cuando se puedan resolver o subsanar las barreras identificadas anteriormente, y donde un sector clave sería la banca comercial, ya que su integración adecuada a la ruta de financiamiento ayudaría a construir esquemas de financiamiento mixto que permitan un despliegue a mayor escala y sostenibilidad financiera.

Capítulo V. Conclusiones

En la dimensión técnica se determinó que la región presenta una combinación de condiciones técnicas favorables para el desarrollo de tecnología OTEC, principalmente a la profundidad de 1000 metros. Las características que respaldan esta aseveración son la morfología adecuada con cercanía de aguas profundas a la costa (menos de 3 km), sobre todo en el área de Cabo Corrientes; la presencia y estabilidad de gradientes térmicos (ΔT superior a 20°C) durante todo el año y potencial de generación (entre 67 MW y 109 MW) adecuados para generar energía de forma constante. Esto en conjunto denota la existencia un potencial aprovechamiento energético en la zona y que sería posible plantear una instalación offshore pertinente en términos económicos y operativos.

Desde el punto de vista socioeconómico, la región no presenta una situación severa de falta de acceso a energía eléctrica o agua potable y presenta una cobertura casi total de estos servicios. Sin embargo, el crecimiento sostenido del sector turístico y su consecuente aumento en la demanda de energía y

agua sienta las bases para que la tecnología OTEC pueda tener un alto grado de pertinencia a partir de que se proponga como una posible alternativa para atender la demanda futura y no como una solución a carencias actuales. A pesar de esto, los retos que persistirán para la implementación es que el alto costo de la tecnología OTEC podría dificultar su despacho frente a otras tecnologías más baratas y que los cobeneficios implicarán inversiones adicionales como infraestructura de potabilización y distribución.

En cuanto a la dimensión climática, la ubicación de la región dentro de una zona de alta actividad ciclónica representa un riesgo latente para este tipo de infraestructura. A pesar de que no se tienen registros históricos de impactos directos severos de ciclones en la zona de Bahía de Banderas, el actual contexto de cambio climático prevé ciclones más intensos y frecuentes. Es por esto que esta dimensión es la que podría presentar un mayor nivel de incertidumbre y solo se podría considerar pertinente la instalación de una planta bajo ciertas consideraciones como que su implementación requeriría considerar desde el diseño aspectos de resiliencia frente a eventos extremos aislados y exposición acumulada a lo largo de la vida útil de la infraestructura.

Por último, en el ámbito financiero se identificó que, a pesar del actual contexto geopolítico, existe una amplia diversidad de mecanismos y herramientas financieras que podrían hacer viable la implementación. En el ámbito internacional existe amplia concordancia del proyecto con ciertos fondos, específicamente los del GCF y GEF, los cuales podrían verse como dos de las mejores opciones. En el contexto nacional se pudo notar que existe una creciente intención a nivel nacional de impulsar tecnologías energéticas emergentes, especialmente renovables marinas, lo que abre la puerta a nuevos mecanismos de financiamiento.

El conjunto de evaluaciones realizadas en cada dimensión permite determinar, con una base sólida, que el proyecto OTEC planteado para la Bahía de Banderas tiene un alto grado de pertinencia regional, con el potencial de contribuir no solo a la generación de energía, sino también a otros aspectos relevantes como la disponibilidad de agua y el desarrollo de planes de adaptación locales. De esta forma, este estudio sienta una base importante para promover el impulso a este tipo de tecnologías en el Pacífico mexicano a la par de que evidencia la necesidad de continuar con análisis más profundos que aseguren la viabilidad de esta tecnología.

Capítulo VI. Referencias bibliográficas

- [1] NASA, “Climate Change - NASA Science”. Consultado: el 6 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://science.nasa.gov/climate-change/>
- [2] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), “Carbon dioxide now more than 50% higher than pre-industrial levels”, NOAA. Consultado: el 6 de enero de 2026. [En línea].

- Disponible en: <https://www.noaa.gov/news-release/carbon-dioxide-now-more-than-50-higher-than-pre-industrial-levels>
- [3] CMNUCC, “Acuerdo de París”. Paris, diciembre de 2015. [En línea]. Disponible en: https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf
 - [4] P. R. Shukla, J. Skea, A. R. Reisinger, y IPCC, Eds., *Climate change 2022: mitigation of climate change*. Geneva: IPCC, 2022.
 - [5] International Energy Agency (IEA), “CO2 Emissions in 2023 – Analysis”, IEA. Consultado: el 7 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023>
 - [6] Gobierno de México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, “Informe del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI) 1990-2022”. 2025. [En línea]. Disponible en: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/INEGYCEI_170625_CGMCC.pdf
 - [7] S. Rodríguez, “Hacia 2050, dependencia de combustibles fósiles continuará: excomisionada de la CNH”. Consultado: el 7 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://forbes.com.mx/hacia-2050-dependencia-de-combustibles-fosiles-continuara-excomisionada-de-la-cnh/>
 - [8] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), “Actualización de la Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40”. 2025. [En línea]. Disponible en: https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/2025/ENCC_2025_SEMARNAT.pdf
 - [9] Secretaría de Energía (SENER), “Balance Nacional de Energía”. 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/977268/Balance_Nacional_de_Energ_a_2023.FINAL06.02.2025.1.pdf
 - [10] Secretaría de Energía (SENER), “Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias”. 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/903922/Atlas_Nacional_de_Zonas_con_Alt_o_Potencial_de_Energ_as_Limpias.pdf
 - [11] E. P. Garduño-Ruiz *et al.*, *Conversión de Energía Térmica Oceánica (OTEC) Estado del Arte*, vol. 8. en Centro Mexicano de Innovación en Energía - Océano, no. 28, vol. 8. Campeche, 2017. [En línea]. Disponible en: https://cemieoceanico.mx/downloads/libros/CEMIEOceano_Gradiente_Termico.pdf
 - [12] R. Lindsey y L. Dahlman, “Climate Change: Ocean Heat Content | NOAA Climate.gov”. Consultado: el 7 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-ocean-heat-content>
 - [13] E. P. Garduño-Ruiz *et al.*, “Criteria for Optimal Site Selection for Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) Plants in Mexico”, *Energies*, vol. 14, núm. 8, abr. 2021, doi: 10.3390/en14082121.
 - [14] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), “Características generales de las zonas marinas y costeras de México - Compendio 2021”. Consultado: el 7 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2021/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/aprooot/dgeia_mce/html/RECUADROS_INT_GLOS/D3_MARES/D3_R_MARES01_01.html

- [15] C. López-Chávez, “Posibles impactos en la diversidad biológica por la implementación del sistema OTEC en los sitios analizados en el Pacífico Mexicano durante la campaña oceanográfica OTEC-I”, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 2024. [En línea]. Disponible en: https://tesiunamdocumentos.dgb.unam.mx/ptd2024/oct_dic/0864715/0864715.pdf
- [16] General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO), “Gridded Bathymetry Data”. global coverage grids, 2025. [TID]. Disponible en: <https://www.gebco.net/data-products/gridded-bathymetry-data>
- [17] S. Cerdeira-Estrada, *et al.*, “Daily 1-km Satellite Nighttime Sea Surface Temperature (NSST)”. Satellite-based Ocean Monitoring System (SATMO), <https://simar.conabio.gob.mx/satmo/>, 2024. Consultado: el 20 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://simar.conabio.gob.mx/explorer/?satmo=nsst>
- [18] J. Reagan *et al.*, “World Ocean Atlas 2023”. NOAA National Centers for Environmental Information, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ncei.noaa.gov/access/metadata/landing-page/bin/iso?id=gov.noaa.nodc:0270533>
- [19] OECD, *Aplicación minuciosa de los criterios de evaluación*. OECD Publishing, 2025. doi: 10.1787/d1ee36bb-es.
- [20] National Geographic Society, “Oceanography”. Consultado: el 19 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://education.nationalgeographic.org/resource/oceanography>
- [21] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), “How does the ocean affect climate and weather on land?”, NOAA Ocean Exploration. Consultado: el 19 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://oceanexplorer.noaa.gov/ocean-fact/climate/>
- [22] R. H. Stewart, “Introduction To Physical Oceanography”, *Texas A&M University*, 2008, [En línea]. Disponible en: https://www.colorado.edu/oclab/sites/default/files/attached-files/stewart_textbook.pdf
- [23] P. Webb, *Introduction to Oceanography*. 2021. Consultado: el 19 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://rwu.pressbooks.pub/webboceanography/>
- [24] William H. Avery y Chih Wu, *Renewable Energy from the Ocean: A Guide to OTEC*. New York: Oxford University Press, 1994. [En línea]. Disponible en: https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9780195361117_A23604014/preview-9780195361117_A23604014.pdf
- [25] J. C. Ortiz, *Introducción a la oceanografía física*. Universidad del Norte, 2015.
- [26] B. Delorme y Y. Eddebbbar, “Ocean Circulation and Climate: an Overview”.
- [27] S. Earle, *Physical Geology*. Consultado: el 19 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://opentextbc.ca/physicalgeology2ed/>
- [28] C. Simoniello, “Ocean in Motion”. Gulf of Mexico Coastal Ocean Observing System, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://gcoos.org/wp-content/uploads/2020/04/OceanInMotion-Grades5-8.pdf>
- [29] M. Barreiro, “Oceanografía Física”, en *Introducción a la Oceanografía 2014*, Uruguay, 2014. [En línea]. Disponible en: http://www.fisica.edu.uy/~barreiro/files/Clase_oceanfisica_todo_2014.pdf
- [30] National Geographic Society, “¿Cuántos océanos hay en la Tierra? Uno por uno, estos son sus nombres”, National Geographic. Consultado: el 27 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2025/06/cuantos-oceanos-hay-en-la-tierra-uno-por-uno-estos-son-sus-nombres>

- [31] H. Böll S., “Atlas de los Océanos Adendum México”. 2018. [En línea]. Disponible en: https://mx.boell.org/sites/default/files/web_adendum_atlas_de_los_oceanos.pdf
- [32] Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), “Compromisos nacionales e internacionales – SIMAR”. Consultado: el 3 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://simar.conabio.gob.mx/compromisos/>
- [33] Comisión de Límites de la Plataforma Continental, “Presentación parcial de datos e información sobre los límites exteriores de la plataforma continental de los Estados Unidos Mexicanos”. 2007. [En línea]. Disponible en: https://www.un.org/depts/los/clcs_new/submissions_files/mex07/parte_i_resumen_ejecutivo.pdf#:~:text=La%20plataforma%20continental%20de%20un%20Estado%20ribere%C3%B1o,u na%20distancia%20de%20200%20millas%20marinas%20contadas
- [34] Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), “Regiones marinas, modificado para el geoportal del SNIB”. Consultado: el 3 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/regionmarinamx.html>
- [35] G. de la Lanza Espino, M. A. Ortiz Pérez, y J. L. Carbajal Pérez, “Diferenciación hidrogeomorfológica de los ambientes costeros del Pacífico, del Golfo de México y del Mar Caribe”, *Investigaciones geográficas*, núm. 81, pp. 33–50, ago. 2013, Consultado: el 27 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-46112013000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [36] X. Chiappa-Carrara, C. Enríquez, V. Papiol, I. Mariño-Tapia, y C. Reyes-Hernández, “Pacific Coast of Mexico”, en *World Seas: an Environmental Evaluation*, Academic Press, 2019, pp. 655–671. doi: 10.1016/B978-0-12-805068-2.00045-0.
- [37] H. Espinosa, “El Pacífico mexicano”, vol. 76, FACULTAD DE CIENCIAS, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, Ciudad de México, 2004. Consultado: el 3 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.revistacienciasunam.com/es/77-revistas/revista-ciencias-76/621-el-pacifico-mexicano.html?utm_source=chatgpt.com
- [38] T. Wilkinson, E. Wiken, J. Bezaury C., y T. Hourigan F., “Ecorregiones marinas de América del Norte”, 2009, [En línea]. Disponible en: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/ECORREGIONES%20MARINAS.pdf>
- [39] R. Aguirre Gómez y O. Salmerón García, “Oceanografía satelital de los mares mexicanos (NA VIII)”. Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 2010. [En línea]. Disponible en: https://www.geografia.unam.mx/Geodig/nvo_atlas/index.html/5_naturaleza_ambiente/8_oceanografia_fisica/NA_VIII.pdf
- [40] H. Huante y R. Silva, “Determination of the Potential Thermal Gradient for the Mexican Pacific Ocean”, *Journal of Marine Science and Engineering*, ene. 2018, doi: 10.3390/JMSE6010020.
- [41] C. V. Pérez-de Silva, A. L. Cupul-Magaña, F. A. Rodríguez-Zaragoza, y A. P. Rodríguez-Troncoso, “Temporal oceanographic variation using satellite imagery data in the central Mexican Pacific convergence zone”, *Cienc. Mar.*, mar. 2023, doi: 10.7773/cm.y2023.3260.

- [42] A. Pérez, E. Mendoza, y R. Silva, *Estimación del clima marítimo y la energía de oleaje disponible en las costas mexicanas*. Ciudad de México, 2012. [En línea]. Disponible en: file:///C:/Users/hugos/Downloads/2012_CNH_140art_ppai140.pdf
- [43] I. Azuz-Adeath, *La Década del Océano en México 2021-2030: La Ciencia que Necesitamos*, 1a ed., vol. 14. EPOMEX-UAC, 2023. doi: 10.26359/EPOMEX012023.
- [44] I. Azuz-Adeath y E. Rivera-Arriaga, “Descripción de la dinámica poblacional en la zona costera mexicana durante el periodo 2000-2005”, *Papeles de población*, vol. 15, núm. 62, pp. 75–107, dic. 2009, Consultado: el 2 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1405-74252009000400003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [45] H. M. Aviña Jiménez, “Factibilidad de instalar una planta OTEC (Conversión de la Energía Térmica del Océano) en las costas de México”, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 2007. [En línea]. Disponible en: <https://ru.dgb.unam.mx/server/api/core/bitstreams/e5e665a6-1cab-42c4-abc5-38a3121f6a63/content>
- [46] E. A. S. Kim y H.-J. Kim, “Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)”.
- [47] T. Nakaoka y H. Uehara, “Performance test of a shell-and-plate type evaporator for OTEC”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 1, núm. 3, pp. 283–291, jul. 1988, doi: 10.1016/0894-1777(88)90008-8.
- [48] IRENA, “Ocean Thermal Energy Conversion - Technology Brief”. 2014. [En línea]. Disponible en: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2014/Ocean_Thermal_Energy_V4_web.pdf
- [49] S. Muralidharan, “Assessment of ocean thermal energy conversion”, Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2012. Consultado: el 4 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/76927>
- [50] M. G. Paredes, A. Padilla-Rivera, y L. P. Güereca, “Life Cycle Assessment of Ocean Energy Technologies: A Systematic Review”, *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 7, núm. 9, sep. 2019, doi: 10.3390/jmse7090322.
- [51] G. Rivera, M. Ortiz, E. Rivera-Arriaga, y E. Mendoza, “Identification of applicable regulation and public policy gaps regarding marine renewable energy in Mexico”, *Ocean & Coastal Management*, vol. 254, p. 107171, ago. 2024, doi: 10.1016/j.ocecoaman.2024.107171.
- [52] N. Akita, Y. Ohe, S. Araki, M. Yokohari, T. Terada, y J. Bolthouse, “Managing Conflicts with Local Communities over the Introduction of Renewable Energy: The Solar-Rush Experience in Japan”, *Land*, vol. 9, núm. 9, ago. 2020, doi: 10.3390/land9090290.
- [53] I. Bailey, J. West, y I. Whitehead, “Out of Sight but Not out of Mind? Public Perceptions of Wave Energy”, *Journal of Environmental Policy & Planning*, vol. 13, núm. 2, pp. 139–157, jun. 2011, doi: 10.1080/1523908X.2011.573632.
- [54] A. Wojtarowski-Leal y M. Martínez, “Exploring the perception of decision-makers towards a marine renewable energy project on the island of Cozumel, Mexico”, *Anthropocene Coasts*, vol. 8, oct. 2025, doi: 10.1007/s44218-025-00102-z.
- [55] M. Wolsink, “Wind power and the NIMBY-myth: institutional capacity and the limited significance of public support”, *Renewable Energy*, vol. 21, núm. 1, pp. 49–64, sep. 2000, doi: 10.1016/S0960-1481(99)00130-5.

- [56] E. van de Grift y E. Cuppen, “Beyond the public in controversies: A systematic review on social opposition and renewable energy actors”, *Energy Research & Social Science*, vol. 91, p. 102749, sep. 2022, doi: 10.1016/j.erss.2022.102749.
- [57] I. Szeman y J. Wenzel, “What do we talk about when we talk about extractivism?”, *Textual Practice*, vol. 35, núm. 3, pp. 505–523, mar. 2021, doi: 10.1080/0950236X.2021.1889829.
- [58] P. Devine-Wright y B. Wiersma, “Understanding community acceptance of a potential offshore wind energy project in different locations: An island-based analysis of ‘place-technology fit’”, *Energy Policy*, vol. 137, p. 111086, feb. 2020, doi: 10.1016/j.enpol.2019.111086.
- [59] T. Hooper, C. Hattam, A. Edwards-Jones, y N. Beaumont, “Public perceptions of tidal energy: Can you predict social acceptability across coastal communities in England?”, *Marine Policy*, vol. 119, p. 104057, sep. 2020, doi: 10.1016/j.marpol.2020.104057.
- [60] M. M. Vanegas Cantarero, “Of renewable energy, energy democracy, and sustainable development: A roadmap to accelerate the energy transition in developing countries”, *Energy Research & Social Science*, vol. 70, p. 101716, dic. 2020, doi: 10.1016/j.erss.2020.101716.
- [61] OES IEA, “White Paper on OTEC”. Ocean Energy Systems, Lisboa, Portugal, 2021. Consultado: el 5 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.ocean-energy-systems.org/publications/oes-position-papers/document/white-paper-on-otec/>
- [62] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), “Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional 2024”, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ciudad de México, feb. 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/981194/aviso_fesen_2024.pdf
- [63] A. G. Nickoloff, S. T. Olim, M. Eby, y A. J. Weaver, “An assessment of ocean thermal energy conversion resources and climate change mitigation potential”, *Clim Change*, vol. 178, núm. 5, p. 103, 2025, doi: 10.1007/s10584-025-03933-4.
- [64] CEMIE Océano, “Reporte técnico de la campaña de investigación oceanográfica OTEC-1 proyecto CEMIE-O”, Ciudad de México, Reporte técnico, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://cemieoceano.mx/proyecto-cemie.html>
- [65] Secretaría de Marina (SEMAR), *Política Nacional para el Manejo Sustentable de Mares y Costas de México (PNMSMCM)*. 2025. Consultado: el 5 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.dof.gob.mx/2025/SEMAR/PNMSMCM.pdf&ved=2ahUKEwj5z7v-4MOSAxxPLUQIHS6pE7wQFnoECBkQAQ&usq=A0vVaw2qnd7NWu9WrpBk5VIJTWYh>
- [66] P. M. Wolff y L. F. Lewis, “Thermal resource availability”, *Energy*, vol. 5, núm. 6, pp. 525–528, jun. 1980, doi: 10.1016/0360-5442(80)90076-6.
- [67] J. V. Hernández-Fontes, A. Felix, E. Mendoza, Y. R. Cueto, y R. Silva, “On the Marine Energy Resources of Mexico”, *JMSE*, vol. 7, núm. 6, p. 191, jun. 2019, doi: 10.3390/jmse7060191.
- [68] Marine and Hydrokinetic Energy Technology Assessment Committee, “An Evaluation of the U.S. Department of Energy’s Marine and Hydrokinetic Resource Assessments”, 2013, doi: <https://doi.org/10.17226/6708>.
- [69] M. Mendieta, E. P. Garduño-Ruiz, Y. Rodríguez Cueto, R. E. Contreras, y J. Barcenas, *Atlas del gradiente térmico en mares mexicanos*. Ciudad de México, 2025. doi: 10.26359/EPOMEX.CEMIE.

- [70] J. G. Rueda-Bayona, A. Guzmán, y A. F. Osorio, “DOE-ANOVA for Identifying the Effect of Extreme Sea-States over the Structural Dynamic Parameters of a Floating Structure | IIETA”, el 30 de junio de 2022. doi: 10.18280/mmep.090334.
- [71] P. Veers *et al.*, “Grand challenges in the design, manufacture, and operation of future wind turbine systems”, *Wind Energy Science*, vol. 8, núm. 7, pp. 1071–1131, jul. 2023, doi: 10.5194/wes-8-1071-2023.
- [72] V. Morales-Márquez, A. Cáceres-Euse, I. Hernández-Carrasco, A. Molcard, y A. Orfila, “Extreme waves in the Caribbean Sea: spatial regionalization and long-term analysis”, *Front. Mar. Sci.*, vol. 10, dic. 2023, doi: 10.3389/fmars.2023.1294189.
- [73] W. IPCC, “Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability”, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, Summary for policy makers 5, 2014. [En línea]. Disponible en: https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_en.pdf
- [74] G. Sánchez R., O. Frausto, L. Gómez-Mendoza, Á. R. Terán-Cuevas, y J. C. Morales H., “Tropical Cyclones in the North Atlantic Basin and Yucatan Peninsula, Mexico: Identification of Extreme Events”, vol. 16, núm. 2, *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, pp. 145–160, 2021. doi: 10.18280/ijdne.160204.
- [75] Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático (ICAYCC), “Eventos extremos, Cambio Climático antropogénico y variabilidad natural”, Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático. Consultado: el 11 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.atmosfera.unam.mx/eventos-extremos-cambio-climatico-antropogenico-y-variabilidad-natural/>
- [76] A. F. Pugas, A. Vitor, y M. F. Leal de Quadro, “Identification of active meteorological systems in Santa Catarina with potential socioeconomic impact - MedCrave online”, *Instituto Federal de Santa Catarina*, vol. 8, núm. 3, Brasil, pp. 81–90, 2024. Consultado: el 11 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://medcraveonline.com/IJH/identification-of-active-meteorological-systems-in-santa-catarina-with-potential-socioeconomic-impact.html>
- [77] C. E. Gómez *et al.*, “Evaluación preliminar del impacto del huracán Iota en arrecifes coralinos de las islas de Providencia y Santa Catalina”, *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, vol. 51, núm. 1, pp. 193–200, jun. 2022, doi: 10.25268/bimc.invemar.2022.51.1.1164.
- [78] B. Andreina y M. Simoes-Reboita, “Climatologia do Índice do Potencial de Gênese de Ciclones Tropicais nos Oceanos Adjacentes à América do Sul”, *Anuário do Instituto de Geociências*, vol. 44, UFRJ, Brasil. doi: 10.11137/1982-3908_2021_44_39515.
- [79] J. Wang, Y. Chang, y K. Tim-Tse, “Synthesis of Tropical Cyclones: Understanding, Modeling, and Adapting to Climate Change Impacts | IntechOpen”, en *Climate Change and Risk Management - Strategies, Analysis, and Adaptation*, 2024, p. 262. doi: 10.5772/intechopen.114390.
- [80] Y.-Y. Lau, T.-L. Yip, M. A. Dulebenets, Y.-M. Tang, y T. Kawasaki, “A Review of Historical Changes of Tropical and Extra-Tropical Cyclones: A Comparative Analysis of the United States, Europe, and Asia”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, núm. 8, abr. 2022, doi: 10.3390/ijerph19084499.
- [81] J. A. F. Neto, D. Mendes, W. A. Gonçalves, M. M. Cintra, y J. F. de O. Júnior, “A new climatological perception of hurricanes in the north atlantic.”, el 22 de junio de 2023, *Research Square*. doi: 10.21203/rs.3.rs-3076349/v1.

- [82] M. S. Reboita, N. M. Crespo, y L. F. Gozzo, “Uma introdução à análise de massas de ar, frentes e ciclones extratropicais na América do Sul”, *Revista Brasileira de Geografia Física*, vol. 16, núm. 6, pp. 3263–3282, dic. 2023, doi: 10.26848/rbgf.v16.6.p3263-3282.
- [83] E. V. García, G. G. de V. Sanromán, L. E. Tilman, I. Tereshchenko, J. C. M. Hernández, y F. O. G. Concepción, “Influencia de la variabilidad climática en la evaluación del riesgo de ciclogénesis tropical en el Golfo de México”, *Cuadernos de Investigación Geográfica*, vol. 50, núm. 2, pp. 29–44, jun. 2024, doi: 10.18172/cig.5847.
- [84] J. M. Sequeira-Arguedas, “Contexto de inestabilidad de laderas en la Ruta Nacional 613 en 2020, Coto Brus, Costa Rica”, *Infraestructura Vial*, vol. 25, núm. 44, pp. 1–14, ago. 2023, doi: 10.15517/iv.v25i44.54752.
- [85] J. A. F. Neto, D. Mendes, W. A. Gonçalves, M. M. Cintra, y J. F. de Oliveira Júnior, “Temporal evolution of hurricane activity: insights from decades of category 1–5 analysis”, *Environ Earth Sci*, vol. 83, núm. 7, p. 202, mar. 2024, doi: 10.1007/s12665-024-11504-6.
- [86] G. Grossmann-Matheson, I. R. Young, A. Meucci, y J.-H. Alves, “Global changes in extreme tropical cyclone wave heights under projected future climate conditions”, *Sci Rep*, vol. 14, núm. 1, p. 31797, dic. 2024, doi: 10.1038/s41598-024-82892-9.
- [87] R. Fuchs *et al.*, “Assessment of Offshore Wind Energy Opportunities and Challenges in the U.S. Gulf of Mexico”, National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO (United States), NREL/TP--5000-88195, dic. 2023. doi: 10.2172/2274828.
- [88] M. Ghosn, “Safety assessment of civil infrastructure assets subjected to extreme events”, en *Life-Cycle of Structures and Infrastructure Systems*, CRC Press, 2023. [En línea]. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/373940907_Safety_assessment_of_civil_infrastructure_assets_subjected_to_extreme_events
- [89] S. Creane *et al.*, “IEA Wind TCP Task 49: Reference Site Conditions for Floating Wind Arrays”, NREL/TP--5000-89937, 2447928, MainId:90716, sep. 2024. doi: 10.2172/2447928.
- [90] K. L. Mattu, H. C. Bloomfield, S. Thomas, O. Martínez-Alvarado, y O. Rodríguez-Hernández, “The impact of tropical cyclones on potential offshore wind farms”, *Energy for Sustainable Development*, vol. 68, pp. 29–39, jun. 2022, doi: 10.1016/j.esd.2022.02.005.
- [91] J. M. Rodríguez Esteves, “Desastres y covid-19: dos modelos para reducir el riesgo en México”, *Frontera norte*, vol. 34, dic. 2022, doi: 10.33679/rfn.v1i1.2161.
- [92] D. Romero y J. F. León-Cruz, “Spatiotemporal changes in hurricane-force wind risk assessment in the Yucatan Peninsula, Mexico”, *Nat Hazards*, vol. 120, núm. 5, pp. 4675–4698, mar. 2024, doi: 10.1007/s11069-023-06397-w.
- [93] M. L. Martínez *et al.*, “The challenges of climate change and human impacts faced by Mexican coasts: A comprehensive evaluation”, *PLoS One*, vol. 20, núm. 4, p. e0320087, abr. 2025, doi: 10.1371/journal.pone.0320087.
- [94] T. Cavazos *et al.*, “Challenges for climate change adaptation in Latin America and the Caribbean region”, *Front. Clim.*, vol. 6, abr. 2024, doi: 10.3389/fclim.2024.1392033.
- [95] J. L. García-Franco, O. Gómez-Ramos, y C. Domínguez, “Hurricane Otis: the costliest and strongest hurricane at landfall on record in Mexico - García-Franco - 2024 - Weather - Wiley Online Library”, vol. 79, núm. 6, Royal Meteorological Society, pp. 182–184, 2024. doi: <https://doi.org/10.1002/wea.4555>.

- [96] M. T. Ramírez-Herrera, O. Coca, K. Gaidzik, y V. H. Vargas Espinosa, “Hurricane Otis: Category 5 storm effects and cascading hazards in Acapulco Bay, Mexico”, *Global and Earth Surface Processes Change*, vol. 3, p. 100004, jun. 2025, doi: 10.1016/j.gespch.2025.100004.
- [97] A. Hernández Vélez y F. Z. Mena Angelito, “Estudiar en contextos de tragedia. El caso del estudiantado universitario durante el huracán Otis en México”, *Actualidades Investigativas en Educación*, vol. 25, núm. 3, pp. 1–28, sep. 2025, doi: 10.15517/ca190235.
- [98] G. C. Delgado-Ramos *et al.*, “A 2023 hurricane caught Mexico off guard: we must work together to prepare better”, *Nature*, vol. 628, núm. 8006, pp. 33–35, abr. 2024, doi: 10.1038/d41586-024-00904-0.
- [99] L. H. Escalera-Vázquez, F. Martínez-Servín, y D. Arceo-Carranza, “Fish assemblage structure related to habitat heterogeneity in rocky reefs in the Mexican Pacific coast”, *Neotrop. ichthyol.*, vol. 22, p. e230040, 2024, doi: <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2023-0040>.
- [100] Z. Wen, F. Wang, J. Wan, Y. Wang, F. Yang, y C. Guo, “Assessment of the tropical cyclone-induced risk on offshore wind turbines under climate change”, *Nat Hazards*, vol. 120, núm. 6, pp. 5811–5839, abr. 2024, doi: 10.1007/s11069-023-06390-3.
- [101] Global Energy, “Inversión en Energías Limpias Alcanza \$1.8 Billones: México está en lugar 33”, Global Energy. Consultado: el 20 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://globalenergy.mx/noticias/inversion-en-energias-limpias-alcanza-1-8-billones-mexico-esta-en-lugar-33/>
- [102] “Políticas de atracción de inversiones para el financiamiento de la energía limpia en América Latina | CEPAL”. Consultado: el 20 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/48084-politicas-atraccion-inversiones-financiamiento-la-energia-limpia-america-latina>
- [103] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), “Contribución Determinada a nivel Nacional 3.0 de México”, Gobierno de México. Consultado: el 20 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://www.gob.mx/semarnat/documentos/actualizacion-de-la-contribucion-determinada-a-nivel-nacional-3-0-de-mexico>
- [104] Climate Transparency, “Revisión de instrumentos de financiamiento para la transición energética de México: Casos FOTEASE y FIDE”, Ciudad de México, Climate Policy, feb. 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2025/04/Revision-de-instrumentos-de-financiamiento-para-la-transicion-energetica-de-Mexico_-casos-FOTEASE-y-FIDE.pdf
- [105] W. Suárez, “Las renovables, el camino hacia la seguridad energética en México”, EMBER Energy, may 2025. [En línea]. Disponible en: <https://ember-energy.org/app/uploads/2025/05/ES-Reporte-Las-renovables-el-camino-hacia-la-seguridad-energetica-en-Mexico.pdf>
- [106] Secretaría de Gobernación, “Programa Sectorial de Energía 2025-2030”, DOF - Diario Oficial de la Federación. Consultado: el 20 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5776838&fecha=22/12/2025#gsc.tab=0
- [107] Secretaría de Gobernación, “Programa Nacional de Financiamiento del Desarrollo 2025-2030”, Diario Oficial de la Federación. Consultado: el 20 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5767238&fecha=04/09/2025#gsc.tab=0

- [108] Gobierno de México, “Mexico Projects Hub - Financing”, Mexico Projects Hub. Consultado: el 20 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.proyectosmexico.gob.mx/en/how-mexican-infrastructure/financing/#toggle-id-3>
- [109] F. Suárez Dávila, “El sistema mexicano de financiamiento del desarrollo: retrocesos y retos”, *Economía UNAM*, vol. 16, núm. 46, pp. 79–88, abr. 2019, doi: 10.22201/fe.24488143e.2019.46.433.
- [110] International Energy Agency (IEA), “Financing Clean Energy Transitions in Emerging and Developing Economies”. World Bank, Davos, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.iea.org/reports/financing-clean-energy-transitions-in-emerging-and-developing-economies&ved=2ahUKEwizo7TSg-uSAxVLI0QIHXgyEv8QFnoECAQQAQ&usg=AOvVaw3SUIzH7x57wBq3EwVh6g>
- [111] V. Habel, E. T. Jackson, M. Orth, J. Richter, y H. Sven, “Evaluating Blended Finance Instruments and Mechanisms: Approaches and Methods”. OCDE, agosto de 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2021/08/evaluating-blended-finance-instruments-and-mechanisms_c995f112/f1574c10-en.pdf
- [112] F. Flores-Espino, S. Booth, y A. Graves, “Mexico’s Geothermal Market Assessment Report”, National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States), NREL/TP--6A20-63722, mar. 2017. doi: 10.2172/1349719.
- [113] J. Pereira, “Financiación del sector privado con AOD y eficacia del desarrollo”, Trade Union Development Cooperation Network, Manipur, 2016. [En línea]. Disponible en: https://www.ituc-csi.org/IMG/pdf/tudcn-dfi_study_web_es.pdf
- [114] PNUD, “Evaluación de Financiamiento para el Desarrollo Sostenible en México”, PNUD, Ciudad de México, 2023. Consultado: el 21 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.undp.org/es/mexico/publicaciones/evaluacion-de-financiamiento-para-el-desarrollo-sostenible-en-mexico>
- [115] E. Morales-Domínguez, L. F. Álvarez-Sánchez, y L. E. Calderón-Aguilera, “Seasonal and spatial variability of the euphotic zone in Bahía de Banderas”, *Hidrobiológica*, vol. 33, núm. 2, pp. 211–222, ago. 2023, doi: 10.24275/rzpr6531.
- [116] A. Velázquez Ruiz, L. M. Martínez R, y F. M. Carrillo González, “Caracterización climática para la región de Bahía de Banderas mediante el sistema de Köppen, modificado por García, y técnicas de sistemas de información geográfica”, *Investigaciones geográficas*, núm. 79, pp. 7–19, dic. 2012, Consultado: el 27 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-46112012000300002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [117] DATA México, “Puerto Vallarta: Economía, empleo, equidad, calidad de vida, educación, salud y seguridad pública”, Data México. Consultado: el 1 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/puerto-vallarta>
- [118] DATA México, “Cabo Corrientes: Economía, empleo, equidad, calidad de vida, educación, salud y seguridad pública”, Data México. Consultado: el 1 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/bahia-de-banderas>
- [119] Secretaría de Bienestar, “Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2022 - Bahía de Banderas”, Unidad de Planeación y Evaluación de Programas para el Desarrollo, Ciudad de México, Informe anual, 2022. [En línea]. Disponible en:

- https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/699798/18_020_NAY_Bahia_de_Banderas.pdf
- [120] J. A. Baños Francia, “Consideraciones sobre la gestión metropolitana en México: Acercamiento al caso de la Bahía de Banderas”, *Trace (México, DF)*, núm. 64, pp. 69–87, 2013, Consultado: el 1 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0185-62862013000200006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [121] ONU Hábitat, “Reporte municipal sobre el cumplimiento de los ODS a nivel urbano”, ONU Habitat, Reporte municipal, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://publicacionesonuhabitat.org/onuhabitatmexico/Infonavit-LE2-ReporteMunicipal-BahiadeBanderas.pdf#:~:text=Resultados%20para%20Bah%C3%ADa%20de%20Banderas,%20Las%20principales,conformaba%20por%202,105.14%20ha%20de%20manzanas%20urbanas.>
- [122] Secretaría de Marina (SEMAR), “Acerca del puerto: Puerto Vallarta”, Gobierno de México. Consultado: el 3 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.puertodevallarta.com.mx/acerca-del-PUERTO>
- [123] DATA México, “Bahía de Banderas: Economía, empleo, equidad, calidad de vida, educación, salud y seguridad pública”, Data México. Consultado: el 1 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/bahia-de-banderas>
- [124] Secretaría de Bienestar, “Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2022 - Cabo Corrientes”, Unidad de Planeación y Evaluación de Programas para el Desarrollo, Ciudad de México, Informe anual, 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/699388/14_020_JAL_Cabo_Corrientes.pdf
- [125] Secretaría de Bienestar, “Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2025 - Puerto Vallarta”, Unidad de Planeación y Evaluación de Programas para el Desarrollo, Ciudad de México, Informe anual, 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/973473/14067_Puerto_Vallarta_2025.pdf
- [126] Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), “El agua en Puerto Vallarta: Origen, uso y destino”, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Morelos, 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/947755/Copia_de_VD_Dictamen_Puerto_Vallarta_2.pdf
- [127] Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), “Plataforma Nacional de Energía, Ambiente y Sociedad”, Plataforma Nacional de Energía, Ambiente y Sociedad. Consultado: el 3 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://energia.conahcyt.mx/planeas>
- [128] Secretaría de Energía (SENER), “Anexo 1: Infraestructura del Sistema Eléctrico Nacional”, Secretaría de Energía, Ciudad de México, 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.cenace.gob.mx/Docs/16_MARCOREGULATORIO/Prodecen/19%202024-2038%20Anexos.pdf
- [129] R. Muñoz Sánchez, J. A. Velasco, F. Estrada Porrúa, y O. Calderón Bustamante, “Impacts of climate change on electrical subsidies’ public policies: the case of Mexico”, *Mitig Adapt Strateg Glob Change*, vol. 31, núm. 3, p. 20, feb. 2026, doi: 10.1007/s11027-025-10282-1.

- [130] C. Carrillo, “Áreas Marinas Protegidas en México”, Oceana México. Consultado: el 3 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://mx.oceana.org/blog/guia-completa-areas-marinas-protegidas-en-mexico/>
- [131] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), “100 años de conservación en México: Áreas Naturales Protegidas”. Ciudad de México, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.conanp.gob.mx/pdf/100A%C3%B1osConservaci%C3%B3n.pdf>
- [132] C. A. Mortera Gutiérrez, W. L. Bandy, F. Ponce Núñez, y D. A. Pérez Calderón, “Bahía de Banderas, Mexico: Morphology, Magnetic Anomalies and Shallow Structure”, *Pure Appl. Geophys.*, vol. 173, núm. 10, pp. 3525–3551, oct. 2016, doi: 10.1007/s00024-016-1384-y.
- [133] G. C. Nihous, “A Preliminary Assessment of Ocean Thermal Energy Conversion Resources”, *J. Energy Resour. Technol.*, vol. 129, núm. 1, pp. 10–17, jul. 2006, doi: 10.1115/1.2424965.
- [134] E. P. Garduño-Ruiz, “Valoración de la Factibilidad de Implementación de una Planta OTEC en México”, Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 2022. [En línea]. Disponible en: https://tesiunam.dgb.unam.mx/F?func=direct¤t_base=TES01&doc_number=000825505
- [135] M. Bachtiar Nappu, A. Arief, y R. C. Bansal, “Transmission management for congested power system: A review of concepts, technical challenges and development of a new methodology”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 38, pp. 572–580, oct. 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.05.089.
- [136] G. Sánchez-Rivera, “Estimación de la resiliencia de la cobertura vegetal ante el impacto de ciclones tropicales en la Península de Yucatán, mediante el cálculo de anomalías del índice normalizado de vegetación”, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://tesiunamdocumentos.dgb.unam.mx/ptd2018/marzo/0772088/0772088.pdf>
- [137] M. Soto Calvo y H. S. Lee, “Ocean thermal energy conversion (OTEC) potential in central American and Caribbean regions: A multicriteria analysis for optimal sites”, *Applied Energy*, vol. 394, p. 126182, sep. 2025, doi: 10.1016/j.apenergy.2025.126182.
- [138] Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), “Grado de Rezago Social a nivel AGEB urbana 2020”, Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. Consultado: el 10 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Rezago_social_AGEB_2020.aspx
- [139] Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), “Índice de rezago social por localidad, 2020”. Datos GOB, 2020. Consultado: el 26 de febrero de 2026. [Csv]. Disponible en: https://www.datos.gob.mx/dataset/rezago_social/resource/5f88bf19-7390-40c0-a941-b3b257d7ad14
- [140] Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), “Reporte Anual del Mercado Eléctrico Mayorista”, Centro Nacional de Control de Energía, Ciudad de México, Informe anual, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.cenace.gob.mx/Docs/ModuloServicios/Reporte%20Anual%20del%20MEM%20016%20-%20MIM.pdf>
- [141] GME Global, “Mexican Electricity Market Operation”. Ciudad de México, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.gme-global.com/uploads/archivos/20240917-101415.pdf>

- [153] G. Rinaldi *et al.*, “Assessment of extreme and metocean conditions in the Maldives for OTEC applications”, *International Journal of Energy Research*, vol. 43, núm. 13, pp. 7316–7335, 2019, doi: 10.1002/er.4762.
- [154] G. Ivanov, P.-M.-D. Dang, W.-L. Tsai, Y. Du, R. Wada, y K.-T. Ma, “Impact of tropical cyclones on mooring designs of floating offshore wind turbines”, *Ocean Engineering*, vol. 341, p. 122490, dic. 2025, doi: 10.1016/j.oceaneng.2025.122490.
- [155] U.S. Department of Energy, “Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) Programmatic Environmental Analysis--Appendices”, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA (US), LBL-10511-v2, ene. 1980. doi: 10.2172/1001653.
- [156] E.-P. Cárdenas-Gómez, “Turismo y cambio climático en México”. Jalisco, 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/378936441_TURISMO_Y_CAMBIO_CLIMATICO_EN_MEXICO
- [157] J. C. Morales Hernández, L. M. Farfán Molina, F. Maciel Carrillo González, V. M. Cornejo López, y J. Téllez López, “Influencia de los ciclones tropicales del periodo de 1970 al 2010 en la región de Bahía de Banderas, Nayarit-Jalisco, México”, 2013, Consultado: el 15 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14330/PER01000378285>
- [158] Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), “Fondos de financiamiento climático y ambiental”, Plataforma de finanzas sostenibles. Consultado: el 16 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.finanzassostenibles.hacienda.gob.mx/es/finanzassostenibles/fondos>
- [159] Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), “Country Programme - United Mexican States”, Ciudad de México, Country Programme. [En línea]. Disponible en: <https://www.greenclimate.fund/sites/default/files/document/gcf-country-programme-mexico.pdf>
- [160] Banco Interamericano de Desarrollo (BID), “IDB Mexico Office”. Consultado: el 16 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.iadb.org/en/who-we-are/country-offices/mexico>
- [161] Banco Mundial (BM), “Cartera de proyectos en México”, World Bank. Consultado: el 16 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/country/mexico/projects>
- [162] Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), “Suscribe Bancomext 2 líneas de crédito con el Banco de Desarrollo Alemán KfW, para financiar proyectos de energías renovables en México”, Bancomext. Consultado: el 16 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.bancomext.com/suscribe-bancomext-2-lineas-de-credito-con-el-banco-de-desarrollo-aleman-kfw-para-financiar-proyectos-de-energias-renovables-en-mexico/>
- [163] Banco de Desarrollo de America Latina y el Caribe, “CAF y KfW acuerdan crédito de USD 156 millones para agua y saneamiento”, CAF. Consultado: el 16 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/caf-y-kfw-firman-nueva-linea-de-credito-por-usd-156-millones-para-proyectos-de-agua-y-saneamiento/>
- [164] H. Usla, “CFE adquiere crédito de 300 millones de dólares del CAF: Planea fortalecer ‘carreteras de la electricidad’”, *El Financiero*. Consultado: el 16 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.elfinanciero.com.mx/economia/2025/12/16/cfe-adquiere-credito-de-300-millones-de-dolares-del-caf-planea-fortalecer-carreteras-de-la-electricidad/>

- [165] Agencia Francesa de Desarrollo (AFD), “Proyectos de la Agencia Francesa de Desarrollo en México”, Agencia Francesa de Desarrollo. Consultado: el 16 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.afd.fr/es/page-region-pays/mexico>
- [166] Green Climate Fund, “About GCF”, Green Climate Fund. Consultado: el 17 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.greenclimate.fund/about>
- [167] Nacional Financiera (NAFIN), “Financiamiento Sostenible NAFIN”, Nacional Financiera. Consultado: el 16 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.nafin.com/portalfn/content/sostenibilidad/finanzas-sostenibles/financiamiento-sostenible.html>
- [168] Secretaría de Energía (SENER), “Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía”, gob.mx. Consultado: el 16 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://www.gob.mx/sener/articulos/el-fondo-para-la-transicion-energetica-y-el-aprovechamiento-sustentable-de-la-energia-es-un-instrumento-de-politica-publica-de-la-secretaria>
- [169] A. Podestá, M. S. Eirin, R. Contreras-Lisperguer, y R. Salgado, “Políticas de atracción de inversiones para el financiamiento de la energía limpia en América Latina”, CEPAL, Documentos de proyectos, ago. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/48084-politicas-atraccion-inversiones-financiamiento-la-energia-limpia-america-latina>
- [170] Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), “Taxonomía Sostenible de México”, Gob MX. Consultado: el 17 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.finanzassostenibles.hacienda.gob.mx/es/finanzassostenibles/taxonomia>
- [171] Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), “Estrategia de Movilización de Financiamiento Sostenible”, Secretaría de Hacienda y Crédito Público, Ciudad de México, 2024. Consultado: el 17 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.finanzassostenibles.hacienda.gob.mx/work/models/finanzassostenibles/recursos/documentos/estrategia/EMFS_Septiembre_2024.pdf

Capítulo VII. Glosario y lista de abreviaciones

Acrónimo	Significado
AGEB	Área Geoestadística Básica
AFD	Agencia Francesa de Desarrollo
AMP	Áreas Marinas Protegidas
ANP	Áreas Naturales Protegidas
AP	Acuerdo de París
BANOBRAS	Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos
BANCOMEXT	Banco Nacional de Comercio Exterior
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BM	Banco Mundial

BNE	Balance Nacional de Energía
CAF	Banco de Desarrollo de América Latina
CEMIE-Océano	Centro Mexicano de Innovación en Energía del Océano
CENACE	Centro Nacional de Control de Energía
CICIMAR	Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas
CMA	Circulación Meridional de Retorno
CMNUCC	Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático
CONAHCyT	Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
CONEVAL	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social
COP	Conferencia de las Partes de la CMNUCC
CTD	Conductivity, temperature and depth
ENCC	Estrategia Nacional de Cambio Climático
ENSO	El Niño–Oscilación del Sur
ENTEASE	Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
FONADIN	Fondo Nacional de Infraestructura
FOTEASE	Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
GEBCO	Gráfico Batimétrico General del Océano
GCF	Green Climate Fund
GCR	Gerencias de Control Regional
GEF	Global Environment Facility
GEI	Gases de efecto invernadero
GRS	Grado de Rezago Social
IRS	Índice de Rezago Social
KfW	Banco de Crédito para la Reconstrucción (Alemania)
LCOE	Costo Nivelado de Energía
MRE	Energías Renovables Marinas
NAFIN	Nacional Financiera
NDC	Contribución Nacionalmente Determinada
NOAA	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica
OCC	Gerencias de Control Regional Occidental
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
OES	Ocean Energy Systems
OTEC	Conversión de Energía Térmica Oceánica
PCM	Pacífico Central Mexicano
PEF	Presupuesto de Egresos de la Federación
PML	Precio Marginal Local
PROSENER	Programa Sectorial de Energía 2025–2030
PTO	Pacífico Tropical Oriental
RGD	Redes Generales de Distribución
RNT	Red Nacional de Transmisión
SATMO	Sistema Satelital de Monitoreo Oceánico
SEN	Sistema Eléctrico Nacional

SENER	Secretaría de Energía
SIG	Sistema de Información Geográfica
SIN	Sistema Eléctrico Nacional
SIN	Sistema Interconectado Nacional
TSM	Temperatura Superficial del Mar
WOA	Atlas Oceánico Mundial
ZEE	Zona Económica Exclusiva

Término	Significado
Amenaza climática	Fenómeno climático con potencial de causar daños a sistemas naturales, población e infraestructura.
Batimetría	Medición y descripción de la profundidad y morfología del fondo marino.
Bonos	Instrumentos de deuda mediante los cuales se obtiene financiamiento a cambio de pagos futuros con interés.
Ciclo Rankine	Ciclo termodinámico que convierte energía térmica en energía mecánica y eléctrica mediante un fluido de trabajo.
Financiamiento concesional	capital ofrecido con condiciones preferenciales como bajas tasas de interés o plazos extendidos.
LCOE (Costo Nivelado de Energía)	Costo promedio de generación eléctrica durante la vida útil de un proyecto, expresado por unidad de energía generada.
OTEC (Conversión de Energía Térmica Oceánica)	Tecnología que genera electricidad a partir del gradiente térmico entre aguas superficiales y profundas.
PML (Precio Marginal Local)	Precio de la electricidad en un nodo específico del Sistema Eléctrico Nacional.
Potencia neta	Energía eléctrica entregada a la red tras descontar el consumo interno de la planta.
Riesgo climático	Probabilidad de afectación por fenómenos climáticos, considerando amenaza, exposición y vulnerabilidad.
Riesgo de inversión	Incertidumbre asociada a la rentabilidad de un proyecto.
Termoclina	Capa oceánica donde la temperatura disminuye rápidamente con la profundidad.