



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA**  
**INGENIERÍA CIVIL – HIDRÁULICA**

**PROPUESTA PARA LA INCORPORACIÓN DE ENERGÍA MARINA A LA  
DEMANDA ENERGÉTICA DE LA PAZ BCS CON EL ENFOQUE DE GESTIÓN  
COSTERA**

**TESIS**  
**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**  
**MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL**  
**(HIDRÁULICA)**

**PRESENTA:**  
**GRACIELA RIVERA CAMACHO**

**TUTOR PRINCIPAL**  
**DR. EDGAR GERARDO MENDOZA BALDWIN, INSTITUTO DE INGENIERÍA,**  
**UNAM**

**COMITÉ TUTOR**  
**DR. RODOLFO SILVA CASARÍN, INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM**  
**DRA. ANGÉLICA FELIX DELGADO, CATEDRÁTICA CONACyT**  
**DRA. MIREILLE DEL CARMEN ESCUDERO CASTILLO, INSTITUTO DE**  
**INGENIERÍA, UNAM**  
**Dr. ISMAEL DE JESÚS MARIÑO TAPIA,**

**CIUDAD DE MÉXICO, MARZO, 2022**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: DR. RODOLFO SILVA CASARÍN  
Secretario: DR. ISMAEL DE JESÚS MARIÑO TAPIA  
1 er. Vocal: DR. EDGAR MENDOZA BALDWIN  
2 do. Vocal: DRA. MIREILLE DEL. C ESCUDERO CASTILLO  
3 er. Vocal: DRA. ANGÉLICA FELIX DELGADO

Lugar donde se realizó la tesis:

Instituto de Ingeniería  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Circuito Escolar s/n. Ciudad Universitaria  
Delegación Coyoacán, C.P. 04510  
Ciudad de México  
MÉXICO

**TUTOR DE TESIS:**

Dr. Edgar Gerardo Mendoza Baldwin

-----  
**FIRMA**



# **AGRADECIMIENTOS**

## **A mi familia**

Parte fundamental de mi desarrollo personal y académico

## **A mis amigos**

Su apoyo fue clave durante este periodo

## **A la Dra. Angélica Felix Delgado**

Por transmitirme más que conocimientos académicos

A los doctores Edgar Mendoza, Rodolfo Silva Casarín, Mireille Escudero e Ismael  
Mariño

## **Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACyT) y CEMIE-O**

Por la beca otorgada que me permitió realizar mis estudios de maestría, así como el  
CEMIE-O por integrarme en su cuerpo estudiantil y el apoyo en mi trayectoria  
académica.

## **RESUMEN**

El bienestar humano, la reducción de la pobreza, la inclusión social y la mejora económica no pueden avanzar sin el acceso a la electricidad. Entre las zonas donde se requiere replantear la gestión de los recursos energéticos son las costas, un ejemplo de ello es la ciudad de La Paz, Baja California Sur. En esta investigación se seleccionaron factores que influyen en la toma de decisiones para gestionar los proyectos de energía marina, tales como el costo nivelado de la energía (LCOE por sus siglas en inglés), vulnerabilidad física y social (índice de marginación), los resultados se analizaron por medio del marco DPSIR.

Actualmente los costos de estas tecnologías son una de las principales limitantes seguido de la incertidumbre de impactos negativos, no obstante, en el primer caso aprovechamiento de OTEC la energía producida se focalizaría mantener la planta en funcionamiento y desalinización como una oportunidad para enfrentar el reto de escasez de agua de igual forma en el segundo caso despliegue de dispositivo WEC apoyaría al suministro de energía para el abastecimiento de agua a las comunidades y aliviar las presiones a la creciente demanda de energía del sector hotelero.

# ÍNDICE

<b>LISTA DE FIGURAS Y TABLAS</b> .....	i
<b>LISTA DE GRÁFICAS</b> .....	iv
<b>CAPÍTULO I</b> .....	1
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>I.1 OBJETIVOS</b> .....	3
I.1.1 Objetivo general .....	3
I.1.2 Objetivos particulares .....	3
<b>CAPÍTULO II</b> .....	4
<b>ESTADO DEL ARTE DEL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA UNDIMOTRIZ Y GRADIENTE TÉRMICO (OTEC) EN MÉXICO</b> .....	4
II.1 Oleaje .....	5
II.2 Gradiente térmico (OTEC) .....	8
II.2.1 Clasificación de las plantas OTEC de acuerdo a su ciclo .....	10
II.2.2 Ciclo abierto .....	10
II.2.2 Ciclo cerrado .....	10
II.2.3 Sistema híbrido .....	11
II.3 Clasificación de las plantas OTEC de acuerdo a su ubicación .....	11
II.3.1 OTEC en la costa .....	11
II.3.2 OTEC flotante .....	12
<b>II.4 GESTIÓN DE LA ZONA COSTERA</b> .....	12
II.4.1 Marco legal internacional de las energías oceánicas .....	14
<b>CAPÍTULO III</b> .....	20
<b>METODOLOGÍA</b> .....	20
III.1 Selección del caso de estudio .....	20
III.2 Alternativas para la incorporación del aprovechamiento de energía marina a la matriz energética de La Paz, Baja California Sur .....	21
III.3 Retos y oportunidades de la energía marina en la ciudad de La Paz, Baja California Sur desde la perspectiva de gestión costera .....	23
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	25
<b>ZONA DE INTERÉS, POLOS TURÍSTICOS BAJA CALIFORNIA SUR</b> .....	25
IV.1. 1. Ciudad Cabo San Lucas (CSL) .....	26
IV.1. 2. Características turísticas de CSL .....	27
IV.1. 3 Ciudad La Paz .....	29

IV.1. 4 Características turísticas de la ciudad La Paz .....	31
IV.2. Selección de la zona de estudio .....	33
a) Selección de las variables que influyen en la vulnerabilidad física de la ciudad La Paz, Baja California Sur .....	38
b) Oportunidad de aprovechamiento de energía oceánica en La Paz, Baja California Sur .....	41
<b>RESULTADOS</b> .....	45
IV.3 Factores socio-económicos y energéticos en la zona de estudio.....	45
IV.3. 1 Costo de inversión en energía marina en La Paz, Baja California Sur.....	50
IV.3. 2 Costos de una planta OTEC.....	50
IV.3. 3 Costos de aprovechamiento de energía undimotriz .....	51
IV.4 Mapeo de los actores en la ciudad La Paz, Baja California Sur .....	52
<b>MARCO DPSIR PARA LA GESTIÓN DE LA ZONA COSTERA DE LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR ENFOCADO EN EL APROVECHAMIENTO DE ENERGIA OCEÁNICA</b> .....	56
IV.5 Consideraciones ambientales del despliegue de dispositivos WEC y OTEC en la ciudad de La Paz, Baja California Sur.....	59
<b>DISCUSIÓN</b> .....	64
<b>RECOMENDACIONES PARA LA INCORPORACIÓN DE APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA OCEÁNICA EN EL SISTEMA COSTERO-MARINO LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR</b> .....	74
<b>CAPÍTULO V</b> .....	78
<b>CONCLUSIONES</b> .....	78
<b>REFERENCIAS</b> .....	79

## LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

<b>Figura 1.</b> Potencial teórico disponible por oleaje (arriba) y gradiente térmico (abajo) en las costas mexicanas (Hernández-Fontes et al., 2019).....	5
<b>Figura 2.</b> Dispositivos WEC a) de cuerpo oscilante, en el b) cuerpo oscilante flotantes o sumergidos y en el c) OWC (Kempener y Neumann, 2014; Hassan y Manasseh, 2014 ). .....	8
<b>Figura 3.</b> Esquema de una planta OTEC en la costa (Makai, 2015.).....	9
<b>Figura 4.</b> a) Planta OTEC híbrida en tierra y b) planta OTEC flotante (Kempener y Neumann, 2014).....	12
<b>Figura 5.</b> Selección del sitio de estudio con factores ambientales, sociales y político-legislativos.....	20
<b>Figura 6.</b> Características ecológicas de la ciudad Cabo San Lucas, Baja California Sur. .....	28
<b>Figura 7.</b> Características ecológicas de la ciudad La Paz, Baja California Sur.....	30
<b>Figura 8.</b> Ubicación de manglar en La Ensenada de la Paz, Baja California Sur (Ávila-Flores et al., 2020). ....	31
<b>Figura 9.</b> Grado de marginación de las viviendas de La Paz, Baja California Sur.....	34
<b>Figura 10.</b> Colonias con mayor grado de marginación de la ciudad La Paz, Baja California Sur. ....	36
<b>Figura 11.</b> Líneas de transmisión en Baja California Sur (SEMARNAT, 2020).....	42
<b>Figura 12.</b> DPSIR caso de estudio ciudad de La Paz, Baja California Sur. ....	57
<b>Tabla 1.</b> Categorías para la caracterización de dispositivos de energía undimotriz; conceptos operativos, ubicación respecto a la costa y su estado de flotabilidad (Doyle y Aggidis et al., 2019).....	6
<b>Tabla 2.</b> Factores físicos y ambientales para determinar la vulnerabilidad costera en La Paz, Baja California Sur. ....	39
<b>Tabla 3.</b> Variables físicas en la zona de estudio para identificar las áreas vulnerables. ....	40
<b>Tabla 4.</b> Proyección del crecimiento de poblacional en La Paz, Baja California Sur. ..	45
<b>Tabla 5.</b> Costos de inversión inicial para una planta OTEC de 1MW (Seungtaek et al., 2020). ....	51
<b>Tabla 6.</b> Costos de inversión inicial dispositivo aprovechamiento de oleaje (Asteriz et al., 2015; Gray et al., 2017).....	52
<b>Tabla 7.</b> Listado de los actores en del sitio de estudio basado en su relación con la infraestructura de la zona costera.....	53

## LISTA DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 1.</b> Crecimiento poblacional en la ciudad La Paz, Baja California Sur, disponibilidad de energía en viviendas (Gobierno del estado de Baja California Sur, n.d.). .....	46
<b>Gráfica 2.</b> Disponibilidad de energía eléctrica en las localidades correspondientes de La Paz, Baja California Sur (Gobierno del estado de Baja California Sur, n.d.).	47
<b>Gráfica 3.</b> Volumen de las ventas de energía eléctrica por tipo de usuario (MWh) (Gobierno de Baja California Sur, 2019).	48
<b>Gráfica 4.</b> Proyección del cargo kW demanda máxima media para el estado de Baja California Sur.	49
<b>Gráfica 5.</b> Ocupación hotelera de Baja California Sur (Gobierno del estado de Baja California Sur, n.d.)	50

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Las oportunidades y limitaciones en el desarrollo de las poblaciones costeras está muy ligado a la creciente demanda de recursos, lo que ha impulsado a las naciones a implementar o dar pasos hacia un desarrollo sostenible (LiVecchi *et al.*, 2017) que permita gestionar las actividades en el sistema costero-marino, incluyendo el aprovechamiento de energía marina (EM), la cual podría desempeñar un papel único en el desarrollo económico.

Las estimaciones del potencial y el desarrollo de dispositivos de EM son prioritarios, por ello una importante cantidad de literatura se ha enfocado en este tema (Posada *et al.*, 2019; Hernández-Fontes *et al.*, 2019; Ocampo-Torres, 2020; Garduño-Ruiz *et al.*, 2021; Mustapa *et al.*, 2017; IRENA, 2020; Kempener y Neumann, 2014; Mørk *et al.*, 2010).

El estado actual de las tecnologías asociadas, permite vislumbrar que la viabilidad económica se puede alcanzar a través de subproductos, por ejemplo, desalinizar el agua, agua disponible para abastecimiento en vivienda, aire acondicionado, los cuales son potencialmente valiosos para las comunidades costeras. Además, la producción de electricidad a partir de las fuentes contenida en el mar, ofrece impactos ambientales reducidos o incluso positivos (Peniche, 2019).

A pesar del avance de los prototipos, la evaluación de los impactos ambientales y la posible aceptación social de la construcción de una planta de generación eléctrica basada en energía marina se analiza hasta llegar a fases avanzadas en la planeación de los proyectos. En este trabajo buscó aportar información que muestre la capacidad de la incorporación de la energía marina considerando las necesidades inmediatas y futuras de las zonas costeras a fin de, además de la determinación de la viabilidad económica del uso de EM, jerarquizar el uso de todos los recursos disponibles.

Esto bajo el enfoque de gestión costera, el presente estudio realizado en La Paz, Baja California Sur busca proveer de mejores herramientas para la toma de decisiones

para la potencial ubicación de los dispositivos o granjas de conversión de energía marina. El estudio implementa indicadores físicos, y la estimación de la demanda energética proponiendo la elaboración de acciones que regulen las actividades relacionadas con la explotación de EM.

Asimismo, la información fue organizada siguiendo la estructura del esquema DPSIR (Drivers-Pressures-States of the Environment-Impacts-Responses) cuyo origen se remonta a OECD, 1994. Dicho marco metodológico ha resultado exitoso en facilitar el análisis y evaluación de la sostenibilidad de iniciativas de desarrollo (Carr *et al.*, 2007), que para el caso de este trabajo se corresponde con la implementación de plantas de energía eléctrica basadas en energía renovable marina, por otro lado, incluir los aspectos ambientales y sociales en las decisiones asociadas a la industria eléctrica marina.

## **I.1 OBJETIVOS**

### **I.1.1 Objetivo general**

Considerando aspectos físicos, económicos, ambientales y sociales, con un enfoque de gestión de la costa que facilite la toma de decisiones, en este trabajo se pretende evaluar la viabilidad de la incorporación de la energía renovable marina para potenciar el desarrollo costero sostenible en La Paz, BCS

### **I.1.2 Objetivos particulares**

- Determinar la demanda energética actual de La Paz, BCS y definir escenarios futuros asociados al crecimiento de la ciudad.
- Caracterizar los elementos físicos, biológicos y socioeconómicos que influyen en la vulnerabilidad de la zona costera de La Paz, BCS
- Evaluar la participación del aprovechamiento de energía undimotriz y gradiente térmico en la ciudad de La Paz, BCS
- Establecer las relaciones entre los estresores ambientales y el aprovechamiento de EM.
- Elaborar propuestas para el establecimiento y gestión del aprovechamiento de EM que promuevan buenas prácticas en el sector energético

## **I.2 Organización del trabajo**

El presente trabajo está dividido por cinco capítulos. En el primero de ellos se presenta la introducción que incluye la relevancia de la incorporación de energía renovable marina para combatir la problemática costera, así como la elección del marco que permitió identificar las necesidades puntuales de la zona de estudio y los objetivos de la investigación.

El contenido del capítulo dos incluye los antecedentes de la energía marina en México, en particular el aprovechamiento de energía undimotriz y gradiente térmico, la normativa relacionada con este tipo de aprovechamiento y la gestión costera. La metodología implementada en este trabajo se describe en el capítulo tres, mientras que los resultados y discusión se encuentran en el capítulo cuatro. Por último, las conclusiones y recomendaciones se exponen en el capítulo cinco.

## CAPÍTULO II

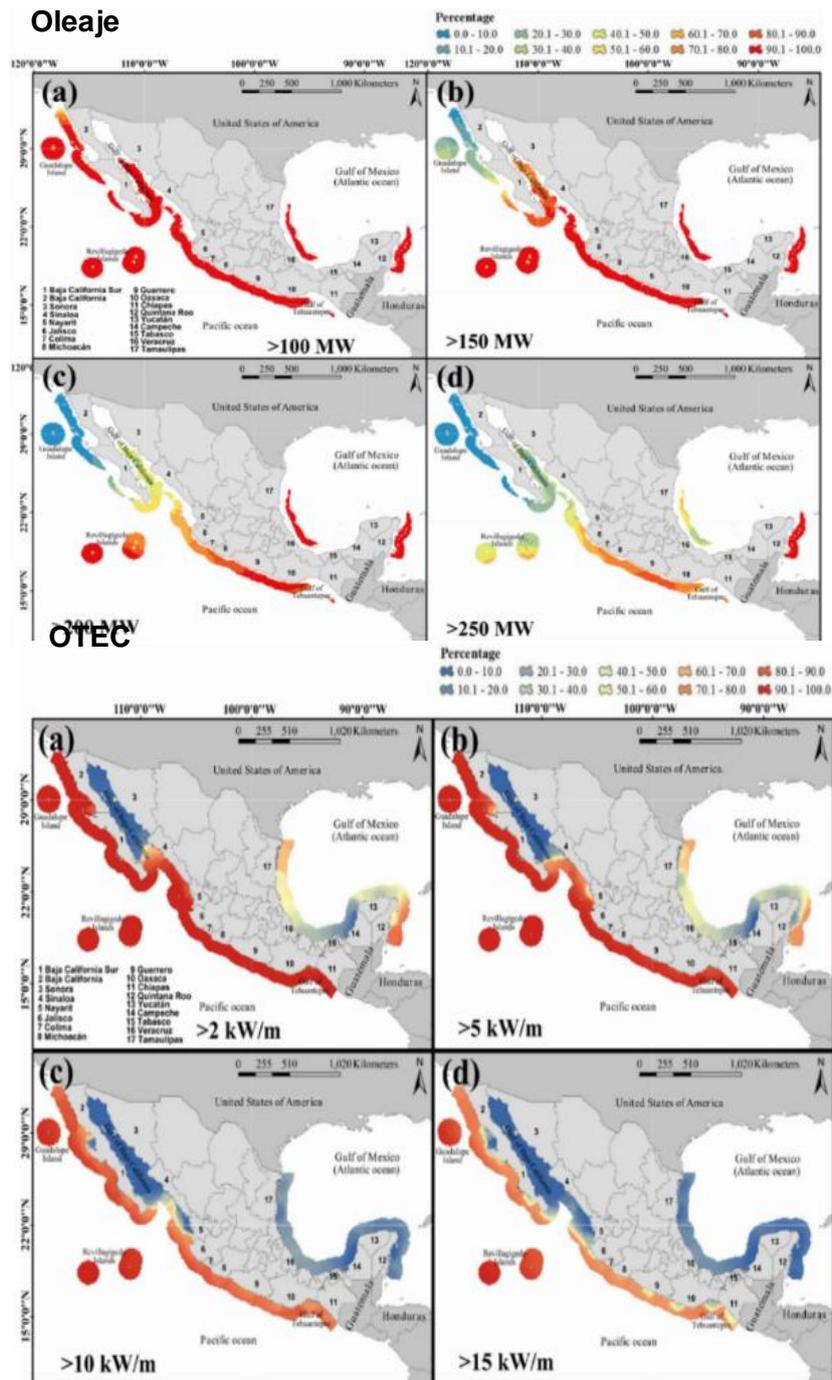
### ESTADO DEL ARTE DEL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA UNDIMOTRIZ Y GRADIENTE TÉRMICO (OTEC) EN MÉXICO

Los océanos representan una oportunidad para el aprovechamiento sostenible de recursos renovables globales. Se pueden distinguir dos tipos principales de energía marina: mecánica y térmica. El viento, producido por gradientes de presión atmosférica, interactúa (a través de la fricción) con la superficie del océano generando corrientes y oleaje. Mientras que la atracción gravitacional de la Luna y el Sol con la Tierra genera mareas y sus corrientes asociadas. Por su parte la energía térmica se deriva del sol, que calienta la superficie del océano mientras que las profundidades permanecen más frías (Etemadi *et al.*, 2011) originando el gradiente térmico en la columna de agua.

Si bien existen opiniones divergentes sobre la contribución potencial de la energía marina en la demanda mundial, parece claro que en áreas geográficas específicas este recurso puede contribuir significativamente al suministro de electricidad (Etemadi *et al.*, 2011; Hammar, 2014).

Al respecto, México tiene una ubicación geográfica privilegiada, con acceso a dos océanos, una extensión de 11,122 km de costa, 3,149,920 km<sup>2</sup> de mar territorial y zona económica exclusiva (DOF, 2018). Estas características aunadas a la problemática energética actual abrieron una ventana de oportunidad para realizar investigaciones en torno al potencial de aprovechamiento de energía marina en mares mexicanos.

El presente estudio se enfoca en Baja California Sur, cuya ubicación geográfica de acuerdo con Hernández-Fontes (fig. 1), favorece el aprovechamiento de energía por oleaje y gradiente térmico OTEC (ocean thermal energy conversion).



**Figura 1.** Potencial teórico disponible por oleaje (arriba) y gradiente térmico (abajo) en las costas mexicanas (Hernández-Fontes *et al.*, 2019).

## II.1 Oleaje

Los convertidores de energía del oleaje (WEC por sus siglas en inglés) capturan la energía cinética o potencial de las olas. Estos dispositivos se constituyen de varios componentes entre ellos: 1) la estructura y el motor primario que captura la energía de la

ola, 2) la base o amarre que mantiene la estructura y el motor primario en su lugar, 3) el sistema de toma de fuerza mediante el cual la energía mecánica se convierte en energía eléctrica, y 4) los sistemas de control para salvaguardar y optimizar el desempeño en condiciones de operación (Kempener y Neumann, 2014).

Para estimar los recursos de energía disponible de las olas, se requieren datos de olas precisos cubriendo un largo rango temporal y espacial. Actualmente, los datos se obtienen a partir de altimetría satelital de precisión y boyas, en el último caso las mediciones son *in situ* proporcionando información más precisa. No obstante, la altimetría satelital tiene la ventaja de una cobertura espacial más extensa (Mustapa *et al.*, 2017).

Esencialmente la energía contenida en una ola, aproximadamente el 95%, se encuentra entre la superficie y la cuarta parte superior de la longitud de onda (Kempener y Neumann, 2014). Esta energía se puede extraer de diferentes formas, lo que ha dado lugar a una variedad de investigaciones para desarrollo tecnológico.

Actualmente la mayoría de los dispositivos WEC se encuentran en etapa conceptual o se han sometido a pruebas en tanque de ola o pruebas *in situ*. Existen unos casos de éxito como es la granja con 14 dispositivos OWC en Mutriku, España se encuentra en funcionamiento desde el 2011.

Los dispositivos son clasificados en función de varios aspectos, incluida su ubicación de operación, el estado de las olas y el principio de funcionamiento (Mustapa *et al.*, 2017) (tabla 1).

**Tabla 1.** Categorías para la caracterización de dispositivos de energía undimotriz; conceptos operativos, ubicación respecto a la costa y su estado de flotabilidad (Doyle y Aggidis *et al.*, 2019).

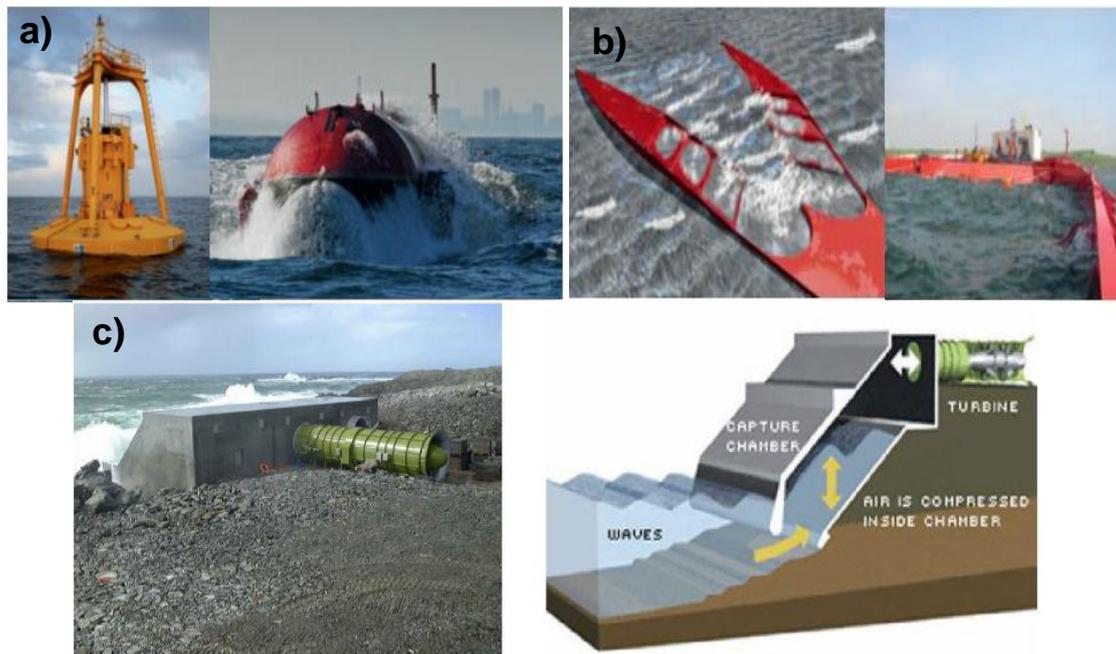
Concepto operativo	Ubicación	Estado
Cuerpo activo por onda (WAB)	Fijo en tierra	Fijo
OWC	Cerca de costa	Flotante
Desbordamiento (OT)	Fuera de costa	Sumergido

Se ha propuesto una amplia variedad de WECS, no obstante, el sistema de columna oscilante de agua (OWC por sus siglas en inglés) es una de las pocas tecnologías probadas a escala prototipo en condiciones ambientales reales (Ciappi *et al.*, 2020). Los dispositivos de conversión OWC usan una cámara semisumergida, que mantiene una bolsa de aire atrapada sobre una columna de agua. Las ondas hacen que la columna actúe como un pistón, que se mueve hacia arriba y hacia abajo y, por lo tanto, hace que el aire salga rápidamente de la cámara y vuelva a entrar. Este movimiento continuo genera una corriente inversa de aire a alta velocidad, que se canaliza a través de palas de rotor que impulsan un grupo de turbinas para producir electricidad (Kempener y Neumann, 2014).

Los convertidores de cuerpo oscilante son flotantes o sumergidos, a veces fijos en la parte inferior. Explotan los regímenes de olas que normalmente ocurren en aguas donde la profundidad es superior a 40 m. Los diferentes conceptos y formas de transformar el movimiento oscilante en electricidad han dado lugar a varios sistemas de toma de fuerza (PTO por sus siglas en inglés), por ejemplo, generadores hidráulicos con actuadores lineales, generadores eléctricos lineales, bombas de pistón, entre otros (Kempener y Neumann, 2014).

Otro tipo de WEC es el llamado convertidor o terminadores superiores que consisten en una estructura de depósito de agua flotante o fija en el fondo, suelen tener brazos reflectantes, que aseguran que cuando llegan las olas, se derramen sobre la parte superior de una estructura de rampa y se retengan en el depósito del dispositivo. La energía potencial, debido a la altura del agua recogida sobre la superficie del mar, se transforma en electricidad mediante turbinas hidráulicas convencionales de baja altura (Kempener y Neumann, 2014).

En la figura 2 se muestran algunos de los dispositivos anteriormente mencionados como son de cuerpo oscilante *PowerBuoy* y *Pelamis*, cuerpo oscilante flotantes o sumergidos como son *WaveCat* y *Wave Dragon* por último los OWC un ejemplo de este tipo de dispositivo se encuentra en Mutriku, España.



**Figura 2.** Dispositivos WEC a) de cuerpo oscilante, en el b) cuerpo oscilante flotantes o sumergidos y en el c) OWC (Kempener y Neumann, 2014; Hassan y Manasseh, 2014 ).

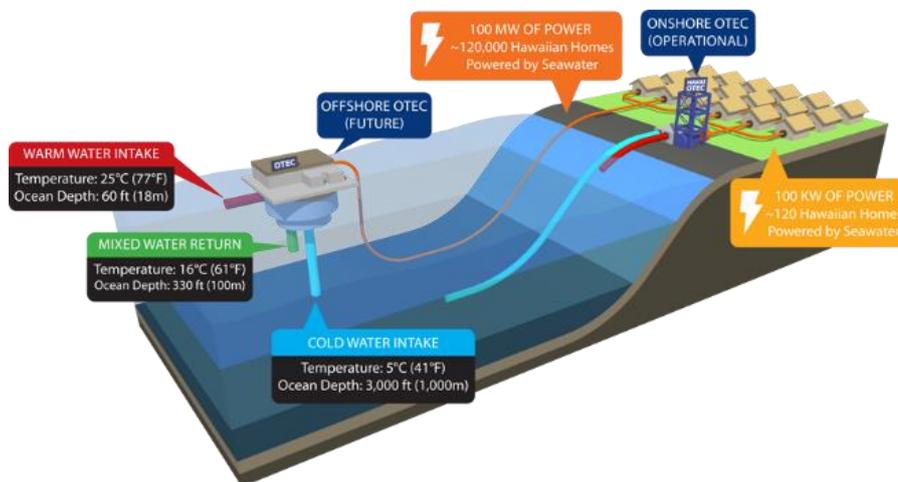
Los convertidores de energía de las olas deben tener la capacidad de operar bajo una amplia gama de condiciones y tolerar condiciones extremas (Posada *et al.* 2019). Los riesgos y costos de implementación y diseño, a menudo dominan o limitan el proyecto e instalación de los dispositivos, así como su viabilidad comercial. Parte de las consideraciones iniciales es la selección del dispositivo con base en las características del sitio, esta evaluación forma la base para determinar la viabilidad comercial ya que estos proyectos conllevan riesgos de inversión considerables.

## II.2 Gradiente térmico (OTEC)

La conversión de energía térmica oceánica (OTEC, por sus siglas en inglés) genera electricidad indirecta a partir de la energía solar, aprovechando la diferencia de temperatura entre la superficie marina calentada por el sol de los océanos tropicales y las aguas profundas más frías (Kempener y Neumann, 2014). Hace uso de las diferencias de temperatura entre la capa superficial y agua de fondo (800-1000 m) del mar, generalmente

opera con un gradiente mínimo de 20 °C, de acuerdo a la literatura es mejor seleccionar sitios con gradientes > 20 °C para una mayor eficiencia (Garduño-Ruiz *et al.*, 2021)

La diferencia de temperatura se convierte en energía eléctrica a través de intercambiadores de calor y turbinas. Primero, vía un intercambiador de calor, el agua superficial del mar evapora y presuriza un fluido de trabajo. Dicho vapor impulsa una turbina-generator que produce electricidad. Luego de pasar por la turbina, el fluido de trabajo condensa, en otro intercambiador de calor, con ayuda de agua fría del fondo marino. El agua de mar fría en este caso es bombeada de altas profundidades. Este sistema tiene potencial para ser empleado en desalinización o en sistemas de aire acondicionado (Kempener y Neumann, 2014) (Fig. 3).



**Figura 3.** Esquema de una planta OTEC en la costa (Makai, 2015)

Entre las ventajas de este tipo de aprovechamiento, se tiene la posibilidad de abastecer electricidad de forma continua (no intermitente) y que, al mismo tiempo, se puede proporcionar refrigeración sin consumo de electricidad. El factor de capacidad de las plantas OTEC es de alrededor del 90% -95%, uno de los más altos para todas las tecnologías de generación de energía (Kempener y Neumann, 2014).

Sin embargo, los costos de los sistemas OTEC por kilowatt son altos, debido a los componentes de las plantas, tuberías e intercambiadores de calor, por ello actualmente no es un sistema competitivo en comparación con el aprovechamiento con fuentes convencionales de energía. Por ello la estrategia para incorporar las plantas OTEC es

como plantas como un sistema complementario de aprovechamiento con la generación del sitio de estudio de interés para evaluar su rendimiento (Kempener y Neumann, 2014).

### II.2.1 Clasificación de las plantas OTEC de acuerdo a su ciclo

Existen dos principios de funcionamiento de las plantas OTEC, ciclo abierto y ciclo cerrado, también está el ciclo híbrido que es una combinación de los ciclos anteriormente mencionados.

#### II.2.2 Ciclo abierto

Debido a que los sistemas OTEC funcionan con fluidos de trabajo que pueden causar un alto impacto ecológico, sistemas OTEC de ciclo abierto usando agua de mar han sido propuestos para su diseño. En los sistemas OTEC de ciclo abierto el agua de mar de la capa superficial se bombea a una cámara de vacío, evaporándose instantáneamente y el vapor resultante impulsa la turbina. El ciclo abierto consta de los siguientes pasos (Venkatesan y Abraham, 2001);

#### II.2.2 Ciclo cerrado

En OTEC de ciclo cerrado, el agua superficial del mar a mayor temperatura calienta un fluido de trabajo con un punto de ebullición bajo (como amoníaco), y el vapor del fluido de trabajo hace girar una turbina, que impulsa un generador. El vapor luego es condensado por el agua fría y retornado a través del sistema (Etemadi *et al.*, 2011).

La principal diferencia entre el sistema de ciclo abierto y cerrado además del uso de un fluido de trabajo diferente del agua, es el tamaño de conducto y los diámetros de turbinas más pequeños para ciclo cerrado, así como el área de superficie requerida por los intercambiadores de calor (Kempener y Neumann, 2014).

### II.2.3 Sistema híbrido

Los sistemas híbridos combinan ciclos abiertos y cerrados donde el vapor generado por evaporación instantánea se utiliza como calor para impulsar un ciclo cerrado. Este ciclo utiliza tanto agua de mar como otro fluido de trabajo, generalmente diseñado con amoníaco. Primero, la electricidad se genera en un sistema de ciclo cerrado como descrito anteriormente. Posteriormente, las descargas de agua de mar caliente del ciclo cerrado se evaporan de forma similar a un sistema de ciclo abierto, y se enfrían con la descarga de agua fría (Kempener y Neumann, 2014).

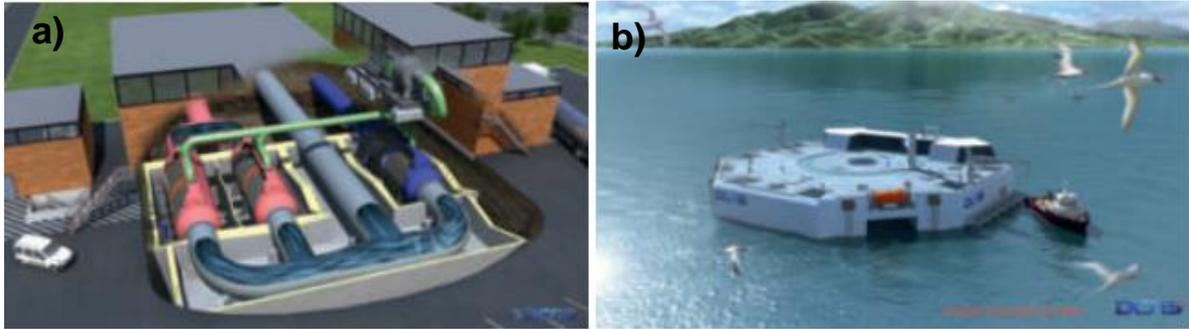
En general las ventajas de este tipo de plantas mencionadas en la literatura es el uso potencial de agua de fondo rica en nutrientes en actividades de maricultura, en el ciclo abierto se obtiene agua dulce mientras que en el sistema de ciclo cerrado puede ser combinado con una planta de desalinización además de ser una alternativa de aprovechamiento de energías islas remotas o ciudades costeras con problemas de suministro de energía.

## **II.3 Clasificación de las plantas OTEC de acuerdo a su ubicación**

Otras variaciones de la tecnología OTEC incluyen su ubicación, la literatura menciona dos tipos de locaciones. Las unidades en tierra y las unidades en altar mar pueden flotar o se fijan al lecho marino (Hamedi y Sadeghzadeh, 2017).

### II.3.1 OTEC en la costa

Son los casos en que el recurso se encuentra a una distancia de 2 a 3 km de la costa en este caso las tuberías son fijadas en el lecho oceánico a profundidades de 800 m a 1000 m (Venkatesan y Abraham, 2001). Esta ubicación representa varias ventajas; no requiere un sistema de amarre robusto, el costo de mantenimiento es reducido y los subproductos pueden ser distribuidos fácilmente (Herrera *et al.*, 2021).



**Figura 4.** a) Planta OTEC híbrida en tierra y b) planta OTEC flotante (Kempener y Neumann, 2014).

### II.3.2 OTEC flotante

Cuando el gradiente se encuentra de 10 a 15 km de la costa, esta se considera una planta flotante. Las plantas flotantes son diseñadas para estar establecidas sobre barcos o en plataformas de tipo petrolero. Presentan varios desafíos, entre ellos el establecimiento de cables submarinos para el transporte de energía, los costos de mantenimiento, así como su instalación (Garduño *et al.*, 2017).

## II.4 GESTIÓN DE LA ZONA COSTERA

A nivel mundial las zonas costeras registran una tasa de crecimiento poblacional alta, especialmente en costas que presentan desarrollos turísticos a gran escala, que inciden inevitablemente en las condiciones ambientales de los ecosistemas y los servicios que estos prestan al ser humano. En este panorama se reconoce la vulnerabilidad inherente en estas zonas, tanto por la transformación continua del paisaje por las actividades antrópicas como la asociada a los riesgos por fenómenos naturales.

Los valores ambientales de la franja costera han llevado a todos los países a reconocer la necesidad de una gestión integral en el marco de un desarrollo sostenible. La caracterización correcta de los medios biótico y abiótico de estas zonas, permite establecer las áreas de atención más urgentes en lo que respecta a la adecuación espacial y temporal de insumos y necesidades entre los diferentes actores involucrados (Azuz y Rivera, 2004).

Como se mencionó anteriormente las zonas costeras sustentan una gran parte de la población, pero están sometidas a riesgos por fenómenos naturales atentando con la seguridad de las poblaciones y la infraestructura que permite el desarrollo de sus actividades.

Para conocer los riesgos a los que está expuesta una zona costera se reconocen cuatro tipos de enfoques: 1) basados en índices, 2) basados en modelos dinámicos, 3) basados en SIG y por último 4) herramientas de visualización (Anfuso *et al.*, 2021). En la primera clasificación se encuentra la evaluación de la vulnerabilidad costera (VC), que es un proceso, principalmente empleado en identificar los efectos derivados de los efectos cambio climático como son aumento del nivel del mar, incidencia de eventos meteorológicos, erosión costera, entre otros. La VC se define como el daño potencial por amenazas naturales o el estado inherente del sistema precedente de un evento (Mani *et al.*, 2013). McCarthy *et al.* (2011) la definen como el grado de susceptibilidad de un sistema a los efectos adversos del cambio climático (p.ej. aumento del nivel del mar, inundaciones) asimismo es una función de la magnitud, la tasa de cambio y variación climática a los que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación.

También la VC se emplea para identificar aquellos factores que magnifican o atenúan los efectos de un evento natural, tecnológico o humano extremo y aquellos factores que disminuyen la capacidad de una comunidad o individuo para recuperarse posterior del evento (Cutter *et al.*, 2003). Bennett *et al.* (2015) mencionan a la VC como un concepto integrativo, es decir, es función de las interacciones entre tres elementos: exposición, sensibilidad y capacidad. Este concepto se basa en juicios de valor humano relativos al riesgo de diversos elementos del entorno natural y humano, el proceso de cuantificación de la vulnerabilidad depende de la concepción de la fuente del riesgo y el elemento bajo amenaza (Mclaughlin *et al.* 2010).

En la literatura consultada (Mclaughlin *et al.* 2010; CORIMAT, 2017; Bennett *et al.* 2015; Núñez-Gómez *et al.*, 2016; González-Baheza, 2013) menciona que el análisis de VC está enfocado en los factores físicos del sistema en especial a las consecuencias del cambio climático, sin embargo, dicho análisis está estrechamente relacionado con el componente social. Por ejemplo, la transformación del paisaje costero, refleja los cambios en las actividades socio-económicas, incluyendo el potencial de pérdida, estructural o no

estructural por desastres naturales. Además, los efectos de dichos cambios de actividades difieren por la escala espacio-temporal (Cutter, 1996).

Incorporar el elemento social aumenta la probabilidad de la eficacia en las acciones de prevención y mitigación de las amenazas a los sistemas costeros, por ello se busca incluir factores sociales que permitan identificar las necesidades de este sector, por ejemplo, índice de desarrollo humano, acceso a servicios básicos de la vivienda, crecimiento población, actividad económica predominante, suministro de agua etcétera. Cutter *et al.* (2003) señalan que la vulnerabilidad social (VS) es producto de las desigualdades sociales y son aquellos factores que influyen en la susceptibilidad de los diversos grupos que gobiernan su capacidad de respuesta. Wu *et al.* (2016) corroboran la importancia del análisis de la VS ya que evalúan las experiencias del establecimiento de grupos con mayor probabilidad de verse afectados.

En los últimos años se acuñó el término ansiedad ecológica que describe el fenómeno de angustia de la población por la crisis ambiental, la sociedad externaliza sus inquietudes a los tomadores de decisiones para exigir un cambio en la estructura actual del manejo de los recursos, entre ellos el uso de energía renovables como uno de las rutas para alcanzar la sostenibilidad. Esto reafirma el papel fundamental que tiene la sociedad, por ende, analizar el grado de vulnerabilidad, al ser el grupo afectado de forma directa.

Los orígenes del análisis de VC están estrechamente relacionados con los efectos del cambio climático, sin embargo, la VC puede ser incluida en la elaboración de acciones, medidas y programas para la gestión de las comunidades costeras. Entre estas acciones, el abastecimiento de energía por medio de fuentes marinas modificando la composición de la matriz energética lo cual influye en la vulnerabilidad social que está en constante cambio por modificaciones en el entorno de origen antropogénico o eventos meteorológicos extremos. En este último caso el suministro de energía por fuentes complementarias mejoraría la infraestructura crítica.

#### **II.4.1 Marco legal internacional de las energías marinas**

La transición energética pautada en acuerdos internacionales e incorporada a las metas nacionales debe considerar el crecimiento económico sostenible, es decir una nueva inversión en el sector energético puede ayudar a impulsar el crecimiento. La eficiencia energética tiene efecto en la reducción de la pobreza mejorando el bienestar social.

Por lo anterior, cualquier mecanismo de solución a la problemática ambiental y social prevaleciente en la zona costera debe considerar una visión integral entre los elementos de apoyo esenciales para lograr esta meta se debe contar con un marco legal coherente y flexible (Quijano y Rodríguez-Aragón, 2004).

La legislación de los dispositivos para el aprovechamiento de EM se auxilia de instrumentos como la Planeación Espacial Marina (MSP por sus siglas en inglés), esto con el propósito de promover la descarbonización del sector energético, además del otorgamiento de permisos y licencias tanto en la zona costera como en la marina. Una revisión bibliográfica fue llevada a cabo para identificar el progreso del marco legislativo de las EM en distintos países, dicha revisión se enfocó en identificar los procesos que las naciones llevan a cabo para incorporar los dispositivos de aprovechamiento de energía en la matriz energética.

En los Estados Unidos se creó la Oficina de Gestión de la Energía Oceánica (BOEM, por sus siglas en inglés) con el propósito de centralizar las actividades relacionadas con la normatividad, cumplimiento y designación de permisos en los proyectos de EM. La BOEM posee la jurisdicción reguladora sobre los proyectos marinos en la plataforma continental (Tethys, 2019). Portman (2010) sin embargo, señala la falta de estándares de desarrollo, la planificación espacial marina o evaluación ambiental estratégica entre la BOEM y los sistemas de regulación de los países de Europa Occidental.

En Canadá las autoridades federales, provinciales y municipales están involucradas en la regulación y política del desarrollo de EM. Los proyectos abarcan dos aspectos de la ley constitucional: la propiedad provincial y jurisdicción de propiedad sobre las áreas del lecho marino, y la jurisdicción federal respecto a la interferencia con los derechos de pesca y navegación (*Marine Renewables Canada*, 2013), en el proceso de evaluación ambiental emplean los diagramas *Pathways of Effects* (PoE) que describen la relación causa-efecto y los mecanismos por los cuales los factores estresores conducen a efectos adversos en el ambiente marino (*Government of Canada*, 2014).

En la provincia de Nueva Escocia en el 2015, se presentó la Ley de Energía Renovable Marina. La ley estableció un proceso claro y eficiente para impulsar el crecimiento de este sector. En la Columbia Británica, el plan en materia de energía está regido por cuatro principios: bajar las tasas de electricidad, suministro seguro y confiable,

aumento en las oportunidades del sector privado y responsabilidad ambiental sin fuentes de energía nuclear. Las acciones propuestas para alcanzar esas metas son la modernización de la red eléctrica que permitirá una mayor utilización de los activos existentes, la disposición gubernamental en los nuevos proyectos de generación de electricidad y conectados a la red con cero emisiones netas de gases invernadero y proporcionar información a la población con ello mejorar la capacidad de toma de decisiones (*Marine Renewables Canada, 2016; Government of Canada, n. d.*).

La Unión Europea (UE) adoptó la MSP como mecanismo de gestión de los usos en las zonas costero-marinas con enfoque multidisciplinario para su desarrollo eficiente y sostenible. Este instrumento permite la zonificación de las actividades humanas (incluida la EM), para el cumplimiento de las políticas internacionales de abatir el cambio climático, garantizar la conservación de las zonas costeras contribuyendo a mejorar el bienestar social. La MSP y delimitación de las zonas de generación de energía oceánica pueden mejorar su desarrollo y facilitar las inversiones.

A continuación, se mencionan, de manera general, las instituciones o acciones que llevan a cabo en algunos países dentro de la UE enfocados al desarrollo de las EM (Tethys, 2019).

Reino Unido es uno de los países con mayor progreso en el sistema de licenciamiento y regulación. La autoridad en cargo del arrendamiento para las actividades en la zona marina es el *Crown Estate* y los permisos son otorgados por la Organización de Gestión Marina (*Marine Renewables Canada, 2013*). En Inglaterra las solicitudes del Proyecto de Infraestructura de Importancia Nacional son procesadas por la Inspección de Planificación. La Organización de Manejo Marino es un consultor clave en el proceso es la responsable de monitorear el cumplimiento y la aplicación de las condiciones de la Licencia Marina Considerada. Mientras que, en Escocia, el equipo de operaciones en licencias marinas es la autoridad encargada de la evaluación de las aplicaciones, asegurando cumplimiento de la legislación y consulta. Asimismo, el gobierno escocés elaboró el Manual de Licencia y Consentimiento Marino en Escocia con el propósito de guiar a los desarrolladores en los procesos, funciones y responsabilidades con las licencias del medio marino, así como los consentimientos requeridos para la instalación de los dispositivos de EM.

El gobierno galés, por su parte, en marzo de 2011, publicó el Marco Estratégico de Energía Renovable Marina para investigar posibilidades y racionalizar los procesos de desarrollo. Posteriormente, en 2016 fue publicado el Plan de Energía Marina que describe el estado actual, los objetivos y las recomendaciones para el proceso de aprobación en el futuro. Por último, en Irlanda del Norte el Departamento de Agricultura, Medio Ambiente y Asuntos Rurales (DAERA) acepta solicitudes para proyectos marinos (Tethys, 2019).

El modelo francés de política energética se basa en la intervención estatal, los desarrolladores de proyectos de energía oceánica deben dirigir su solicitud al estado para la adquisición de permisos y licencias (Bailey *et al.*, 2012), por ende, se observa un enfoque sectorial relacionado con la MSP. Esta fragmentación conlleva la prolongación del proceso de adquisición de permisos: las principales desventajas del enfoque sectorial es la discrepancia entre las leyes emitidas por las distintas instituciones y/o secretarías encargadas de regular las actividades en las zonas costero-marinas. Actualmente el estado francés está trabajando en el desarrollo del marco legal y legislativo, en paralelo ha acelerado la planificación espacial marina (Tethys, 2019).

Al igual que en Francia la normativa en Bélgica se encuentra dividida, participan cuatro autoridades: ministerio de energía, servicio público federal del ambiente, unidad de gestión del modelo matemático del Mar del Norte, administración de operación flamenca. Un ejemplo de esta fragmentación es el caso de parques eólicos offshore donde se requieren cuatro permisos distintos concesión de dominio, permiso ambiental, autorización para la construcción y operación, permiso para el establecimiento de cables en alta mar. Este proceso tiene una duración de menos de un año (Tethys, 2019).

El proceso de consentimiento en España se apoyó del esquema tarifa de alimentación (FIT por sus siglas en inglés) para el aprovechamiento de energía de marea y oleaje. A nivel regional se ha proporcionado mayor apoyo a las energías renovables marinas por los gobiernos de País Vasco Islas Canarias, Cantabria y Galicia. No obstante, España carece de un plan gubernamental consolidado para el aprovechamiento de las EM, esto causa incertidumbre sobre los requisitos, ambigüedad y retrasos en los procesos de solicitud de consentimiento (Vázquez *et al.* 2015; *European Comission* 2017).

El gobierno alemán ha implementado un conjunto de reformas para la transición de su sistema energético conocido como *Energiewende*. En 2018 el Acuerdo de Coalición estableció una agenda y objetivos que rigen los proyectos de energía. Éste se fundamenta

en tres pilares: tarifa que cubra los costos de alimentación, distribución de costos entre los clientes y prioridad para las energías renovables (Waffenschmidt, 2017).

El proceso de concesión de licencias en Portugal se divide en los siguientes componentes: 1) concesión, licencia o autorización para el uso privado del espacio marítimo; 2) licencia de la actividad de producción de energía; 3) proyectos de licencias e instalaciones auxiliares en tierra; y 4) evaluación de impacto ambiental (Tethys, 2019). No obstante Salvador *et al.* (2019) señalan la fragmentación del sistema de consentimiento, las autorizaciones son emitidas por distintos organismos por ello varios autores han propuesto medidas para agilizar el proceso por medio de un enfoque integrativo con la planificación espacial marítima, orientación que auxilie en el procedimiento de licencia, entre otros.

La República Popular de China en el 2009 estableció la Ley de Energía Renovable de 2009 (Enmienda) que describe una política para acelerar y promover el desarrollo de proyectos de energía renovable. La Administración Oceánica del Estado (SOA) creó el Centro Administrativo de Energía Renovable Marina para coordinar y administrar el programa de financiamiento especial para energía renovable marina bajo el liderazgo del Ministerio de Hacienda y SOA. En 2012, adoptó la zonificación funcional nacional marina para todos los proyectos relacionados con el mar, incluidos los dispositivos de energía marina (Tethys, 2019).

Indonesia por su parte está experimenta dificultades debido a la gran cantidad de instituciones y agencias que participan en la superposición de roles. No obstante, la política y la dirección estratégica se centra en el aumento de la participación de las energías renovables en la combinación energética mediante la formulación de incentivos y precios apropiados para alentar la inversión. Además, se está desarrollando energía renovable para aumentar la accesibilidad del suministro eléctrico para las áreas más alejadas del país (Sugianto *et al.*, 2017).

El panorama de energético latinoamericano está compuesto principalmente por hidrocarburos, a su vez los acuerdos internacionales indican que los países deben reducir las emisiones netas de carbono bajo este estado de emergencia climática los países latinoamericanos se han enfocado en la incorporación de energía renovable en la matriz energética. En lo que respecta a la energía oceánica el desarrollo, comparado con países europeos y asiáticos, se encuentra en etapas iniciales.

Por ejemplo, en México no existe un proceso específico que incluya licencias, consentimientos o permisos para el despliegue de proyectos de esta índole (Tethys, 2019). En el mapa de ruta 2030 de energía renovable por IRENA menciona a la energía marina de forma breve; *las tecnologías solar, fotovoltaica, eólica terrestre/marina, hidroeléctrica, geotérmica y marina tienen un potencial adicional más allá de las estimaciones que se presentan en dicho documento (IRENA, 2015)*. La investigación y desarrollo de estas tecnologías está a cargo de centros de investigación respaldados por universidades.

En los últimos años se han presentado cambios en la reforma energética creando un ambiente de incertidumbre para los desarrolladores de proyectos, además las autorizaciones para el establecimiento de estructuras en la zona costero-marina está encargada de diversas instituciones entre ellas SEMARNAT, SENER, el gobierno local, el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) y Comisión Reguladora de Energía (CRE), son los órganos reguladores de energía en México. Los cambios en el marco institucional del sector energético sumado a la desarticulación entre las mismas son obstáculos para la planeación de los proyectos.

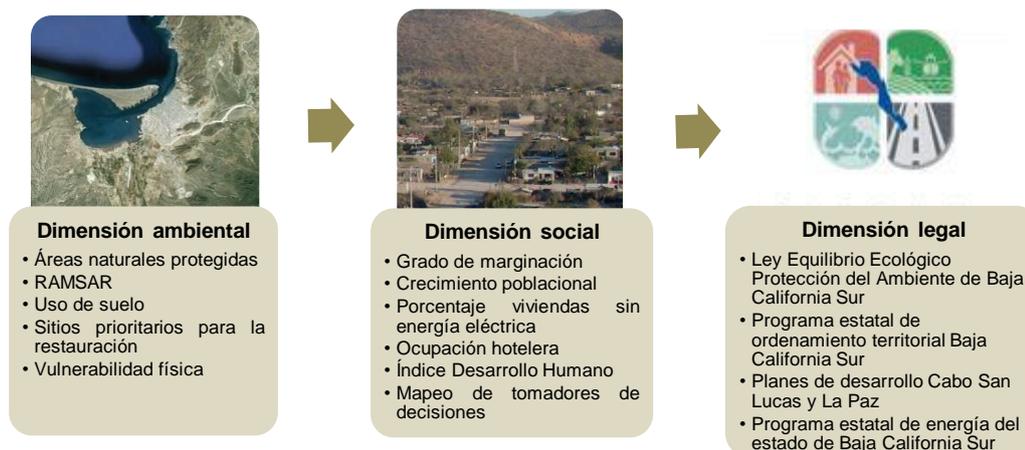
# CAPÍTULO III

## METODOLOGÍA

### III.1 Selección del caso de estudio

Como primer paso para atacar el objetivo esta tesis, es crucial identificar la problemática, es decir, analizar las necesidades actuales de la zona de estudio donde se desea llevar a cabo cualquier tipo de intervención. En este caso, la delimitación de la zona de estudio está respaldada por una revisión bibliográfica de los factores ambientales, indicadores socioeconómicos, políticos y la demanda energética (figura 4).

Respecto de este último factor, se emplearon los datos de volumen de las ventas de energía eléctrica por tipo de usuario residencial, alumbrado público, bombeo de agua potable e industrial y servicios en MW/h del 2010-2015 cifras presentadas en los Programas de Desarrollo de La Paz, Baja California Sur (Gobierno Baja California Sur, 2018). Con la información anteriormente mencionada se realizó una estimación de 2020 a 2030 para conocer la demanda actual y futura de la zona, proponer el tipo de aprovechamiento de EM.



**Figura 5.** Selección del sitio de estudio con factores ambientales, sociales y político-legislativos.

Es importante mencionar variables sociales, éstas intervienen de forma directa en la selección de zona de estudio para identificar las áreas con necesidad energética urgente y las actividades económicas que se beneficiarían de la incorporación de producción de energía renovable. Se optó por el índice de marginación desarrollado de la Comisión Nacional de Población (CONAPO), que es una medida que permite diferenciar entidades federativas, municipios y localidades considerando dimensiones socioeconómicas de educación, vivienda, ingresos y distribución de la población, así como su respectiva comparación con el índice de desarrollo humano (IDH).

Se elaboraron figuras con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y el Portal de Geoinformación de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) para identificar las colonias con limitado acceso a servicios básicos de vivienda, posteriormente, enlistar los impactos positivos o negativos en el escenario de establecimiento de un dispositivo de aprovechamiento de EM.

Además, se seleccionaron las variables de población total, número de viviendas, viviendas que disponen de energía eléctrica del catálogo de localidades de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) del periodo 1995 a 2015 de información sobre vivienda e información sobre la actividad hotelera de la Secretaría de Turismo del periodo que comprende 1992 al 2018, a partir de estos se elaboraron las recomendaciones para el desarrollo de dispositivos de aprovechamiento de energía undimotriz y OTEC.

Se realizó una jerarquización de variables de vulnerabilidad física de la ciudad de La Paz para responder a la siguiente interrogante; ¿cuáles variables son las que influyen en mayor proporción en la vulnerabilidad en la ciudad de La Paz y su relación con la viabilidad del establecimiento de dispositivos para el aprovechamiento de energía undimotriz y OTEC?

III.2 Alternativas para la incorporación del aprovechamiento de energía marina a la matriz energética de La Paz, Baja California Sur

En cuanto a la evaluación de la participación de la EM se planteó la estimación teórica del potencial en la zona.

La estimación del potencial de energía por oleaje se obtuvo con la siguiente expresión (Hernández-Fontes *et al.* 2019):

$$P_{ow} = \frac{W p g^2 T e H_s^2}{64 \pi} \quad (1)$$

Donde  $W$  es el frente de onda (1 m),  $p$  es la densidad del agua de mar (1025 kg/m<sup>3</sup>),  $g$  es la gravedad,  $H_s$  es la altura significativa o la altura promedio de las olas,  $T$  es el periodo de energía correspondiente.

El potencial teórico de aprovechamiento de gradiente térmico se calculó con la siguiente expresión (Hernández-Fontes *et al.*, 2019):

$$P_{TG} = \frac{3 p c_p Q_{ww} \Delta T^2 E}{16 T_s (1 + Q_{ww}/Q_{cw})} \quad (2)$$

Donde  $p$  es la densidad del agua de mar (1025 kg/m<sup>3</sup>),  $c_p$  es el calor específico del agua de mar ( $\sim 4000$  J/ kg°K),  $\Delta T$  se considera como la diferencia de temperatura entre la superficie del mar y 1000 m de profundidad  $T_s$  es la temperatura de la superficie de mar.  $Q_{ww}$  es el caudal volumétrico de agua de mar superficial mientras que  $Q_{cw}$  es el caudal volumétrico agua de fondo (1000 m), estos últimos valores serán tomados de acuerdo a lo que menciona la literatura.

Posteriormente se calculó el costo nivelado de la energía eléctrica (LCOE por sus siglas en inglés) que permite valorar el costo de generación de electricidad de tecnologías alternativas comparando en los distintos niveles de operación, es decir es el precio al que se debe generar la electricidad para cubrir los gastos durante la vida útil del proyecto, la expresión usada se tomó de Langer *et al.* (2021).

$$LCOE = \frac{CRF * CAPEX + OPEX}{E_t} \quad (3)$$

$$CRF = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

(4)

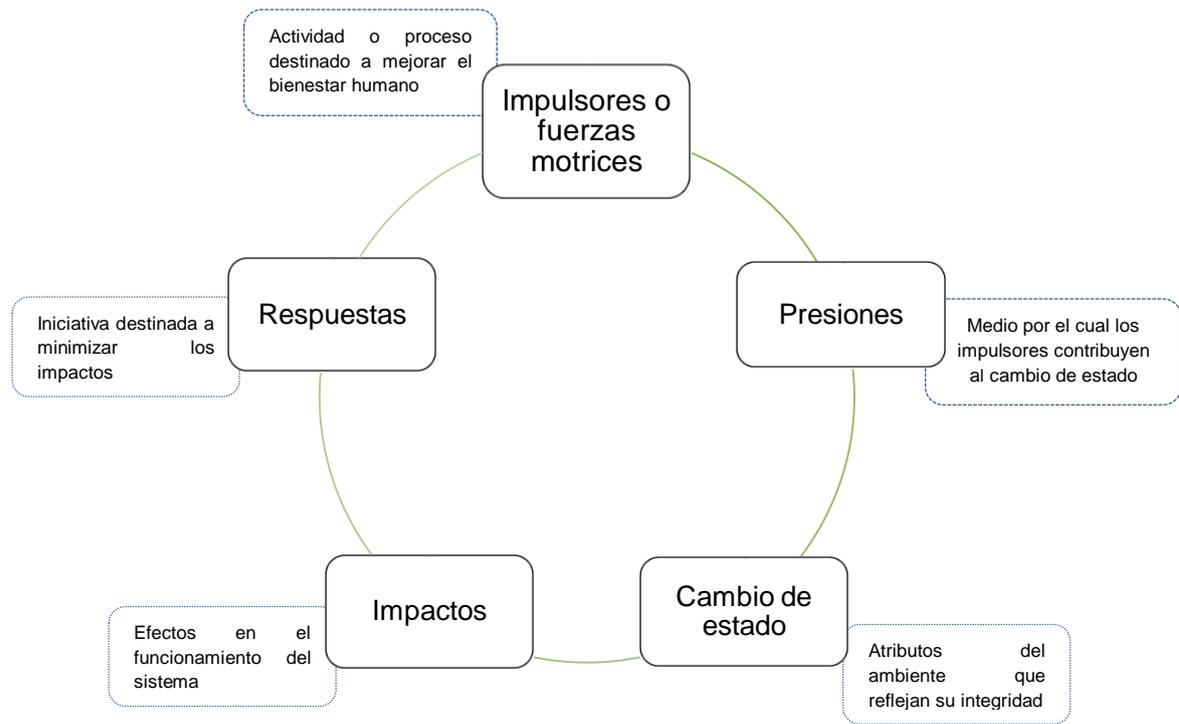
Donde CAPEX expresa los gastos de capital, OPEX son los gastos operativos,  $E_t$  es la electricidad producida en un año  $t$ , CRF es el factor de recuperación de capital,  $N$  es la vida útil del proyecto e  $i$  la tasa de interés.

### III.3 Retos y oportunidades de la energía marina en la ciudad de La Paz, Baja California Sur desde la perspectiva de gestión costera

Finalmente, para gestionar las actividades en la zona costera es necesario elaborar acciones y/o medidas que permitan evaluar las actividades en la zona costero-marina. La información obtenida de la literatura fue organizada siguiendo la estructura del esquema DPSIR desarrollado por la Agencia Europea del Ambiente (EEA por sus siglas en inglés) (Bosch *et al.*, 1999) (fig. 5). Dicho marco metodológico ha resultado exitoso en facilitar el análisis y evaluación de la sostenibilidad de iniciativas de desarrollo (Carr *et al.*, 2007).

Considerando los elementos y actores involucrados en la toma de decisiones, la definición de impactos en DPSIR (i.e. los cambios en el ambiente que afectan la calidad de vida humana, así como repercusiones los ecosistemas, EEA 1999, Patricio *et al.*, 2016) es adecuada para el objeto de esta tesis. Es de notar que esta definición coincide parcialmente con la de impactos del marco DAPSI(W)R(M) (Scharin *et al.*, 2016) y la de consecuencias del marco DESCOR (Silva *et al.*, 2020), ambos, derivados del DPSIR. Sin embargo, dado que el primero atiende mejor el manejo ambiental y el segundo el diagnóstico y la interacción entre ecosistemas costeros, se exploró el enfoque de gestión costera en la explotación de la EM, a partir del concepto original.

Dicho marco permitió identificar las relaciones entre las fuerzas motrices (el crecimiento inmobiliario y turístico), presiones (actividades humanas), cambio de estado (aumento de la vulnerabilidad física y social), impacto (cambio de uso de suelo y deficiencia en el suministro de electricidad) y respuesta (normativas); todos ellos relacionados con iniciativas de desarrollo sostenible.



**Figura 6.** Relaciones de los componentes del marco DPSIR de la Agencia Europea del Ambiente (Cooper, 2013).

## CAPÍTULO IV

### ZONA DE INTERÉS, POLOS TURÍSTICOS BAJA CALIFORNIA SUR

El turismo en México se contextualiza como un objetivo económico bajo la premisa de impulsar la inversión internacional. De ahí que incluye la construcción de megaproyectos turísticos, manifestándose en beneficios económicos para grupos hoteleros internacionales que trae consigo el aumento de empleos e ingresos. Sin embargo, esto ha inducido degradación socioambiental debido al consumo excesivo de recursos naturales y cambio de uso de suelo de tierras.

Las principales categorías de las ciudades turísticas en el litoral son 1) tradicionales, es decir, su origen no se debe a la práctica del turismo y durante su devenir histórico adaptaron su estructura socio-espacial para albergar a los visitantes y 2) Centros Integralmente Planeados (CIP's), parte de la estrategia para crear y consolidar megaproyectos turísticos (Massé *et al.*, 2015; Baños 2012).

El turismo se instauro como actividad que apoyaría el desarrollo del país. En razón de lo anterior dicha industria se asume que ayudaría a minimizar la pobreza, no obstante, la priorización del desarrollo inmobiliario y asimetrías de poder presentadas en estas zonas tiene por consecuencia acceso limitado a los elementos indispensables de vivienda, encarecimiento de la vivienda, presencia de cinturones de pobreza e ingresos bajos por habitante debido a la predominancia de empleos de servicio básico (meseros y empleados domésticos) y de bajo nivel técnico.

En particular, el turismo en el espacio litoral implica una transformación de la estructura del territorio asociado a las prácticas recreativas. Este acondicionamiento turístico del espacio litoral exige la puesta en valor del recurso natural. La presencia de recursos naturales determina el potencial turístico de una zona al mismo tiempo los riesgos que genera las diversas formas de desarrollo turístico (Benseny, 2006).

La tendencia de desarrollo turístico desmedido es notable en la sección sur de la zona costera de Baja California Sur (BCS), ahí se pueden encontrar grandes complejos

hoteleros de inversión extranjera autorizados por el gobierno mexicano a finales de la década de los setenta (Massé *et al.* 2015). Durante las últimas tres décadas, la economía de BCS se ha centrado en tres sectores: gobierno, comercio y actividad turística (Angeles *et al.*, 2012).

El modelo de sol y playa comprende el rango completo de actividades turísticas, de ocio, y recreativas que tienen lugar en la zona costera. Incluye los sectores de alojamiento, alimentación y segundas residencias. Dicho modelo se ha manifestado principalmente en Los Cabos con potencial de extenderse hacia el municipio de La Paz (Bigné *et al.*, 2007; Ibarra-Núñez *et al.*, 2018). Entre las principales áreas urbanas orientadas al turismo, se encuentran Cabo San Lucas y San José del Cabo, que son fuente de bienes y servicios ecológicos para la región, la continua urbanización ha causado la deforestación de la vegetación xerofítica desencadenado la propensión a la erosión de los suelos y escasez de recurso hídrico (López-López *et al.*, 2006).

#### **IV.1. 1. Ciudad Cabo San Lucas (CSL)**

En general, CSL está asentado en una pendiente suave que asciende del litoral a la zona de lomeríos tierra adentro, con planicies bajas a medias y la topografía es de plana a muy poco inclinada. La zona urbana está establecida en suelos tipo regosol, en el cual se permiten asentamientos urbanos tomando en cuenta medidas estrictas y adecuadas (SEDATU, 2013). El Plan Maestro de este Centro Integralmente Planeado (CIP) considera un polígono de 915.78 ha, de las cuales el 6.32 % se destinan a la zona urbana, 76.96 % a la zona turística y 16.72 % a zona de conservación (Bojórquez y Ángeles, 2019). Dada la vocación turística concedida tanto por el gobierno federal como estatal, la expansión de infraestructura turística es prioritaria, por ello se creó el corredor turístico San José del Cabo-Cabo San Lucas de 33 km, donde se han instalado hoteles de firmas internacionales.

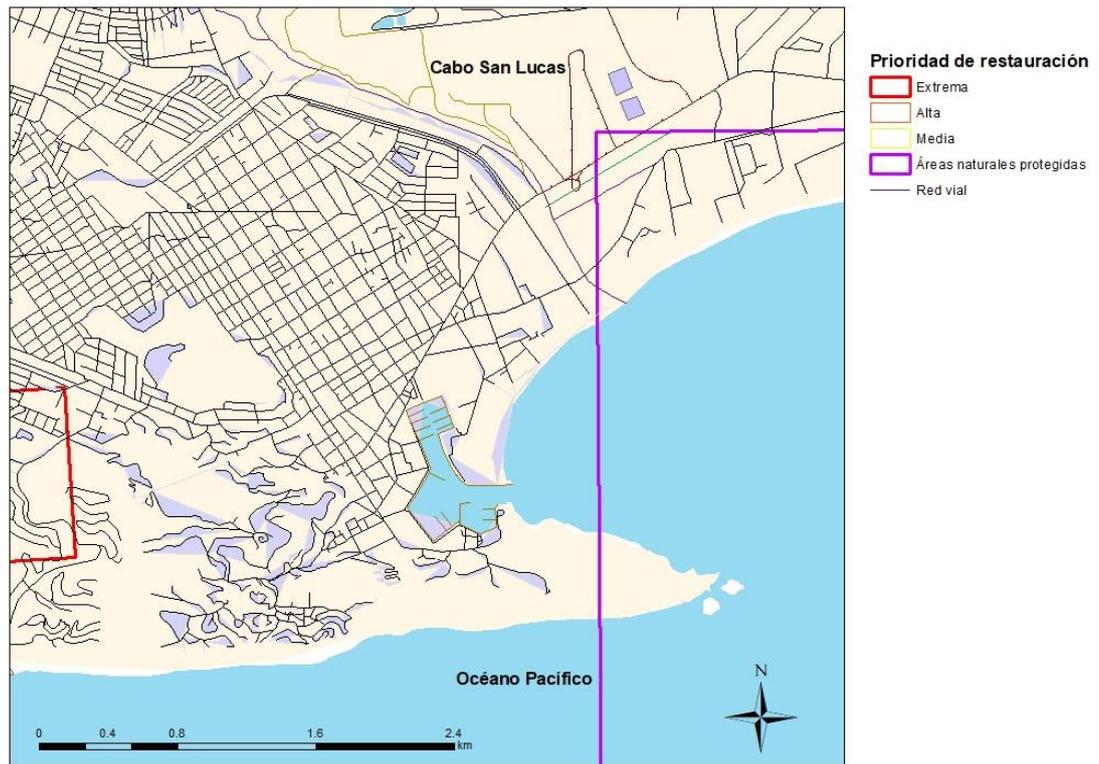
CONABIO presenta una ficha técnica donde se enlistan los impactos asociados a la evolución de sitios prioritarios. En el caso de BCS se menciona el turismo y la erosión, esta última como resultado de la continua construcción de megaproyectos de índole turística clasificada con impacto alto, seguido por la pesca con impacto medio, asimismo conflictos por el solapamiento de actividades como son la pesca deportiva y comercial. Desafortunadamente, en ese margen costero de más de 20 km de longitud, solo esta

decretada la Zona de Refugio Submarino de Flora y Fauna y Condiciones Ecológicas del Fondo Cabos San Lucas con una extensión de 3,996 ha (Reyes *et al.*, 2014), por lo que no se percibe como prioritaria la conservación.

#### IV.1. 2. Características turísticas de CSL

El desarrollo y crecimiento del municipio de Cabo San Lucas está inspirado en el modelo de proyectos de sol y playa creado en los años 70's, denominado CIP's. El Banco de México impulsó la exploración para encontrar sitios potenciales para desarrollos turísticos que, en su día, no tomaron en cuenta las capacidades de carga de las zonas de interés. Por ende, la zona de influencia del megadesarrollo turístico sufre graves daños ecológicos; sobreexplotación y salinización de mantos acuíferos, contaminación de suelo, pérdida de flora y fauna nativa. A pesar de la gestión por parte del gobierno, no se respetaron las normas estipuladas dentro de los proyectos CIP's. Cabe destacar que dentro de estos megaproyectos el grupo estratégico conformado por inversionistas fueron los que obtuvieron ventajas (Inda y Santamaría 2015; López-López *et al.*, 2006). Durante el periodo de 1995 a 2005 fue un destino de gran atractivo turístico para empresarios de Estados Unidos y Canadá además las políticas públicas facilitaron inversiones en infraestructura, servicios y promoción en esta zona (Montaño *et al.*, 2017).

En la figura 6 se observa la extensión de la mancha urbana de Cabo San Lucas, la línea de costa está constituida por complejos turísticos, sector predominante en la zona. Pese a su crecimiento, al ser uno de los principales polos turísticos de México, el crecimiento desorganizado de la mancha urbana es una problemática latente que dificulta el acceso a servicios básicos de la vivienda. Dichos servicios se agrupan en: acceso al agua potable, disponibilidad de servicio de drenaje, servicio eléctrico, combustible para cocinar en la vivienda, el acceso a ellos eleva el bienestar social y la calidad de vida de la población. Además, el desarrollo turístico ha polarizado la cantidad y calidad de servicios, así como la infraestructura pública. En la ciudad, la pobre calidad del agua puede estar relacionada con los desarrollos inmobiliarios en la zona del Pacífico y los asentamientos humanos en los cauces del arroyo Salto Seco.



**Figura 6.** Características ecológicas de la ciudad Cabo San Lucas, Baja California Sur.

Entre los conflictos de uso, Arizpe *et al.* 2014 mencionan que se presentan por el solapamiento de actividades, por ejemplo, entre la pesca deportiva y comercial también se plantea que el aumento en el tráfico marino aunado al incremento de la actividad pesquera pueden ser una amenaza a la población de ballenas que se moviliza por la región.

El turismo no solo ha manifestado efectos negativos a nivel social, también hay repercusiones en el ambiente. El crecimiento desordenado en las áreas urbanas de San José del Cabo-Cabo San Lucas resultado del auge del sector inmobiliario ha tenido un fuerte impacto en la reducción de los recursos hídricos indispensables de las ciudades turísticas (Montaño *et al.* 2017). Cabe mencionar que los acuíferos cercanos a CSL están contaminados por centros de distribución de combustible, pesticidas y fertilizantes (Muir *et al.* 2014). Además, el continuo establecimiento de infraestructura turística ha provocado la deforestación de la vegetación xerófila y, por ende, mayor propensión a la erosión de los suelos agravada por la naturaleza desértica de la zona (López-López *et al.* 2006).

A pesar de las consecuencias reportadas por la falta de planeación del desarrollo turístico que ha sobrepasado la capacidad de la zona, las acciones estatales están orientadas, principalmente, a mejorar la vialidad en la zona de CSL con mayor afluencia turística y en segundo plano la provisión de servicios a la población.

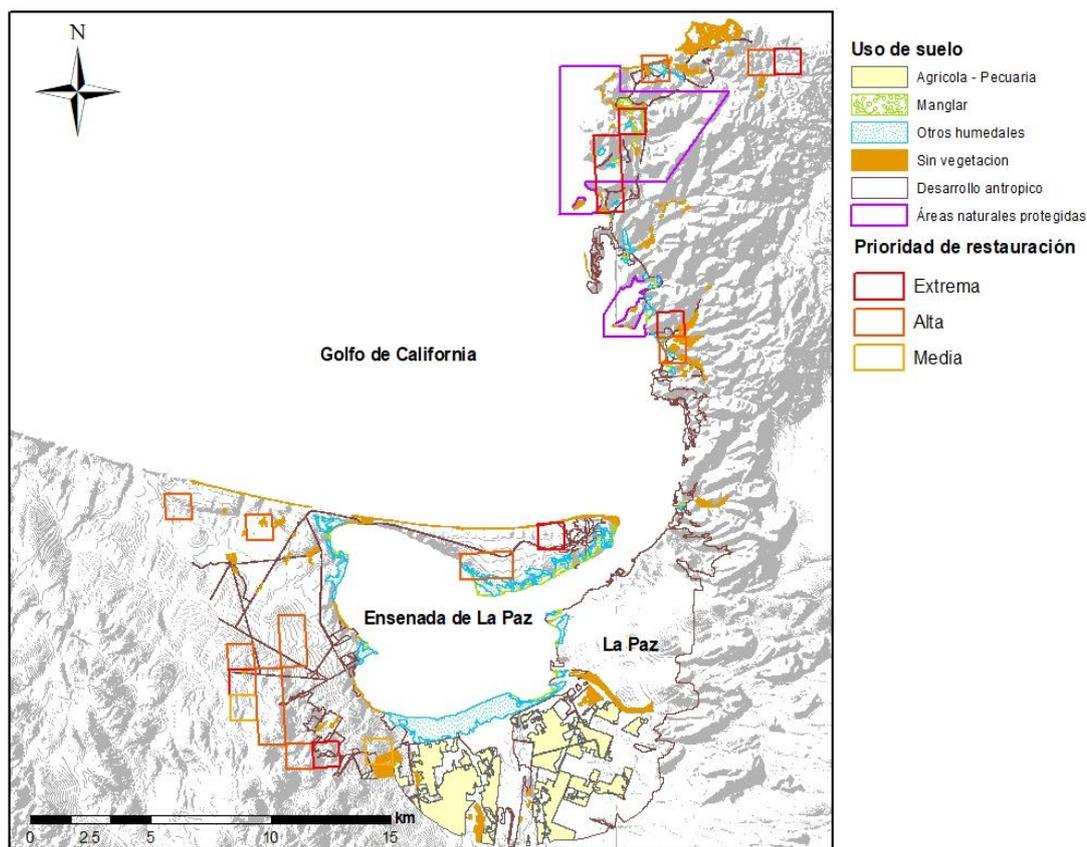
El desarrollo de Cabo San Lucas está comprometido en el impulso de la industria hotelera a pesar de la degradación ambiental resultado de la construcción de nueva infraestructura.

#### **IV.1. 3 Ciudad La Paz**

La ciudad se encuentra dentro de la ensenada de La Paz (ELP), es una zona con elevada riqueza ecológica (figura 7), la bahía y ensenada de La Paz conforman el cuerpo de agua más extenso de la costa oriental de la península de BCS (López-Rasgado, 2012). En esta zona se presentan 14 comunidades de manglar pertenecientes al sitio RAMSAR (figura 8), las comunidades están compuestas por *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*, las tres especies tienen categoría de amenazadas por la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Como se muestra en la figura 7 se presentan parches de bosque de mangle cerca de la mancha urbana, por lo que el crecimiento poblacional se considera bajo amenaza latente. Santamaría-Gallegos *et al.* (2011) mencionan que en la porción sur de ELP se ha perdido, aproximadamente, el 10% de la superficie original de manglar ocasionado por el crecimiento urbano y construcción de infraestructura turística. Uno de los parches de manglar más extenso en la zona denominado El Conchalito se encuentra inmerso en la zona urbana de La Paz por ello está constantemente expuesto a impactos como construcciones, compactación del terreno invasión de la zona de inundación por vehículos, acumulación de desechos sólidos, entre otros.

La ELP se considera una zona de alto riesgo ante la ocurrencia de eventos meteorológicos (Gobierno Baja California Sur, 2018). En estas zonas la vulnerabilidad costera es una herramienta que permite determinar las consecuencias potenciales de la pérdida de manglar debido a la expansión turística.

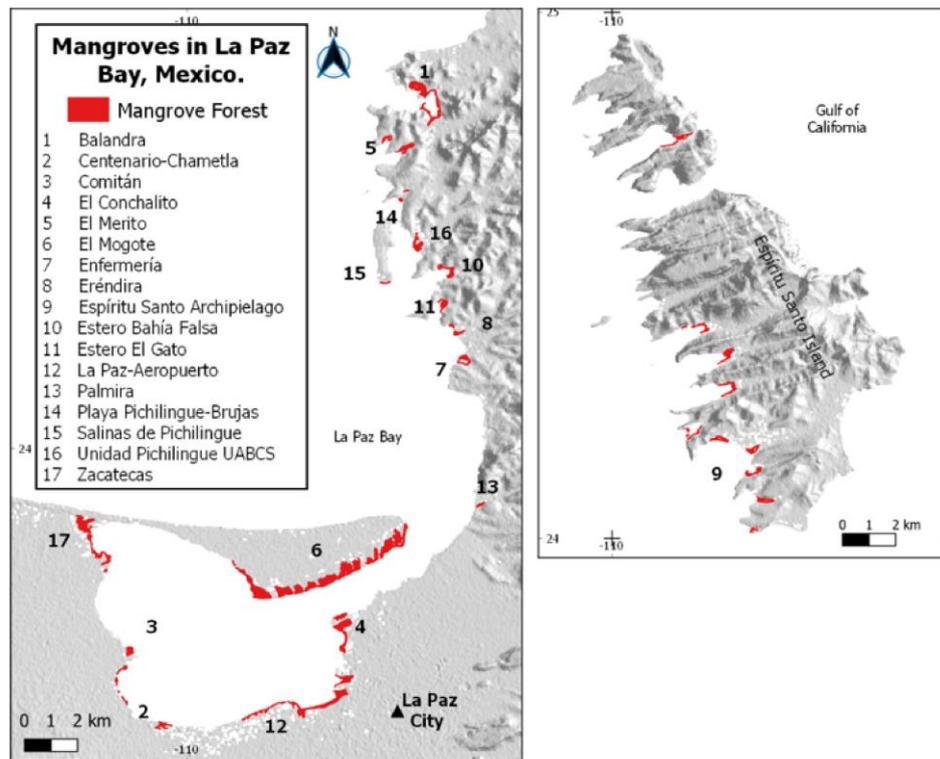


**Figura 7.** Características ecológicas de la ciudad La Paz, Baja California Sur.

En ELP las amenazas potenciales de son el crecimiento urbano y la demanda de agua, así como, contaminación por aguas residuales urbanas y desechos de las embarcaciones. En las zonas circundantes se presenta mal manejo de los residuos sólidos, así como extracción ilegal de especies endémicas insulares de flora y fauna por turismo no regulado (Ávila, 2016; Ramsar, 2008). Un ejemplo es el Estero Enfermería, que debido a la construcción de la carretera La Paz-Pichilingue modificó los flujos hidrológicos al ser separado de la Bahía de la Paz. Actualmente está conectado por un canal estrecho. Asimismo, alrededor del área se observan desechos de construcción y demolición (SEMARNAT, 2016; Ramsar, 2008).

Otro factor que tiene repercusiones ambientales y sociales es la presencia de florecimientos algales nocivos (FAN). Se han reportado florecimientos en zonas cercanas a la ciudad de La Paz que pueden desencadenar cambios en la abundancia y distribución del ensamble de especies. Estos florecimientos están asociados con descargas de aguas residuales municipales, las marinas privadas y/o granjas camaronícolas que contribuyen

al incremento en los niveles de concentración de nutrientes en la columna de agua (Chávez, 2012; Band-Schmidt *et al.*, 2011).



**Figura 8.** Ubicación de manglar en La Ensenada de la Paz, Baja California Sur (Ávila-Flores *et al.*, 2020).

#### IV.1. 4 Características turísticas de la ciudad La Paz

La afluencia turística se debe al Complejo Insular Espíritu Santo, que es hábitat y refugio de distintas especies endémicas. Los principales procesos socioeconómicos son los derivados de los sectores primario y terciario, específicamente la pesca artesanal y servicios turísticos. No obstante, se ha visto que estas actividades humanas han producido problemas ambientales; esto es, la pesca furtiva y el uso de artes de pesca prohibidas afectan el equilibrio del ambiente marino, los asentamientos humanos y visitas producen contaminación, perturbación de la fauna silvestre e introducción de especies exóticas (Cervantes 2012).

La huella urbana de La Paz se ha incrementado en los últimos 15 años. De acuerdo con estudios de crecimiento urbano se estiman 13,000 ha de suelo urbanizado para 2030 (BID, 2014). En consecuencia, la creciente demanda de bienes y servicios se satisface por

medio de un proceso de urbanización y oferta de servicios turísticos que en muchos casos no es ideal. Aunado al deficiente proceso de planificación urbana que ha causado contaminación en el cuerpo de agua, el aumento en la emisión de gases de efecto invernadero y deforestación en la zona de manglar (Ivanova y Bermúdez, 2014) contribuyen a la degradación del ambiente local.

En el periodo 2000-2014 la mancha urbana se extendió un 117 %, mientras que el número de habitantes entre 2000 y 2010, de acuerdo con datos del INEGI, aumentó un 32 %. Diversos puntos se transformaron a uso urbano, sin embargo, en algunos casos se trata de construcciones abandonadas (Moreno, 2016).

A nivel social, la problemática de La Paz presenta efectos desencadenados por conflictos por el uso de suelo, esto conlleva irregularidades en la construcción de infraestructura costera y crecimiento de la mancha urbana en dirección del sitio Ramsar humedal Mogote-Ensenada de La Paz.

Por ello, desde 2012, La Paz se incluyó entre las primeras ciudades de Latinoamérica y la primera en México en el programa de ciudades emergentes del Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Este programa tuvo como objetivo proveer apoyo directo a los gobiernos con enfoque integral e interdisciplinario para identificar, organizar y priorizar intervenciones urbanas en los rubros: 1) sostenibilidad medioambiental y cambio climático, 2) sostenibilidad urbana y por último 3) sostenibilidad fiscal y gobernabilidad (BID, 2014).

A pesar del desarrollo turístico en ambas ciudades y su cercanía a sitios con elevada riqueza ecológica, la ciudad de La Paz, como sitio de estudio, se tiene potencial de desarrollo sostenible por el estatus de ciudad emergente. Asimismo, el gobierno municipal busca modificar y elaborar medidas para la conservación de las zonas con manglar por el atractivo turístico que le confiere a la ciudad.

La adecuada gestión de la zona costera permitirá disminuir los conflictos originados por el solapamiento de las actividades pesqueras, implementación de las normas para el manejo de los desechos, control sobre la construcción de infraestructura turística cerca de las zonas de manglar y regulación del crecimiento población.

## IV.2. Selección del caso de estudio

La planificación del CIP Cabo San Lucas está enfocada en el turismo internacional, por lo tanto, responde a las necesidades impuestas por la demanda extranjera, al ser un alojamiento de alta categoría que reúne a cadenas hoteleras internacionales (Benseny 2007). Durante el proceso de planificación, se halló el incumplimiento de dicha misión (Dávila, 2014) y, con el tiempo, la expansión del desarrollo turístico ha desbordado su capacidad original, y experimenta fenómenos de crecimiento hacia corredores turísticos y no sólo el enclave original. Esto originó la creación del corredor San José del Cabo-Cabo San Lucas, coloquialmente conocido como el corredor de oro, que tiene una extensión de más de 30 km. En este corredor se asienta la mayor cantidad y densidad de infraestructura turística. Cabe mencionar que, en los enclaves turísticos, se privatiza el espacio, lo que resulta en segregación residencial que favorece la exclusión social y la fragmentación del espacio (Baños, 2012).

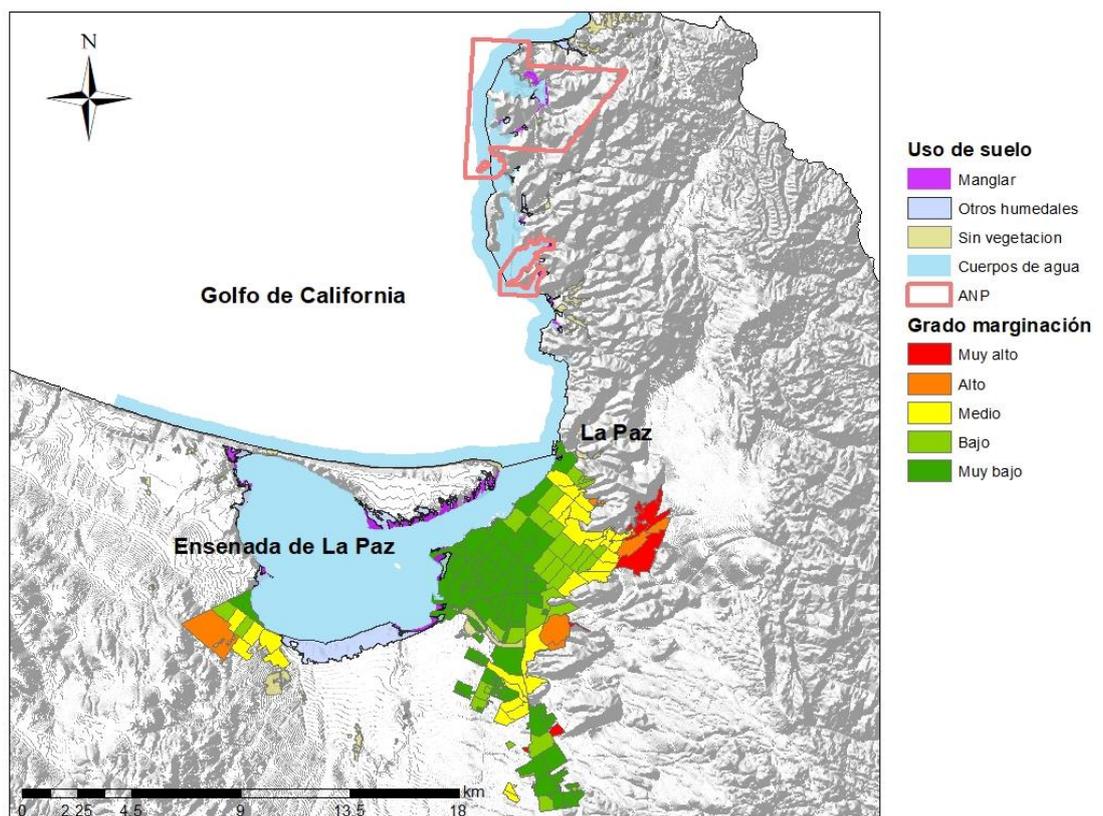
De acuerdo con la información del portal virtual de CONEVAL, las viviendas en el municipio de CSL tienen mayores carencias y la población habita en condición de hacinamiento. Esto podría deberse a la priorización de la infraestructura hotelera sobre la vivienda. Los polos turísticos, como el caso de CSL, son favorecidos con servicios ecosistémicos, beneficios tangibles e intangibles que se obtienen del ambiente, al ser la principal atracción de la zona. En el estudio realizado por Morales-Zarate *et al.* (2019) señalan que los servicios recreativos de playa son la principal motivación para el turismo, esto manifiesta la relevancia para priorizar programas de sostenibilidad, no obstante, el compromiso municipal para el corredor son acciones que apoyen las actividades turísticas.

Las alteraciones ambientales presentes en esta ciudad son cambios en el transporte de sedimentos, afectación de dunas y la construcción de estructuras como: rompeolas, muelles, espigones, colocación de enrocamientos cerca de la línea costera, decisiones no integrales en infraestructura de la zona y contaminación del Arroyo Salto (CONABIO, 2017).

Con base en la Ley de Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente del estado de Baja California Sur, es imperativo *regular, proteger, preservar, conservar, restaurar y mejorar el ambiente en los centros de población en relación con los efectos derivados de los servicios públicos municipales, asimismo, crear, regular y administrar parques*

*urbanos y zonas sujetas a conservación de competencia municipal.* No obstante, en el caso de CSL, los megaproyectos turísticos tienen consecuencias sociales como la privatización de las áreas públicas y los espacios comunes en contra de la legislación mexicana. Además, han exacerbado el bajo nivel de calidad de vida de grandes franjas de la población, dónde más de la mitad está bajo condiciones de alta o muy alta marginación y muy alta segregación socioespacial (Bojórquez y Ángeles, 2019).

Tanto a nivel estatal como municipal en IDH en ambos sitios es alto, este índice condensa la complejidad del desarrollo de las unidades poblacionales considerando longevidad, logro educacional y nivel de vida. Las diferencias entre los resultados con la información de la literatura sobre el estado de ambas ciudades están relacionadas con la llegada de población que exige una mayor área donde establecerse por ende posibles problemas con acceso a elementos básicos de vivienda y brechas salariales de género.



**Figura 9.** Grado de marginación de las viviendas de La Paz, Baja California Sur.

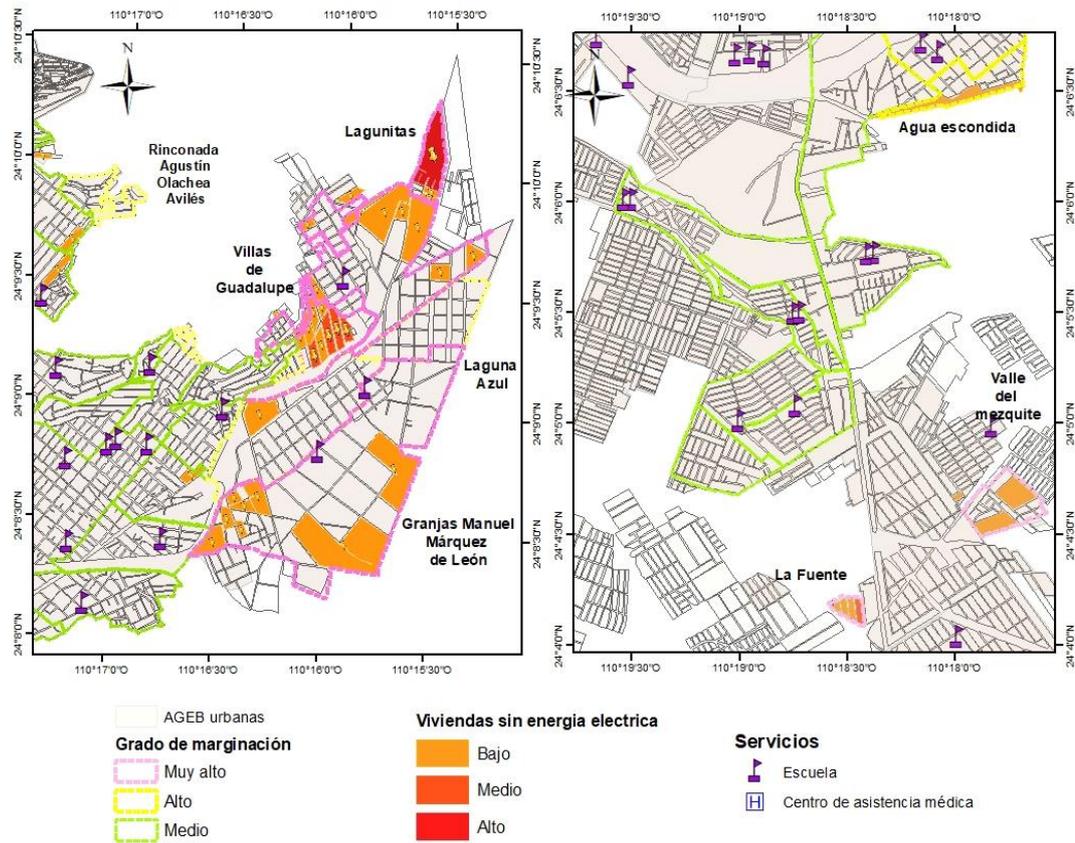
Los principales rasgos que distinguen las zonas urbanas marginales son los asentamientos humanos irregulares e informales, generados por la migración rural-urbanas acelerando el crecimiento urbano-poblacional de las ciudades (Astorga, 2021).

Los asentamientos irregulares y falta de acceso a servicios básicos originan cinturones de pobreza, desplazamiento de la población causado por el crecimiento de la industria inmobiliaria, elevado costo de la vivienda, entre otros.

Como menciona Moreno (2016) la inversión pública gubernamental se ha centrado en fortalecer y embellecer las zonas de la ciudad consideradas aptas para el mercado inmobiliario y hotelero. La consecuencia de esto es el incremento de los precios de la vivienda por lo tanto se forman los asentamientos irregulares. Por ejemplo, en la figura 9 se observa que el grado de marginación es mayor en la periferia del centro de población de la ciudad de La Paz, el crecimiento desorganizado de la urbe en terrenos irregulares y limitado acceso a servicios básicos de la vivienda origina los cinturones de pobreza. Las colonias con alto grado de marginación señaladas en rojo son Lagunita, Granja Manuel Márquez, Villas de Guadalupe, Agua Escondida y Valle del Mezquite (fig. 10).

En estas colonias existe una mayor densidad poblacional y limitado acceso a servicios básicos de la vivienda al encontrarse a las afueras del centro de población.

La vivienda es aquella unidad donde se desarrolla la vida privada de una familia, su calidad es de primera importancia (Aguilar y López, 2015), los elementos que mantienen esta unidad permiten a los habitantes alcanzar una mejor calidad de vida.



**Figura 10.** Colonias con mayor grado de marginación de la ciudad La Paz, Baja California Sur.

Esto manifiesta las desigualdades de los destinos turísticos y la priorización por parte de los tomadores de decisiones sobre el desarrollo económico de las ciudades. En este sentido, resulta relevante la comparación de índices sociales y físicos con el fin de identificar las necesidades que requieran de una propuesta con enfoque sistémico que asegure los servicios básicos tradicionales; electricidad, agua potable e instalaciones sanitarias, como componentes esenciales de desarrollo.

Mientras que, en La Paz, la fragmentación de los hábitats en la ciudad sumado a la problemática social originada por el solapamiento de las actividades económicas, requiere de la implementación de instrumentos que permitan una mejor gestión del espacio y sus actividades. Es así que la gestión costera puede ser una herramienta que favorezca la prevención y mitigación de los efectos adversos del desarrollo continuo de destinos turísticos que no consideran la capacidad de carga del ambiente. Ibarra-Núñez *et al.* (2018) analizaron el impacto territorial del turismo en zonas prioritarias de BCS, los resultados que obtuvieron señalan una mayor proporción de impactos negativos en la

ciudad CSL y en la porción noreste de la Bahía de La Paz, es decir, donde se concentra e interactúa una mayor densidad de proyectos.

Entre las oportunidades que presenta la ciudad de La Paz se cuenta su incorporación al programa de ciudades emergentes del BID. Dentro de sus ejes rectores se menciona la sostenibilidad ambiental y urbana por ello, un plan de gestión en la zona costera contribuiría a identificar, elaborar y canalizar las acciones para minimizar los conflictos en la zona litoral, mitigar impactos negativos ocasionados por el crecimiento desordenado de la mancha urbana y asegurar la conservación de las áreas con elevada riqueza ambiental. Esto daría viabilidad a dichas áreas, las cuales tienen importancia por los servicios ecosistémicos culturales que atraen a los turistas a la zona. Además de reforzar las medidas de conservación en el sitio RAMSAR tendrá efectos positivos a la población, debido a la protección que provee la barra El Mogote a la laguna costera de Ensenada de La Paz (Velasco, 2017).

El caso de Cabo San Lucas es distinto. Su ubicación geográfica, distintiva por sus playas y fauna marina, provee un atractivo particular con un enfoque eminentemente turístico. Esto representa una focalización en las metas y acciones que conforman los planes de desarrollo. La planeación en esta zona estaría orientada a una reestructuración de las actividades del sector turísticos. Para ello, canalizar la atención de los tomadores de decisiones en mejorar determinados aspectos de esta zona considerando la capacidad de carga para crecimiento tanto urbano como hotelero.

Esto se corresponde con lo mencionado por Baños (2012), respecto de que las externalidades negativas de los CIP's son: agudización de desigualdades existentes en las comunidades, crecimiento urbano anárquico y formación de asentamientos marginales, degradación del ambiente y generación de enclaves turísticos marginados a otros destinos similares. No obstante, en La Paz, el sector turístico y el crecimiento urbano están en proceso de incrementar presión en el territorio. Se encuentra en un estado crucial para identificar las necesidades actuales, examinar sus repercusiones a mediano y largo plazos. Por consiguiente, es un sitio propicio para focalizar los esfuerzos de conservación ambiental que coadyuven a mejorar la calidad de vida por medio del desarrollo sostenible. La determinación de la vulnerabilidad costera permitirá elaborar medidas para minimizar el riesgo de la población.

La demanda creciente de servicios energéticos causado por el arribo de visitantes requiere de una modificación en su sistema de producción y abastecimiento, actualmente la generación de energía se concentra en los municipios de Comondú, Los Cabos y La Paz, fungiendo este último como proveedor de excedentes a Los Cabos (López, 2015). Esto coloca a ambos sitios turísticos en desventaja para mantener el abastecimiento de energía y servicios básicos de la vivienda.

Finalmente, la gestión de la zona costera contribuiría en el cumplimiento de las obligaciones tanto internacionales como nacionales, esto resultaría en una reestructuración de plan de crecimiento de la zona urbana con las respectivas restricciones para infraestructura de vivienda y sector turístico. Por lo tanto, la adecuada gestión del sistema socio-ecológico tiene el potencial de apoyar con herramientas para alcanzar las metas del programa de ciudades emergentes del BID.

Basado en los elementos de una adecuada gestión de la zona costera enfocado en los proyectos que se realicen en ciudades ubicadas en el litoral mexicano es imperativo reconocer los elementos que influyen en la vulnerabilidad de las mismas seguido del análisis del aprovechamiento de energía marina, este último para tener presente si es una necesidad urgente lo cual favorece a los promotores de los proyectos que buscan adherirlos a las propuestas locales del gobierno.

- a) Selección de las variables que influyen en la vulnerabilidad física de la ciudad La Paz, Baja California Sur

Antes de estimar el grado de vulnerabilidad se ponderaron las variables, con base un proceso analítico jerárquico. Es decir, a cada uno de los componentes se les asignó valor de importancia. Con base en la literatura de la zona sobre la vulnerabilidad física se realizó la identificación de las variables que influyen en la estabilidad de la zona costera y deben ser consideradas en los proyectos de aprovechamiento de EM (Tabla 2).

**Tabla 2.** Factores físicos y ambientales para determinar la vulnerabilidad costera en La Paz, Baja California Sur.

<b>Variables</b>	<b>Importancia</b>	<b>Fuente</b>
<b>Geomorfología</b>	Esta variable refleja la resistencia de la costa a la erosión, por lo tanto, considera características que se atribuyen al origen geológico (Ramos <i>et al.</i> 2016).	Ramos <i>et al.</i> (2016)
<b>Pendiente costera</b>	Es un indicador relativo de la vulnerabilidad a inundaciones, estabilidad costera y potencial de retroceso de la línea de costa (Ruzic <i>et al.</i> 2019).	González-Baeza (2013)
<b>Potencial de inundación</b>	Las poblaciones costeras están expuestas a peligros como inundaciones esto influye en la resiliencia del sistema debido a los efectos negativos de este fenómeno natural. Además, a escala subregional la costa del Pacífico es propensa a eventos hidrometeorológicos como los ciclones (Marin-Monroy <i>et al.</i> 2020).	Gobierno del estado de Baja California Sur
<b>Manglar</b>	Una de las funciones de los manglares es de protección contra fenómenos meteorológicos, inundaciones y oleaje. También la pérdida forestal de mangle es un indicador del detrimento del ecosistema (Mendoza-Salgado <i>et al.</i> 2011).	Ramsar (n.d)

La elección de estas variables está fundamentada en las características geográficas del área de estudio y la información registrada por diversos autores sobre las variables que influyen en la resiliencia del sistema costero. Para determinar el nivel de importancia se jerarquizaron las variables anteriormente seleccionadas por medio de método de análisis de componentes principales (ACP) aunado con la literatura sobre vulnerabilidad física en la ciudad de La Paz.

**Tabla 3.** Variables físicas en la zona de estudio para identificar las áreas vulnerables.

Variable	Valores				
	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
<b>Geomorfología</b>	Acantilados, playa rocosa	Acantilados medianos, costas abruptas	Acantilados medio/bajos sedimento erosionable	Playas extensas, planicies aluviales	Playas adosadas, deltas tómbolos
<b>Pendiente costera</b>	>1.9%	≤1.9%	≤1.3%	≤0.9%	≤0.6%
<b>Potencial de inundación</b>	La Paz	-	-	-	Chametla. El Esterito
<b>Manglar</b>	Con manglar	-	-	-	Sin manglar

La complejidad de la zona costera implica el conjunto de las variables físicas de acuerdo a su ubicación geográfica y la transformación del paisaje consecuencia de las actividades antropogénicas. La vinculación de la vulnerabilidad física y social permite elaborar propuestas para la formulación de políticas a los temas urgentes en cada región.

Los índices de vulnerabilidad social suelen utilizar datos demográficos con el fin de describir las tendencias sociales, económicas y políticas. La elección del índice de marginación, por CONAPO, se fundamenta en la incorporación de dimensiones socioeconómicas de educación, vivienda, ingresos monetarios insuficientes y distribución de la población. A diferencia del índice de rezago social, que excluye la variable de ingresos monetarios, el índice de marginación señala si existe relación entre la capacidad adquisitiva de la población y el acceso a los servicios básico de vivienda, además de su repercusión en la distribución de la población. Su cálculo se realiza con el procedimiento de análisis de componentes principales, a partir de nueve indicadores de exclusión social expresados en porcentaje. Los resultados serán comparados con los elementos ambientales para diferenciar las unidades territoriales vulnerables por condiciones preexistentes.

$$Y_{il} = \sum_{j=1}^9 c_j Z_{ij} = IM_i$$

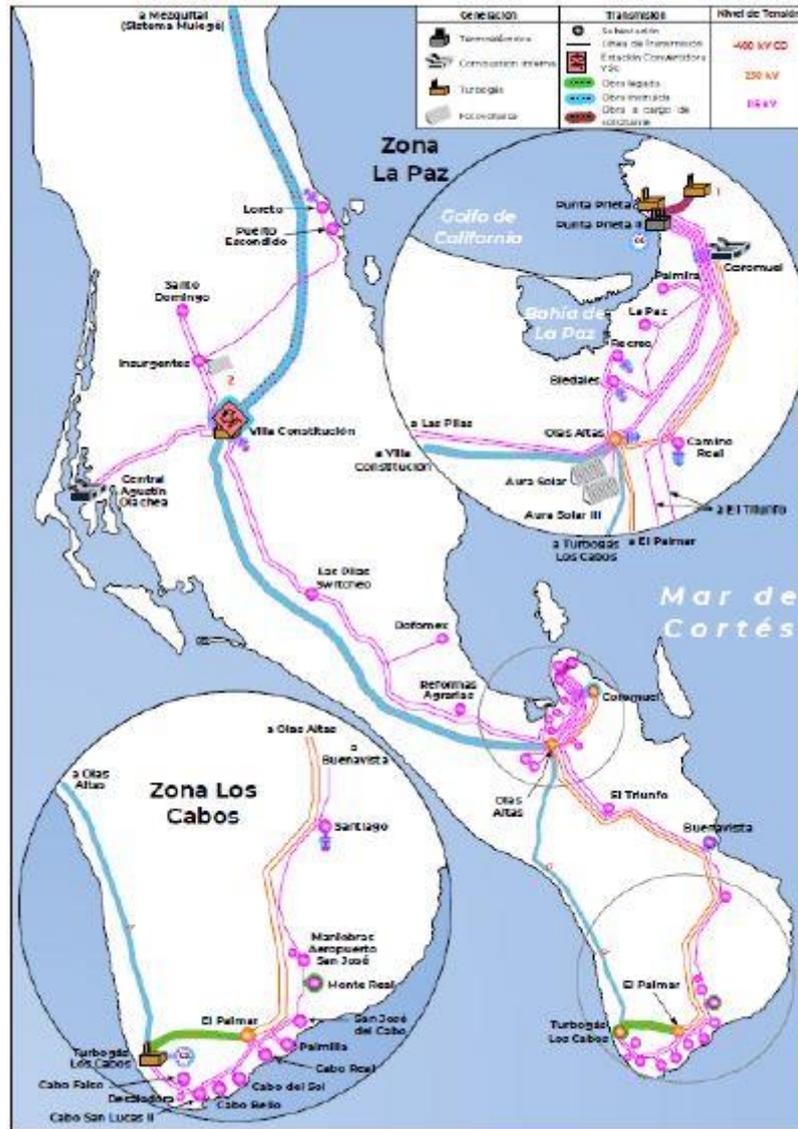
(5)

Donde  $Y_{il}$ : valor de la unidad de análisis  $i$  en la componente principal estandarizada,  $c_j$  es el ponderador del indicador estandarizado  $j$ ,  $Z_{ij}$  es el indicador estandarizado  $j$  de la unidad de análisis  $i$ , mientras que  $IM_i$  es el valor del índice de marginación de la unidad de análisis  $i$  y  $j$  son los nueve indicadores socioeconómicos seleccionados para el análisis de componentes principales

El índice de CONAPO permite identificar aquellas condiciones socioeconómicas de la población que manifiestan circunstancias proclives a la vulnerabilidad ante eventos meteorológicos. Es decir, que las condiciones económicas y vivienda de la población que es estudiada esta relaciona con el grado de afectación de fenómenos extremos.

b) Oportunidad de aprovechamiento de energía marina en La Paz, Baja California Sur

La literatura menciona que el sector eléctrico sudcaliforniano es una combinación de altos costos de operación consecuencia del aislamiento por su ubicación geográfica y los subsidios de las tarifas que hacen de la matriz energética costosa además de contaminante debido a la dependencia a los combustibles fósiles, esto da como resultado una matriz de generación deficiente (López *et al.*, 2016; SECFIN, n.d.).



**Figura 11.** Líneas de transmisión en Baja California Sur (SEMARNAT, 2020).

El sistema eléctrico sudcaliforniano está aislado del resto de transmisión del país, es considerado un sistema autocontenido, con pocos nodos y líneas (fig. 11) (Guerrero y Rosellón, 2017). De acuerdo con la Prospectiva del Sector Eléctrico de 2017-2031, en 2016 se incrementó la pérdida de energía en BCS en 3.4 %, por ello, se sugiere atender la problemática mediante la conexión al sistema interconectado nacional (SIN) o la creación de nuevas redes o mejoramiento de redes de media y baja tensión (SENER 2017). La ciudad está conformada por áreas de alta densidad poblacional con problemas en la distribución y abastecimiento energético.

La problemática principal en el caso de los Cabos es la sobrecarga de redes de media tensión, así como el consecuente daño y acortamiento de la vida útil de los equipos eléctricos debido a la sobrecarga mientras que La Paz depende de que la red se conserve completa con dos fuentes de suministro (SEMARNAT, 2020). Cabe destacar que, en julio de 2019, en diversos periódicos, se declaró estado de emergencia el Sistema Eléctrico de BCS por no contar con reservas que desencadenaron apagones afectando al 40 % de los usuarios en La Paz, Loreto y Los Cabos.

Las medidas a mediano y largo plazo ratifican el compromiso municipal para conservar su estatus turístico por lo tanto las actividades y proyectos están enfocados en mejorar la infraestructura sin acciones concretas para incentivar el uso de ER.

Cabe señalar que, el sistema eléctrico de BCS está subdividido en dos, Villa Constitución-La Paz-Los Cabos están conectados con capacidad de 100 a 499 MW de La Paz a Los Cabos (SENER 2018). Dicha conexión resalta la importancia de integrar el aprovechamiento de EM en la matriz energética de la zona sur para cumplir con la demanda de estos centros turísticos de relevancia nacional. No obstante, dentro de los objetivos a mediano y largo plazo el caso de La Paz es un sitio estratégico para la planeación de un desarrollo sostenible por medio de aprovechamiento del potencial energético del oleaje.

En la agenda del Plan Estatal de Desarrollo 2015-2021 de La Paz, en el apartado de indicadores, se menciona el fomento del uso de energías renovables para mejorar las condiciones de la población, aunque se enfoca en comunidades y rancherías desprovistas de electrificación convencional. En dicho apartado se menciona primordialmente el uso de sistemas fotovoltaicos y plantas híbridas. Sin embargo, dado el potencial disponible de EM en la zona litoral, la implementación de dispositivos de aprovechamiento de EM es una oportunidad real.

Es altamente recomendable revisar, elaborar y proponer criterios para su establecimiento dentro de una estrategia de gestión. Resultados presentados por Hernández-Fontes *et al.* (2019) del potencial teórico en México señalan que es posible extraer energía del oleaje en Baja California Sur, en la zona de La Paz el potencial de teórico aproximado del umbral de  $>2-5$  kW/m, con una disponibilidad de energía del 50.1 % del año.

Dada la situación de la ciudad de La Paz el aprovechamiento de energía marina en la zona podría presentar beneficios para asegurar uno de los servicios básicos de la vivienda, se estima un crecimiento de 3.7% de demanda máxima integrada para el 2032 clasificado como una región con mayores tasas de aumento (SENER 2018), además de consolidar su estatus como ciudad emergente. Una de las medidas del desarrollo sostenible es ampliar la gama de generación de energía con ello minimizar los impactos negativos al ambiente consecuencia del uso de combustibles fósiles.

El Pacífico mexicano tiene el mayor potencial para el aprovechamiento de energía del oleaje, no obstante, se pueden presentar limitantes ambientales, sociales y políticas que no sean compatibles con el establecimiento de tecnologías y/o dispositivos para su aprovechamiento. Por esto es de importancia conocer los objetivos que rigen a las ciudades, los cuales guían los proyectos y el futuro de su crecimiento, por ejemplo, en el en el plan de desarrollo municipal de Los Cabos las medidas en materia de energía establecen la reducción del consumo de energía, mejorar la infraestructura de alumbrado público y tiene un apartado donde se menciona que es imperativo el uso de fuentes de energía renovable (Ayuntamiento Los Cabos, 2019).

## RESULTADOS

### IV.3 Factores socio-económicos y energéticos en la zona de estudio

De acuerdo con la información del programa hidrometeorológico del estado de Baja California Sur, en la ciudad de La Paz hay 28 colonias con riesgo de inundación. Sin embargo, en el presente estudio solo se consideran las colonias cercanas a la línea de costa. Siendo así, las zonas y/o colonias que quedaron dentro de la zona de interés son: Chametla y Esterito.

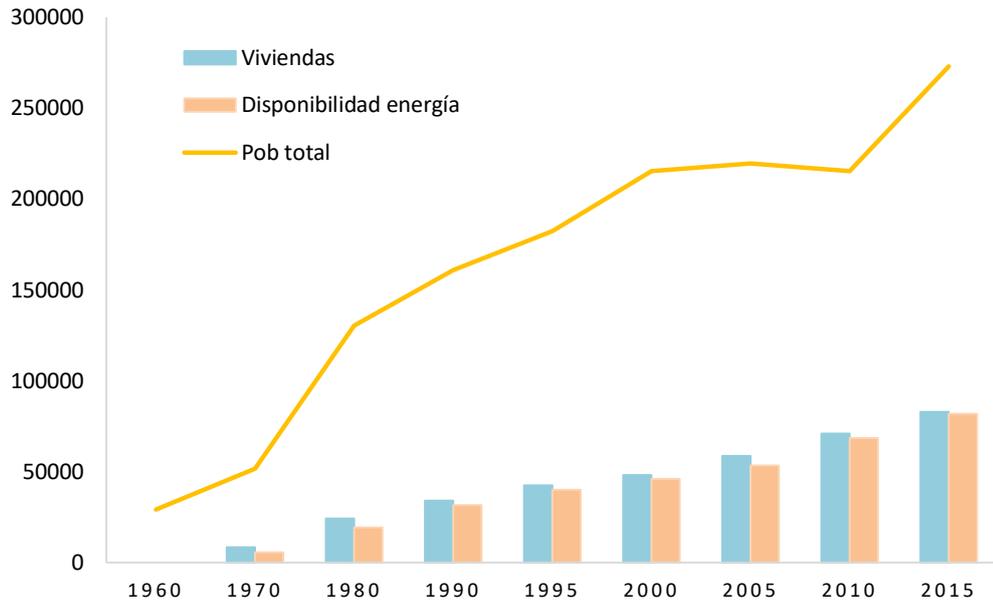
Cabe mencionar que los resultados de la vulnerabilidad física mencionados en la ciudad de La Paz, Baja California Sur es la recopilación de análisis previos realizados en esta zona.

En la zona de estudio se concentra en el núcleo urbano, no obstante, el crecimiento ha sido continuo por lo que extendido el crecimiento a colonias aledañas entre ellas: El Centenario, Chametla y Calafia (gráfica 1). El crecimiento poblacional ha sido constante resultado de la expansión del núcleo urbano y la migración a esta zona debido al aumento de infraestructura tanto de vivienda como hotelera.

El crecimiento demográfico previsto para el periodo 2020-2025 es de 242,195 habitantes, mientras que el periodo correspondiente a 2025-2030 de 387,790 habitantes. En consecuencia, aumento de viviendas de 2020-2025 y 2025-2030 se estima será de 113,509 y 132,720 viviendas, respectivamente. En el análisis se obtuvo una tasa de crecimiento población de 1.13 mientras que la tasa de vivienda de 1.16 cada cinco años (tabla 3).

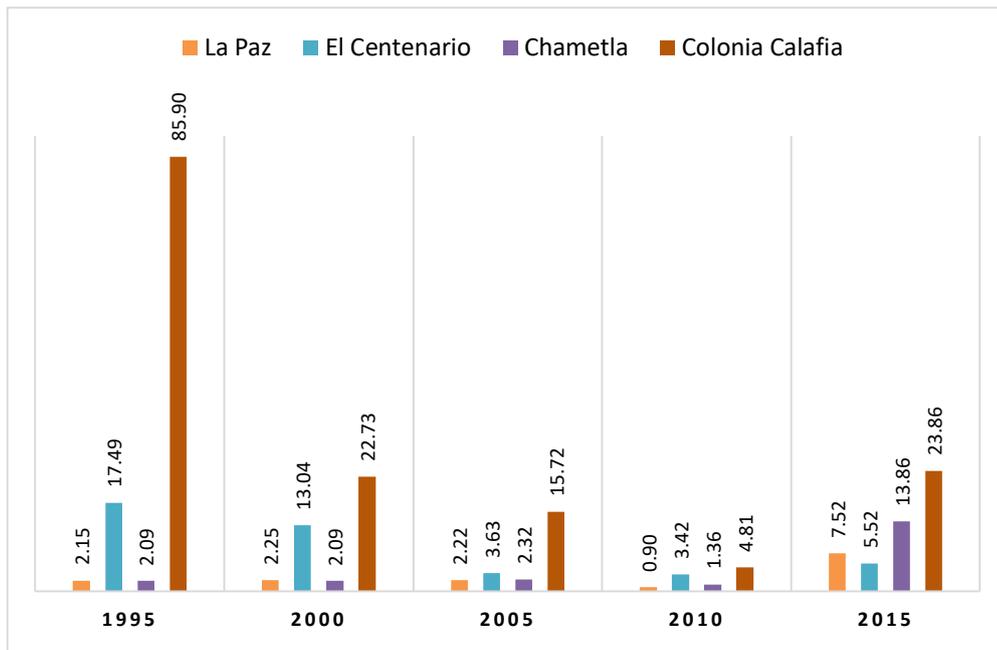
**Tabla 4.** Proyección del crecimiento de poblacional en La Paz, Baja California Sur.

Periodo	Población	Número de viviendas
2020-2025	342195	113509
2025-2030	387790	132720



**Gráfica 1.** Crecimiento poblacional en la ciudad La Paz, Baja California Sur, disponibilidad de energía en viviendas (Gobierno del estado de Baja California Sur, n.d.).

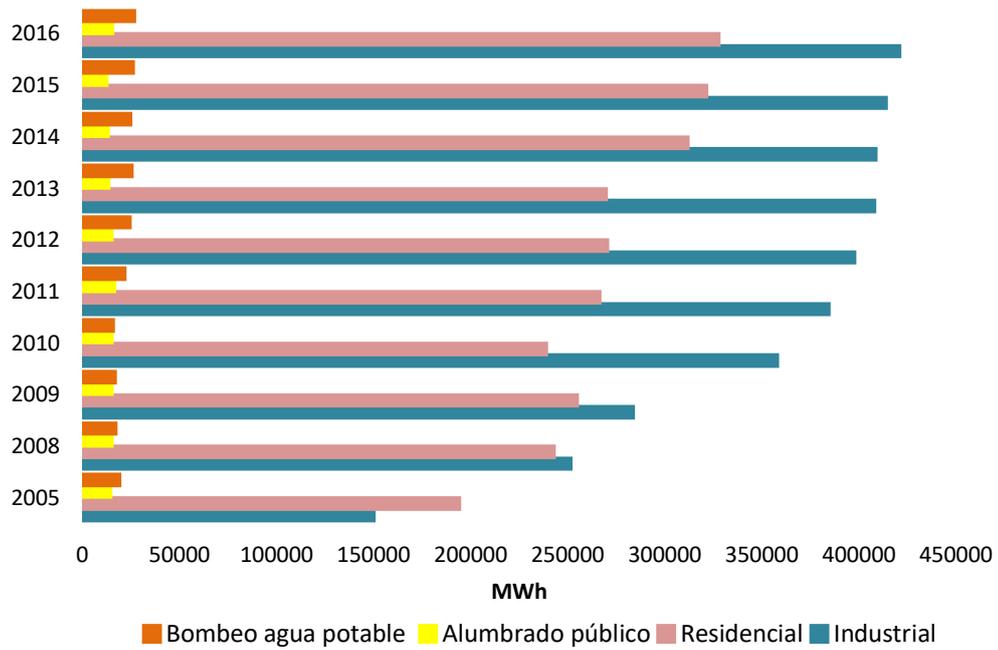
En la gráfica 2 se observa que desde el año 1995 las viviendas sin energía eléctrica han disminuido drásticamente. Dado el crecimiento de La Paz, en el año 2015, hubo un aumento de viviendas sin energía eléctrica de 7.52 %, en El Centenario de 5.52 %, en Chametla y Calafia 13.86 % y 23.86 %, respectivamente, estas cifras no se presentaban desde el año 2000. Lo anterior permite suponer la falta de infraestructura para abastecer los servicios básicos de una ciudad turística con un continuo arribo de habitantes que buscan estar cerca de los centros de población para mejorar su bienestar social (gráfica 1).



**Gráfica 2.** Disponibilidad de energía eléctrica en las localidades correspondientes de La Paz, Baja California Sur (Gobierno del estado de Baja California Sur, n.d.).

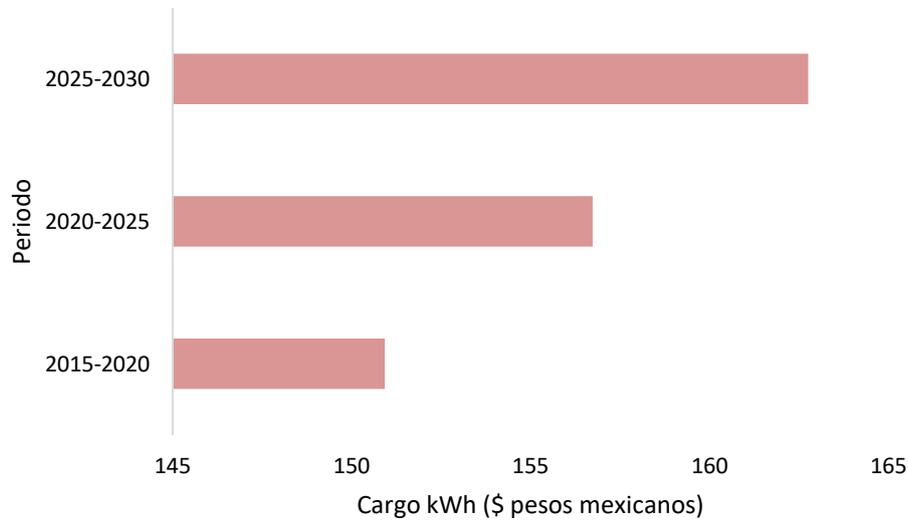
En el caso de la estimación de la demanda energética, con los datos de volumen de las ventas de energía eléctrica de cuatro sectores (industrial, residencial, bombeo de agua potable y alumbrado público) se obtuvo el promedio del aumento anual con un periodo de 5 años en porcentaje, los sectores se eligieron tanto por las necesidades de servicios básicos de la vivienda y bienestar de la comunidad, sino también por su importancia en cuánto al desarrollo económico local y estatal de la población.

Los datos presentados en la gráfica 3 muestran que desde el año 2005 al 2016 el sector industrial es el usuario que más aumentó el volumen de ventas energéticas (MWh) seguido por el usuario residencial, por último, bombeo de agua potable.



**Gráfica 3.** Volumen de las ventas de energía eléctrica por tipo de usuario (MWh) (Gobierno de Baja California Sur, 2019).

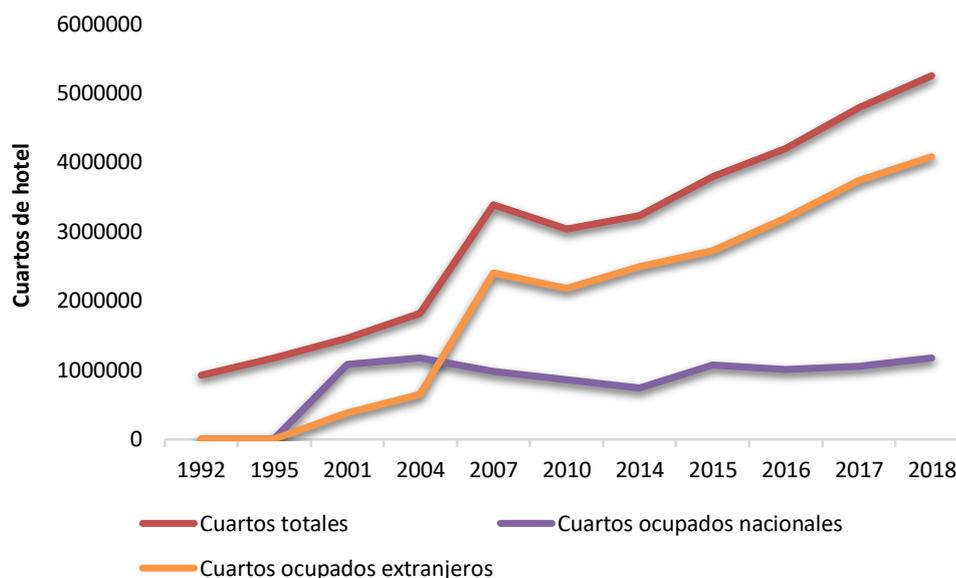
Los resultados obtenidos de la prospección del cargo a usuario por kWh de demanda máxima media consumida, los datos recabados de la CFE, se presentan en periodos de cinco años a partir del 2015. En dicho año la cifra mostrada por el gobierno fue de \$145.44 mientras que la prospección del cargo del 2015-2020 es de \$150.93, del 2020-2025 es de \$156.74 y del 2025-2035 se espera \$162.77 (gráfica 4), dicha tarifa es calculada mensualmente por la CFE.



**Gráfica 4.** Proyección del cargo kW demanda máxima media para el estado de Baja California Sur.

En el caso del sector turístico de Baja California Sur presenta crecimiento exponencial de la ocupación de cuartos por visitantes extranjeros desde 1995. Desde dicho año con ocupación total fue de 47.8% y hasta el 2018 la ocupación de cuartos a nivel municipal fue 65.5%. En el municipio de La Paz el principal destino tanto visitantes nacionales como internaciones en la ciudad de La Paz por los distintos servicios turísticos que ofrece.

El principal destino en el municipio de La Paz es la ciudad con el mismo nombre en dicho municipio es la ciudad de La Paz. Los ocupantes más notables son de origen extranjero, con el 50.9% de ocupación comparada con el 14.6% de nacionales en el año de 2018, la derrama económica de estos visitantes es mayor en relación con los turistas nacionales. Además, es la segunda zona a nivel estatal con más visitantes extranjeros después del corredor turísticos San José-Los Cabos.



**Gráfica 5.** Ocupación hotelera de Baja California Sur (Gobierno del estado de Baja California Sur, n.d.)

#### IV.3. 1 Costo de inversión en energía marina en La Paz, Baja California Sur

#### IV.3. 2 Costos de una planta OTEC

El potencial teórico de una planta OTEC de ciclo cerrado en la zona de estudio, se estableció de forma estacional de verano-otoño, periodo con mayor radiación, e invierno-primavera, periodo con menor radiación y por ende con menor potencial energético. Durante invierno-primavera se reportan TSM entre 21° a 24°C esto por la afluencia de los vientos del noroeste causantes del enfriamiento de las aguas superficiales mientras que en verano-otoño oscilan entre 27° a 31°C, en este periodo los vientos son débiles, además que se presenta un acarreo por advección de aguas cálidas del trófico hacia el golfo. En ambos periodos se puede considerar una temperatura de 25°C (Martínez-Flores *et al.*, 2006).

En la tabla 4 se muestran los valores del costo inicial para una planta OTEC de ciclo abierto de 1 MW con una inversión inicial aproximada de 25 millones de USD. La literatura menciona que la tasa de interés, para el financiamiento de un proyecto de este tipo, oscila entre 4 y 13 % puesto que es función de los préstamos bancarios internacionales. En este caso se optó por una tasa de 6 % basado en estudios previos de

plantas de 1 MW (Seungtaek *et al.*, 2020; Langer *et al.*, 2020; Cavrot, 1995), mientras que OPEX se presenta como el porcentaje de CAPEX, en este caso de 5 %, se menciona que la variación de este valor se debe a las escasas plantas instaladas (Langer *et al.*, 2020).

**Tabla 5.** Costos de inversión inicial para una planta OTEC de 1MW (Seungtaek *et al.*, 2020).

<b>Planta OTEC - Ciclo abierto</b>	
Vida útil	25 años
Tuberías y bombas	12.3
Turbina	3.7
Estructura	4.4
Intercambiador de calor	3.5
Otros	2
Costo total (\$ USD/MW)	25.9

El LCOE para la planta OTEC de 1 MW se estima en 155 de USD/MWh, entre los componentes que presentan mayor costo de la planta se encuentran tuberías y bombas seguido por la estructura que conformara la planta. En lo que respecta al OPEX la categoría que eleva el costo son los componentes de la planta, es decir, evaporador, turbina y condensador.

#### IV.3. 3 Costos de aprovechamiento de energía undimotriz

El aprovechamiento de energía del oleaje se estimó con un despliegue de una granja próxima a la costa de WECs de 10 MW con una inversión inicial de 4.620 millones de USD. Se evaluó con una tasa de interés del 8 % (Sandberg *et al.*, 2016). En la tabla 5 se muestran los valores del costo inicial de un dispositivo de oleaje, los valores presentados son mencionados por la literatura (Astariz *et al.*, 2015), con OPEX del 3.3% (Bloise *et al.*, 2009).

**Tabla 6.** Costos de inversión inicial dispositivo aprovechamiento de oleaje (Asteriz *et al.*, 2015; Gray *et al.*, 2017).

<b>Dispositivo de oleaje</b>	
Vida útil	20 años
WEC e instalación	2.5
Instalación amarre	50000
Instalación del cable	2.07
Costo total (\$ USD/MW)	4.620

Mientras que, en el caso de los dispositivos de oleaje fue de \$ 36.9 (USD/MWh), además del número de despliegue de los dispositivos, la instalación son los rubros con mayor costo seguido por la instalación. En OPEX es la estructura y amarre necesario de los dispositivos, así como los fallos potenciales en la estructura.

#### **IV.4 Mapeo de los actores en la ciudad La Paz, Baja California Sur**

La identificación de los actores es función de su potencial participación o relación con los proyectos energéticos. Se clasificaron como actores directos e indirectos. El mapeo de los actores permite determinar su viabilidad, definida como su rentabilidad económica, aceptación social y repercusiones ambientales. Asimismo, permite comprender el contexto social, económico y político en el cual se planea establecer la infraestructura.

Asimismo, es una herramienta que permite comprender el contexto social, económico y político en el cual se planea establecer la infraestructura.

En la tabla 7 se clasificaron los actores por la influencia directa o indirecta de relacionada con los proyectos que se desarrollen en la zona costero-marina en la ciudad de La Paz, esto con el fin de determinar los posibles conflictos que se puedan presentar, así como clasificar las interacciones como potencialmente positivas (+) o negativas (-).

La categorización de las interacciones se basa en lo estipulado en la literatura sobre los impactos potencialmente negativos de tanto de los dispositivos como de la infraestructura de apoyo (Mendoza *et al.*, 2019; Copping *et al.*, 2018; Akar y Akdoğan, 2016; Riefolo *et al.*, 2015; Garduño *et al.*, 2017).

**Tabla 7.** Listado de los actores en del sitio de estudio basado en su relación con la infraestructura de la zona costera.

Clase	Actores	Relevancia	Interacción
<b>Directos</b>	Hoteleros	El municipio de La Paz tiene el segundo lugar en con mayor afluencia de registros de hospedaje a nivel estatal	+
	Prestadores de servicios turísticos	La creciente demanda de bienes y servicios se satisface por medio de un proceso de urbanización y oferta de servicios turísticos	-
	Academia/Investigación	Se encuentran tres centros de investigaciones en la zona, además la proximidad con ANP y sitios RAMSAR manifiesta la importancia del establecimiento de centros de investigación	+
	Gobierno	Dentro del plan municipal de desarrollo de la administración en curso se mencionan estrategias enfocadas a su nombramiento de ciudad sostenible, así como mejorar el ambiente que influye en el bienestar social	+
<b>Indirectos</b>	Transporte y Navegación	El puerto de Pichiligue-La Paz es uno de los puntos de enlace marítimo de la península de Baja California Sur con la parte continental (Sánchez-Crispín y Propin-Frejomil 2011)	-
	Población	Es el segundo municipio con mayor concentración poblacional, con el 37.5% de la población estatal (Gobierno del estado de Baja California Sur n. d.)	+
	Cooperativas pesqueras	La pesca en esta zona es considerada de pequeña escala sin embargo esta actividad es crucial para el desarrollo local del estado (Tovar <i>et al.</i> 2015)	-

La producción, transmisión y distribución de la energía crea presiones en el entorno, en el sistema costero-marino existe una variedad de sectores, así como despliegue de infraestructura ligado al desarrollo de la zona. El enfoque de gestión permite desarrollar estrategias para la inclusión del sector energético en a nivel local.

El mapeo de los actores se clasificó cada actor como directo e indirecto basado en el impacto que tiene, no solo ambiental, sino también en el desarrollo económico. La construcción de infraestructura hotelera es una constante en la zona, esto conlleva a un aumento en la oferta de actividades turísticas. El gobierno favorece a este sector al ser el motor de desarrollo económico tanto a nivel local como estatal, representa el mayor porcentaje del producto interno bruto. Los espacios en marinas turistas posibilitan el arribo de viajeros en yates y el turismo náutico se ha ido consolidando en los últimos por el arribo de mega cruceros.

Estos actores privados podrían tener beneficios de la generación de energía por WEC u OTEC para mantener el abastecimiento de energía, sistemas de enfriamiento de las habitaciones, así como agua para servicio de habitaciones, lavandería, entre otros.

En el Programa Nacional Hídrico 2020-2024 dentro de los objetivos prioritarios se menciona; *incentivar el uso de energías renovables y alternativas en la extracción de agua y los proyectos de turismo deberán contribuir a mejorar los servicios de agua en comunidades aledañas*. Bajo esta premisa el aprovechamiento de EM en la ciudad de La Paz estaría bajo los criterios tanto de fomento de energía renovable y coadyuvar en el suministro no solo de electricidad también contribuiría con la gestión del recurso hídrico.

El sector académico de investigación podría contribuir datos para determinar la zona que presente menor impacto ambiental además de considerar la perspectiva social para asegurar la aceptación de los proyectos dentro de la zona. La transferencia de conocimiento de este sector a las instancias a las instancias gubernamentales y tomadores de decisiones mejorará el proceso de establecimiento de los dispositivos.

La siguiente interacción es prestadores de servicios de paseos y recorridos turísticos que tendía una respuesta potencialmente negativa por restricciones de tránsito en las áreas aledañas al despliegue de infraestructura, posibles objeciones de los turistas a visitar zonas con presencia de la misma debido al cambio u obstrucción de la belleza

paisajística. Se podría plantear una “pérdida” de área de uso recreativo, afectación en la demanda por estos servicios implica ajustes en los precios.

En cuanto a los actores indirectos, tienen impacto sustancial en el medio donde se desarrollará el proyecto, en el área de despliegue de los dispositivos WEC o construcción de la planta OTEC el paisaje tendrá modificaciones físicas y visuales, lo cual puede resultar en desaprobación de la población, a pesar de dicho aspecto negativo la incorporación de estos dispositivos beneficiaría a los habitantes al mejorar las condiciones de vivienda por abastecimiento de energía, alumbrado público así como provisión de agua.

Por su parte el transporte y navegación deberán compartir espacio con la infraestructura considerando que el puerto de la ciudad recibe embarcaciones turísticas mientras que el puerto Pichilingue recibe la mayor parte del movimiento de carga en la región por ende el tránsito de las embarcaciones podría ser afectado desde la fase de posicionamiento de la infraestructura de aprovechamiento de EM. Por lo tanto, es el orden negativo al igual que la interacción con las cooperativas costeras, estas últimas tienen antecedentes de conflictos por el solapamiento de actividades con la pesca deportiva.

La participación de las partes interesadas puede proporcionar varios beneficios clave para los proyectos: a) mejorar el conocimiento, b) mayor aceptación pública y c) comunicación de los resultados.

Por ende, la vinculación y desarrollo de campañas de acercamiento a diversas instituciones y organizaciones aumenta la viabilidad de los proyectos. Si estos elementos no son considerados es posible que la planeación conlleve una mayor demanda de tiempo y recursos, potencial para marginar o favorecer a ciertos grupos de partes interesadas y representación sesgada de los grupos (Haddaway *et al.*, 2017).

Reforzar herramientas que proporcionen información fiable a los tomadores de decisiones les permite visibilizar de forma global las implicaciones de los proyectos de aprovechamiento de energía renovable disminuyendo el factor de riesgo para los inversores y disconformidad social.

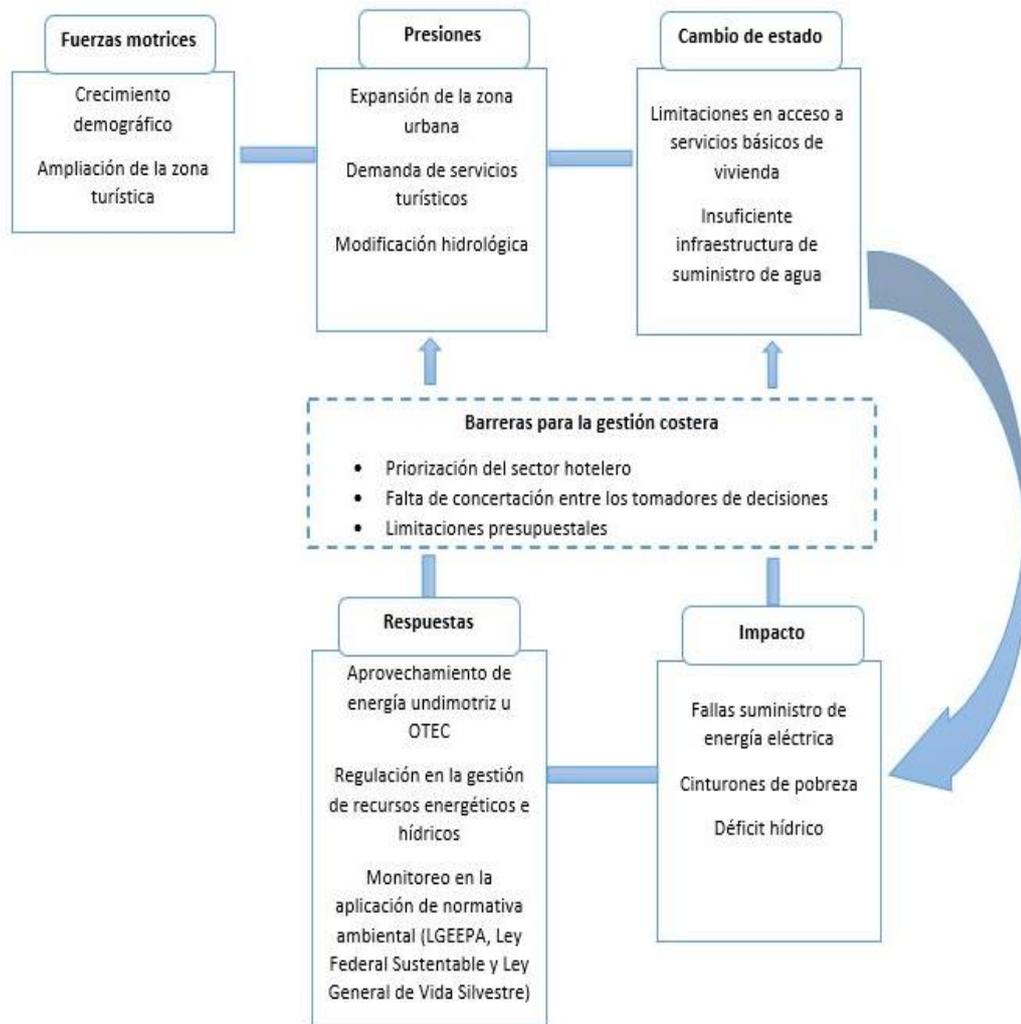
## **MARCO DPSIR PARA LA GESTIÓN DE LA ZONA COSTERA DE LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR ENFOCADO EN EL APROVECHAMIENTO DE ENERGIA MARINA**

La finalidad de la gestión costera es elaborar y reforzar las medidas de la zona costera para equilibrar las limitaciones ambientales con las necesidades sociales. Aunque existen varios marcos conceptuales para describir los vínculos entre las presiones humanas y los cambios de estado en los ecosistemas costeros y marinos el DPSIR ha sido ampliamente adoptado (Patricio *et al.*, 2016). Kristensen (2004) considera que el marco DPSIR proporciona una estructura que presenta los indicadores necesarios para la retroalimentación a los responsables de la formulación de políticas ambientales.

El marco DPSIR proporciona un enfoque integral-holístico, es decir, asume una relación causal entre los diversos componentes de las dimensiones sociales, económicas y ambientales del sistema que se requiera analizar.

Siguiendo el marco de DPSIR, en donde se consultaron los instrumentos de política ambiental; a) regulación directa, b) administrativos, c) económicos y c) educativos de la ciudad de la Paz con el propósito de identificar las acciones a seguir para asegurar un correcto equilibrio entre factores humanos, ambientales, infraestructurales, sociales y económicos, de acuerdo con una secuencia causa-condiciones-efecto, que permita una visión multidisciplinaria e integrada de los procesos.

Asimismo, se enlistaron los tomadores de decisiones con influencia directa e indirecta para elaborar un bosquejo de gestión para la zona costero-marina en el área de estudio, se consideró su impacto físico en la costa y en la zona marina.



**Figura 12.** DPSIR caso de estudio ciudad de La Paz, Baja California Sur.

Las características naturales de las áreas costeras atraen a un gran número de personas, así como a los sectores económicos privados y públicos, con su infraestructura concomitante, sometiéndolas a una creciente explotación de recursos. Teniendo esto en cuenta, la planificación sistemática y el establecimiento de iniciativas de gestión costera son esenciales para el desarrollo de servicios adecuados y sostenibles (de Souza-Felix *et al.*, 2017).

El Sistema Eléctrico de Baja California Sur (SBS) está desconectado del Sistema Interconectado Nacional (SIN), es decir que la electricidad que se consume a nivel estatal se genera localmente. Además, la infraestructura de transmisión está saturada lo cual limita el abastecimiento de este recurso (CERCA, n.d.). Las economías bajas en

emisiones de carbono representan una oportunidad para abordar los desafíos de esta zona: seguridad del suministro, sostenibilidad ambiental y asequibilidad de la energía (OES, 2020).

La figura 10 muestra los elementos que influyen en el despliegue de infraestructura energética en la ciudad de La Paz. Las fuerzas motrices son el crecimiento demográfico y ampliación de la zona turística causada por el arribo de visitantes lo cual representa una demanda de servicios básicos de vivienda, así como proveer de agua y energía al sector hotelero, el consumo de estos recursos constituye uno de los costes más elevados en estos establecimientos.

El sector turístico depende de la disponibilidad de agua y energía en caso de problemas en abastecimiento, generación y distribución puede ser perjudicial para este sector, en el caso de la ciudad de La Paz segundo destino turístico de Baja California Sur requiere de soluciones urgentes.

En el documento expedido por la SEMARNAT titulado Turismo Sustentable en México se recomienda el uso de energía alternativa para reducir el gasto energético por otra parte en el la guía de eficiencia energética en el diseño, construcción y operación de hoteles en climas cálidos se enlistan tres pasos para lograr la eficiencia energética el número tres es energía renovable para reemplazar el suministro de energía intensiva en carbono.

Mientras que el Plan Nacional de Infraestructura 2014-2018 reconoce la necesidad de fortalecer la infraestructura en destinos turísticos para impulsar la competitividad y satisfacer la demanda nacional e internacional de servicios turísticos. En dicho plan se considera que la planificación de los centros turísticos debe contar con inversión en materia de energía, abastecimiento de agua, desarrollo humano, vivienda, entre otros (OECD, 2017).

Las respuestas a nivel gubernamental que permitan el establecimiento de EM es el replanteamiento de los subsidios a la electricidad en todos los sectores para incentivar el uso eficiente y el ajuste de las tarifas domésticas (SENER, 2013).

Como se mencionó anteriormente hay potencial de aprovechamiento de energía undimotriz y OTEC. Entre las clasificaciones que ayudan a medir el progreso de los

proyectos tecnológicos se encuentra los niveles de madurez tecnológica (TRL por sus siglas en inglés).

Los beneficios al sector hotelero permitirán un alza en la derrama económica en la zona. Asimismo, el acceso a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos es un catalizador para mejorar condiciones de vida y de trabajo de la población. El uso universal de la energía moderna también ayuda a disminuir la degradación ambiental y es fundamental para mitigar las presiones climáticas.

En el primer caso, los dispositivos de oleaje están en clasificados en TRL 6-7, es decir, el rendimiento de los dispositivos es cercano al definitivo previsto (Magagna y Uihlein 2015; Magagna 2019). Los dispositivos actualmente desplegados han demostrado buen rendimiento, sin embargo, la electricidad producida es no es sustancial lo que indica que la mayoría de los dispositivos están en fase precomercial (Magagna 2019).

Por su parte, OTEC se encuentra entre TRL 4 y 5, es decir, fase de investigación y demostración. En esta categoría las plantas prototipos probados en laboratorio o prototipos a gran escala con datos en *in situ* (Magagna y Uihlein 2015). A pesar de que existen plantas en funcionamiento, todavía es una tecnología costosa cuya rentabilidad depende de los subproductos como: desalinización, agua para maricultura y refrigeración.

Por ejemplo, todos los tipos de generación de energía tienen impactos ambientales potencialmente negativos, pero con el conocimiento del sistema es posible determinar las ventajas y desventajas de cada tipo y, por lo tanto, establecer prioridades a abordar, es decir, la mejor opción para mejorar las condiciones sociales sin menospreciar la estabilidad del ambiente.

Además de las barreras para el despliegue y comercialización el desarrollo del proyecto depende de manera crítica del nivel de apoyo público y por las autoridades locales.

#### IV.5 Consideraciones ambientales del despliegue de dispositivos WEC y OTEC en la ciudad de La Paz, Baja California Sur

La gestión de la zona costera a menudo se describe como un problema ambiental complicado o "perverso". Los desafíos que se presentan en este sistema deben ser definidos para comprender las interacciones y predecir los cambios en los procesos

ecológicos y sociales que permitan gestionar el sistema hacia una mayor persistencia y resiliencia (Lewis *et al.*, 2016).

Una pregunta clave para los proyectos energéticos es; ¿Qué elementos son susceptibles a cambios por la presencia de nueva infraestructura? Describir en qué estado se encuentra el sistema es fundamental para el análisis y evaluación de las acciones en las distintas fases del proyecto.

A través de los años han sido desplegados diferentes usos en la zona costero-marina, esto conlleva a un posible solapamiento e impactos negativos potenciales en este sistema. En el caso de los proyectos EM se requiere de interpretación espacial y temporal de los patrones de actividad humana de la zona de interés, es decir las actividades que se realicen en el sitio de interés las cuales pueden ser permanentes o temporales además que dichas actividades.

Dado que la EM es un sector nuevo tanto el gobierno como inversores tienen preguntas sobre los efectos potencialmente adversos que las instalaciones pueden producir en el entorno. A continuación, se presenta una breve descripción de los usos y tipos de interacciones que se desarrollan en esta zona. El estudio de referencia, en este caso basado en la literatura existente, proporciona información de los elementos que podrían ser afectados.

El puerto de Pichiligue de La Paz es un puerto comercial, industrial y turístico que alberga embarcaciones de carga general, cemento y gas L.P. además de embarcaciones de tipo Ferries. Se distingue al ser el principal vínculo con el continente de transporte de carga y pasaje. Además, recibe megacruceros que trasladan pasajeros a sitios turísticos.

Los distintos usos del espacio marino, en especial las rutas de embarcaciones, a menudo es clasificado como un conflicto espacial. Ambas industrias compitiendo por un espacio, además la presencia de dispositivos de aprovechamiento significa más obstáculos que las embarcaciones deben evitar o restricción de tránsito (Mehdi *et al.*, 2018). Aunque no se tiene identificado un dispositivo en específico y de acuerdo a lo anterior el tipo de interacción tiene potencial de ser negativo puesto que la combinación de dispositivos de oleaje y el arribo de las embarcaciones puede no ser compatible,

Antes del posicionamiento de los cables se debe considerar 1) el espacio necesario del cable y su tendido, 2) zona de seguridad para futuras reparaciones y 3) delimitaciones

en caso de solapamientos por otras actividades. El establecimiento de los dispositivos requiere de vigilancia por la presencia de cables.

A pesar de que el sector de prestación de servicios tiene mayor porcentaje de captación de recursos financieros en la ciudad, la relevancia de las cooperativas pesqueras, no es despreciable. Desde una perspectiva de biodiversidad, se debe considerar cualquier desplazamiento resultante del esfuerzo de pesca, especialmente si hay una transferencia de esfuerzo de los hábitats de pesca existentes que ya habrán sufrido algún grado de modificación del hábitat a aquellos que han sido comparativamente menos perturbados (Witt *et al.*, 2012).

En esta zona prevalece la pesca ribereña o de pequeña escala, que representa un papel importante en cuanto a los empleos directos e indirectos en determinadas épocas del año. Las artes de pesca y el anclaje pueden dañar los WECs y los cables entre las turbinas, y los barcos de pesca corren el riesgo de colisionar con los WECs (Skousen *et al.*, 2018).

Igualmente, con la planta OTEC podrían presentarse inconformidades con los prestadores de servicios por la limitación del tránsito en la proximidad de la planta. Sands (1980) señala la importancia de los controles de tráfico alrededor de las instalaciones de las plantas OTEC por ello la zona de seguridad debe extenderse con ello prevenir la entrada a personas sin autorización.

En la gestión de las pesquerías se reconoce que los rendimientos están limitados en última instancia por la producción primaria del ecosistema, en este caso la afluencia de agua profunda con mayor proporción de nutrientes se espera que la producción pesquera aumente resultado de una proliferación en la biomasa de productores primarios, sin embargo, el ecosistema circúndate puede presentar cambios en la composición de la red trófica al tener menor diversidad de organismos. Clasificar si la interacción y/o impacto es negativo o positivo es subjetivo, si las capturas de pesca comercial y recreativa se reducen, se considerará adverso, no obstante, Garduño *et al.* (2021) menciona el uso del subproducto agua de fondo rica en nutrientes para desarrollar proyectos acuícolas como un beneficio para la comunidad.

Esto se corrobora con el análisis de Golmen *et al.* (2015) sobre las ventajas del agua de fondo en la acuicultura, se menciona como factor clave con gran potencial para

mejorar la producción de biomasa. La fertilización con este subproducto lo compara con el mecanismo que impulsa la nueva producción después del afloramiento oceánico natural impulsado por el viento que ocurre a lo largo de los márgenes continentales, lo que mejora la producción primaria que sustenta las pesquerías.

Es importante reconocer que muchos hábitats de los fondos marinos de las plataformas continentales han sufrido algún grado de modificación debido a otras actividades como la pesca. Es así que los enfoques metodológicos para evaluar la biodiversidad deben poder separar los cambios provocados por el despliegue de dispositivos de aprovechamiento de oleaje y los impactos de otras actividades humanas (Witt *et al.*, 2012).

Entre los aspectos a considerar para el establecimiento de dispositivos de aprovechamiento EM es la presencia de áreas prioritarias para la conservación, en el caso de La Paz el Parque Nacional Cabo Pulmo se localiza al sureste de esta ciudad. Además, que el área está registrada la presencia de ballena jorobada (*megaptera novaeangliae*), la ballena de aleta (*balaenoptera physalus*) y el rorcual tropical (*balaenoptera edeni*) (Barrera 2016), mamíferos que usan al arrecife de manera transitoria o para alimentarse durante los meses de noviembre a mayo (Guerrero-Ruiz *et al.* 2006).

A pesar de las distintas acciones por parte de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas la presencia de impactos negativos en esta zona persiste, entre ellos la afluencia de actividades turísticas han tenido repercusiones en la fauna (CONANP 2006; CONANP 2009). Lo anterior debe ser considerado antes de la planeación del proyecto, se evitará la cercanía de la infraestructura con la ANP no obstante la interacción de mamíferos marinos es un impacto latente del orden negativo.

Ligado a lo anterior, las interacciones ecológicas incluyen la integridad y conectividad del hábitat es decir presencia de dispositivos donde anteriormente no se existían. Además de fungir como barrera artificial interrumpiendo la conectividad, la literatura menciona riesgo de colisión de cetáceos, peces y aves acuáticas, así como cambio de comportamiento consecuencia de emisión de campos electromagnéticos y alteración del mismo por el sonido subacuático (Mendoza *et al.*, 2019; Copping *et al.*, 2018).

A pesar de la incertidumbre de los impactos anteriormente mencionados el establecimiento de la infraestructura para el aprovechamiento de EM tendrá beneficios a la población y a los prestadores de servicios. Los turistas regresan a la ciudad de La Paz posterior de realizar actividades recreativas como avistamiento de ballenas esto manifiesta la necesidad de mejorar el abastecimiento de energía por la continua afluencia de visitantes, este factor ha desencadenado un alto consumo de agua y electricidad.

El desarrollo turístico se basa en la existencia de una infraestructura de red adecuada, esta incluye energía, agua, transporte, telecomunicaciones. Las carencias en este rubro pueden impactar al sector de forma negativa.

En el 2019 México se posicionó en el 7mo lugar en el ranking mundial del turismo internacional en la categoría llegada de turistas internacionales, en el plan de Desarrollo Hídrico 2014-2018 se menciona que nuestro país ha ido perdiendo posicionamiento en dicho ranking esto puede deberse a la creciente demanda de servicios de agua y energía en los centros turísticos.

La implementación de EM se puede asociar con la estrategia de inversión a al turismo en infraestructura de bien público de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE por sus siglas en inglés) (OCDE, 2017) el cual representa ventajas para el sector turístico y la población.

## DISCUSIÓN

Los retos de las ciudades costeras parecen ser similares, sin embargo, la ubicación geográfica define la problemática de forma individual, en el caso de la ciudad de La Paz se identifican dos retos que tienen repercusiones a nivel ambiental, social y económico; la escasez de agua y el encarecimiento de la electricidad (Ivanova y Gámez 2013). La escasez de agua ha desencadenado la búsqueda de alternativas a las extracciones de agua subterránea para cubrir con la demanda tanto de la población como de la industria de construcción.

Parecido al resto del estado, el acuífero de La Paz está sobreexplotado, y la ciudad carece de suficientes fuentes de abastecimiento de agua potable, la mayor parte del servicio de agua potable se da a través de pipas (Consejo Consultivo del Agua, 2010). El acuífero se encuentra sobreconcesionado en condiciones de sobreexplotación, las extracciones anuales han sobrepasado la disponibilidad de agua total. La disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA), reportada en el 2020, es de  $-7.828320 \text{ m}^3$  anuales esto indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones (CONAGUA, 2020).

Aunado a esto, las fugas del sistema de distribución de agua potable son del orden del 44 %; la distribución presenta pérdidas desde su extracción hasta conducción de su entrega a los usuarios finales (Guerrero, 2010).

Los conflictos derivados de la escasez de agua manifiestan la necesidad de modernizar el sistema de distribución y encontrar nuevas soluciones para abastecer tanto a la población como a la industria. Por ejemplo, en el sector privado, principalmente en los centros turísticos, para combatir dicha problemática, se instalan sistemas de desalinización para cubrir la demanda.

Gámez *et al.* (2012) enfatizan que el proceso de desertificación adquiere mayor importancia entre los escenarios de cambio climático, situación particularmente importante en BCS por ser una de las entidades que presentan mayores índices de aridez a nivel nacional. Esta situación obliga a la entidad a establecer medidas de ahorro y provisión de agua. Entre los métodos para aumentar la oferta de agua son la desalinización y reúso de aguas residuales tratadas.

A pesar que el 92.7 % de la población a nivel estatal cuenta con agua entubada, es necesario realizar mejoras en el sistema (CEA, 2015) y modificar la actual gestión del recurso hídrico. Esto, a su vez, mejorará las condiciones ambientales evitando la sobreexplotación de los acuíferos.

Entre las oportunidades que presenta el aprovechamiento de energía con una planta OTEC se cuenta apoyar al suministro de energía enfocado en el sistema para abastecimiento de agua, así como proveer agua que puede ser desalinizada para uso doméstico, servicios hoteleros y desarrollo de las industrias. En la ciudad se encuentran cuatro plantas desalinizadoras, sin embargo, no son suficientes para cubrir la demanda.

Vega (1999) menciona que plantas de 1 MW a 10 MW pueden desalar entre 1700 m<sup>3</sup> a 3500 m<sup>3</sup> por día. Añade que las plantas que incorporen el proceso de desalinización son competitivas en costos si se encuentran prestamos de inversión con tasas del 5 % y se incluyen créditos para agua desalinizada y aire acondicionado.

En la ciudad de La Paz se encuentran tres de las siete plantas potabilizadoras de BCS, y a pesar de que el proceso de desalinización requiere de una planeación adecuada, es una de las ventanas de oportunidad que tiene una planta OTEC en esta zona. La elección de este tipo de tecnología para el aprovechamiento de energía se confirma por lo mencionado por Garduño-Ruiz *et al.* (2021) quienes focalizaron su estudio en CLS, donde los retos son similares a La Paz, a saber, necesidad de suministro de agua potable y electricidad, por las altas tarifas de energía del país.

En el caso de obtener energía por el aprovechamiento del oleaje, el suministro de energía se focalizaría a la desalación de agua para la zona urbana. De acuerdo con datos de Hiriart (2008), para producir un metro cúbico de agua desalada se requiere quemar un litro de petróleo. La incorporación de la energía en la ciudad de La Paz sería un complemento para cubrir la demanda actual y futura y con ello establecer las bases y los lineamientos del uso y posteriormente la planeación a otros sectores.

Cabe mencionar que la inadecuada gestión del recurso hídrico en la zona agudiza el grado de marginación de la población. Graciano (2018) hace hincapié en que las condiciones de abastecimiento muestran espacialmente el grado de marginación urbana de acceso a servicios básicos, esto puede provocar un aumento en la desigualdad social.

Al ser una ciudad de vocación turística, es decir, enfocada en la prestación de servicios, el aumento en la demanda eléctrica es directamente proporcional al crecimiento de la infraestructura hotelera.

La situación energética estatal es un tema prioritario, los planes estatales desde hace algunos años mencionan el potencial solar por lo tanto se planea incorporar este tipo de aprovechamiento para el abastecimiento. El aumento de ocupación turística aunado a la inmigración (López *et al.*, 2016) requerirá un mayor porcentaje de participación de las energías renovables entre ellas la energía marina.

De acuerdo a lo estipulado en los planes de desarrollo se plantea la diversificación de la matriz energética con la incorporación de fuentes de energía renovable posteriormente la conexión al sistema interconectado nacional. Como menciona Jin y Greaves (2021) la energía solar y eólica son intermitentes, es recomendable optar por una combinación de aprovechamiento de energía solar, oleaje u OTEC. En el caso de la integración de energía eólica en altar mar y olas puede ofrecer una mayor capacidad de potencia y un menor costo de la energía al compartir infraestructuras, como estructura de soporte, amarre, conexión a la red, instalación y operación y mantenimiento.

Las herramientas como vulnerabilidad física y social implementadas se orientaron a determinar las áreas prioritarias para la conservación esto en el campo de la planeación ayuda a delimitar las áreas que no son compatibles para el desarrollo y/o establecimiento de infraestructura. También para determinar los elementos ambientales que claves que podrían ser afectados por la proximidad de los dispositivos. Un ejemplo del uso de herramientas para identificar sitios para el desarrollo de tecnologías EM es el estudio de Garduño-Ruiz *et al.* (2021) donde incorporaron criterios técnicos, ambientales y socioeconómicos para identificar sitios potenciales para plantas de OTEC.

Dichos criterios son de suma importancia para asegurar la estabilidad ambiental que permita la continuidad de los procesos además su conservación está estipulada en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; *toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley*, es decir el desarrollo del proyecto está obligado a contar con herramientas que permitan conocer los cambios que puedan afectar al ambiente y prevenir los impactos negativos potenciales.

Para determinar su competitividad en el mercado energético y, por ende, la factibilidad de su establecimiento en la ciudad de La Paz, se optó por analizar el LCOE donde se establecieron el CAPEX y OPEX. El primero integra los costos del proceso de desarrollo e inversión, es decir, el diseño, compra de los componentes del dispositivo o planta e instalación del mismo mientras que OPEX es el costo operacional y retiro de la infraestructura considerando la producción anual.

Ambos casos las diferencias en los costos se deben a las fuentes consultadas, las variaciones en los precios y conversión de divisas. En este estudio se utilizó el dólar de Estados Unidos ya que para fines comparativos es la divisa que se emplea frecuentemente (Seungtaek *et al.* 2020; Langer *et al.* 2020; Cavrot 1995; Bloise *et al.* 2009; Garduño-Ruiz *et al.* 2021; Sandberg *et al.* 2016).

Se obtuvo un costo de \$ 155 (USD/MWh) para OTEC de 1 MW, Seungtaek *et al.* (2020) analizó tres casos de plantas de ciclo abierto con capacidad de 1, 10 y 50 MW, en el caso de 1 MW estimaron un costo total de \$ 25.9 (USD/MWh), con el objetivo de determinar si esta capacidad es económicamente viable utilizaron la relación costo-beneficio donde  $B/C \geq 1$  obtuvieron 0.541 para 1 MW, es decir, en este caso no se cumple dicha relación. Garduño-Ruiz *et al.* (2021) mencionan que a pesar de estos costos es una de las tecnologías más prometedoras por su factor de capacidad de planta que ronda el 90% (Kempener y Neumann 2019).

El LCOE disminuye de manera exponencial al aumentar la capacidad de generación de las plantas, por ello en la literatura se explora la factibilidad de OTEC con capacidades de 50 y 100 MWh, por ello el análisis económico de las plantas es en capacidades superiores a 1 MW. Esto se confirma con lo mencionado por Garduño-Ruiz *et al.* (2021) los tamaños nominales superiores de 50 MW son más prometedores y competitivos.

En el caso de un WEC de \$ 36.9 (USD/MWh), de acuerdo con Errázuriz asociados ingenieros (2012), en el 2005, la inversión en el caso de WECs era del orden de \$ 6,200-16,100 USD/kW con costo anual de \$ 180 USD/kW estimando un periodo de 20 años, mientras que su capacidad de factor es del 95% aproximadamente (Ringwood *et al.*, 2019). Astariz e Iglesias plantearon que los costos de WECs se dividen en cinco categorías; costos de preparación 0.26%, inversión inicial 34.68%, costos de reposición 24.82%, costos de operación y mantenimiento 40.19% y costos de desmantelamiento

0.07%. Las variaciones en los costos están relacionadas con la disponibilidad de los componentes de cada tecnología, la capacidad del equipo y el tipo de dispositivo.

Estos valores solo consideran el establecimiento de los dispositivos eventualmente, no obstante, durante este proceso es posible que presenten cambios entre ellos Howey *et al.* (2021), en el caso de WECs, indican que la adición de líneas de interconexión puede elevar el costo del proyecto.

El uso de WECs tiene un gran potencial para respaldar el aprovechamiento de EM a escala de servicios públicos acumulando experiencia en campo, demostraciones con la integración de la red y genera conocimiento para minimizar la incertidumbre con los tomadores de decisiones (Renzi *et al.*, 2021).

Con el propósito de mejorar las estimaciones de LCOE es crucial la transparencia en las cifras y tasas de interés. Además, como menciona Langer *et al.* (2020) en el caso de OTEC la falta de experiencia en la implementación de estas tecnologías aunado a la inestabilidad financiera de los países representa un riesgo para su desarrollo, este fenómeno también se puede presentar en las demás formas de aprovechamiento de EM.

El mapa de ruta tecnológica en energía del océano (SENER, 2017) señala que los retos en el caso de aprovechamiento de energía del oleaje son desarrollar dispositivos factibles con alta eficiencia. En el caso de OTEC es prioritario optimizar costos económicos para la construcción, instalación y mantenimiento, así como enfocarse en el desarrollo de tecnologías multipropósito.

La disminución en los costos depende de la madurez tecnológica, aunque la caída de los costos de inversión unitaria es una disminución proporcional en los costos de generación de energía. Las tecnologías de aprovechamiento de oleaje y mareas son más costosas en comparación con la generación con combustibles fósiles u otras formas convencionales (Errázuriz y asociados 2012).

A pesar de estar tener un TRL en el nivel 6 para OTEC y 7 en el caso de los dispositivos de oleaje, esto está relacionado directamente con el LCOE, es una fuente con externalidades positivas. Basado en las tendencias que muestra el aprovechamiento por energía eólica fuera de costa en el año 2020 el LCOE disminuyó un 9% (IRENA, 2021) es decir, en años consecutivos se esperaría la disminución de los costos para el caso de OTEC y WEC.

Hay una serie de áreas comunes en la mayoría de las EM donde las soluciones podrían abordar los desafíos técnicos de operación en el entorno marino por ende ayudar a reducir los costos en los proyectos entre ellos se enlista: 1) materiales y/o recubrimientos, 2) operación y mantenimiento de las tecnologías, 3) conectores eléctricos y 4) amarres (Mofor *et al.*, 2014).

El desafío tecnológico al que se enfrenta OTEC y WEC es su baja competitividad en costos comparados con otras formas de aprovechamiento energético en la zona de estudio. La falta de esquemas de financiamiento para proyectos de demostración limita la posibilidad de desarrollar un caso de negocios y de identificar formas viables de desarrollar tecnología y desplegarla. En México se han presentado cambios en las leyes que rigen el sector energético lo cual ha obstaculizado el desarrollo de las mismas desde la fase de investigación por lo que la búsqueda de financiamiento se orientaría al sector privado.

En el estudio realizado por Dutton (2013) analiza el desarrollo turístico de La Paz desde el año 1929, menciona que el turismo y la inversión externa afecta de forma directa a la población. Para las necesidades energéticas de La Paz son importantes tanto para la población como para la industria son evidentes. El suministro con renovables marinas permitirá que las actividades se desarrollen de manera sostenible, además de asegurar el suministro al núcleo urbano aunado a apoyar en el abastecimiento de las zonas urbanas cercanas. Cabe mencionar que la provisión de energía a la población, al estar clasificado dentro de los servicios básicos de la vivienda, aumenta el bienestar social por ende disminuye las disparidades de la ciudadanía.

En el primer semestre del 2017 se anunció los planes para conectar al SBS al SIN, sin embargo, no se tienen actualizaciones sobre este proyecto por lo que la incorporación de estas tecnologías en la matriz energética es una oportunidad para aliviar las presiones a la creciente demanda de energía.

Dentro de las opciones de financiamiento se encuentra los Principios de Ecuador donde se puede solicitar 1) servicios de asesoría en financiamiento de proyectos, 2) financiamiento de proyectos, 3) prestamos puentes, entre otros. También proporcionan un marco para la gestión de riesgo ambiental y social, es decir, los solicitantes están

obligados a seguir con los requisitos estipulados por diez principios: 1) revisión y categorización, 2) evaluación ambiental y social, 3) normas ambientales y sociales aplicables, 3) sistema de gestión ambiental social y plan de acción, participación de las partes interesadas, mecanismos de quejas, 7) revisión independiente, 8) pactos, 9) monitoreo e informes, y por último 10) informes y transparencia.

En cuanto a la distribución de la energía Villareal y Tornel (2017) argumenta que la adopción de esquemas y modelos de generación distribuida (GD) permitirá la transición energética, es decir, generación en pequeña escala instalada cerca del lugar del consumo. Añade que optar por esquema GD disminuye las pérdidas en transmisión. En cuanto a las oportunidades de apoyos y legislación existe el deseo de renovar la matriz energética actual a pesar de este impulso la transición está en una etapa donde hay diversos obstáculos, sin embargo, el desarrollo e investigación impulsaría el establecimiento de EM en el sector energético.

Dicho esto, la comparación del tipo de infraestructura permite transparencia en la planeación y ofrece también información efectiva a los tomadores de decisiones. Entre los beneficios que proveen las renovables marinas se cuentan minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), este factor es mencionado en el Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático para Baja California.

A nivel estatal, el suministro de energía eléctrica se sostiene mediante la producción de plantas termoeléctricas, con una participación de GEI que asciende a 35.6 %. La producción de energía ocupa el segundo lugar en generación de emisiones de GEI después del transporte con 55.6 % (Gámez *et al.*, 2012), por ello BCS busca impulsar la incorporación de fuentes renovables de aprovechamiento. Las plantas OTEC tienen emisiones incipientes a lo largo de su ciclo de vida, Green y Guenther (1990) prevén que las emisiones de CO<sub>2</sub> de una planta de ciclo abierto en tierra sean de 15 a 25 veces menor en comparación a las plantas de combustibles fósiles.

En el caso de los WECs, principalmente en la fase de diseño, es posible mejorar la huella de carbono. Patrizi *et al.* (2019) mencionan que en la fase de construcción y mantenimiento representan el 18 y 23 % de las emisiones. Se menciona que las tecnologías de aprovechamiento de EM no emiten directamente CO<sub>2</sub> durante su funcionamiento, las emisiones de GEI pueden surgir en las distintas etapas del ciclo de vida; extracción de las materias primas, la fabricación de componentes, la construcción,

el mantenimiento y desmantelamiento (Lewis *et al.*, 2011). La disminución de las emisiones de GEI influye en el bienestar social, en la encuesta de Percepción de la Calidad del Aire los resultados mostraron que en La Paz se considera una calidad del aire regular y es el municipio con mayores emisiones y concentraciones de contaminantes (Secretaría de Turismo, Economía y Sustentabilidad, 2019).

En la rama de energía renovable persiste un discurso sobre energía limpia que podría interpretarse en solo beneficios ambientales. No obstante, el discurso debe ser transparente por lo que deben ser clasificadas como energías renovables o no convencionales. Desde esta óptica, el hecho de presentar menores impactos ambientales a lo largo de su ciclo de vida y cumplir con la legislación sobre las emisiones de gases de efecto invernadero, es ya un avance importante.

A partir de los datos obtenidos, se puede decir que optar por el aprovechamiento de energía marina ofrece limitar los impactos asociados a las emisiones, lo cual es una de las problemáticas que se resalta en los planes de desarrollo estatal.

Sumado a esto, en los planes de desarrollo se integra el apartado de producción de energía por medio de fuentes no convencionales con énfasis en la energía solar, no obstante, la disponibilidad de luz solar es un factor inconsistente, lo que hace que tenga un factor de capacidad bajo además está en función del sitio (Lofthouse *et al.*, 2015). Entre los principales problemas de optar por energía solar es el alto costo de inversión y mantenimiento (Kumar 2019), a pesar que el costo inicial es menor comparado con la EM, esta última es una oportunidad para reestructurar la matriz energética en una zona que no solo debe distribuir al centro de población también se extiende a los municipios aledaños.

El costo del aprovechamiento de EM no es competitivo con otras fuentes de energía cuando se utiliza como fuente primaria por ello se propone como un suministro complementario. Wang et al. 2021 señalan que el uso del sistema complementario multi-energético puede reducir las emisiones de gases contaminantes, como el dióxido de azufre y el monóxido de carbono. Además de resuelve el problema de la discontinuidad de energía única y garantiza el funcionamiento seguro y confiable del sistema de suministro de energía.

IRENA (2015) señala que en los últimos 15 años en nuestro país la generación de energía se ha enfocado en gas natural seguido por petróleo y carbón, sin embargo, las reservas de dichos recursos están disminuyendo por ende las importaciones van en aumento. Esto hace que la producción de energía por combustibles fósiles sea más cara y el suministro por energías renovables y potencialmente atractiva.

A pesar que la competitividad de la energía marina no parece representativa la producción de energía por fuentes convencionales está pasando por un periodo de retos por lo tanto la EM presenta ventajas para ingresar en la matriz energética que coadyuve a proveer los servicios básicos de la vivienda o apoyo a la industria de la cual depende los ingresos de la población.

La priorización de las problemáticas tanto locales como estatales se estipulan en los planes de desarrollo por lo tanto las acciones y esfuerzos futuros están comprometidos desde el momento de conformación de estos documentos. Al impactar de forma positiva en tres rubros prioritarios para el municipio y ciudad de La Paz; apoyar en el suministro energético, mejorar el suministro de agua para la población y el sector turístico y por último disminuir la emisión de GEI es una ventana de oportunidad para entablar comunicación con los tomadores de decisiones y plantear un proyecto de producción de energía por medio de EM. La incorporación de EM podría ser el factor que enfatice la necesidad de administrar los usos en el medio costero-marino.

Por mucho tiempo en el sistema-costero marino la explotación de los recursos estuvo limitada a transporte y pesca y por ende la gestión de este sistema se realizó por distintas instituciones. Es decir, hay una fragmentación en el panorama político del sector ambiental, social, económica y energético, esta separación de organismos es un obstáculo en el proceso de formulación de normas y leyes que promuevan la armonización en las actividades en la zona costera.

Para permitir que los tomadores de decisiones analicen qué vías energéticas son más beneficiosas para la sociedad, se deben desarrollar métodos de evaluación que consideren los impactos en el ambiente hacia una infraestructura energética baja en carbono dentro de un marco coherente que permita la comparación cruzada entre las opciones (Holland *et al.*, 2016).

En el caso de la ciudad La Paz el aprovechamiento no solo tendrá efectos positivos en el sector energético como es reducción de la huella de carbono y disminución de la vulnerabilidad relacionada con la volatilidad de los precios del petróleo. También es una ventana de oportunidad para establecer la gestión de la zona costera, en este proceso se tratan diversas problemáticas entre ellas conflicto entre los usuarios, degradación ambiental y efectos acumulativos del uso múltiple del sistema.

El bienestar humano, la reducción de la pobreza, la inclusión social y la mejora económica no pueden avanzar sin el acceso a la electricidad. Desde una perspectiva de desarrollo humano sostenible el desafío es proponer formas de energía no convencionales que puedan respaldar el crecimiento económico y el bienestar humano, ayudando a reducir la pobreza sin establecer consecuencias ambientales negativas.

En países con fuente primaria de aprovechamiento en combustibles fósiles es necesario promover el desarrollo de sistemas energéticos que puedan proporcionar servicios accesibles y asequibles utilizando nuevos modelos de producción, financiación y distribución. Entre los retos que se presentan es replantear el esquema de subsidios, en el caso de Baja California Sur es de los más altos del país, la inestabilidad macroeconómica, la inflación y fuertes variaciones del tipo de cambio inciden transversalmente en toda la cadena de precios de la energía por ello Contreras (2020) recomienda; a) realizar una caracterización completa de los usuarios para mejorar focalización y el diseño de subsidios, b) dirigir a la oferta para incentivar el cambio hacia una matriz energética más eficiente e c) subsidios para el desarrollo de energía renovable.

A pesar que en la ciudad de La Paz no se considera que su población está en situación de pobreza energética por el porcentaje de viviendas que cuentan con este servicio básico, no obstante, la falta de disponibilidad de fuentes de energía modernas se considera un obstáculo para la productividad lo que fortalece el círculo vicioso de la pobreza. En la era actual, el sector energético enfrenta dos problemas globales, a saber, la seguridad energética y el calentamiento global. Ambos problemas están relacionados directa e indirectamente con la pobreza energética, que provoca aún más la pobreza económica (Ullah *et al.*, 2021).

En este sentido, el problema de la pobreza sigue estrechamente relacionado con la falta de servicios energéticos más limpios y asequibles. En este caso lo ideal es un enfoque de transformación del mercado que ayude al gobierno local implementar combinaciones

de instrumentos públicos que aborden el riesgo de inversión, con el objetivo de lograr de manera rentable perfiles de riesgo-rendimiento que atraigan inversiones en energía sostenible a escala, con ello minimizar los costos de financiamiento (UNDP, 2018).

## **RECOMENDACIONES PARA LA INCORPORACIÓN DE APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA MARINA EN EL SISTEMA COSTERO-MARINO LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR**

Actualmente a nivel estatal se busca aumentar el despliegue de tecnologías de energía renovable para minimizar la dependencia energías convencionales, es por ello que se debe aprovechar la oportunidad para construir un nuevo sistema eléctrico. En este contexto la EM respalda un nuevo enfoque que prioriza las necesidades de la población, considera las opiniones de los tomadores de decisiones y está en continuo rediseño de los componentes para mejorar su rendimiento.

Los resultados del presente estudio, aunado a otros estudios, sugiere que las estrategias deben estar enfocadas en resolver las tensiones ocasionadas por el déficit hídrico, su extracción excesiva, la calidad del recurso agua, abastecimiento de energía y la capacidad de adaptación de la sociedad y el ecosistema.

Al igual que cualquier otro tipo de instalación de generación de energía la presencia de WEC's u OTEC provocará cambios en los parámetros circundantes, distintos autores han mencionado los impactos potenciales y métodos de evaluación (Mendoza *et al.*, 2019, Copping *et al.*, 2018, Leeney 2014; Kumar, 2020; Akar y Akdoğan, 2016). Bajo este contexto las siguientes recomendaciones se fundamentan en información proporcionada por la literatura relacionado con los elementos de la ciudad de La Paz, Baja California Sur.

La descrito a continuación se apegan a lo mencionado en el *reglamento para el uso y aprovechamiento del mar territorial, vías navegables, playas, zona federal marítimo terrestre y terrenos ganados al mar, disposiciones administrativas de carácter general sobre la evaluación de impacto social en el sector energético y al índice de finanzas sostenibles.*

- 1) Se sugiere que la producción de energía en los primeros años sea de autoabastecimiento, a causa de los costos, los primeros años. En el caso de una planta OTEC el uso del subproducto agua desalinizada se distribuirá para uso doméstico y prestación de servicios.
- 2) Acoplamiento con las instituciones de investigación e instancias gubernamentales para elaborar el esquema de cambios en el entorno dada la presencia de dispositivos de aprovechamiento de EM.
- 3) La eficiencia de los proyectos está relacionada con la integración de la sociedad, corresponde tomar en cuenta la opinión de la población, así como su capacidad de adaptación a los cambios en el entorno. Por ello es necesario de realizar una consulta donde se hace uso de herramientas exploratorias e introductorias como encuestas, talleres, asambleas, entre otras.
- 4) En la mayoría de los casos, los dispositivos y plantas son experimentales y aún no cuentan con reglamentación propia, no obstante, para fomentar las buenas prácticas en el sector energético marino, se sugiere basarse en los lineamientos en materia construcción en la zona costera, áreas naturales protegidas y sitios Ramsar, sin embargo, se deben plantear modificaciones a dichas normas
- 5) El monitoreo de impactos ambientales consecuencia de la presencia de estos complementaría el vacío en el conocimiento de efectos adversos por consiguiente influye en la información para determinar la viabilidad comercial.
- 6) La adecuada ejecución de proyectos de ER atraerá a inversionistas para su continuo financiamiento, que puede ser de organismos nacionales como internacionales, Banco Interamericano de Desarrollo o los Principios de Ecuador por mencionar algunos.
- 7) Apegarse al apartado de Sostenibilidad Ambiental y Cambio Climático del Plan de Acción de La Paz, en el III del Art. 38, 39 y 44 de la Ley de Transición Energética en el tema de financiamiento para impulsar el crecimiento en materia de energía renovable.
- 8) Incorporar las disposiciones administrativas de Carácter General sobre Evaluación de Impacto Social en el Sector Energético; capítulo VI plan de gestión social y título tercero procedimiento administrativo de la evaluación de impacto social.
- 9) Los beneficios de los dispositivos WEC y planta OTEC tienen potencial de apoyar con el suministro hídrico de la zona. Con la adecuada gestión de su

establecimiento requerirá de la reformulación de la gestión de dicho recurso a nivel estatal.

- 10) Es posible que los proyectos consideren la inclusión de microrredes, lo cual puede ser una ventaja para las zonas que se encuentran desconectadas a la red nacional. El acoplamiento con sistemas de almacenamiento de energía también puede ayudar a garantizar la seguridad del suministro y el equilibrio entre oferta y demanda.
- 11) Tener presente los plazos del gobierno en turno durante el proceso de planeación, esto con la finalidad de determinar en qué fase se encontrará el proyecto de acuerdo a la administración en turno. Asimismo, permitirá determinar en qué rubro se puede adherir el proyecto de aprovechamiento de energía marina con las estrategias y/o acciones gubernamentales.
- 12) La presencia de dispositivos de aprovechamiento de EM marca una pauta para actualizar las normativas actuales en el uso de los recursos costero-marino y es un precursor de mejoramiento de gestión costera.
- 13) El aprovechamiento de EM puede resolver problemas de las comunidades costeras al permitir el acceso a la energía lo que aumenta el valor socioeconómico de las actividades locales. Además, se puede implementar como un suministro alternativo de energía resultado de las puestas de emergencia.
- 14) El establecimiento de EM en La Paz podría ser un ejemplo para establecer las buenas prácticas en los proyectos del sector energético al elaborar un manual de los elementos y factores a considerar que fomenten el uso razonable de los recursos, incorporación de los derechos humanos y sinergia con el sector de prestación de servicios.
- 15) Apoyarse de marcos como *Innovation Outlook Ocean Energy Technology* de IRENA en el apartado de acciones, propuestas y recomendaciones en especial en la acción 1: mejorar el caso de negocio.

Actualmente existe un flujo continuo de literatura relacionado con esta rama de energía renovable; desarrollo de dispositivos, optimización de los dispositivos preexistentes, análisis de ciclo de vida, impactos potenciales, recientemente se incluye la evaluación de la competitividad en el mercado y percepción social, hace algunos años el aprovechamiento de energía eólica y solar se encontraban en esta etapa. Esto es un indicador que el aprovechamiento de energía marina está en proceso de establecerse en

el mercado energético como una opción complementaria y fiable de abastecimiento de energía.

Finalmente, el análisis de los resultados obtenidos en el proceso de construcción, establecimiento y funcionamiento es un medio de aprendizaje iterativo sobre los cambios y tendencias en los factores ambientales, socio-económicos y gubernamentales en la zona.

# CAPÍTULO V

## CONCLUSIONES

Los dispositivos para el aprovechamiento de EM se encuentran en una etapa crítica de desarrollo. En los últimos años, la comunidad científica se ha volcado hacia esta nueva rama de energía renovable con ello la notable gama de desarrollo en los dispositivos, no obstante, los costos son poco atractivos para los inversores por lo que alcanzar un nivel de competitividad es complejo.

No obstante, la EM podría ayudar a equilibrar la producción de otras fuentes de energía para garantizar un suministro agregado constante de energía a la red en La Paz, posteriormente se podría extender a las ciudades aledañas. Por lo tanto, la energía marina sería un activo valioso en la matriz energética estatal.

Actualmente, los costos de inversión de las tecnologías son altos considerando los costos de mantenimiento y el monitoreo ambiental, así como el acceso al financiamiento es complejo. Sin embargo, las demostraciones son un medio para exhibir los beneficios potenciales de estas tecnologías en la zona de interés.

Es crucial continuar con la investigación de la factibilidad de estas energías en las zonas de interés integrando información no solo ambiental sino también social y económica para identificar los beneficios a mediano y largo plazo. Esto es un apoyo en el proceso de búsqueda de inversores por que se cuenta con la información necesaria para exponer a los tomadores de decisiones con el conocimiento necesaria de las oportunidades que brindan estas tecnologías.

Se recomienda profundizar en el eje socioeconómico, para conocer las necesidades puntuales de la población y analizar los instrumentos que podrían apoyar al establecimiento de estas tecnologías como; subsidios, subastas energéticas, entre otras oportunidades que se puedan presentar a nivel nacional o apoyos internacionales.

Con el propósito de promover el desarrollo sostenible por medio del aprovechamiento de EM la gestión costera es un enfoque basado en los ecosistemas que permitirá una adecuada planificación en las distintas fases del proyecto, asimismo permite el seguimiento de las acciones propuestas.

## REFERENCIAS

- Aguilar, A. G., & López, F. M. (2016). Espacios de pobreza en la periferia urbana y suburbios interiores de la Ciudad de México. Las desventajas acumuladas. *Eure*, 42(125), 5–29.
- Akar, S., Akdoğan, D. A. (2016). Environmental and economic impacts of wave energy: Some public policy recommendations for implementation in Turkey. En M.M. Erdogdu, T. Arun, I.H. Ahmad (Ed.), *Handbook of Research on Green Economic Development Initiatives and Strategies* (Issue April 2018, pp. 285–309). USA: British Cataloguing in Publication Data.
- Anfuso, G., Postacchini, M., Di Luccio, D., Benassai, G. (2021). Coastal sensitivity/vulnerability characterization and adaptation strategies: A review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(1), 1–29.
- Angeles, M., Gámez, A.E., Ivanova, A. (2012). Baja California Sur: crecimiento turístico y desarrollo humano. *Revista de Economía, Sociedad, Turismo y Medioambiente*, 14, 103–125.
- Arizpe, O., Urciagam J. I., Lauterio, C. L. (2014). Servicios ecosistémicos en Áreas Naturales Protegidas de Baja California Sur, México. In J. L. Urciaga (Ed.), *Desarrollo regional en Baja California Sur: una perspectiva de los servicios ecosistémicos* (Primera, pp. 103–128). Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Astariz, S., Iglesias, G. (2015). Enhancing wave energy competitiveness through co-located wind and wave energy farms. A review on the shadow effect. *Energies*, 8(7), 7344–7366.
- Astariz, S., Vazquez, A., Iglesias, G. (2015). Evaluation and comparison of the levelized cost of tidal, wave, and offshore wind energy. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 7(5).

- Ávila, G. (2016). *Diagnóstico del estado de conservación de los manglares de la ciudad de La Paz, Baja California Sur, México*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR.
- Ávila-Flores, G., Juárez-Mancilla, J., Hinojosa-Arango, G., Cruz-Chávez, P., López-Vivas, J. M., Arizpe-Covarrubias, O. (2020). A practical index to estimate mangrove conservation status: The forests from La Paz Bay, Mexico as a case study. *Sustainability (Switzerland)*, 12(3).
- Ayuntamiento Los Cabos. (2019). *Plan de desarrollo municipal: ayuntamiento de Los Cabos 2018-2021*. Retrieved from <https://transparencialoscabos.gob.mx/wp-content/uploads/2019/05/PDM2019.pdf>
- Azuz, I., Rivera, E. (2004). Escalas espaciales y temporales del manejo costero. En E. Rivera, G.J. Villalobos, I. Azuz, F. Rosado (Ed.), *El Manejo Costero en México* (pp. 27–38). Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo.
- Bailey, I., de Groot, J., Whitehead, I., Vantoch-Wood, A., Connor, P. (2012). *Comparison of national framework for marine renewable energy within the United Kingdom and France*. Plymouth.
- Band-Schmidt, C. J., Bustillos-Guzmán, J. J., López-Cortés, D. J., Núñez-Vázquez, E., Hernández-Sandoval, F. (2011). El estado actual del estudio de florecimientos algales nocivos en México. *Hidrobiológica*, 21(3), 381–413.
- Baños, J. A. (2012). Ocupación del territorio litoral en ciudades turísticas de México. *Bitácora Urbano Territorial*, 1(20), 41–52. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/bitacora/article/view/24860/31476>
- Barrea, F. A. (2016). *Los conflictos socioterritoriales y ambientales en cabo pulmo, baja california sur: el dilema entre la conservación y el turismo*. El Colegio de la Frontera Norte.
- Bennett, N.J., Blythe, J., Tyler, S. y Ban, N. C. (2016). Communities and change in the Anthropocene: understanding social-ecological vulnerability and planning

- adaptations to multiple interacting exposures. *Regional Environmental Change*, 16, 907–926.
- Benseny, G. (2006). El espacio turístico litoral. *Aportes y Transferencias*, 10(2), 102–122. <https://www.redalyc.org/pdf/276/27610208.pdf>
- BID. (2014). *Programa ciudades emergentes y sostenibles*. Retrieved from <https://webimages.iadb.org/PDF/La+Paz+BCS+Action+Plan.pdf>
- Bigné Alcañiz, E., Sánchez García, I., Currás Pérez, R. (2007). El papel de la imagen del destino en la valoración y comportamiento postcompra del turista de sol y playa. *Papers de Turisme*, 42(4), 57–73.
- Bloise, T., Crooks, D., Medina-Lopez, E., Van Velzen, L., Jeffrey, H., Mendia, J., Rodriguez, R., Minguela, P. (2019). O&M models for ocean energy converters: Calibrating through real sea data. *Energies*, 12(13).
- Bojórquez, J., Ángeles, M. (2019). Turismo y polarización social en Los Cabos, México: el proyecto zona dorada. *Bitácora Urbano Territorial*, 29(2), Bitácora urbano Territ.
- Bosch, P., Büchele, M., Gee, D. (1999). Environmental indicators: Typology and overview. In European Environment Agen. Copenhagen.
- Cardona, O.D., van Aalst M.K., Birkman, J., Fordham, M., McGregor, G., Perez, R., Pulwarty, R.S., Schipper, E.L.F., Sinh, B. T. (2012). Determinants of risk: exposure and vulnerability. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. En P. M. M. Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor (Ed.), A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (p. 108). IPCC.
- Carr, E.R., Wingard, P.M., Yorty, S.C., Thompson, M.C., Jensen, N.K., Roberson, J. (2007). Applying DPSIR to sustainable development. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 14(6), 543–555.
- Cavrot, D. E. (1993). Economics of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC). *Renewable Energy*, 3(8), 891–896.

- CEA. (2015). *Programa hídrico estatal de Baja California Sur 2015-2021*.
- CERCA. (n.d.). *Plan de transición energética para Baja California Sur*. Retrieved from [https://cerca.org.mx/wp-content/uploads/2020/02/RESUMEN\\_EJECUTIVO\\_PLAN\\_TEBCS\\_140819.pdf](https://cerca.org.mx/wp-content/uploads/2020/02/RESUMEN_EJECUTIVO_PLAN_TEBCS_140819.pdf).
- Cervantes, F. M. (2012). *Caracterización y diagnóstico ambiental del complejo insular espíritu santo, municipio de La Paz, B.C.S., México* [Universidad Autónoma De Baja California Sur].
- Chávez, T. (2012). *Composición y abundancia de especies de florecimientos macroalgales y su relación con variables ambientales en la Ensenada de La Paz, Baja California Sur* [Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.].
- Ciappi, L., Cheli, L., Simonetti, I., Bianchini, A., Manfrida, G., Cappiotti, L. (2020). Wave-to-wire model of an oscillating-water-column wave energy converter and its application to mediterranean energy hot-spots. *Energies*, 13(21).
- CONABIO. (2017). *Informe de condición y ficha de evaluación ecológica, área de protección de flora y fauna Cabo San Lucas, Baja California Sur*. [http://www.biomar.org/site/wp-content/uploads/2017/07/INFORME\\_CSL\\_2017\\_FINAL.pdf](http://www.biomar.org/site/wp-content/uploads/2017/07/INFORME_CSL_2017_FINAL.pdf)
- CONAGUA. (2020). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero de La Paz (0324), estado de Baja California Sur (Issue 0324)*. Ciudad de México.
- CONANP. (2006). *Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Cabo Pulmo, México*. Ciudad de México: CONANP.
- CONANP. (2009). *Compendio del Programa de Manejo del Parque Nacional Cabo Pulmo. Zonificación y reglas*. Ciudad de México.
- Contreras, R. (2020). *Análisis de las tarifas del sector eléctrico Los efectos del COVID-19 y la integración energética en los casos de la Argentina, Chile, el Ecuador, México y el Uruguay*. serie Recursos Naturales y Desarrollo, N° 199

(LC/TS.2020/146), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Cooper, P. (2013). Socio-ecological accounting: DPSWR, a modified DPSIR framework, and its application to marine ecosystems. *Ecological Economics*, 94, 106–115.

Copping, E., Hemery, L. G., Overhus, D.M., Garavelli, L., Freeman, M.C., Whiting, J.M., Gorton, A. M., Farr, H.K., Rose, D.J., Tugade, L. G. (2018). The State of Knowledge for Environmental Effects Driving Consenting/Permitting for the Marine Renewable Energy Industry. In Annex IV Member Nations.

CORIMAT. (2017). *Riesgos costeros: cómo reconocerlos y enfrentarse a ellos*. Retrieved from [https://corimat.net/wp-content/uploads/2017/03/1a-GeneralGuide\\_ES.pdf](https://corimat.net/wp-content/uploads/2017/03/1a-GeneralGuide_ES.pdf)

Cutter, S. L. (1996). Societal vulnerability to environmental hazards. Progress in human to environmental hazards. *Progress in Human Geography*, 20(4), 529–539.

Cutter, S., Boruff, B, Shirley, W. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, 84(2), 242–261.

de Sousa-Felix, R.C., Pereira, L.C. C., Trindade, W.N., de Souza, I.P., da Costa, R.M., Jimenez, J. A. (2017). Application of the DPSIR framework to the evaluation of the recreational and environmental conditions on estuarine beaches of the Amazon coast. *Ocean and Coastal Management*, 149, 96–106.

Doyle, S., Aggidis, G. A. (2019). Development of multi-oscillating water columns as wave energy converters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107, 75–86.

Dutton, A. G. (2013). The Tides of The Tourism Complex At La Paz, Mexico [North Dakota State University]. En Degree of doctor of philosophy (Issue December).

EEA (1999). Environmental Indicators: Typology and Overview. Technical report No.25, European Environment Agency, Copenhagen.

Errazuriz & Asociados. (2012). *Energía marina en Chile*. E&A, British embassy Santiago.

- Etemadi, A., Emdadi, A., Asefashar, O., & Emami, Y. (2011). Energy Procedia Electricity Generation by the Ocean Thermal Energy. *Energy Procedia*, 12, 936–943.
- European Commission. (2017). *Study on lessons for ocean energy development*. Luxembourg.
- Gámez, A.E., Geiger, A., Ivanova, A., Trasviña, A., Muhlia, A., Breceda, A., Lluch, D., Romero, E., Reyes, H., Wurl, J., Angeles, M., Cariño, M., Arizpe, O., Lluch, S., Díaz, S., De la Toba, D., Diaz, S., Zenteno, T. (2012). *Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático para Baja California Sur* (A. Ivanova, y A. E. Gámez (ed.); 1ra ed.).
- Garduño, E. P., García, A., Rodríguez, Y., Bárcenas, J. F., Alatorre, M. Á., Cerezo, E., Tobal, J., Romero, V. M., Silva, R. (2017). *Conversión de Energía Térmica Oceánica (OTEC) Estado del Arte* (A. Silva, R., Posada, G., Gutierrez, J., Felix (ed.)). Cemie-Océano, Universidad Autónoma de Campeche.
- Garduño-Ruiz, E., Silva, R., Rodríguez-Cueto, Y., García-Huante, A., Olmedo-González, J., Martínez, M. L., Wojtarowski, A., Martell-Dubois, R., Cerdeira-Estrada, S. (2021). Criteria for optimal site selection for ocean thermal energy conversion (OTEC) plants in Mexico. *Energies*, 14(8), 1–23.
- Gobierno Baja California Sur. (2018). *Programa de desarrollo urbano de centro de población de La Paz, B.C.S.* <https://lapaz.gob.mx/storage/2018/12/PDUCP-La-Paz-2018.pdf>
- Gobierno del estado de Baja California Sur. (n.d.). *LA PAZ, INFORMACIÓN ESTRATÉGICA*. Retrieved from <https://biblioteca.setuesbcs.gob.mx/publicaciones/>
- Golmen, L.G., Masutani, S.M., Kazuyuki, O. (2005). Ocean Thermal Energy Conversion and the Next Generation Fisheries. C. P. M. M. Imbabi (Ed.), World Renewable Energy Congress (WREC) (Issue Wrec, pp. 789–795). Elsevier.

- González-Baeza, A. (2013). *Evaluación de la vulnerabilidad costera y medidas de adaptación al cambio climático en la región sur de la bahía de la paz*. Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Government of Canada. (2012). *Pathways of Effects - National Guidelines*. Ontario. Retrieved from <https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/365312.pdf>
- Graciano, J. C. (2018). *Uso, manejo y apropiación del agua en destinos turísticos. El caso del municipio de los cabos, baja california sur*. Universidad autónoma de baja california sur.
- Gray, A., Dickens, B., Bruce, T., Ashton, I., Johanning, L. (2017). Reliability and O&M sensitivity analysis as a consequence of site-specific characteristics for wave energy converters. *Ocean Engineering*, 141, 493–511.
- Green, H. J., Guenther, P. R. (1990). Carbon Dioxide Release from OTEC Cycles. *International Conference of Ocean Energy Recovery*, 12.
- Guerrero, D., Rosellón, J. (2018). Planeación óptima de la red de transmisión eléctrica. *IE*, 77(305), 121–145.
- Guerrero, Y. C. (2010). Diagnóstico de la Cuenca de La Paz. In Programa Agua y Humedales Pronatura Noroeste. Retrieved from [http://www.pronatura-noroeste.org/archivos/file/Reporte Final Dialogos del Agua PRONATURA.pdf](http://www.pronatura-noroeste.org/archivos/file/Reporte%20Final%20Dialogos%20del%20Agua%20PRONATURA.pdf)
- Guerrero-Ruiz, M., Urbán Ramírez, J., Rojas-Bracho, L. (2006). *Las ballenas del Golfo de California* (L. Guerrero-Ruiz, M., Urbán Ramírez, J., Rojas-Bracho (ed.)). Ciudad de México: SEMARNAT-INECOL.
- Hamedi, A. S., Sadeghzadeh, S. (2017). Conceptual design of a 5 MW OTEC power plant in the Oman Sea. *Journal of Marine Engineering and Technology*, 16(2), 94–102.
- Hammar, L. (2014). Will ocean energy harm marine ecosystem? In B. Sandén (Ed.), *System perspectives on renewable power* (pp. 84–94). Suecia: Chalmers University of Technology. Retrieved from [http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/210512/local\\_210512.pdf](http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/210512/local_210512.pdf)

- Hasan, M.K., Manasseh, R. (2014). Dissipation in oscillating water columns. *Physics*.
- Hernández-Fontes, J.V., Felix, A., Mendoza, E., Rodríguez, Y., Silva, R. (2019). On the marine energy resources of Mexico. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(191), 1–20.
- Herrera, J., Sierra, S., Ibeas, A. (2021). Ocean thermal energy conversion and other uses of deep-sea water: A review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(4).
- Hiriart Le Bert, G. (2008). Desalación de Agua con Energías Renovables: Interrogantes Jurídicas. En C. Hiriart Le Bert, Gerardo, Nava Escudero (Ed.), *Desalación de agua con energías renovables* (pp. 161–172). Mexico.
- Holland, R. A., Scott, K., Hinton, E.D., Austen, M. C., & Barrett, J., Beaumont, N., Blaber-Wegg, T., Brown, G., Carter-Silk, E., Cazenave, P., Eigenbrod, F., Hiscock, K., Hooper, T., Lovett, A., Papathanasopoulou, E., Smith, P., Thomas, A., Tickner, R., Torres, R., Taylor, G. (2016). Bridging the gap between energy and the environment. *Energy Policy*, 92(April), 181–189.
- Howey, B., Collins, K. M., Hann, M., Iglesias, G., Gomes, R.P.F., Henriques, J.C.C., Gato, L.M.C., Greaves, D. (2021). Compact floating wave energy converter arrays: Inter-device mooring connectivity and performance. *Applied Ocean Research*, 115.
- Ibarra-Núñez, E., Gámez, A. E., Ortega-Rubio, A. (2018). Impacto territorial del turismo en zonas prioritarias para la conservación y ecosistemas prioritarios de Baja California Sur, México. *Sociedad y Ambiente*, 6(17), 33–58.
- Inda, M. T., Gómez, A. S. (2015). Los centros integralmente planeados (CIP'S) en México. *Latino-AM turismología, Revista Latino-Americana De Turismología*, 1(1), 36–53.
- IRENA (2020). *Innovation outlook: Ocean energy technologies*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA. (2015). *Renewable Energy Prospects: Mexico, REmap 2030 analysis*. Abu Dhabi.

- IRENA. (2021). *Renewable Power Generation Costs in 2020*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.
- Ivanova, A., Bermúdez, A. (2014). El plan de acción climática para la ciudad de La Paz, BCS instrumento para políticas públicas en una ciudad costera. *Sociedad y Ambiente*, 1(4), 39–63.
- Jin, S., & Greaves, D. (2021). Wave energy in the UK: Status review and future perspectives. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 143). Elsevier Ltd.
- Kempener, R., Neumann, F. (2014). Ocean Thermal Energy Conversion: Technology Brief. En IRENA Ocean Energy Technology Brief 1 (Issue June).
- Kempener, R., Neumann, F. (2014). *Wave energy technology brief* (Issue June). Bonn, Germany.
- Kristensen, P. (2004). The DPSIR framework. In *A comprehensive / detailed assessment of the vulnerability of water resources to environmental change in Africa using river basin approach*. Nairobi, Kenya.
- Kumar, M. (2020). Social, Economic, and Environmental Impacts of Renewable Energy Resources. In A. T. K. Eloghene (Ed.), *Wind Solar Hybrid Renewable Energy System*. IntechOpen.
- Langer, J., Cahyaningwidi, A., Chalkiadakis, C., Quist, J., Hoes, O., Blok, K. (2021). Plant siting and economic potential of ocean thermal energy conversion in Indonesia a novel GIS-based methodology. *Energy*, 224, 120121.
- Lewis, A., Estefen, S., Huckerby, J., Musial, W., Pontes, T., Torres-Martinez, J., Bharathan, D., Hanson, H., Heath, G., Louis, F., Oystein, S., Abdulla, A., Moreno, J.M., You, Y. (2011). Ocean Energy. En O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow, And, & P. Matschoss (Eds.), *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 497–533). New York: Cambridge University Press.

- LiVecchi, A., Copping, A., Jenne, D., Gorton, A., Preusm R., Gill, G., Robichaud, R., Green, Geerlofs, S., Gore, S., Hume, D., McShane, W., Schmaus, C., Spence, H. (2019). *Powering the blue economy; exploring opportunities for marine renewable energy in maritime markets*.
- Lofthouse, J., Simmons, R., Yonk, R. (2015). Reliability of Renewable Energy: solar. En Utah State University (Vol. 87, Issue 403).
- López, A. C. (2015). *Energía solar en el estado de baja california sur como opción para mitigación del cambio climático, análisis de la viabilidad socioeconómica* [Universidad Autónoma De Baja California Sur].
- López-López, A., Cukier, J., Sánchez-Crispín, A. (2006). Segregation of tourist space in Los Cabos, Mexico. *Tourism Geographies*, 8(4), 359–379.
- López-Rasgado, F. J. (2012). Estructura de la comunidad íctica en tres sistemas (Balandra, Enfermería y Zacatecas) y dos periodos (1989 y 2010) en relación con el grado de influencia antrópica. En L.C.S.E. Pérez-Ramírez M (Ed.), *Biodiversidad y vulnerabilidad de ecosistemas costeros en Baja California Sur* (Primera). CIB.
- Magagna, D. (2019). *Ocean Energy Technology Development Report 2018*. Luxembourg.
- Magagna, D., Uihlein, A. (2015). *2014 JRC Ocean Energy Status Report* (Issue March). Luxembourg.
- Makai. (2015). *Makai Ocean Engineering*. Ocean Thermal Energy Conversion. Retrieved from <https://www.makai.com/ocean-thermal-energy-conversion/>.
- Mani, R., Ankita, M., Amrita, S., Vethamony, P. (2013). Coastal vulnerability assessment of Puducherry coast, India, using the analytical hierarchical process. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13, 3291–3311.
- Marine Renewables Canada. (2013). Marine renewable energy in Canada and the global context: state of the sector report-2013. Retrieved from <http://www.marinerenewables.ca/wp-content/uploads/2012/11/State-of-the-Canadian-MRE-Sector-20131.pdf>.

- Marín-Monroy, E. A., Hernández-Trejo, V., Romero-Vadillo, E., Ivanova-Boncheva, A. (2020). Vulnerability and risk factors due to tropical cyclones in coastal cities of Baja California Sur, Mexico. *Climate*, 8(12), 1–9.
- Martínez-Flores, G., Cervantes Duarte, R., González-Rodríguez, E. (2006). Caracterización De La Temperatura Superficial Del Mar Y Climatología De La Bahía De La Paz, B.C.S., México. *CICIMAR Océánides*, 21(1–2), 81.
- Massé, M. V., Guzmán, C. (2015). The estate and the touristic megaprojects: the case of Cabo Pulmo, Baja California Sur, Mexico. *Teoría y Praxis*, 18, 101–130.
- McCarthy, J. J., Canziani, O. F., Leary, N. A., Dokken, D. J., White, K. S. (2001). *Climate change 2011: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change (IPCC)*. United States of America.
- Mclaughlin, S., Cooper, J. A. (2010). A multi-scale coastal vulnerability index: a tool for coastal managers? *Environmental Hazards*, 9(3), 233–248.
- Mehdi, R.A., Schröder-Hinrichs, J.U., van Overloop, J., Nilsson, H., Palsson, J. (2018). Improving the coexistence of offshore wind farms and shipping: an international comparison of navigational risk assessment processes. *WMU J Marit Affairs* 17, 397–434.
- Mendoza, E., Lithgow, D., Flores, P., Felix, A., Simas, T., Silva, R. (2019). A framework to evaluate the environmental impact of OCEAN energy devices. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, 440–449.
- Mofor, L., Goldsmith, J., Jones, F. (2014). Ocean Energy: Technology Readiness, Patents, Deployment Status and Outlook. In International renewable energy agency IRENA (Issue August).
- Montaño, A., Ivanova, A., Rodríguez, I., Pérez, J., Martínez, J. (2017). Touristic destinations and coastal cities: evaluation of the integrality planed center Los Cabos, Mexico forty years from its foundation. *Int. Sus. Dev. Plann*, 12(8), 1348–1358.

- Morales-Zarate, M.V., Almendarez, M.A., Sánchez, I., Salinas-Zavala, C. A. (2019). Valoración económica del servicio ecosistémico recreativo de playa en Los Cabos, Baja California Sur (BCS), México: Una aplicación del método de costo viaje. *El Periplo Sustentable*, 36, 447–469.
- Moreno, G. (2016). *Capacidad de carga urbana y análisis espacio-temporal del crecimiento de La Paz, B.C.S., México*. Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Moreno, G. (2016). *Capacidad De Carga Urbana Y Análisis Espacio-Temporal Del Crecimiento De La Paz, B.C.S., México* [Universidad Autónoma de Baja California Sur].
- Mørk, G., Barstow, S., Kabuth A., Pontes, M. T. (2010), Assessing the global wave energy potential. En Proceedings of OMAE2010 (ASME), 29th International Conference on Ocean, Offshore Mechanics and Arctic Engineering. Shanghai, China.
- Muir, M. A. K., Aranda, A., Leinweber, K. (2014). Preliminary Assessment of Water Resources including Climate Considerations for the Los Cabos and La Paz Municipalities in the State of Baja California Sur, Mexico. *International Water Association Water, Energy and Climate Conference*, 148, 148–162.
- Mustapa, M. A., Yaakob, O. B., Ahmed, Y. M., Rheem, C. K., Koh, K. K., & Adnan, F. A. (2017). Wave energy device and breakwater integration: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 43–58.
- Núñez Gómez, J.C., Ramos Reyes, R., Barba Macías, E., Espinoza Tenorio, A., Gama Campillo, L. M. (2016). Índice de vulnerabilidad costera del litoral tabasqueño, México. *Investigaciones Geograficas*, 2016(91), 70–85.
- Ocampo-Torres, F. J. (2020). *Wave Power Resources assessment in Northeast Mexico*.
- OECD. (2017). *Tourism Policy Review of Mexico*. OECD Studies on Tourism, OECD Publishing, Paris.

- OES. (2020). *Ocean Energy in Islands and Remote Coastal Areas: Opportunities and Challenges*. IEA Technology Collaboration Programme for Ocean Energy Systems.
- ONU. (2021). *Energy Access - towards the achievement of sdg 7 and net-zero emissions*.
- Patrício, J., Elliott, M., Mazik, K., Papadopoulou, K.N., Smith, C.J. (2016) DPSIR—Two Decades of Trying to Develop a Unifying Framework for Marine Environmental Management?, *Front. Mar. Sci.* 3:177.
- Patrizi, N., Pulselli, R. M., Neri, E., Niccolucci, V., Vicinanza, D., Contestabile, P., Bastianoni, S. (2019). *Lifecycle Environmental Impact Assessment of an Overtopping Wave Energy Converter Embedded in Breakwater Systems*. 7, 1–10.
- Peniche, N. (2019). Acceso universal a la electricidad como una estrategia de reducción de brechas socioeconómicas en México. En W. V. Márquez, R., Rocha (Ed.), Instituto de investigaciones jurídicas, serie doctrina jurídica (Primera, pp. 175–207). México: Instituto de investigaciones jurídicas, serie doctrina jurídica.
- Posada, G., Chávez, V., Hernández, J. V., Rodríguez, Y., Cadena, G., Felix, A., González, R., López, E., Silva, R. (2019). El Futuro de las Energías Marinas en México. En E. Rivera-Arriaga, J. G. P. Sánchez-Gil (Eds.), Tópicos de agenda para la sostenibilidad de costas y mares mexicanos (pp. 255–274). Universidad Autónoma de Campeche. Red ricomar.
- Quijano, M., Rodríguez, B. (2004). El marco legal de la zona costera. En E. Rivera, G.J. Villalobos, I. Azuz, F. Rosado (Ed.), *El Manejo Costero en México* (pp. 69–84). México: Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo.
- Ramos, R., Gama, L., Núñez, J.C., Sánchez, R., Hernández, H., Ruiz, O. (2016). Adaptación del modelo de vulnerabilidad costera en el litoral tabasqueño ante el cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13, 2551–2563.
- RAMSAR. (2008). *Ficha informativa de los humedales de RAMSAR (FIR): humedales Mogote-Ensenada de La Paz*.

- Renzi, E., Michele, S., Zheng, S., Jin, S., Greaves, D. (2021). Niche applications and flexible devices for wave energy conversion: A review. *Energies*, 14(20), 1–25.
- Reyes, S.R.C., Blanco, A.C. (2012). *Assessment of coastal vulnerability to sea level rise of Bolinao, Pangasinan using remote sensing and geographic information systems*. 167–172.
- Ringwood, J., Ferri, F., Tom, N., Ruehl, K., Faedo, N., Bacelli, G., Yu, Y.H., Coe, R. G. (2019). The wave energy converter control competition: Overview. *Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering - OMAE*, 10(July), 10.
- Ružić, I., Jovančević, S. D., Benac, Č., Krvavica, N. (2019). Assessment of the coastal vulnerability index in an area of complex geological conditions on the krk island, northeast adriatic sea. *Geosciences*, 9(5).
- Salvador, S., Gimeno, L., Larruga, J. S. (2019). The influence of maritime spatial planning on the development of marine renewable energies in Portugal and Spain: Legal challenges and opportunities. *Energy Policy*, 128, 316–328.
- Salvador, S., Gimeno, L., Larruga, J.S. (2019). The influence of maritime spatial planning on the development of marine renewable energies in Portugal and Spain: Legal challenges and opportunities. *Energy Policy*, 128, 316–328.
- Sánchez-Crispín, A., Propin-Frejomil, E. (2011). Transporte y turismo en la península de Baja California, México. *Revista Transporte y Territorio*, 5, 112–143.
- Sandberg, A., Klementsén, E., Müller, G. de Andrés, A., Maillet, J. (2016). Critical factors influencing viability of wave energy converters in off-grid luxury resorts and small utilities. *Sustainability (Switzerland)*, 8(12).
- Sands, M.D. (1980). Ocean thermal energy conversion: an overall environmental assessment. *7th Ocean Energy Conference, Washington*.
- Santamaría-Gallegos, N.A., Danemann, G. D., Ezcurra, E. (2011). Conservación de los manglares de la península de Baja California Sur. En L. J. Serviere E., Riosmena R.,

- Félix E. (Ed.), *Los manglares de la Península de Baja California* (Primera, pp. 273–292). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
- Scharin, H., Ericsson, S., Elliott, M., Turner, R. K., Niiranen, S., Blenckner, T. (2016). Processes for the sustainable stewardship of marine environments. *Ecol. Econ.* 128, 55–67.
- SECFIN. (n.d.). *Programa estatal de energía del estado de Baja California Sur*. Retrieved from [http://secfin.bcs.gob.mx/fnz/wp-content/themes/fnz\\_bcs/assets/images/transparencia/marco\\_program/programas2015-2021/Programa Sectorial de Energía 2015-2021.pdf](http://secfin.bcs.gob.mx/fnz/wp-content/themes/fnz_bcs/assets/images/transparencia/marco_program/programas2015-2021/Programa Sectorial de Energía 2015-2021.pdf)
- Secretaría de Turismo, Economía y Sustentabilidad. (2019). *Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Estado de Baja California Sur*. Baja California Sur.
- SEDATU. (2013). *Segunda actualización del plan director de desarrollo urbano San José del Cabo y Cabo San Lucas B.C.S. 2040*. [https://transparencialoscabos.gob.mx/documentos/transparencia/PDU2040 - Aprobado.pdf](https://transparencialoscabos.gob.mx/documentos/transparencia/PDU2040-Aprobado.pdf)
- SEMARNAT. (2016). *Área de protección de flora y fauna Balandra*. Ciudad de México. Retrieved from [https://www.conanp.gob.mx/que\\_hacemos/pdf/programas\\_manejo/2017/Flora y Fauna Balandra \(libro completo\).pdf](https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/2017/Flora_y_Fauna_Balandra_(libro_completo).pdf)
- SEMARNAT. (2020). *Potencial de tecnologías de almacenamiento de energía en México Apéndice 4.2, Baja California Sur*. Ciudad de México.
- SENER. (2013). *Programa sectorial de energía 2013-2018*. [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5326587&fecha=2013/12/2013](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5326587&fecha=2013/12/2013).
- SENER. 2017. *Prospectiva Del Sector Eléctrico 2017-2031*. Ciudad de México. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/325640/Prospectiva\\_del\\_Sector\\_Elctrico\\_2017-2031.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/325640/Prospectiva_del_Sector_Elctrico_2017-2031.pdf)

- SENER. 2018. *PRODESEN: Programa de Desarrollo Del Sistema Eléctrico Nacional 2018-2032*. Ciudad de México. <https://www.gob.mx/sener/acciones-y-programas/programa-de-desarrollo-del-sistema-electrico-nacional-33462>.
- Seungtaek, L., Hosaeng, L., Junghyun, M., Hyeonju, K. (2020). Simulation data of regional economic analysis of OTEC for applicable area. *Processes*, 8(9), 2–25.
- Sharp, C., DuPont, B. (2018). Wave energy converter array optimization: A genetic algorithm approach and minimum separation distance study. *Ocean Engineering*, 163, 148–156.
- Silva, R.; Martínez, M.L.; van Tussenbroek, B.I.; Guzmán-Rodríguez, L.O.; Mendoza, E.; López-Portillo, J. (2020). A Framework to Manage Coastal Squeeze. *Sustainability*, 12, 10610.
- Skousen, B., Zonta, D., Ooms, E., Jay, S. (2018). *Technical Study: MSP as a tool to support Blue Growth. Sector Fiche: Offshore Wind Energy*. Retrieved from [https://www.msp-platform.eu/sites/default/files/sector/pdf/mspforbluegrowth\\_sectorfiche\\_offshorewind.pdf](https://www.msp-platform.eu/sites/default/files/sector/pdf/mspforbluegrowth_sectorfiche_offshorewind.pdf)
- Sugianto, D., Jurnarso, Helmi, M., Alifdini, I., Maslukah, L., Saputrom S., Yusuf, M., Endrawati, H. (2017). Wave energy reviews in Indonesia. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 8(10), 448–459. [https://www.researchgate.net/publication/321421362\\_Wave\\_energy\\_reviews\\_in\\_Indonesia](https://www.researchgate.net/publication/321421362_Wave_energy_reviews_in_Indonesia)
- Tethys. (2019). *Regulatory frameworks for marine renewable energy*. Retrieved from <https://tethys.pnnl.gov/regulatory-frameworks-marine-renewable-energy>.
- Tovar, N., Lluch, S., Urciaga, J. I. (2015). Subdesarrollo en las localidades pesqueras del municipio de La Paz, Baja California Sur. *Región Y Sociedad*, 27(63).
- Ullah, S., Khan, M., Y.S., M. (2021). Measuring energy poverty and its impact on economic growth in Pakistan. *Sustainability*, 13(19), 1–19.

- UNDP. (2018). Policy brief 08: Interlinkages among energy, poverty and inequalities. In *Accelerating SDG 7 Achievement: Policy Brief (Issue 8)*. Germany.
- Vázquez, A., Astariz, S., Iglesias, G. (2015). A strategic policy framework for promoting the marine energy sector in Spain. *Journal of renewable and sustainable energy*, 7, 7–13.
- Vega, L. A. (1999). *Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)*. Literature and Lore of the Sea.
- Velasco, J. A. (2017). *Ambientes geológicos costeros del litoral de la bahía de La Paz, Baja California Sur, México* [Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario De Ciencias Marinas].
- Venkatesan, R., Abraham, R. (2001). Ocean Thermal Energy Conversion. S. A. Steele, J., Turekian, K. K., Thorpe (Ed.), *Marine engineers journal* (2da, pp. 1–11). Oxford: Institute engineers.
- Villarreal, J. A., Tornel, C. (2017). La Transición Energética en México: retos y oportunidades para una política ambiental- mente sustentable y socialmente inclusiva. *FES Transformación*, 47.
- Waffenschmidt, E. (2017). *The Renewable Energy Act in Germany: Its basic idea and recent developments*. 5. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/317078200\\_The\\_Renewable\\_Energy\\_Act\\_in\\_Germany\\_Its\\_basic\\_idea\\_and\\_recent\\_developments](https://www.researchgate.net/publication/317078200_The_Renewable_Energy_Act_in_Germany_Its_basic_idea_and_recent_developments)
- Wang, Y., Qu, Z., & Wen, Z. (2021). Development and application status of multi energy complementary energy system. *E3S Web of Conferences*, 252.
- Witt, M. J., Sheehan, E. V., Bearhop, S., Broderick, A. C., Conley, D. C., Cotterell, S. P., Crow, E., Grecian, W. J., Halsband, C., Hodgson, D. J., Hosegood, P., Inger, R., Miller, P. I., Sims, D. W., Thompson, R. C., Vanstaen, K., Votier, S. C., Attrill, M. J., & Godley, B. J. (2012). Assessing wave energy effects on biodiversity: The Wave Hub experience. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 370(1959), 502–529.

Wu, C.C., Jhan, H.T., Ting, K.H., Tsai, H.C., Lee, M.T., Hsu, T.W., Liu, W.W. (2016). Applications of social vulnerability indicators to climate change for the Southwest coastal areas of Taiwan. *Sustainability*, 8(12), 1–18.