



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIDAD XOCHIMILCO

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

INFORME FINAL DE SERVICIO SOCIAL
POR ACTIVIDADES RELACIONADAS CON LA PROFESIÓN

PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADA EN BIOLOGÍA

**Caracterización ambiental y socio-económica para el
desarrollo de Istmo-Costa chiapaneca a través de energías
oceánicas renovables**

QUE PRESENTA EL ALUMNA
Graciela Rivera Camacho

Matrícula
2132030456

ASESORES:

Dra. Leonor Mendoza Vargas
Asesor interno
No. Económico 37826
Profesor titular C
Departamento El Hombre y su Ambiente

Dra. Angélica Félix Delgado
Asesor externo
Coordinación de hidráulica
Universidad Nacional
Autónoma de México

Ciudad de México, México.

Fecha: 10 abril 2018

RESUMEN

Las consecuencias de la dependencia a los combustibles fósiles se han hecho presentes en los últimos años lo cual ha generado la búsqueda de fuentes que minimicen los impactos negativos al ambiente, para confrontar esta problemática el gobierno promueve el desarrollo sustentable en el sector energético con el propósito de reducir la dependencia de las fuentes energéticas convencionales mediante el uso de energías renovables dentro de este rubro se encuentra la energía oceánica. El Estado de Chiapas tiene una amplia variedad de recursos naturales por ello ha creado leyes para promover la implementación de mecanismos para el ahorro de energía por medio de fuentes que disminuyan o abatan la emisión de contaminantes, además un porcentaje elevado de la población está en condición de extrema pobreza con reducido acceso a los servicios básicos para la vivienda digna. El objetivo del presente trabajo fue identificar la o las comunidades con las características ambientales y socio-económicas para implementar energía oceánica en la región Istmo-Costa chiapaneca.

El sitio donde la introducción de estas tecnologías representaría menor impacto ambiental es el municipio de Pijijiapan. Existen dos posibles escenarios para el establecimiento de energías oceánicas, se propone la obtención de energía por la diferencia de temperatura por medio de una planta OTEC *offshore* y el aprovechamiento de corrientes de marea, para este último se sugiere realizar el modelado de la hidrodinámica de los ríos con ello determinar la factibilidad de la energía mareomotriz.

Palabras clave: Istmo-Costa, energía, oceánica, impacto ambiental

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi familia por el apoyo incondicional, esfuerzo y dedicación, por enseñarme que no existe metas imposibles y fomentar mi interés por expandir mis conocimientos.

Agradezco el recibimiento brindado por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Agradezco al Centro Mexicano de Innovación en Energía del Océano (CEMIE-O) por permitirme ser parte del equipo. La estancia en este centro fue grata, asistir a talleres y conferencias auxilió en la redacción del presente proyecto además las personas que forman parte del CEMIE-O abrieron mi perspectiva sobre el trabajo multidisciplinario.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Dra. Angélica Félix Delgado, en especial por aceptarme como asesora, por su interés en el tema, por su apoyo, tiempo, comprensión y por compartir su conocimiento.

A la Dra. Leonor Mendoza Vargas quién fue partícipe en mi formación durante la carrera, por brindarme su apoyo y aceptar ser mi asesora. Además contribuyó en mi interés y esmero en el proceso de redacción de trabajos de investigación.

Finalmente agradezco al Dr. Rodolfo Silva Casarín por aceptarme mi propuesta para realizar el servicio social dentro del CEMIE-O, por su atención y apoyo.

INDICE

MARCO INSTITUCIONAL	i
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES DEL PROYECTO	2
Energías oceánicas renovables	3
Área de estudio región IX Istmo-Costa chiapaneca	6
<i>Edafología</i>	8
<i>Topoformas</i>	8
<i>Clima</i>	9
<i>Hidrología</i>	9
<i>Vegetación</i>	10
<i>Fauna</i>	11
<i>Áreas naturales protegidas (ANP)</i>	11
<i>Población</i>	12
<i>Uso de suelo</i>	13
Municipios que integran la región	14
<i>Arriaga</i>	14
<i>Tonalá</i>	15
<i>Pijjiapan</i>	16
<i>Mapastepec</i>	17
Marco jurídico	19
Problemática de la costa chiapaneca	22
Diagnóstico socio-económico	23
OBJETIVO GENERAL	26
Objetivos particulares	26
ESPECIFICACIÓN Y FUNDAMENTO DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS 27	
<i>Impacto de las actividades de servicio social</i>	29
APRENDIZAJE Y HABILIDADES OBTENIDAS	30
RESULTADOS	32
Selección del sitio de interés	32
<i>Factores ambientales</i>	32
<i>Factor socio-económico</i>	40
Objetivos estatales de desarrollo en materia de energía	42
POTENCIAL DE ENERGÍAS OCEÁNICAS RENOVABLES EN CHIAPAS	46
Potencial de las energías oceánicas renovables en la región IX Istmo-Costa chiapaneca	48
<i>Gradiente térmico</i>	48
<i>Viabilidad del aprovechamiento del gradiente térmico</i>	52
Energía mareomotriz en México	54
<i>Energía mareomotriz en la región IX Istmo-Costa</i>	55
IMPACTOS DE LAS ENERGÍAS OCEÁNICAS RENOVABLES	57
Impactos por el aprovechamiento de la energía por de gradiente térmico	57
Impactos de las tecnologías para el aprovechamiento de la energía mareomotriz y undimotriz	59
MÉTODOS DE MUESTREO PARA IDENTIFICAR IMPACTOS DE LAS ENERGÍAS OCEÁNICAS RENOVABLES	63
Factores abióticos	63

Factores bióticos	66
Definición de factores y procesos generales a monitorear	71
INFLUENCIA DEL ÁMBITO SOCIO- ECONÓMICO Y LEGISLATIVO EN LA TOMA DE DECISIONES.....	82
Eje socio-económico	82
Eje legislativo	84
CONCLUSIONES.....	87
REFERENCIAS.....	89

MARCO INSTITUCIONAL

Desde su fundación, la Universidad Autónoma Metropolitana unidad-Xochimilco (UAM-X) ha procurado establecer vínculos con la sociedad para resolver problemas concretos desde su ámbito académico. Por lo anterior, la universidad orienta sus tareas de enseñanza, investigación, difusión del conocimiento y de la cultura, a la formulación de proyectos de investigación que permitan la obtención de información necesaria para plantear soluciones viables a problemas prioritarios en el país. Es por esto que la UAM-X ofrece formas innovadoras de servicio social para que los alumnos de las licenciaturas impartidas en la institución se enriquezcan con el conocimiento y habilidades adquiridas en el sistema modular, las propuestas que se desarrollan en la propia institución o en instituciones externas.

En la UAM-X el modelo de enseñanza-aprendizaje se basa en el sistema modular, el cual establece la investigación como una de las principales actividades formativas de los alumnos. Bajo este marco, los profesores de la unidad además de su labor docente, realizan actividades de investigación, razón por la cual tienen el nombramiento de profesor-investigador. En esta universidad, el Departamento de “El Hombre y su Ambiente” (DEHA) tiene adscrita la Licenciatura en Biología y cuenta con diferentes laboratorios de investigación, docencia y servicio. Los profesores adscritos al departamento tienen distintas funciones, entre ellas: a) generar convenios de colaboración con otras instituciones y buscar el financiamiento interno o externo de los proyectos de investigación planteados en las áreas del departamento y b) participar en las distintas actividades de docencia, incluido en este rubro la formación de servidores sociales y tesis de posgrado.

Por otro lado, el Instituto de Ingeniería (IINGEN) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) tiene como política la realización de investigaciones orientadas en los problemas generales de la ingeniería, colaborando con entidades públicas y privadas para mejorar su práctica en el ámbito nacional así como proporcionar servicios de ingeniería a los diversos sectores de la sociedad. Asimismo, ha puesto especial atención en la formación de recursos humanos y difusión de los resultados de sus investigaciones, contribuyendo así al desarrollo del país y bienestar de la sociedad (IINGEN, 2017). Dentro del IINGEN se encuentra la coordinación de hidráulica, esta ofrece un sitio para que los estudiantes interesados en esta disciplina participen en los proyectos que en ella se realizan y fortalecer su formación académica.

Esta coordinación aborda diversos temas en los que incluyen el diseño de estructuras marítimas y costeras, procesos costeros y estuarinos, evaluación de riesgo en zonas costeras, desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento de la energía del mar, entre otras (IINGEN, 2015). Esto con el objetivo de adecuar y mejorar el conocimiento de los procesos para proporcionar respuestas a los distintos problemas actuales en la gestión y utilización del medio marino, por ello la coordinación colabora con los Centros Mexicanos de Innovación en Energía (CEMIE's) con el objetivo del desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento de fuentes de energía renovables para generar electricidad con fines distintos a la prestación del servicio público de energía eléctrica, así como establecer la estrategia nacional y los instrumentos para el financiamiento de la transición energética de acuerdo a la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE).

En particular el CEMIE-Océano tiene como misión de convertirse en el centro con mayor cantidad de líneas de investigación en temas de aprovechamiento de las energías del océano, desarrollo de tecnologías de alto impacto social e industrial. Con ello se pretende brindar tecnología que permita la disminución del consumo nacional de fuentes fósiles de energía y el incremento del uso de energías renovables (IINGEN, 2016). La UAM-Xochimilco y la UNAM comparten su visión y en ambas instituciones se tiene el interés de formar recursos humanos de alto nivel para la resolución de los problemas que aquejan a la sociedad.

INTRODUCCIÓN

La sobreexplotación y el uso de los combustibles fósiles han provocado daños a los distintos ecosistemas como la emisión de gases contaminantes de efecto invernadero producto de las diversas actividades económicas asimismo entre los daños más severos se mencionan derrames de combustible en el mar, contaminación en las ciudades, degradación del suelo, entre otros (IINGEN, 2016). Para confrontar esta problemática el Plan Nacional de Desarrollo de 2013-2018 hace mención del desarrollo sustentable, uno de los objetivos de este desarrollo es la reducción en la dependencia de estos combustibles mediante el uso de fuentes de energía alternativas, potenciado la innovación y el mercado del energético para el aprovechamiento sustentable de los recursos con el objetivo de disminuir el impacto ambiental y satisfacer la demanda de energía (Edenhofer *et al.*, 2011).

Por ello México busca la transición energética mediante el uso de las energías renovables (ER); se definen como aquellas producidas de forma continua e inagotables a escala humana, es decir se renuevan continuamente a diferencia de los combustibles fósiles de los que existen determinadas cantidades (Shallenberg *et al.*, 2008), se han creado leyes para respaldar la introducción de estas energías como la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) que busca establecer las bases de la inclusión de las ER en el ámbito nacional por medio de políticas, programas y proyectos que promuevan acciones para su aprovechamiento y transformación para impulsar la eficiencia energética, esto representa una respuesta de la demanda de un modelo sustentable, asimismo contribuirá en la conservación y uso eficiente de los recursos energéticos no renovables (SENER, 2006). Dentro de esta clasificación se encuentran las energías oceánicas que aprovechan las mareas, corrientes marinas, oscilaciones del nivel del mar, gradientes de temperaturas y salinos (Bruciaga y Escobar, 2016). Además de las ventajas ambientales y sociales impulsan el crecimiento económico tanto a nivel local como regional así como el desarrollo científico y tecnológico (Instituto de investigaciones legislativas del senado de la república, 2004).

Nuestro país comienza a incursionar en la energía oceánica para cubrir la demanda energética abarcando el eje ambiental por ello la identificación de áreas aptas para la introducción de estas tecnologías en el litoral del país es crucial. El Estado de Chiapas, por su posición geográfica y características climatológicas le proporciona una amplia variedad de recursos naturales que permite incursionar en el área de las ER

(CONACYT, 2014) abordando la problemática del litoral para asegurar la protección, conservación, el uso sustentable de los océanos y costas del país considerando las necesidades de las poblaciones establecidas en estas áreas además de revertir el deterioro de estos ecosistemas (SEMARNAT, n. d.).

La región económica IX Istmo-Costa es de interés ecológico y socio-económico en ella se localizan cuatro áreas naturales protegidas con grandes extensiones de mangle, zonas designadas para la protección de tortugas, entre otros. Una forma para orientar la región bajo la concepción del desarrollo sustentable es por medio de energías oceánicas proporcionando energía eléctrica a la población para realizar las actividades productivas y proveer uno de los servicios básicos de la vivienda. Bajo esta problemática ambiental y social el presente proyecto de servicio social busca identificar la o las comunidades que cubran con las características ambientales y socio-económicas para la implementación de energía oceánica en Istmo-Costa chipaneca, y responder las siguientes interrogantes; ¿Qué tipo de energía oceánica se puede introducir en la región?, ¿Cómo la introducción de energías oceánicas promueve el desarrollo sustentable y el equilibrio ecológico?, ¿Cuál será su impacto ecológico a corto y mediano plazo?.

ANTECEDENTES DEL PROYECTO

A finales del 2012 el gobierno de la República anunció la decisión de aumentar la asignación de recursos públicos y privados para la investigación, desarrollo e innovación para fomentar la actividad económica. En los instrumentos de planeación el impulso de las energías renovables responde a necesidades reales y urgentes del país. Existe el compromiso que para el 2024 la participación de estas energías en la generación de energía eléctrica deberá ser del 35% (INEEL, 2016), por ello apoyó la conformación de los Centros Mexicanos de Innovación en Energía; bioenergía, eólica, geotérmica, oceánica y solar. La UNAM a través del Instituto de Ingeniería coordina el Centro Mexicano de Innovación en Energías del Océano (CEMIE-O) orientado al desarrollo de tecnologías, formación de talento y capital humano capaz de diseñar, implementar y operar tecnologías derivadas de esta fuente y recursos humanos (INEEL, 2016).

En México los antecedentes sobre el desarrollo de prototipos de este tipo de tecnologías son escasos. El CEMIE-O considera la cuantificación de la disponibilidad de los recursos energéticos marinos y la identificación de los sitios de mayor potencial

para el aprovechamiento eficiente de fuentes del océano como la labor principal (IINGEN, 2016), el centro se subdivide en las diferentes líneas de investigación estratégicas y transversales, las primeras están conformadas por los tipos de energía extraíbles del medio marino; energía por gradiente térmico y salino, energía del oleaje, por corrientes y mareomotriz. Las líneas transversales están compuestas por modelación física y numérica, ecología e integración al ambiente, materiales, subsistemas y componentes, por último la integración a red eléctrica y el manejo de recursos energéticos.

En el IINGEN de la UNAM se han realizado diseños de dispositivos capaces de aprovechar las corrientes marinas y generar energía eléctrica, se han realizado pruebas de este dispositivo pero los encargados del centro han ampliado la visión sobre este tipo de proyectos por ello se integra la identificación de zonas con las características ambientales y socio-económicas adecuadas para la extracción de la energía del océano complementando estos estudios con el desarrollo de las diferentes tecnologías. Los proyectos del centro se encuentran en las fases iniciales, los equipos son multidisciplinarios para cada una de las líneas de investigación; docentes, estudiantes y servidores sociales se integran en las diferentes líneas para coadyuvar en la generación de información. Actualmente las líneas están recabando información para identificar las áreas donde por medio del gradiente salino, de temperatura, oleaje o corrientes de marea la generación de energía es viable. Nuestro país cuenta con 11,592.77 km de litoral por ello integra a estudiantes en los proyectos para recabar información, elaborar modelos, realizar pruebas, etcétera, en esta sección se integra el presente trabajo para determinar la viabilidad de la construcción de esta planta OTEC o la introducción de un dispositivo para el aprovechamiento de las corrientes de marea, con base a las características ambientales y socio-económicas de la costa chiapaneca.

Energías oceánicas renovables

De acuerdo a la IPCC (*Intergovernmental panel on climate change*) las energías oceánicas se definen como la energía derivada de las tecnologías que emplean el agua del mar como fuerza motriz o para aprovechar el potencial térmico y químico. Mientras que la GIEC (*Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*) la define como la proveniente de la energía potencial, cinética, térmica y química del agua del mar. Una amplia variedad de tecnologías pueden ser utilizadas como las centrales mareomotrices, turbinas para el aprovechamiento de las mareas y corrientes del océano, intercambiadores de calor basados en la transformación de la energía

térmica del océano, etcétera. Con excepción de las centrales mareomotrices, las tecnologías oceánicas se encuentran en una etapa de proyectos pilotos y requieren más investigación y desarrollo (GIEC, 2011).

A continuación se enuncian los tipos de energía oceánica de acuerdo a lo descrito por Boye *et al.* (2013) y el Centro Mexicano de Innovación en Energía del Océano (CEMIE-O).

- a) Energía por corrientes y mareomotriz: las corrientes oceánicas se originan principalmente por el viento, estas corrientes pueden ser marinas o producidas por la marea. También se presenta el aprovechamiento de la amplitud de marea, esta energía es potencial derivada de los cambios de altura en el nivel del mar causados por la atracción gravitacional de la luna y el sol en las masas de agua oceánicas.
- b) Energía undimotriz: capturan la energía cinética y potencial de las olas para obtener productos como la electricidad.
- c) Energía eólica marina: se produce por medio de turbinas ubicadas en la superficie del océano. Estas turbinas transforman la energía cinética del viento en energía mecánica a través de un aerogenerador.
- d) Energía por gradiente térmico: es el resultado del intercambio térmico entre el calor transmitido por el sol en contacto con el agua de la superficie y el agua fría del fondo. Entre mayor sea la diferencia del gradiente de temperatura, mayor será la eficiencia, es por ello que las regiones cercanas al Ecuador son idóneas para su aprovechamiento. Existen tres tipos de sistemas OTEC (Ocean thermal energy conversion):

Sistemas de ciclo cerrado: se utiliza un fluido diferente al agua para su vaporización, por lo que el agua superficial y el agua del fondo del mar sólo son utilizadas para aumentar y enfriar la temperatura del fluido, por lo que no se originan subproductos.

Sistemas de ciclo abierto: el fluido que se utiliza para el movimiento de la turbina es el agua superficial del océano la cual es bombeada hacia una cámara presurizada ocasionando su vaporización. El agua vaporizada induce el movimiento de la turbina y el agua del fondo del océano produce la licuación del vapor. Como subproductos se tiene agua desalada ya que la sal y otros contaminantes quedan atrapados en la cámara de presurización. El agua obtenida

es potable y también puede ser utilizada para irrigación, acuacultura u otros usos diversos.

Sistemas híbridos: funciona de forma similar a un ciclo abierto sin embargo el vapor generado por el agua superficial cálida es utilizado para evaporar otro fluido, como el amonio, el cual mueve la turbina de generación eléctrica. El vapor de ambos fluidos es condensado con el agua fría del fondo del mar produciéndose como subproducto agua desalinizada.

En los sistemas abiertos e híbridos no solo pueden producir agua desalada, también otros subproductos como sales, pueden ser comercializables, o minerales como el manganeso que se encuentran a niveles superficiales.

- e) Energía por gradiente salino: proviene del potencial físico-químico producido por la diferencia de la salinidad entre el agua de mar y el agua dulce. El uso de membranas para el aprovechamiento de la energía por gradientes salinos está en fase de desarrollo y existen dos métodos cuyo propósito es aprovechar la potencia osmótica por la diferencia de concentración de sales:

Método por electrodiálisis inversa (RED): el agua fluye entre membranas catiónicas y aniónicas (membranas ion-selectivas) colocadas de forma alternada a modo de batería o acumulador. Los aniones Cl⁻ de la sal sólo pueden pasar a través de la membrana de intercambio de aniones, mientras que los cationes Na⁺ a través de la membrana de intercambio de cationes. Como resultado surge un voltaje por la diferencia de cargas positivas y negativas similar a una batería de la cual puede ser generada corriente eléctrica.

Método de ósmosis por presión retardada (PRO): consiste en poner en contacto dos fluidos de diferente contenido salino y entre los que se coloca una membrana semipermeable que permite el paso del agua pero no de las sales. El agua dulce fluye a través de la membrana hacia una cámara que contiene el agua salada incrementando la presión en ella, la cual puede ser empleada para impulsar una turbina y generar electricidad.

A pesar de la existencia de plantas piloto, la explotación de la energía por gradiente salino esta en fase inicial de desarrollo, sin embargo dada la gran cantidad de energía disponible de esta fuente constituye un nicho con alto potencial de desarrollo especialmente para México, donde existen gradientes salinos favorables tanto en zonas costeras como en agua profundas (CEMIEO, 2017).

Es importante señalar que las mareas y las olas son fuentes intermitentes de energía debido a que las mareas son impulsadas principalmente por la atracción gravitatoria de la luna y las olas son impulsadas fundamentalmente por los vientos mientras que la energía térmica del océano generalmente es constante. Además, la conversión eléctrica de la energía de las mareas y de las olas suele implicar dispositivos mecánicos (Renewable energy world, n. d.).

Área de estudio región IX Istmo-Costa chiapaneca

La región económica IX Istmo-Costa abarca dos provincias fisiográficas; la Sierra Madre de Chiapas y la llanura costera del Pacífico, está conformada por cuatro municipios Arriaga, Tonalá, Pijijiapan y Mapastepec con extensión de 5,369.21 km² representa el 7.32% de la superficie estatal. Se encuentra entre los 15° 18' y 16° 16' latitud Norte y entre los 92° 55' y 94° 03' longitud Oeste (figura 1). Colinda al Norte con los municipios de Cintalapa y Jiquipilas de la Región II Valles Zoque, con la región VI Frailesca; con los municipios de Villacorzo, Villaflores, La Concordia, Ángel Albino Corzo y Monte Cristo de Guerrero; al Este con los municipios de Acacoyagua y Acapetahua de la región X Soconusco y Siltepec de la región XI Sierra Mariscal, al Sur y Oeste con el Océano Pacífico (CONAFOR, 2016).

Álvarez-Arellano y Gaitán (1994) delimitaron nueve unidades para las costas mexicanas, la costa chiapaneca está clasificada en la unidad VIII caracterizada por una plataforma continental angosta, ensanchándose en la delta del Río Balsas y la costa de Oaxaca, con clasificación tectónica de costa de colisión continental, geomorfológica y genéticamente como primaria por su formación con movimientos diastróficos y secundaria (erosión por oleaje y deposición marina). Está conformada por playas extensas con una barrera externa o borde costero de depósitos recientes y una interior más antigua, ambas están separadas por esteros largos paralelos a la línea de costa con humedales formados por manglares, selvas inundables y ciénagas herbáceas de agua dulce (Moreno-Casasola *et al.*, 2014). Asimismo la costa chiapaneca esta categorizada en la región 14 propuesta por Silva *et al.* (2014), la zona supralitoral corresponde a barrera con playas de arena de textura gruesa y media, de fuerte pendiente, el transporte de sedimentos es dominante en dirección SSE hacia el Golfo de Tehuantepec con oleaje distante de alta energía proveniente del sur.

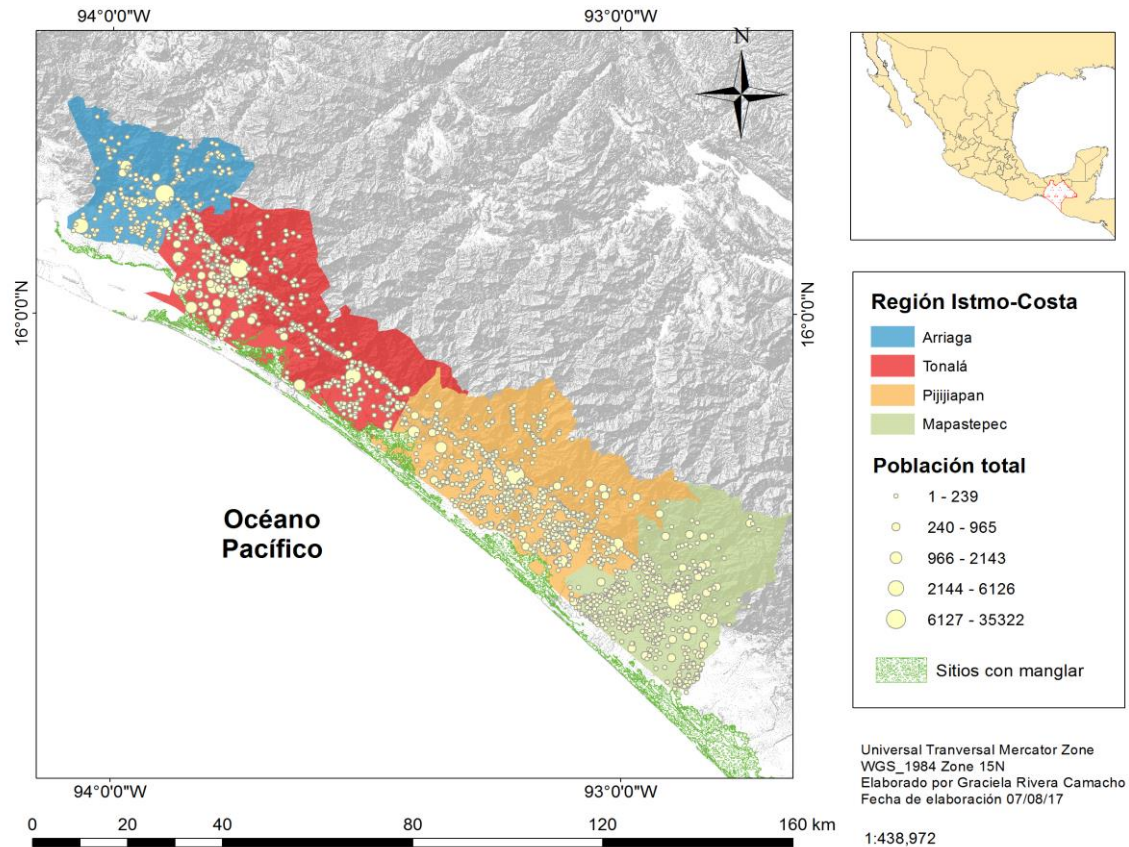


Figura 1. Ubicación geográfica de la región IX Istmo-Costa chiapaneca

De acuerdo a INAPESCA en el reporte de la temperatura superficial marina (TSM) del Pacífico Mexicano de noviembre del 2015 a marzo del 2016 se registraron entre 29 y 30°C. Mientras que la salinidad varía a lo largo de la región, por ejemplo en la laguna del Mar Muerto comprende los Estados de Oaxaca y Chiapas; abarca los municipios de Arriaga y Tonalá, Tapia-García *et al.* (2011) reportaron variaciones de 13 ups hasta 90 ups, con los valores más altos en el periodo de diciembre a mayo con intervalos de temperatura de 21.5 a 38.5°C. En el sistema lagunar Carretas-Pereyra, ubicado en Pijijiapan, (INECC; 1999) Díaz-Ruiz *et al.* (2016) reportaron la mayor salinidad promedio de 31.8 ups y la más baja de 6.8 ups, con temperatura promedio de 32.2°C.

La investigación documental se realizó en el área de recursos hídricos de la coordinación de hidráulica del Instituto de Ingeniería de la UNAM ubicada en Av. Universidad No 3000, Universidad Nacional Autónoma de México, Del. Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México. Así como en el laboratorio de Plancton y Bioenergética, Departamento El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana-unidad Xochimilco (UAM-X).

Edafología

La región presenta ocho unidades de suelo de las cuáles; regosol (32.02%), cambisol (30.84%) y litosol (18.44%) con mayor porcentaje seguidas de solonchack (7.91%), fluvisol (3.13%) y gleysol (2.49%) mientras que phaeozem y luvisol con los menores porcentajes con 1.67% y 1.44% respectivamente (Secretaría de hacienda de Chiapas, n. d.).

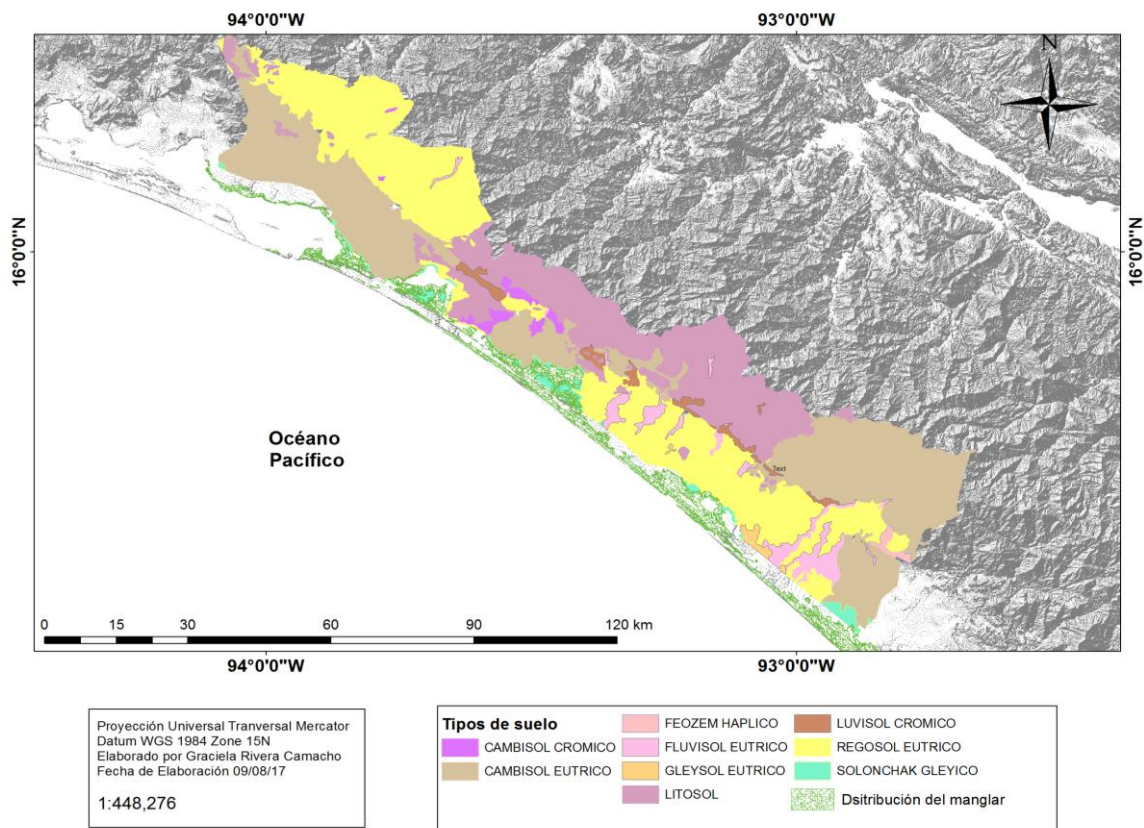


Figura 2. Distribución tipos de suelo de la región IX Istmo-Costa chiapaneca.

Topoformas

En la tabla 1 se muestran las topoformas que se encuentran en la región, de las cuáles se destaca la sierra alta escarpada compleja con 42.29% y llanura costera con 41.24% mientras que las zonas que presentan valle con lomeríos y playa o barra inundable y salina tienen 0.15% y 0.001% del territorio regional, respectivamente (Secretaría de hacienda de Chiapas, n. d.).

Tabla 1. Porcentaje de las topoformas en la región económica IX Istmo-Costa Chiapaneca

Formas del relieve	Distribución porcentual (%)
Sierra alta escarpada compleja	42.29
Llanura costera	41.24
Llanura costera inundable y salina	9.86
Sierra baja escarpada	2.13
Sierra alta de cumbres escarpadas	2.05
Lomerío	0.32
Valle con lomeríos	0.15
Playa o barra inundable y salina	0.01

Clima

La temperatura media anual en la mayor parte del territorio tiene un rango de 26 a 28°C, en la sierra alta superior a 1,000 msnm con oscilación de 20 a 22°C y mayor a 1,500 msnm se encuentra entre 18 a 20°C. Más allá de los 2,000 m el clima es templado y la temperatura media anual oscila entre 14 a 16°C. Durante los meses de mayo a octubre la precipitación fluctúa de los 1,200 mm hasta los 3,000 mm y en el periodo de secas (noviembre y abril) oscila entre los 50 mm a 300 mm (Coplader, 2014).

Hidrología

Está incluida en la región hidrológica RH-23, Costa de Chiapas y en las cuencas Río Pijijiapan, Mar Muerto, Río Huixtla y Río Grijalva-La Concordia. Las condiciones abruptas del área dan origen a múltiples escurrimientos por la red de ríos y arroyos (Secretaría de hacienda de Chiapas, n. d.). En general, los ríos se caracterizan por trayectos cortos producto de la reducida distancia horizontal existente entre el parteaguas y la línea de costa, estas características propician zonas de rápidos y caídas de agua, además las pendientes pronunciadas aceleran el drenaje de aguas pluviales hacia el mar quedando secos algunos ríos y con bajo caudal durante la época de estiaje (Coplader, 2014).

El Estado cuenta con 21 lagunas litorales, ocupan 76,238 ha aproximadamente esto corresponde al 1.02% del territorio estatal; las más importantes de acuerdo a sus

dimensiones son Mar Muerto y La Joya-Buenavista. Estas lagunas son producto del plegamiento en forma de cordón litoral, 0.5 a 2 km de ancho paralelo a la línea costera e impide que las aguas de algunos ríos lleguen de forma inmediata al mar, quedan semianegadas formando un mosaico de lagunas, estas tienen comunicación con el mar por canales naturales o esteros son Tonalá con La Joya-Buena Vista, Pijijiapan con Carretas-Pereyra, Los Patos-Sólo Dios y Mapastepec con Chantuto-Panzacola (Coplader, 2014) asimismo son ecosistemas de interface entre la zona terrestres y los acuáticos (Secretaría de hacienda de Chiapas, n. d.).

Vegetación

La cobertura está compuesta principalmente por vegetación secundaria (selva perennifolia, subcaducifolia, caducifolia y espinosa, vegetación hidrófila, bosque mesófilo de montaña y coníferas), vegetación inducida y bosque mesófilo de montaña, (Secretaría de hacienda de Chiapas, n. d.) este último es característico de terrenos altos, templados y húmedos, así como una variedad de vegetación secundaria presente en áreas de selvas altas y medianas con degradación producida por el hombre; y una pequeña porción de sabana y pastizal inducido. En los terrenos de altitud media y baja de clima cálido persisten fragmentos de selva consecuencia del cambio de uso de suelo por actividades agropecuarias (Coplader, 2014).

A lo largo del litoral se han formado esteros salinos y manglares que desempeña una importante función ecológica, Chiapas es el segundo Estado con mayor porcentaje de manglares en áreas protegidas federales con 66.9% y el primer Estado con mayor porcentaje de manglares en áreas protegidas estatales con 71.3% (CONABIO, 2009), en la figura 4 se muestran tres sistemas lagunares incluidos en los sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación por CONABIO; La Encrucijada, La Joya-Buenavista, Los Patos-Sólo Dios además de Mar Muerto que comparte su extensión con el Estado de Oaxaca (CONABIO, 2009). Estos ecosistemas son dinámicos, tienen procesos ecológicos acelerados, son sensibles a las perturbaciones y proveen diversos servicios ecosistémicos tales como; soporte por ser sumideros de carbono, filtros biológicos y de regulación; por ejemplo estabilizan la línea costera, forman barreras contra huracanes y hábitat de una amplia variedad de fauna silvestre también tienen valor económico por los recursos maderables (Lara-Lara *et al.*, 2008).

Cabe mencionar el Estado se encuentran cinco especies de mangle; *Rhizophora mangle* (mangle rojo) la cuál es endémica, *Avicennia germinans* (mangle negro), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), *Conocarpus erectus* (mangle botoncillo)

(Travieso-Bello, 2005), estas especies tienen la categoría de amenazadas por la NOM-059-SEMARNAT-2010, también se presentan las especies *A. bicolor* categorizada como vulnerable de acuerdo a la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN (*International union for conservation of nature*), y *R. harrisonii*, no está registrada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 o en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN.

Fauna

En esta región se registran 445 especies, la clase mejor representada son las aves con 253 spp. seguido de los mamíferos y peces con 86 spp. cada uno, los reptiles cuentan con 52 spp. en el área y los anfibios con 33 spp. (Secretaría de hacienda de Chiapas, n. d.). La fauna regional es variada debido a la diversidad de climas; se encuentran mamíferos como el jabalí, el mico de noche, el mapache, el armadillo, el puerco espín, el tepezcuintle, el tejón, el gato montés, el leoncillo, la onza, el tlacuache, el venado de cola blanca, entre otras. En el caso de los reptiles se presenta el caimán, el cocodrilo de río, la boa, la culebra arroyera, la iguana, etcétera; en la clase aves se encuentra la chachalaca, el pijiji, el loro, la cotorra, la urraca copetuda, el águila, la gaviota, la garza, el zanate, entre otras (Coplader, 2014).

Áreas naturales protegidas (ANP)

La región cuenta con 1,778.54 km² bajo modalidad de conservación que corresponde al 27.86% del territorio, esto la posiciona como la cuarta región en concentrar la mayor superficie de ANP; en ellas se agrupan las condiciones necesarias para la sobrevivencia y permanencia, no solo de especies sino de la dinámica ecológica e interrelaciones entre las comunidades permitiendo la persistencia de las cadenas tróficas y flujos energéticos (CONANP, n. d.). Dentro de las ANP destacan la Reserva de la Biósfera La Sepultura con superficie de 1,673.09 km², comprende los municipios de Arriaga y Tonalá, la Reserva de la Biosfera El Triunfo con 1,191.77 km² de superficie, y abarca los municipios de Acacoyagua, Pijijiapan y Mapastepec (INECC, 1999), la Reserva de la Biosfera La Encrucijada ubicada en los municipios de Pijijiapan y Mapastepec, con superficie de 1,448.68 km² (figura 3) (Coplader, 2014; Secretaría de hacienda de Chiapas, n. d.). También se localiza la zona de protección forestal Huizapa-sesecapa con 129.44 km² de superficie en el municipio de Mapastepec (Secretaría de hacienda de Chiapas, n. d.) y el sistema estuarino Puerto Arista en Tonalá definido como zona de reserva y sitio de refugio para la protección, conservación, repoblamiento y control de las diversas especies de tortuga marinas en peligro de extinción (CONANP, n. d.).

Población

De acuerdo al Censo de Población y Vivienda 2010 del INEGI, la región cuenta con 218,628 habitantes esto representa 4.56% de la población estatal, prácticamente en toda la región se observan asentamientos humanos, siendo notable en la porción de la llanura costera del Pacífico mientras que en la parte de sierra alta el número de localidades disminuye significativamente, esto asociado a las vías de comunicación y acceso a servicios básicos. El municipio con mayor población es Tonalá con 39% seguido por Pijijiapan y Mapastepec con 23% y 20% respectivamente, por último el municipio de Arriaga con el 18% de la población (CONAFOR, 2016). En las bases para el ordenamiento costero-pesquero de Oaxaca y Chiapas (INE, 1999) se identifican dos municipios con categoría de ciudades dentro de la región; Arriaga y Tonalá, los municipios restantes están clasificados como villas y congregaciones donde abundan los ranchos y rancherías.

Tabla 2. Población por municipio de la región IX Istmo-Costa

Municipio	Total de habitantes
Arriaga	40,042
Tonalá	84,594
Pijijiapan	50,079
Mapastepec	43,913
Total	218,628

Con el objetivo de gestionar las actividades humanas causantes del deterioro ambiental; entre ellas el crecimiento urbano y el establecimiento de las poblaciones de manera irregular y desorganizada, principales causas de la problemática ambiental, Chiapas tiene en vigor el ordenamiento ecológico y territorial con el objetivo de regular e inducir el uso de suelo, las actividades productivas para lograr la preservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales por medio de la conservación de sitios prioritarios para la biodiversidad así como los ecosistemas acuáticos, pago por servicios ambientales, planeación ecológica territorial, entre otras (Arreola *et al.*, 2014).

También se presenta el ordenamiento pesquero y acuícola que tiene por objetivo generar instrumentos de política pública que apoyen la regulación, administración de

las actividades pesqueras y acuícolas, integrando el aprovechamiento sustentable de los recursos (Secretaría de planeación, gestión pública y programa de gobierno, n. d.). El programa institucional de pesca y acuicultura 2013-2018 menciona la necesidad de la elaboración de proyectos en beneficio de las organizaciones pesqueras para el fomento de la acuicultura, programas de vigilancia pesquera para mejorar la intercomunicación en los sistemas lagunares costeros que permitan restablecer condiciones productivas para la acuicultura social, rehabilitación y modernización de la infraestructura (Secretaría de hacienda de Chiapas, n. d.).

Uso de suelo

El aprovechamiento del suelo corresponde principalmente a pastizal natural, cultivado e inducido ubicados en la franja noreste hacia la porción sureste así como la agricultura temporal con pequeñas porciones a lo largo de la región. Entre los cultivos se presenta el café de altura generalmente se combina con cultivos de autoconsumo; por su parte en la llanura costera las plantaciones de palma de aceite, mango y cacao ocupan grandes extensiones de superficies (Coplader, 2014).

La actividad ganadera se desarrolla principalmente en la llanura costera dedicados a pastizales inducidos o naturales derivando una industria de alimentos para animales y lácteos, en el municipio Pijijiapan y en menor medida en Tonalá, Arriaga y Mapastepec (Coplader, 2014). La pesca se desarrolla en lagunas costeras y en mar abierto, la pesca de camarón reditúa las mayores ganancias también se practica la pesca de escama de diversas especies; robalos (*Centropomus* spp.), pargos (*Lutjanus* spp.), bagres (*Bagre panamensis*, *Cathorops* spp., *Sciades* spp.), lisas (*Mugil* spp.), jureles (*Caranx* spp., *Hemicaranx zelotes*, *Oligoplites* spp.), así como de mojarras de agua dulce (*Amphilopus macracanthus* y *Cichlasoma trimaculatum*) y marinas (*Diapterus brevirostris*, *Eucinostomus currani* y *Gerres cinereus*) (CONABIO, 2013).

De esta actividad depende un porcentaje elevado de la población, el municipio de Tonalá presenta el mayor número de pescadores y cooperativas con el 47% total de la población pesquera estatal (CONAFOR, 2016), la demanda de alimentos conlleva la sobreexplotación de los recursos pesqueros incluyendo la captura incidental de especies no objetivo, el descarte de las especies sin valor comercial, el deterioro ambiental provoca la pérdida de hábitats y la contaminación (INAPESCA, 2006). Por esta razón se implementan medidas de manejo como vedas, en la región está en vigor de tipo temporal fija para la lisa (*Mugil cephalus*), la liseta (*M. curema*), el ostión de roca (*Crassostrea iridescens*) también de tipo permanente para cuatro especies de tortugas de agua dulce como la tortuga crucilla o tres lomos (*Staurotypus salvinii*), la

tortuga guao o galápago (*S. triporcatus*) y la tortuga blanca o aplanada (*Dermatemys maewi*) (SAGARPA, 2018). Por último, el sector terciario orientado a la prestación de servicios, agrupado por la industria maderera ubicada en Mapastepec, en las localidades de tres picos y cabeza de toro del municipio de Tonalá y Arriaga (Coplader, 2014). Además la región tiene potencial para ampliar la oferta turística con modalidad de turismo de naturaleza y ecoturismo, esto coadyuvaría a la protección y conservación de los ecosistemas.

Municipios que integran la región

Arriaga

Es el municipio de menor tamaño de la región, representa el 14.95% de la superficie regional y el 0.89% estatal (Coplader, 2014). Se localiza entre los paralelos 16°05' y 16°26' latitud Norte; los meridianos 93°44' y 94°07' longitud Oeste, cuenta con 237 localidades (INEGI, 2009). El aprovechamiento del territorio está dividido en zona urbana representada por el 0.87%, agricultura temporal con 7.59% y pastizal cultivado con 34.99% (Secretaría de planeación, gestión pública y programa de gobierno, 2013). La ganadería es importante para la economía municipal, es practicada de forma extensiva asimismo el sector pesquero y acuícola es otra actividad sobresaliente; concentra en seis puntos siendo el más importante la pesquería La Gloria, donde se destaca la producción de camarón y jaiba. Cabe destacar el 43.10% de la población se ocupa en actividades del sector terciario es decir la prestación de servicios como las actividades turísticas (Secretaría de planeación, gestión pública y programa de gobierno, 2013).

La reserva La Sepultura comprende 44% de la superficie municipal, en esta zona se tiene registros de 406 especies de vertebrados terrestres, distribuidos de la siguiente manera; 24 spp. de anfibios, 49 spp. de reptiles, 236 spp. de aves y 97 spp. de mamíferos, en conjunto representan el 33.5% de los reportados para Chiapas y el 15.25% para el país (INECC, 1999). Dentro del territorio municipal se localiza una sección del sitio de manglar con relevancia biológica Mar Muerto que abarca una porción del municipio de Tonalá y comparte con en el Estado de Oaxaca, es utilizado como zonas de alimentación, reproducción y crianza de especies acuáticas para el sustento de la pesca ribereña (CONABIO, 2009). En esta zona se encuentran dos especies de plantas con categoría de amenazadas y tres sujetas a protección especial mientras la fauna, 16 spp. sujetas a protección especial, siete con estatus de amenazadas y cuatro en peligro de extinción por la NOM-059-SEMARNAT-2010. A pesar de la presencia de diversos tipos de vegetación como; selva baja caducifolia, selva mediana subperennifolia, bosque de pino-encino y vegetación secundaria

amenazadas por la tala clandestina y la deforestación, esto aumenta la susceptibilidad a los incendios y en la temporada de lluvias los ríos salen de su cauce provocando inundaciones, el plan municipal de desarrollo menciona la falta de capacidad operativa del área de protección civil en caso de desastres naturales (Secretaría de planeación, gestión pública y programa de gobierno, 2013).

De acuerdo a los indicadores del Censo de Población y Vivienda del 2010, el municipio tiene cobertura eléctrica aceptable con 97.84% de las viviendas cuentan con este servicio. El municipio mejoró sus cifras ya que en el 2000 el 6.57% de las viviendas estaban desprovistas de energía eléctrica y con base en la información del Informe Anual de Pobreza y Rezago Social del 2017 esta cifra disminuyó hasta 1.61%, para cubrir la demanda energética, en el 2012 se instaló un parque eólico para proveer de energía a 40,000 viviendas, es el primer proyecto de esta índole en el Estado. A pesar de esta iniciativa por parte del gobierno estatal se han presentado inconvenientes relacionados con la instalación del parque, posterior a su apertura la población manifestó oposición al proyecto debido a pagos insuficientes por la renta de predios, deterioro y contaminación de las áreas aledañas. De acuerdo con el periódico El Economista dicho parque se encuentra operando (2017) pese al rechazo de la población. Se debe señalar que en este informe también se muestran las zonas de atención prioritarias urbanas (ZAP) y el municipio cuenta con dos de estas localidades asimismo está clasificado como un municipio que tiene un rezago social bajo (SEDESOL, 2017).

Tonalá

Es el municipio con mayor población de la región, se localiza entre los paralelos 15°40' y 16°15' latitud Norte; los meridianos 93°19' y 94°01' longitud Oeste, ocupa el 2.24% de la superficie del Estado (INEGI, 2009) y 30.22% de la superficie regional (Coplader, 2014). El aprovechamiento del suelo se distribuye de la siguiente manera; el pastizal cultivado cubre un 35.18%, la agricultura de temporal tiene un 11.06% y la zona urbana que ocupa el 0.61% de la superficie municipal. Existen 36,143.9 ha de ANP, que representa el 22.11% del territorio; estas áreas comprenden la reserva La Sepultura la constituida principalmente de pastizales y herbazales (pastizal inducido) y selvas húmedas y subhúmedas (selva mediana caducifolia y subcaducifolia), de su superficie total 26,441.01 ha de la reserva se ubican dentro del municipio, equivalente al 16.18% (Secretaría de planeación, gestión pública y programa de gobierno, 2013).

Dentro de su territorio se localizan dos sistemas estuarinos clasificados como sitios Ramsar con la categoría de santuarios para la protección, conservación, repoblación,

desarrollo y control de diversas especies de tortugas marinas; Puerto Arista también está clasificada como una ANP con ecosistema marino-costero de acuerdo a la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). Esta área cuenta con superficie de 7,146.76 ha, en ella se distribuyen cinco especies de mangle; *R. mangle*, *A. germinans*, *C. erectus*, *A. bicolor* y *L. racemosa* además alberga cinco especies de tortugas marinas, destacan la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*), la tortuga marina laúd (*Dermochelys coriacea*), la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) y la tortuga prieta (*Chelonia agassizi*) clasificadas como especies en peligro de extinción de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010. El sistema estuarino Boca del Cielo, el cual es la segunda playa más importante para el desove de las tortugas marinas del Estado por último en el municipio se localiza la UMA El Caimán, orientada en la crianza, conservación y protección de cocodrilos (CONANP, 2012).

El municipio se caracteriza por tener alto porcentaje de la población en actividades relacionadas con el comercio o prestadores de servicios con el 41% de la población económicamente activa (PEA), el sector primario tiene el mismo porcentaje y el sector secundario, relacionado con actividades en la industria cuenta con el 15% de PEA. El sector terciario tiene un amplio desarrollo debido a las diversas vías de acceso a las playas y esteros además cuenta con 65 hoteles. Otra actividad sobresaliente es la pesca por tener una superficie aprovechable distribuida en tres sistemas lagunares; Mar Muerto con 21,310 ha, Cordón Esteárico con 1,000 ha y la Joya-Buenavista con 6,172 ha, en los que se encuentran organizados 3,060 pescadores que forman parte de veintiún cooperativas (Secretaría de planeación, gestión pública y programa de gobierno, 2013). El grado de rezago social es bajo, con cuatro localidades ZAP por otra parte la cifra de viviendas sin energía eléctrica disminuyó de 8.74% en el 2010 a 1.20% en el 2015 (SEDESOL, 2017).

Pijijiapan

Se encuentra entre los límites de la Sierra Madre y la llanura costera del Pacífico, tiene una extensión de 2,223.30 km² equivalente al 47.88% del territorio regional y 2.94% de la superficie del Estado. Colinda con los municipios de Villa Corzo y La Concordia al Este con Mapastepec, al Sur con el Océano Pacífico y al Oeste con Tonalá (De La Parra, 2009). Es el segundo municipio más poblado con el 23% de la población regional, presenta asentamientos humanos de forma desorganizada esto puede deberse a la búsqueda de empleos en la zona costera en actividades como la pesca, acuacultura o turismo, su PEA es del 41.55% (Secretaría de planeación, gestión pública y programa de gobierno, 2013), del total de la población el 13.22%, es decir 24 902 habitantes tiene alto grado de marginación y un grado de rezago social medio,

de acuerdo a la declaratoria de zonas de atención prioritarias el 25% de la población están en condición de pobreza extrema (Diario oficial de la federación, 2016).

Este municipio cuenta 24 769.48 ha de la reserva El Triunfo equivalente a 14.08% del territorio mientras que la reserva La Encrucijada está clasificada como una ANP con ecosistema marino-costero, tiene el 11.58% de su extensión dentro del municipio (Secretaría de planeación, gestión pública y programa de gobierno, 2013), asimismo se localiza el sistema lagunario Los Patos-Sólo Dios definido como sitio de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación debido a su gran variedad de especies de aves residentes y migratorias.

Una especie de helecho (*Marattia weinmanniifolia*) sujeta a protección especial y dos especies de mamíferos; el jaguar en peligro de extinción y el murciélago menor sujeta a protección especial registradas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 también se realizan actividades para el aprovechamiento de peces, almejas y zona de protección para el crecimiento de camarón (CONABIO, 2009). La actividad económica del municipio está orientada hacia el sector primario ya que el mayor porcentaje de la población se emplea en actividades agropecuarias, donde la actividad con mayor beneficio en los últimos años es la pesca (Secretaría de planeación, gestión pública y programa de gobierno, 2013) anteriormente en la zona se han realizado programas para atender la demanda de las cooperativas pesqueras por medio de la rehabilitación de sistemas lagunares costeros en la Barra de Santiago lolomita para la apertura de una boca de comunicación y reactivar la hidrodinámica del sistema así como el dragado de desazolve de ocho canales lagunares (SAGARPA, n. d.) también se han realizado construcciones de canales interiores para la acuacultura en el ejido El Fortín (SEMARNAT, n. d.).

Mapastepec

El municipio se localiza entre los paralelos 15°13' y 15°41' latitud Norte; los meridianos 92°39' y 93°08' longitud Oeste, ocupa el 1.66% de la superficie del Estado (INEGI, 2009). Tiene un grado de marginación alto, mientras que el grado de rezago social es medio, las viviendas que no cuentan con energía eléctrica representan el 1.59%, de acuerdo al Informe Anual de Pobreza y Rezago Social del 2017 solo una localidad está registrada en ZAP (Diario oficial de la federación, 2016; SEDESOL, 2017). El 52.82% de la población económicamente activa corresponde a actividades agropecuarias, por otra parte la producción pesquera es mínima a pesar que el municipio cuenta con una gran extensión de litoral la infraestructura, embarcaciones y

tecnologías son insuficientes (Secretaría de planeación, gestión pública y programa de gobierno, 2013).

La vegetación predominante en el municipio es la vegetación secundaria que está conformada por bosque mesófilo de montaña, selva alta y mediana perennifolia con vegetación arbustiva y herbácea abarcando el 26.58% de la superficie seguido por pastizales y herbazales (pastizal inducido) con el 8.65%; bosque mesófilo de montaña con el 6.41%; vegetación de dunas costeras, popal y tular tiene un 3.66%; bosque de coníferas (bosque de oyamel, ayarin y cedro) el 1.26% y el 1.02% de selvas húmedas y subhúmedas (selva alta y mediana perennifolia). Debido a la tala inmoderada que se realiza en la parte alta aunado a la práctica de roza-tumba-quema de acahuales han contribuido al aumento en la erosión del suelo (Secretaría de planeación, gestión pública y programa de gobierno, 2013).

Además cuenta con 62,775.34 ha de ANP que representa el 52.42% de la superficie municipal; abarca porciones de la reserva El Triunfo con 27,768.65 ha correspondientes al 23.19% del territorio municipal, su vegetación se compone principalmente por bosque mesófilo de montaña, equivalente al. También cuenta con 20,590.27 ha de la reserva La Encrucijada está clasificada en los humedales RAMSAR y considerada como una de las regiones de humedales más rica, diversa y productiva de México, su cobertura vegetal se compone por 16,000 ha de manglar, 2,500 ha de zapotonales, tulares, matorral costero, vegetación flotante y subacuática, palmares, selva mediana subperennifolia y baja caducifolia (CONANP, 1997; INE 1999), asimismo abarca 14,416.42 ha de la Zona de Reforestación Huizapa-Sesecapa (Secretaría de planeación, gestión pública y programa de gobierno, 2013). Pese al decreto de ANP dentro del territorio municipal se presenta cambio de uso de suelo por la influencia de los asentamientos humanos en las periferias de estas áreas lo que provoca deforestación, zonas de pastoreo para la ganadería y cultivos, de acuerdo al Plan Municipal de Desarrollo de Mapastepec menciona la presencia de caza inmoderada de venado cola blanca, chachalacas, armadillo, mapache, tepezcuintle, jabalí, puerco espín, loro cabeza amarilla, guacamaya, quetzal e iguana, la cual se encuentra en peligro de extinción (Secretaría de planeación, gestión pública y programa de gobierno, 2013).

Cabe mencionar que el municipio presenta riesgo de inundaciones causadas por el desborde del Río Las Arenas, Novillero, Agua Caliente, Río Viejo, San Nicolás, Tablazón, Puente Toño y Río Sesecapa. También presenta un rango alto de erosión provocando inestabilidad de laderas en la parte norte, la cual esta favorecida por la

deforestación para la creación de cultivos y ganadería (Servicio geológico mexicano, 2012).

Marco jurídico

De acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo (PND) del periodo 2013 al 2018 en el apartado de igualdad de oportunidades para un México próspero señala; *“las empresas e individuos deben tener pleno acceso a insumos estratégicos, tales como financiamiento, energía y las telecomunicaciones”*. Por ello el tema de desarrollo sustentable se integra en el compromiso del gobierno mexicano para impulsar el uso de fuentes y tecnologías de energías renovables (ER) para enfrentar los retos en materia de diversificación y seguridad energética, además de fortalecer el desarrollo de la ciencia y tecnología. Con la finalidad de cumplir con las metas establecidas en el PND se elaboró el Programa de Sectorial de Energía 2013-2018, uno de sus objetivos es ampliar la utilización de fuentes de ER, promoviendo la eficiencia energética, la responsabilidad social y ambiental, en dicho programa se reconoce el potencial energético de fuentes eólica, solar, geotérmica, biomasa e hídrica.

El marco legal y regulatorio en materia energética, específicamente en energías renovables, está constituido por la Ley de Transición Energética (LTE) y la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE). La primera menciona el establecimiento de *“metas a fin de que el consumo de energía eléctrica se satisfaga mediante un portafolio de alternativas que incluyan a la eficiencia energética a través de estas metas la Secretaría de Energía promoverá la generación eléctrica proveniente de fuentes de energía limpias alcance los niveles establecidos en la Ley General de Cambio Climático para la Industria Eléctrica”*. Por ello propone la creación de dependencias y/o revisión de las Normas Oficiales Mexicanas a fin de propiciar eficiencia energética así como promover la investigación científica y tecnológica para el aprovechamiento sustentable (Diario oficial de la federación, 2015).

Mientras que la LAERFTE menciona que el estado mexicano busca la transición energética por lo cual *“promueve la eficiencia y sustentabilidad energética así como la reducción de la dependencia de los hidrocarburos como fuente primaria de energía”*, esto por medio de acciones de apoyo al desarrollo industrial para el aprovechamiento de las ER. En el artículo 11 indica la importancia de *“establecer metas de participación de las energías renovables en la generación de electricidad, las cuales deberán aumentar gradualmente sobre bases de viabilidad económica y potencial técnico”*

existente e incluir la construcción de las obras de infraestructura eléctrica necesarias para la interconexión con el Sistema Eléctrico Nacional” (fracc. III y IV).

Es importante mencionar la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Medio Ambiente (LGEEPA) por el establecimiento de dispositivos en los ecosistemas, esta actividad se integra en el aprovechamiento sustentable, de acuerdo a la fracc. IV del artículo uno se deberá *“considerar la preservación , la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con el resguardo de los ecosistemas”*. Dicha ley establece la necesidad de *“control de acciones para la protección, preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en la zona federal marítimo terrestre, así como en la zona federal de los cuerpos de agua considerados como nacionales”* (art. 11, frac. V). Por esta razón se incorpora la Política del Ordenamiento Ecológico Marino (OEM) orientada a la planeación territorial, es un instrumento que busca propiciar, dentro de un esquema de Manejo Integral de la Zona Costera, la conservación de la biodiversidad sin frenar el crecimiento de la industria turística, pesquera y acuícola.

Dentro de la LGEEPA en el art. 22 Bis, fracción I y II *“es prioritario otorgar estímulos para la investigación científica y tecnológica, incorporación, innovación o utilización de mecanismos, equipos con el objetivo de evitar, reducir o controlar la contaminación o deterioro ambiental, así como el uso eficiente de recursos naturales y energías menos contaminantes”*, además que en la fracción V considera *“la vigilancia de las áreas naturales protegidas ya que estas áreas pueden estar próximas a la línea de costa y en ellas habitan especies representativas, endémicas, amenazadas o en peligro de extinción”*. Por último en el art. 51 menciona que *“el aprovechamiento sustentable de la flora y fauna acuática debe ser regulada y protegida por ello las autorizaciones, concesiones o permisos para el uso de los recursos naturales así como el tránsito de embarcaciones en la zona o la construcción o utilización de infraestructura dentro de la misma, quedarán sujetas a lo que dispongan los Programas de Manejo”*.

Dentro de las políticas del Estado de Chiapas que hacen mención sobre la conservación de sus recursos naturales y abordan el tema energético se encuentra la Política Nacional de Mares y Costas de México orientada a mejorar las condiciones de vida de las poblaciones costeras, fortalecer las economías locales, la competitividad regional, asegurar la estructura y función de los ecosistemas marinos y costeros. También menciona la importancia de fomentar la investigación, producción y el uso de

las ER, con énfasis en la disminución de los efectos negativos del ambiente costero y marino provocado por las actividades humanas (CIMARES, 2010).

Se auxilia de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) que tiene por objeto garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención y disminución de los residuos por su liberación al ambiente, así como su manejo integral para evitar riesgos a la salud y daños a los ecosistemas. También incluye la Ley Federal del Mar, en el art. 6 enuncia la importancia de la *“protección y preservación del medio marino, inclusive la prevención de su contaminación y la realización de actividades de investigación científica, asimismo el potencial del dicho medio para la producción de energía eléctrica derivada de las corrientes, vientos, la captación de energía solar para el desarrollo de la zona costera”*. En el art. 17, de la ley anteriormente mencionada, manifiesta que *“las instalaciones marítimas; construcción, mantenimiento, reparación de los inmuebles dedicados a la exploración, localización, perforación, extracción y desarrollo de recursos marinos, o destinados a un servicio público o al uso común se deben realizar bajo las disposiciones legales vigentes”*.

A nivel estatal las leyes que aborda el tema ambiental se conforman por la Ley Ambiental para el Estado de Chiapas, Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Chiapas y la Ley para la adaptación y mitigación ante el cambio climático en el Estado de Chiapas. La primera ley busca *“promover la conservación de la biodiversidad en el territorio a través de la declaración y administración de las ANP para consolidarlas como espacios de investigación científica, destinos turísticos y de convivencia social, además de evaluar el impacto ambiental de las obras o actividades que no sean de competencia exclusiva de la Federación”*. También se incluye la prevención y control de la contaminación de las aguas que sean responsabilidad del Estado, la gestión integrada de los recursos hídricos, superficiales y del subsuelo a partir de las cuencas hidrológicas.

Para cubrir el tema de las ER en el art. 71, al igual que en la LAERFTE, menciona que *“se otorgarán estímulos fiscales para efectuar investigaciones en materia de tecnología, cuya aplicación disminuya la generación de emisiones contaminantes por medio de mecanismos para el ahorro de energía o el empleo de energéticas con menor impacto ambiental”*. Asimismo en la Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Chiapas señala la necesidad de formular *“criterios ecológicos que deberán observarse en la aplicación de la política ecológica de la entidad; en el aprovechamiento racional de los elementos naturales; en la preservación y*

restauración del equilibrio ecológico, asimismo en el control de la contaminación del aire y el agua”, art. uno y siete.

Con el propósito de respaldar el compromiso del Estado por la conservación de los recursos naturales, en la Ley para la Adaptación y Mitigación ante el Cambio Climático del Estado tiene el objetivo de establecer “*acciones y medidas de mitigación que permitan garantizar la eficiencia energética, el manejo sustentable de los recursos naturales y la conservación de la biodiversidad*”, por lo cual en el art. 9 señala que “*el Estado procurará la generación de energía eléctrica con la utilización de fuentes no contaminantes, como el viento, la luz solar, la biomasa y el oleaje*”.

Problemática de la costa chiapaneca

Las costas constituyen fronteras donde se sobreponen e interactúan los sistemas terrestres, atmosféricos y oceánicos, en los últimos 50 años han sido afectadas por la sobreexplotación de los recursos naturales tal es el caso de la costa de chiapaneca; debido al avance de las actividades agropecuarias así como el aumento de la población han provocado la pérdida de zonas boscosas, grandes extensiones de selva alta y mediana perennifolia, selva baja subcaducifolia, pastizales naturales y vegetación de pantano mientras en la zona marina la sobreexplotación de los recursos resultó en el colapso de las pesquerías de escama, camarón y tiburones (Tovilla, 2008).

En la actualidad la deforestación se extiende en la parte alta de la Sierra Madre ocasionando la pérdida de hábitat de diversas especies por ende reduciendo la biodiversidad dentro de las reservas La Sepultura, El Triunfo y La Encrucijada. Estas modificaciones tienen consecuencias a largo plazo como la erosión que se estima en 200 a 415 ton/ha/año, los efectos negativos son más notorios en las partes altas de los municipios de Tonalá y Mapastepec (Tovilla, 2008). Un ecosistema representativo de esta zona es el mangle que ha perdido extensiones considerables causado por las actividades humanas por la falta de planificación del desarrollo urbano, turístico, agrícola y ganadero (CONABIO, 2009). Asimismo los sistemas estuarinos-lagunares localizados en esta región, ofrecen una gran variedad de hábitats para numerosas especies que utilizan estos ambientes para la alimentación, crecimiento, reproducción y refugio (Díaz-Ruiz *et al.*, 2006), por ello su conservación es un tema relevante para el Estado ya que en estas zonas se encuentran especies endémicas, amenazadas o en peligro de extinción esto promueve la creación de las ANP, las cuales forman parte del atractivo turístico del Estado, coadyuvando a la captación de ingresos.

Estas zonas poseen una gran riqueza por lo que deben ser conservadas mediante la gestión de los recursos de manera sustentable para brindar a las generaciones futuras la posibilidad de usarlas, a su vez lograr un equilibrio dinámico entre el ambiente y las actividades humanas. Por ello en nuestro país existe la Política Ambiental Nacional para el Desarrollo Sustentable de Océanos y Costas (PANDSOC) con el objetivo de asegurar la protección, conservación, el uso sustentable de los océanos y costas del país con base en las características estructurales y funcionales considerando las necesidades de las poblaciones, revertir el deterioro de estos ecosistemas con la integración de criterios ecológicos en el manejo de los recursos y en la planeación del desarrollo de los sectores productivos (SEMARNAT, n. d.).

La región económica IX Istmo-Costa es de interés ecológico y socio-económico, en ella se localizan reservas de la biosfera con grandes extensiones de mangle, áreas designadas para la protección de tortugas, entre otras. Además de ser una zona con alto grado de marginación y con el fomento del desarrollo sustentable permitirá cumplir con la demanda de servicios por parte de la población para mejorar la calidad de vida minimizando los efectos negativos al medio ambiente, una forma para orientar la región bajo esta modalidad de desarrollo es por medio de energías oceánicas renovables proporcionando energía eléctrica a la población para realizar las actividades productivas además de proveer con uno de los servicios básicos para la vivienda.

Diagnóstico socio-económico

A pesar de la disminución del porcentaje de viviendas sin energía eléctrica en los cuatro municipios de la región, Chiapas ocupa el primer lugar nacional con población en pobreza extrema, es decir 1.6 millones de personas aproximadamente el 32.3% de la población con mayor impacto en los municipios rurales, lo cual a nivel estatal lo coloca en una situación de alta vulnerabilidad social (Villafuerte-Solís, 2015). No obstante los índices de rezago social y marginación en ocasiones resultan poco eficientes, los resultados pueden proyectar generalidades de las poblaciones ubicadas en unidades territoriales relativamente más grandes (Benita y Gómez, 2013) las cuales generalmente poseen mayor acceso a los servicios básicos que puede deberse a un desarrollo urbano superior. Esta tendencia se manifiesta en la región Istmo-Costa donde la zona urbana que conforma sus municipios existe mayor acceso a los servicios básicos, mayor cantidad de vías de comunicación e infraestructura para las actividades económicas, etcétera. Mientras las localidades cercanas a línea de costa el crecimiento es desordenado conformados por poblaciones pequeñas que varían de seis a diez habitantes donde el acceso a servicios básicos es limitado y repercute en

la calidad de vida, los ingresos se obtienen de la pesca ribereña o actividades turísticas, esto en localidades más grandes con mayor infraestructura.

Dentro de la región los municipios con el mayor grado de marginación son Pijijiapan y Mapastepec, esto se refleja por el acceso reducido a bienes y servicios así como un grado de rezago social medio, que determina las diferencias que existen entre las distintas zonas geográficas de una misma región (Benita y Gómez, 2013) además estos municipios cuentan con índice de desarrollo humano municipal en México (IDH) medio (PNUD, 2010) en comparación con Arriaga y Tonalá ambos con un IDH alto, este último tiene más infraestructura para el turismo, la mayor producción ganadera de los cuatro municipios que integran la región mientras que en el municipio de Arriaga la pesquería La Gloria es una fuente de ingresos importante por la captura de camarón, tiburón, lisa y jaiba. Al igual que Tonalá, este municipio tiene una mayor cantidad de hoteles así como amplia variedad de actividades turísticas lo cual se refleja en el IDH. Este índice toma como referencia los municipios con mayor acceso a servicios de salud, educación así como el disfrute de un nivel de vida digno.

Bajo esta problemática el gobierno estatal, orientado con los objetivos de desarrollo sostenible del ámbito energético tiene el propósito garantizar el acceso a la energía y aumentar el uso de fuentes renovables, gestionando la modernización de la infraestructura tecnológica transformándola en energía segura, limpia y sostenible, con la meta que al 2030 se presente el aumento en la proporción de las ER en el sector energético. Por ello se realizarán acciones de construcción, expansión e introducción de la red de energía eléctrica en las comunidades de alto y muy alto grado de marginación bajo los programas de electrificación rural e iluminemos Chiapas. Además en el 2012 Chiapas obtuvo el mayor porcentaje de viviendas particulares habitadas donde se utiliza leña o carbón para cocina con un 58% mientras que en el 2010 este porcentaje era del 57.5%, generalmente estas viviendas se encuentran en comunidades establecidas de manera desorganizada, con carencia de vías de comunicación dificultando la extensión de las líneas de electricidad (Zamora *et al.* 2010). Este porcentaje manifiesta la necesidad de incursionar en las ER para cubrir con la creciente demanda energética además estas medidas contribuyen a minimizar los impactos negativos al ambiente ya que una fuente de recursos maderables es la tala de manglar por ende uso de leña afecta el patrimonio natural del Estado.

El tema sobre la introducción de las ER en nuestro país se plantea en el Plan Nacional de Desarrollo del 2013-2018 además de la formulación de leyes LTE y LAERFTE reafirman el compromiso del gobierno mexicano hacia la transición de las ER para


mitigar los efectos negativos por el uso de los hidrocarburos como fuentes primaria de energía. Con el propósito de lograr el desarrollo sustentable, en el ámbito energético, la transición para las ER contribuiría en la disminución de las emisiones de carbono y en la búsqueda de tecnologías con menor impacto ambiental.

A pesar de estas ventajas en nuestro país el tema de las energías oceánicas está en fase de investigación por ello actualmente no existen leyes y técnicas para normar o evaluar el impacto ambiental por esta razón es prioritario conocer la viabilidad de estas energías en las costas mexicanas por medio de la caracterización de las costas, investigaciones de impacto, prueba y desarrollo de los dispositivos así como regulación del su uso.

OBJETIVO GENERAL

Identificar la o las comunidades que cubran con las características ambientales y socio-económicas para la implementación de energía renovable de tipo oceánica en la región económica IX Istmo-Costa del Estado de Chiapas

Objetivos particulares

- a) Caracterizar los municipios de la región económica IX Istmo-Costa del Estado de Chiapas
- b) Establecer los fundamentos de las energías oceánicas viables para explotar en la zona
- c) Identificar el municipio dónde se introducirá un método de energía oceánica de acuerdo a sus factores ambientales y socio-económicos 
- d) Analizar la viabilidad del método de energía oceánica que se elija para la zona de estudio

ESPECIFICACIÓN Y FUNDAMENTO DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS

- a) Búsqueda de información sobre la introducción de la energía oceánica en México para estructurar el marco teórico

La recopilación de material bibliográfico y electrónico fue fundamental en la redacción del marco teórico sobre el estado actual de las energías oceánicas en nuestro país; integrando los ejes ambiental, social, económico y legislativo. Asimismo, el desarrollo a nivel mundial fue clave para determinar el impacto ambiental y las desventajas para la sociedad y por ende determinar su viabilidad en las costas mexicanas de estas tecnologías. También la participación en dos cursos talleres; uno orientado a la identificación de áreas con base a las características ecológicas, posibles impacto, resaltar la falta de información en determinadas líneas de investigación y áreas, esto desde el punto de vista ecológico y en el Curso-Taller de Gradiente Térmico Oceánico el tema principal fue el estado del arte de esta tecnología, los elementos claves, materiales, costos y viabilidad, este curso se enfocó en la visión ingenieril esto permitió relacionar los factores bióticos y abióticos con las limitantes en el ámbito ingenieril.

- b) Delimitación de los sitios de muestreo de un municipio de la región Istmo-Costa, analizar los métodos adecuados para generar energía oceánica

Con el apoyo del material bibliográfico y las características generales de las energías oceánicas se elaboró un listado de los elementos relevantes para determinar la viabilidad de su introducción, posterior a esto se realizaron mapas con los factores seleccionados utilizando el software ArcGIS 10.5 para Windows, se emplearon mapas del Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (INEGI); edafología, topoformas, localidades urbanas, red vial y continuo de elevaciones mexicanos, asimismo los mapas de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) de las localidades urbanas y rurales registradas en el censo de población y vivienda 2010, vías de comunicación, ríos, vegetación y uso de suelo, distribución de los manglares en México para el 2015, distribución de manglar perturbado de México en 2015, áreas naturales protegidas, distribución potencial de tortuga verde y golfina, se seleccionaron los mapas de las especies en riesgos y prioritarias en Chiapas de acuerdo a las categorías de la NOM-059-SEMARNAT-2010 y degradación del suelo.

Con la finalidad de localizar los tipos de centrales eléctricas en la región IX Istmo-Costa se usaron los mapas de infraestructura energética y recursos renovables de la Secretaría de Energía (SENER); centrales eléctricas <100 MW y centrales eléctricas de energía renovable. Los datos de temperatura se obtuvieron de la Administración Nacional Oceánica Atmosférica (NOAA) y se elaboraron gráficas para analizar la disminución de la temperatura en función de la profundidad mientras los rangos de mareas se consultaron del portal del Centro de investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).

A partir de la información obtenida de los mapas se analizaron los factores ambientales y socio-económicos con el objetivo de descartar los municipios donde la introducción de un dispositivo de energía oceánica no es viable por factores anteriormente mencionados.

Con el propósito de verificar el estado y complementar la información recabada se tenía planeado una visita a campo proceder con la campaña de campo que consistía en entrevistar a la población sobre su conocimiento y opinión de las ER además de muestreo en conjunto con la universidad de ECOSUR para conocer el estado actual del sitio de interés, sin embargo esta actividad fue cancelada para evitar obstaculizar las acciones del gobierno o instituciones con el propósito de auxiliar a la población afectada por el sismo que causó estragos en la costa chiapaneca. Esta actividad se sustituyó por la redacción de los posibles métodos de muestreo para la evaluación del impacto de estas tecnologías, esto con el apoyo de material bibliográfico y la asistencia a las conferencias impartidas por los especialistas del tema.

- c) Sugerir recomendaciones para la implementación de energías oceánicas así como describir el impacto que tendrá en la zona.

La información recabada permitió identificar los impactos de las energías oceánicas y proponer métodos de monitoreo, es importante mencionar que algunos de estos impactos serán específicos del sitio, por lo tanto no se puede generalizar, no obstante es necesario la estandarización de los protocolos de monitoreo mejorarán la evaluación de los impactos, esto permitirá seguir una única metodología en múltiples sitios para la construcción de una base de datos uniforme de impactos ambientales para rectificar los estresores y receptores. La elaboración de manuales es una herramienta útil en la comparación y mejoramiento de los monitoreos, estos manuales coadyuvará a enriquecer las leyes ya establecidas y generar medias de prevención,

conservación y mitigación considerando los ejes ambientales, socio-económicos y políticos.

Impacto de las actividades de servicio social

Las actividades desarrolladas conformarán uno de los elementos para la toma de decisiones en el proyecto de la viabilidad de la introducción de energías oceánicas en las costas mexicanas, con base en las características de los diferentes estado de la República se han realizado propuestas en los estados del norte y sur del país para impulsar esta forma de generación de energía, sin embargo estas zonas están en un proceso de caracterización e indagación sobre la estructura poblacional a nivel económico para determinar las áreas con baja provisión de servicios básicos como la electricidad.

A pesar de las condiciones de la costa chiapaneca, el establecimiento de una planta OTEC representaría un costo elevado y las tecnologías *offshore* aún se encuentran en fases iniciales, la información recabada es de suma importancia para los tomadores de decisiones y se buscará la incursión con dispositivos para el aprovechamiento de corrientes de marea por lo cual es necesario un estudio de la hidrodinámica de los ríos. Asimismo la generación de conocimiento por las actividades de búsqueda y redacción permitirán al CEMIE-O contar con la información necesaria para respaldar ante el gobierno estatal y federal la introducción de energías oceánica, y promover manuales donde se integren propuestas para la regulación de estas tecnología.

APRENDIZAJE Y HABILIDADES OBTENIDAS

En el CEMIE-O el trabajo multidisciplinarios es una de las bases fundamentales para el desarrollo de las diferentes líneas de investigación, en la UAM-X se promueve la interacción de los estudiantes de diversas licenciaturas para afrontar los problemas de la actualidad. Al participar en los talleres, asistir a las conferencias de los expertos de diferentes áreas me permitió el reforzamiento del trabajo con equipos multidisciplinarios e impulsar el debate para compartir las ideas, defender o intercambiar opiniones, etcétera.

El vínculo entre el cambio climático, causado por la actividad económica, el crecimiento demográfico y la presión energética le otorga fundamentos a la importancia del crecimiento sustentable, el cual se basa en la idea que el desarrollo actual no debe comprometer la capacidad de las generaciones futuras para alcanzar sus objetivos de crecimiento. Esto significa menor énfasis en las fuentes no renovables y en las políticas de desarrollo que dañan el ambiente. La implementación de las energías renovables ofrece la oportunidad de satisfacer la demanda energética actual (Romero-Hernández *et al.*, 2013). La visión de las ER no es errónea ya que en algunos casos no se producen emisiones de carbono o en comparación con las energías convencionales tiene menor impacto ambiental. Los beneficios al medio ambiente de estas tecnologías son difundidos de manera general en la mayoría de los artículos se hace mención de sus ventajas, no obstante las energías renovables, limpias o verdes, como se denominan de forma coloquial, tiene repercusiones en el ambiente, la falta de modelo comerciales, sus costos elevados y los sitios reducidos donde es viable su establecimiento crean incertidumbre sobre los impactos negativos probables para estas tecnologías.

Para el análisis de los factores bióticos de la región IX se elaboraron mapas con el software ArcGIS 10.5 para Windows, la creación de estos mapas contribuyó al mejoramiento de la habilidad para usar este programa, los sistemas de información geográfica (SIG) constituyen una herramienta de trabajo en las investigaciones y la planificación. Dada su gran capacidad para el almacenamiento y manipulación de datos espaciales georreferenciarles, los SIG facilitan el análisis y la toma de decisiones (Gómez, 2006), este programa ayuda a ampliar el conocimiento científico disponible sobre la biodiversidad así como integrar conocimiento de otras disciplinas (Moreira, 1996) por lo tanto el acercamiento de los estudiantes a este tipo de herramientas permite el desarrollo de habilidades para de análisis y elaboración de

mapas para conocer las áreas prioritarias para la conservación por su riqueza de especies además permite incursionar a los temas de planeación ambiental por la generación de propuestas de acción derivadas de la zonificación de áreas de interés.

La integración de los ejes ambientales, socio-económico y legislativos o políticos permite elaborar propuestas de acción para impulsar el desarrollo sustentable sin comprometer la conservación de los sistemas marinos. Por ello se refuerza la habilidad de reflexión, comprensión y organización, así como elementos generales de planificación ambiental, estos elementos fundamentan las decisiones tomadas por los investigadores o actores. El reforzamiento de estas habilidades, aprendidas en los módulos de la licenciatura de Biología, permite el pleno desarrollo de los estudiantes en el ámbito de la investigación. Compartir proyectos con diferentes disciplinas permite conocer el panorama completo de la situación, lo cual es de suma importancia para la resolución de los problemas de la actualidad. La estancia en el Instituto de Ingeniería no solo permite el intercambio de opiniones también abre los horizontes sobre el trabajo realizados por los biólogos en las distintas líneas de investigación.

RESULTADOS

Selección del sitio de interés

Factores ambientales

Los factores seleccionados en el medio terrestre, con el objetivo de identificar el sitio de instalación de un laboratorio científico orientado a la introducción de energía oceánica se definieron por la presencia de ANP; este apartado incluye las especies clasificadas dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010, grado de degradación que presenta la zona y la presencia de áreas con manglar perturbado. La región cuenta con 1,778.54 km² bajo la modalidad de conservación que corresponde al 27.86% del territorio, las ANP consideradas fueron el Santuario Puerto Arista, ubicado al suroeste del Estado, colinda con el Estado de Oaxaca, comprende parte de los municipios de Arriaga y Tonalá (CONANP, 2007), y la reserva La Encrucijada localizada al sur del Estado, limitado al norte por localidad de Chocohuital en Pijijiapan (INE, 1999) (figura 3). La relevancia de estas áreas reside en su condición de ecotonos entre el ecosistema terrestre y marino (Ortiz *et al.*, 2010). Los ecosistemas costeros están clasificados como uno de los más productivos y relevantes para la conservación porque en ellos habitan numerosas especies marinas y terrestres, muchas de las cuales no se distribuyen en otros hábitats (INE, 1999). Mientras aumenta la demanda por recursos turísticos y alimenticios, la presión sobre las costas y mares mexicanos incrementa, por ello es necesario priorizar las zonas con alta riqueza biológica para asegurar su conservación (CONABIO, 2007).

El Santuario Puerto Arista está orientado a la protección, conservación, repoblación, desarrollo y control de diversas especies de tortugas marinas además en la LGEEPA señala la prohibición de las actividades u obras que afecten a especies declaradas en peligro de extinción o amenazadas. En el art. 55 menciona que los santuarios son áreas con considerable riqueza de especies de distribución restringida y con unidades topográficas o geográficas que requieren ser preservadas o protegidas. En este municipio también se encuentra una unidad de manejo ambiental (UMA) orientada a la conservación del caimán (*Caiman crocodylus*) y el cocodrilo de río (*Crocodylus acutus*) ambas especies sujetas a protección especial por la NOM-059-SEMARNAT-2010.

A pesar del escaso desarrollo en las dunas costeras del Estado, en el santuario la industria turística es una actividad económica sobresaliente favoreciendo la modificación del paisaje. De acuerdo con Moreno-Casasola *et al.* (2014) afuera de las zonas turísticas de Puerto Arista las dunas tienen buen estado de conservación no obstante el cambio de uso de suelo consecuencia de las actividades económicas, la

pesca excesiva y la contaminación se hace presente. La conservación de las dunas es relevante porque contribuye a la protección en tierras interiores de la erosión provocada por tormentas e incremento del nivel del mar además son sitios de desove de tortugas marinas, las cuales están clasificadas como especies banderas, es decir, son consideradas carismáticas para la sociedad, son empleadas como símbolo o punto de enfoque para alcanzar conciencia ambiental y obtener fondos para la conservación de los ecosistemas (Isasi-Catalá, 2011). También son especies bioindicadoras esto por su vulnerabilidad a contaminantes como los hidrocarburos, plaguicidas, plásticos, entre otros (Patiño-Martínez *et al.* 2014). Dentro del polígono del santuario la parte marina está clasificada como área de preservación acuática dónde las actividades de investigación científica, monitoreo ambiental y pesca por sociedades cooperativas son permitidas (CONANP, 2012). No obstante en esta sección la pesca incidental es una amenaza para las especies no objetivo como las tortugas, el aprovechamiento del bosque de mangle, cambio de uso de suelo para la expansión de la ganadería extensiva y agricultura temporal (CONANP, 2007) ocasionando la destrucción, deterioro y pérdida de especies.

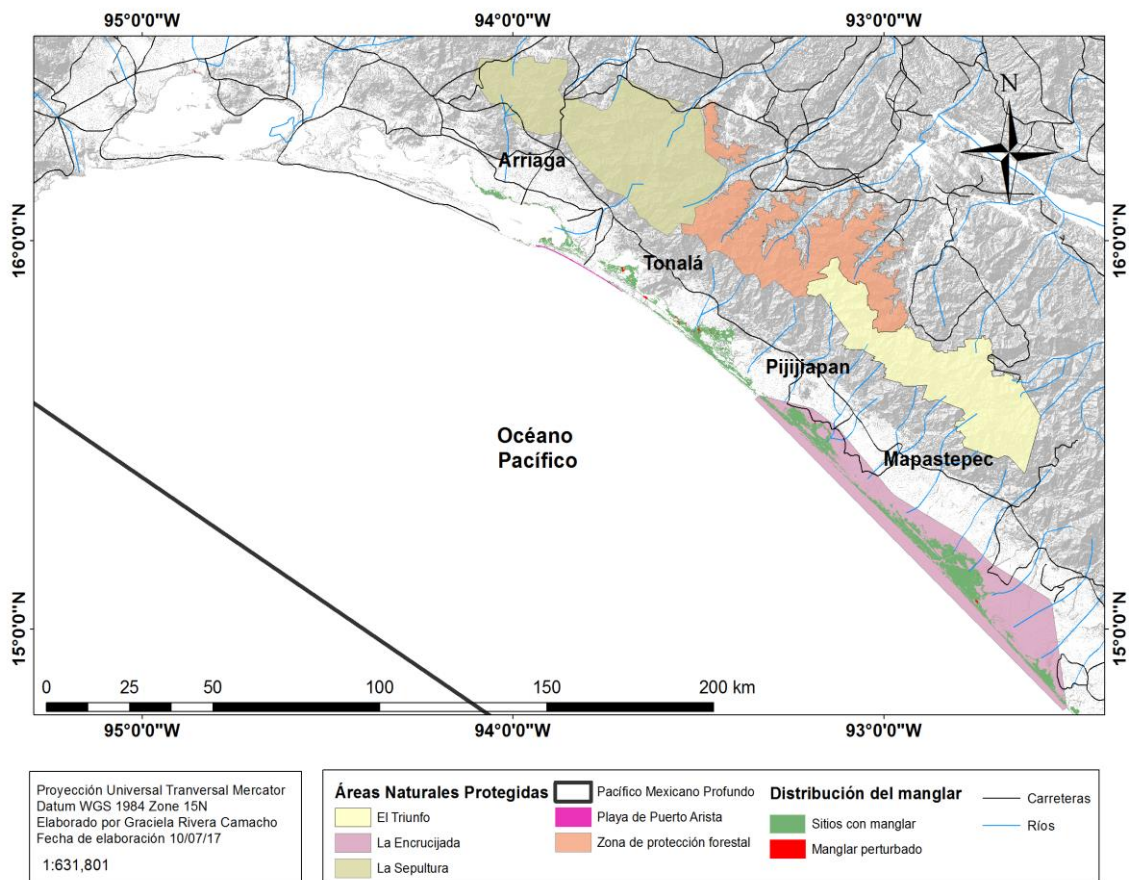


Figura 3. Áreas naturales protegidas en la región IX Istmo-Costa chiapaneca. Fuente: Portal de geoinformación sistema nacional de información sobre biodiversidad, CONABIO.

En el Santuario se reportan cinco especies de tortugas, entre ellas destacan la tortuga laúd, golfina y prieta, con base al registro faunístico del programa de manejo reserva de La Encrucijada cuenta con ocho especies, en el portal de geoinformación de CONABIO solo reporta la distribución potencial de la tortuga verde y golfina dentro de la región (figura 4), es decir es una predicción de las zonas donde podrían presentarse en función de factores como el clima, vegetación, entre otros. No obstante en la ficha de informativa de los humedales de Ramsar del Santuario (CONANP, 2012) y en el programa de manejo reserva La Encrucijada indican la presencia de la tortuga laúd (*D. coriacea*), la tortuga golfina (*L. olivacea*), la tortuga prieta (*C. agassizi*), la tortuga carey (*E. imbricata*), la tortuga verde (*C. mydas*) estas especies se encuentran en peligro de extinción mientras que la tortuga casquito amarillo (*Kinosternon scorpioides cruentatum*), la tortuga crucillo (*Staurotypus salvinii*) y la tortuga jicotea (*Trachemys scripta*) están sujetas a protección especial (INE, 1999).

En el municipio de Pijijiapan se encuentra un campamento tortuguero en los límites de la reserva, en la localidad de Costa Azul (CONANP, 2007) mientras que en el municipio de Tonalá se localizan campamentos tortugueros en Puerto Arista y Boca del Cielo, este último ha perdido gran parte de la vegetación original por las actividades agropecuarias, para la ganadería, cultivos de palma de coco, entre otros. En Boca del Cielo presenta cacería furtiva y saqueo de nidos de tortugas marinas. Asimismo la construcción de infraestructura, el desarrollo turístico mal planificado, desastres naturales como tormentas han modificado el perfil y relieve de las playas de anidación, dunas costeras y boca barras (CONANP, 2007).

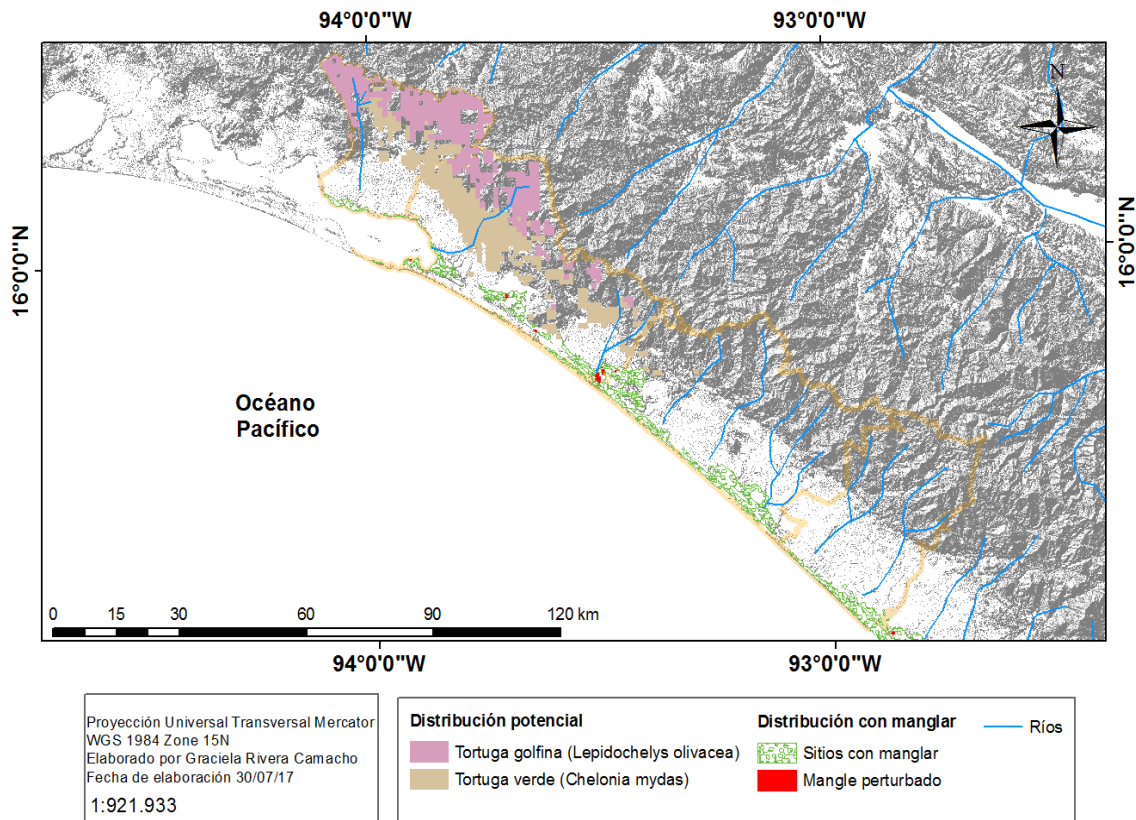


Figura 4. Distribución potencial de dos especies de tortugas en la región IX Istmo-Costa chiapaneca. Fuente: Portal de geoinformación sistema nacional de información sobre biodiversidad, CONABIO.

La reserva La Encrucijada (figura 3) está incluida en el Corredor Biológico Mesoamericano dirigido a las actividades de conservación por su riqueza biológica por lo tanto la introducción de un dispositivo para la extracción de energía del océano tendría efectos negativos para la flora y fauna distribuida en la zona. Los municipios que abarcan la reserva son Pijijiapan con un 11.58% del territorio municipal dentro de la reserva comparado con Mapastepec con el 17.19%, en el cuál la línea de costa está definida dentro de los límites de la reserva, una de las acciones señaladas en el programa de manejo es ordenar las actividades productivas y generar criterios para regular el uso del suelo (INE, 1999), es decir la zonificación tendrá como objetivo gestionar las actividades antropogénicas en función de las características del territorio sin comprometer las funciones ecológicas. Estas acciones son relevantes para ambos municipios por la ganadería bovina; Pijijiapan el 9.4% de la PEA está relacionada con actividades de sector primario mientras que en Mapastepec es el 6.6% (Secretaría de hacienda de Chiapas, n. d.), es el sector económico predominante en estos municipios.

Un factor relevante es la presencia de mangle con extensión aproximada de 16,000 ha (INE, 1999), este tipo de vegetación se distinguen por los servicios ambientales que

proporciona; como barrera natural de protección de la erosión por viento y marea, refugio y sitio de anidación de aves residentes, albergan especies amenazadas y en peligro de extinción, proporcionan las condiciones para el desarrollo de estadios juveniles de diversas especies marinas (Linares *et al.*, 2004) además es considerado como uno de los ecosistemas más productivos ya que genera una gran cantidad de nutrientes que son exportados por las mareas a las aguas marinas (CONABIO, 2009).

En la reserva se distribuye el mangle rojo (*R. mangle*), esta especie es endémica y de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010 está clasificada como amenazada, el bosque de mangle en esta zona está compuesto por el mangle negro (*A. germinans*), el mangle botoncillo (*C. erectus*), el mangle blanco (*L. racemosa*) cuentan con el mismo estatus. La expansión del área urbana y la tala clandestina son las principales amenazas, en las zonas con bosque de mangle es importante realizar actividades de preservación y rehabilitación. En el municipio de Tonalá en el sistema lagunar la Joya-Buenavista ha perdido el 67% de la cobertura de bosque de mangle, la conservación de este sistema es importante por su función de corredor biológico para las aves, sitio de reproducción de tortugas y cocodrilos mientras que el manglar Patos-Sólo Dios, ubicado entre los municipios de Tonalá y Pijijapan, en el periodo 2005 al 2010 se presentó pérdida del 7% (CONABIO, 2009) del bosque de manglar no obstante este sistema recibe la influencia de seis localidades.

Por último un componente importante para seleccionar la o las localidades es el grado de degradación del suelo, como se mencionó anteriormente en la región se encuentran decretadas ANP y debido a las actividades antropogénicas ciertas zonas están desprovistas de vegetación aumentando la erosión del suelo. Los procesos de degradación suelen traducirse en la reducción de la productividad de los cultivos y los recursos hídricos, mientras que los efectos negativos de la degradación sobre la economía de la región causan mayor impacto en la población dependiente de la agricultura para la captación de ingresos (Gaspari *et al.*, 2011) por ello en las zonas con fuerte grado de degradación las acciones propuestas son orientadas a la rehabilitación con mayor importancia en zonas con bosque de mangle o dentro de las ANP.

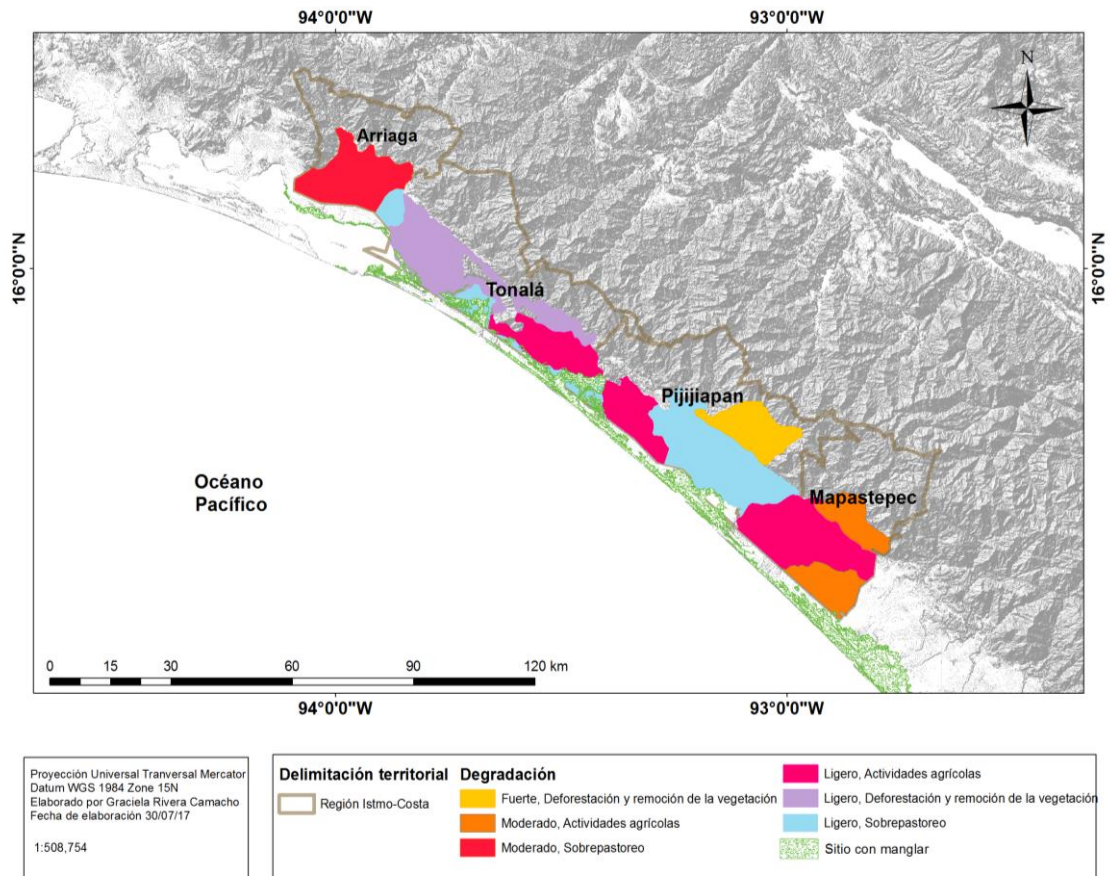


Figura 5. Degradación del suelo de la región IX Istmo Costa chiapaneca. Fuente: Portal de geoinformación sistema nacional de información sobre biodiversidad, CONABIO.

Las zonas con menor grado de degradación se localizan en el municipio de Tonalá y Pijijiapan (figura 5), en el manglar La Joya-Buenavista y Patos-Sólo Dios presenta grado ligero causado por actividades agrícolas, a pesar de estar declaradas por CONABIO como sitio con relevancia biológica y necesidad de rehabilitación ecológica presentan localidades en sus inmediaciones. El continuo poblamiento de la planicie costera ha ocasionado la distribución restringida de la vegetación original representando el 2% de la cobertura vegetal, uno de las causas principales es la expansión de las áreas urbanas modificando el paisaje de manera permanente (Tovilla, 2008) además de aumentar la erosión en la zona y por ende pérdida acelerada de suelo, al encontrarse desprovisto de vegetación ocasiona el arrastre de grandes cantidades de azolve que son depositados en las partes bajas y afectando los sistemas lagunares.

En la línea de costa del municipio de Pijijiapan el grado de degradación es ligero resultado del sobrepastoreo y actividades agrícolas, mientras que en Mapastepec es ligero a moderado, Tovilla (2008) señala la causa inicial de la pérdida de áreas de bosque de mangle es el avance de las actividades agropecuarias en el municipio de

Mapastepec, en algunos sitios quedan fragmentos de esta vegetación difíciles de recuperarse de forma natural, esta pérdida de vegetación ha contribuido en la transformación del suelo para la instalación de proyectos acuícolas, muchos de estos fallidos. En este municipio la línea de costa está definida dentro de la reserva La Encrucijada por ello la gestión de las actividades antropogénicas es de orden prioritario, en esta zona se encuentra el corredor biológico, tiene por objetivo contribuir en la conservación de especies a través de la conectividad entre fragmentos de ecosistemas (CONABIO, 2009) por medio del cordón estuarino que comprende fragmentos de selva, palmares, bosque de manglar, vegetación de dunas costeras y el segundo manchón del bosque de zapotales presente en la reserva y está integrado en el proyecto del Corredor Biológico Mesoamericano (CONABIO, 2010).

Además de la conservación de la flora, como en el caso del manglar del cual se obtienen servicios ecosistémicos, el componente faunístico es relevante para la región por la presencia de especies registradas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 así como especies emblemáticas, de acuerdo a la distribución conocida del jaguar en el sistema lagunario Patos-Sólo Dios hay registros de esta especie (CONABIO, 2010) (figura 6), la costa y la Sierra Madre del Sur están clasificadas como área de prioridad I, es decir, son aquellas que presentan extensiones considerables de hábitat adecuado para esta especie (Ceballos *et al.*, 2006). El jaguar es considerado como especie paraguas; se les otorga a las especies que requieren grandes extensiones para el mantenimiento de poblaciones mínimas viables. Son ampliamente utilizadas para la selección y diseño de ANP resultado de su amplia distribución, además su conservación influye en la protección de otras especies (Isasi-Catalá, 2011). El jaguar es una especie en peligro de extinción de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010, debido a la caza y la destrucción de su hábitat. Los esfuerzos de conservación de esta especie son significativos, por consiguiente las áreas donde se encuentra distribuido el jaguar son prioritarias y las actividades no deben modificar el hábitat. Otras especies relevantes son el jaguarundi, el puercoespín tropical, los murciélagos nariz de espada y narigón, la nutria tropical y la ardilla jaspeada.

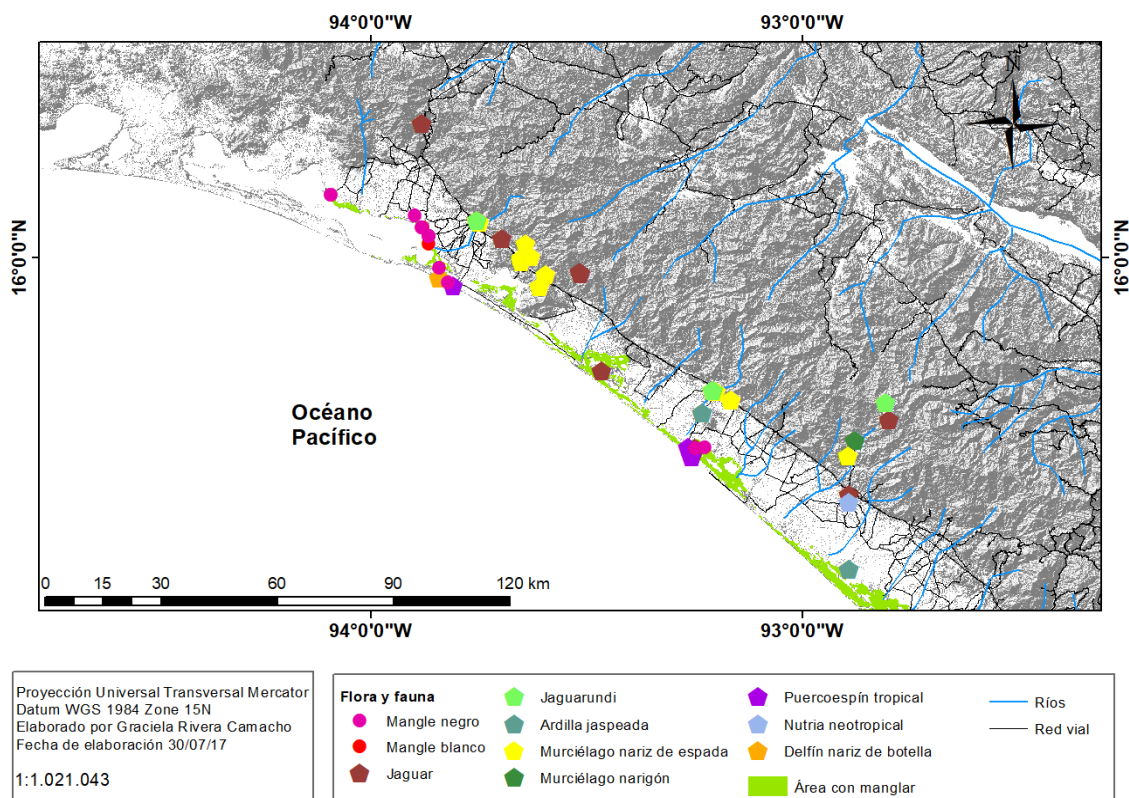


Figura 6. Flora y fauna de la región IX Istmo-Costa chiapaneca registrada en la NOM-059-SEMARNAT-2010. Fuente: Portal de geoinformación sistema nacional de información sobre biodiversidad, CONABIO.

A pesar que el municipio de Mapastepec tiene un desarrollo más bajo en comparación con Pijijiapan, posee una mayor extensión de la reserva La Encrucijada y abarca la sección definida como corredor biológico, aunque se permiten las actividades dirigidas a la investigación en esta zona la introducción de infraestructura podría tener efectos adversos como la perturbación del hábitat causado por las construcciones, el ruido proveniente de su instalación, tala de vegetación nativa, etcétera. La introducción de dispositivos para el aprovechamiento de la energía del océano deberá ubicarse en zonas desprovistas de bosque de mangle y áreas con alto grado de degradación con el propósito de generar menor impacto ambiental.

De acuerdo a Machuca (2014) la mayor parte de la zona que abarca los municipios de Arriaga, Tonalá y Pijijiapan es empleada para ganadería extensiva, desde la parte media de la cuenca hasta la planicie de inundación provocando la compactación del suelo y azolve de las lagunas costeras, y sistemas estuarinos. En el municipio de Tonalá el cambio de uso de suelo está restringido por las zonas de desove de las tortugas marinas por ende el municipio de Pijijiapan es un sitio de interés, en zonas alejadas del sistema lagunar Patos-Sólo Dios y la reserva La Encrucijada por lo tanto

se sugiere canalizar los estudios en una área del municipio de Pijijiapan desprovista de mangle además de exhibir menor presencia de tortugas y poseer zonas con alto grado de degradación donde el uso de suelo puede ser designado para construcciones en caso de ser necesarias. Las actividades antropogénicas tienen un impacto en los sistemas naturales, su magnitud dependerá del tipo de actividad y su planificación por ello no se puede afirmar la inexistencia de impactos negativos originados por el hombre, no obstante las medidas de prevención, mitigación, conservación así como la planificación multidisciplinaria permitirá minimizar estos impactos y coadyuvar a la permanencia de los sistemas naturales proveedores de diversos servicios ecosistémicos.

Factor socio-económico

El municipio más adecuado bajo la perspectiva socio-económica es Pijijiapan debido al mayor número de localidades con alto índice de marginación en comparación con los municipios de Arriaga, Tonalá y Mapastepec. Además de haber sido seleccionado por el gobierno estatal para la construcción de una ciudad rural sustentable por su alto índice de dispersión-marginación. En este municipio la generación de energía a partir de fuentes oceánicas representa la oportunidad para el fomento del desarrollo sustentable ya que busca la producción de energía con menor impacto ambiental con el propósito de equilibrar las actividades antropogénicas y la conservación ambiental.

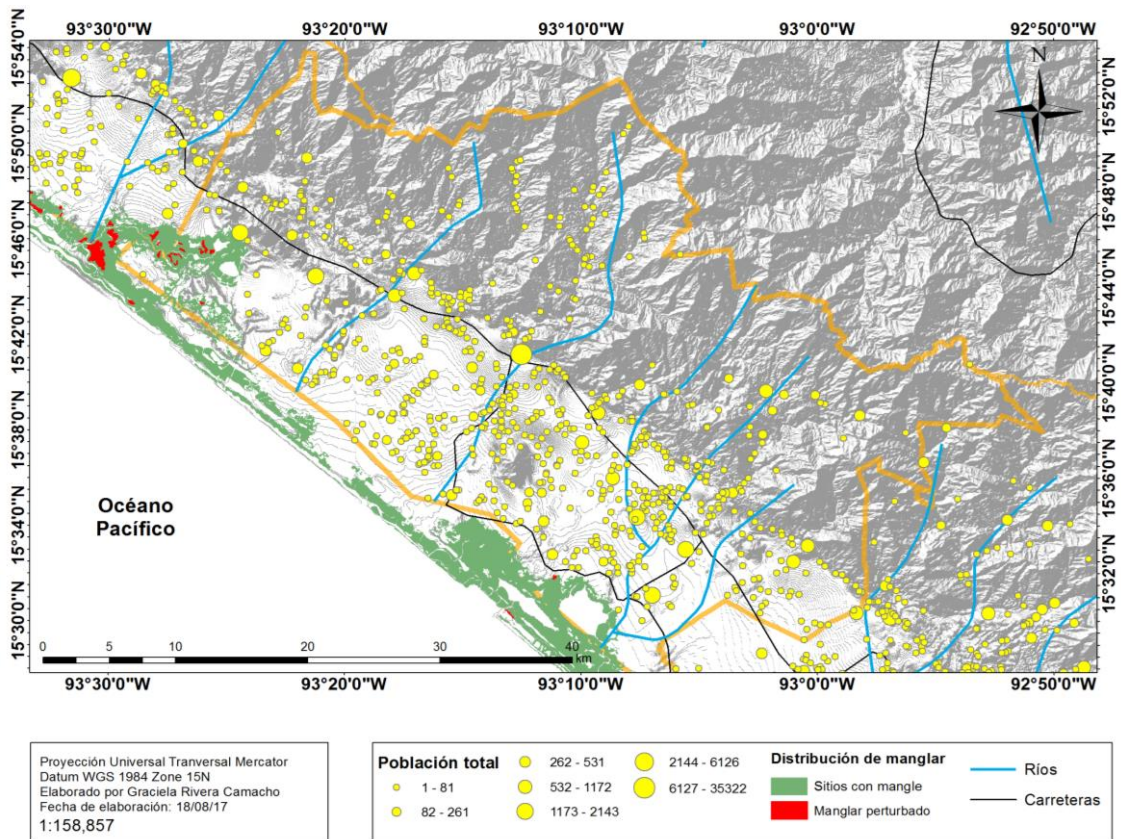


Figura 7. Población total del municipio de Pijijiapan de la región IX Istmo-Costa chiapaneca.

Fuente: Portal de geoinformación sistema nacional de información sobre biodiversidad, CONABIO.

Además de los factores ambientales, el índice de marginación proporcionan información sobre el estado de la población, fuera del límite de la reserva La Encrucijada se encuentran cuatro localidades clasificadas con muy alto rango de marginación, este índice asocia la carencia de oportunidades sociales y la ausencia de capacidades para adquirirlas e incorpora elementos de privación o inaccesibilidad a bienes y servicios para garantizar su bienestar (CONAPO, 2013), mientras que cuatro localidades el municipio de Tonalá están bajo esta categoría y en Mapastepec cuenta con tres registros. Este índice tiene relación con el gasto social municipal proveniente del Fondo de Aportaciones para la Infraestructura Social Municipal (FISM), estos fondos son transferidos por la Federación a los Estados y representan los ingresos más importantes para los municipios más pobres del país, en particular para Chiapas. Su importancia reside en la capacidad de transformar las condiciones del área al aumentar el bienestar y reducir los niveles de pobreza mejorando el nivel de acceso a servicios públicos como agua potable, alcantarillado, electricidad, caminos rurales, infraestructura básica de salud y educativa así como mejorar las condiciones de la vivienda.

El municipio se compone por 788 localidades de las cuales 731 tiene poblaciones de 1 a 99 habitantes de acuerdo al censo de población y vivienda 2010, lo cual influye en el acceso a servicios para la vivienda digna; el porcentaje es mayor en este municipio con 1.96% en comparación con los municipios de Arriaga con 1.61% y Tonalá con 1.20% el porcentaje de viviendas sin energía eléctrica en el 2017.

De acuerdo a los datos obtenidos por Núñez (2016) en Chiapas se presentan dos conglomerados de alta concentración y dos de bajo gasto social localizados sobre la costa de la entidad, es decir son los municipios donde se realiza bajo gasto social en relación con la erogación promedio del Estado, estos incluyen los municipios de Arriaga y Tonalá, sin embargo en Pijijiapan y Mapastepec no se presentan datos. Esto apoya la noción del bajo acceso en servicios básicos para la vivienda digna.

Por ello el gobierno de Chiapas puso en marcha la iniciativa para combatir el binomio dispersión-marginación considerando este factor el problema central (Reyes y López, 2011) con la finalidad de proveer a las localidades de los servicios básicos y crear ciudades rurales sustentables con el enfoque del desarrollo sustentable por medio de la reubicación de los asentamientos humanos y establecer un núcleo urbano con los servicios básicos, de saneamiento, vías de comunicación, entre otros. El gobierno estatal seleccionó al municipio de Pijijiapan para ingresar en el programa de ciudades rurales sustentables por su alto índice de dispersión, esta iniciativa está reglamentada por la Ley de Ciudades Rurales Sustentables menciona las características de las áreas objetivos, por ejemplo *“las comunidades con menor índice de desarrollo humano, preferentemente con cien habitantes o menos”*. Esta selección reafirma la necesidad de desarrollo dentro de la región Istmo-Costa para garantizar el bienestar de la población, sin embargo el éxito de dicho programa es incierto; en el caso de la Nuevo Juan de Grijalva, primera ciudad de esta iniciativa, durante el proceso de construcción se reportaron despojo de las tierras en las zonas donde se planea la construcción del núcleo urbano, la falta de servicios en las ciudades y por ende el rechazo de la población para la reubicación asimismo surgió el debate sobre si combatir contra la dispersión reducirá los índices de pobreza.

Objetivos estatales de desarrollo en materia de energía

Por otra parte, el tema del desarrollo energético a nivel estatal ha cobrado importancia no sólo para proporcionar energía a la población también para cubrir con los compromisos estatales y federales de la conservación de la biodiversidad por esta razón la Ley Ambiental para el Estado de Chiapas *“promoverá el otorgamiento de estímulos fiscales para la implementación de mecanismos de ahorro de energía o el*

empleo de fuentes energéticas que disminuyan o abatan la emisión de contaminantes". El Estado se comprometió a cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible encaminados a intensificar los esfuerzos para reducir la pobreza, la desigualdad y luchar contra el cambio climático, dentro de los 17 objetivos que lo componen, el número siete está orientado a garantizar el acceso a energía segura, sostenible y moderna con proyección de aumentar la proporción de energía renovable para el 2030 (UN, n. d.).

En la figura 8 se observan las centrales de energías renovables en Chiapas, estas se componen por centrales hidroeléctricas, biomasa y plantas procesadoras de gas natural. En la región Istmo-Costa se localiza el parque de energía eólica Arriaga con generación de 80.465 GWh/a, cerca de la región se encuentra la central de combustión directa del municipio de Huixtla con generación de 27.36 GWh/a y 57.51 km del municipio de Mapastepec. En Tapachula se localiza una central hidroeléctrica que genera 89.59 en GWh/a, con 86 km de distancia de Mapastepec y en el municipio de Venustiano Carranza está establecida la central de combustión directa Azucarera La Fé con producción de 23.87 GWh/a y dos centrales hidroeléctricas de Belisario Domínguez con generación de 2136.51 GWh/a y la central Shpoiná con 7.52 GWh/a (INERE, 2017), el municipio más cercano de la región IX es Pijijiapan a 91.23 km de la central Belisario Domínguez. La distancia indicada está relacionada con los centro de población más cercanos de la región.

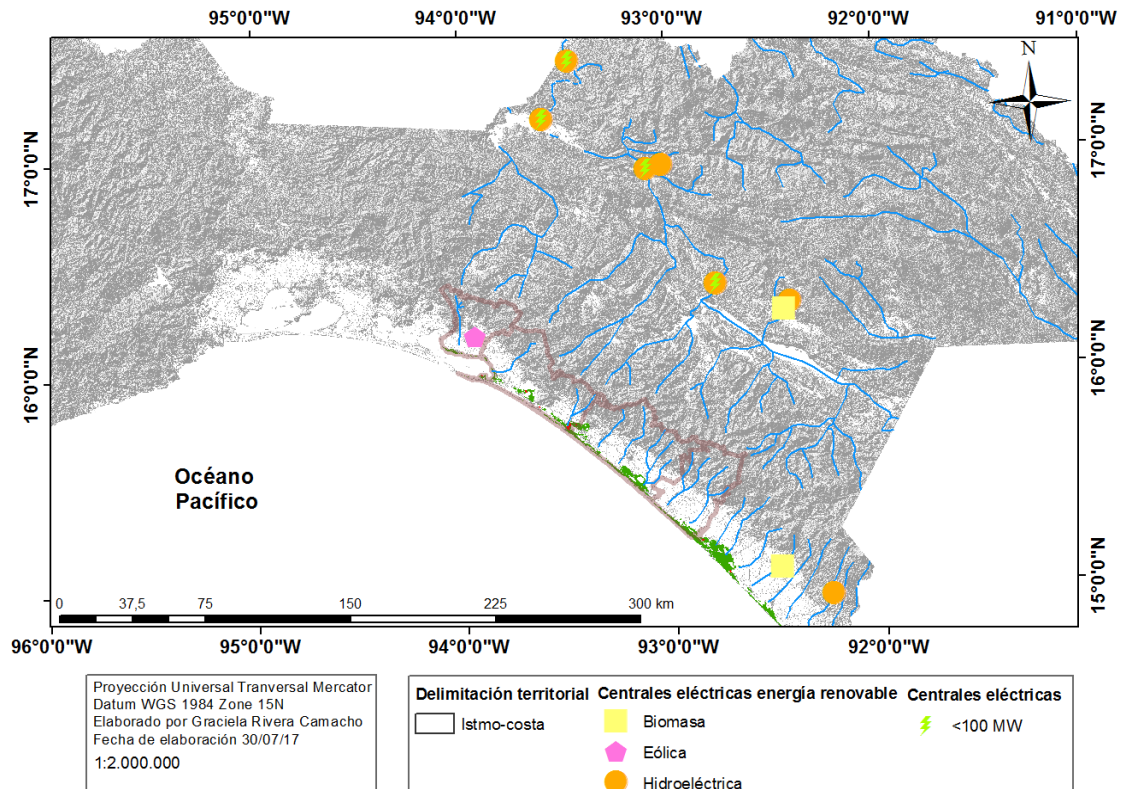


Figura 8. Tipos de centrales de energía eléctrica en el estado de Chiapas. Fuente: SENER, mapas de infraestructura energética y recursos renovables.

A pesar de contar con un parque de energía eólica en el municipio de Arriaga la central está dirigida para el autoabastecimiento, es decir la generación de energía satisface exclusivamente las necesidades energéticas de los socios de la permisionaria conformada por Elektra del Milenio, S. A. de C.V., TV Azteca, S. A. de C. V., Procuraduría de Cobranza Judicial, S. A. de C. V. (Comisión reguladora de energía, 2012), entre otros. De acuerdo al título de permiso “*en caso fortuito o de fuerza mayor la Permisionaria estará obligada a proporcionar la energía eléctrica requerida para el servicio público mientras que encuentre en la medida de sus posibilidades y será únicamente por el lapso que comprenda la interrupción o restricción*”, sin embargo no se especifica la cantidad considerada como excedente.

Asimismo la generación de energía de la central de combustión directa en Huixtla será destinada a la satisfacción de las necesidades energéticas de los establecimientos asociados a la cogeneración como Grupo Azucarero San Pedro, Grupo Pecuario San Antonio, Huixtla Energía, Ingenio de Huixtla, entre otros (Comisión reguladora de energía, 2012). De acuerdo a Ley del Servicio Público de energía Eléctrica, en el artículo 36 fracc. I, inciso b) y fracc. II inciso b) *los excedentes de las centrales de autoabastecimiento y de cogeneración deben ser puestos a disposición de la Comisión Federal de Electricidad* (Diario oficial de la federación, 2014).

Con el propósito de cumplir con el compromiso nacional y estatal para combatir la pobreza, mejorar la calidad de vida, la diversificación de las fuentes en el sector energético la introducción de un dispositivo para el aprovechamiento de la energía del océano coadyuvaría a mejorar la calidad de vida de las localidades rurales a través de la provisión de energía para una vivienda digna y cumplir con los procesos productivos (Edenhofer *et al.*, 2011), esta iniciativa representa una propuesta para reducir la dependencia a los combustibles fósiles. El sitio de interés lo conforma el municipio de Pijijiapan ya que un mayor número de localidades con alto índice de marginación en comparación con los municipios de Arriaga, Tonalá y Mapastepec. En la parte norte del municipio se localiza el mayor número de localidades con muy alto índice de marginación están fuera de los límites de la reserva, estas localidades son pequeñas y algunas tienen menos de 100 habitantes, las actividades económicas predominantes son del sector primario en especial la pesca por la cercanía del sistema lagunar Patos-Sólo Dios.

El estudio para el establecimiento de estas tecnologías para la generación de energía se relaciona con la estrategia para fortalecer las economías locales, mejorar la competitividad regional y nacional, incentivando las actividades económicas y productivas, responsables con el medio ambiente marino y costero de la Política Nacional de Mares y Costas de México, en la cual una de las líneas de acción es *“estimular el desarrollo de generación de energía, utilizando fuentes renovables de bajo o nulo impacto”*, no obstante la población en esta zona tiene una visión negativa de las energías renovables ya que en el municipio de Tonalá está establecido un parque eólico, no obstante es para autoabastecimiento de un número reducido de empresas por ello la consulta e integración del componente social es crucial en la planeación de estos proyectos para garantizar la provisión de servicios con la aceptación social, la divulgación de los beneficios de las energías renovables contribuirá a la transición energética.

POTENCIAL DE ENERGÍAS OCEÁNICAS RENOVABLES EN CHIAPAS

En nuestro país se hace mención de las energías oceánicas en documentos a nivel federal como el PND señala que “*las fuentes renovables de energía deberán contribuir para enfrentar los retos en materia de diversificación y seguridad energética*” por ello se explica el tipo y potencial de estas energías dentro de la Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026. Asimismo se han realizado investigaciones sobre el potencial de las energías oceánicas en México, con mayor enfoque a tecnologías de oleaje y mareomotriz por su amplio desarrollo a nivel mundial. Con el propósito de incursionar en este ámbito se creó el Centro Mexicano de Innovación en Energía del Océano; agrupaciones de centros públicos y privados, instituciones de educación superior y entidades gubernamentales con el objetivo desarrollar tecnologías, productos y servicios para la diversificación de la obtención de energía del océano.

Las investigaciones relacionadas con las energías oceánicas en México se han concentrado en el aprovechamiento del oleaje y las mareas, recientemente se han abordado las tecnologías menos desarrolladas a nivel mundial como son energía por gradientes térmico y salino. En caso particular de la conversión de energía térmica oceánica (OTEC por sus siglas en inglés) presenta alto potencial en México, resultado de su ubicación geográfica cercana al Ecuador (figura 9) presenta gradiente térmico, Huckerby *et al.* (2011) mencionan el requerimiento la diferencia de temperatura de 20°C entre el agua de superficie y ~ 4°C el agua de las profundidades marinas.

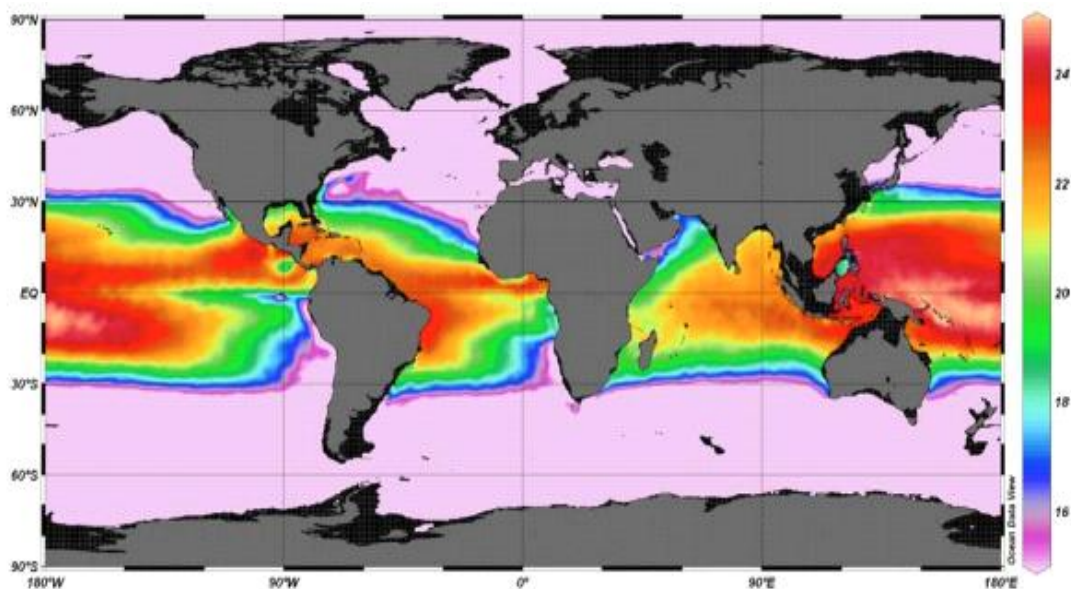


Figura 9. Diferencias promedio mundiales de temperatura entre 20 m y 100 m de profundidad.
Fuente: Centro Nacional de Energía Renovable Marina de Hawái.

Dubois *et al.* (2008) menciona las zonas que cumplen con las características para generar energía con OTEC se extienden a lo largo del ecuador en regiones $\sim 20^\circ$ N y $\sim 30^\circ$ S y el gradiente térmico sobre los 1000 m de profundidad es de 20°C .

La temperatura superficial del mar (TSM) en el periodo del 13 de agosto al 19 de agosto en el 2017 en la costa chiapaneca es de 30°C con base a la información del Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN, n. d.), la TSM promedio en invierno es $26\text{-}27^\circ\text{C}$ y 29.5°C en verano (Wilkinson *et al.*, 2009). El Estado de Chiapas forma parte de la región III Pacífico Sur, regionalización de la Política Nacional de Mares y Costas de México, por su ubicación geográfica está influenciada por las aguas cálidas de la Corriente Costera de Costa Rica (CIMARES, 2011) permanece libre de la influencia invernal del extremo norte de la Corriente de California por ello es considerado un mar tropical (Wilkinson *et al.*, 2009). Estas características señalan al Pacífico Mexicano como sitio potencial para el desarrollo de esta tecnología, por ende la realización de estudios que determinen la viabilidad de este tipo de energía son necesarios.

Asimismo se propone analizar la viabilidad de la energía mareomotriz; esta tecnología aprovecha la energía potencial del ascenso y descenso del agua del mar (Quintero y Quintero, 2015), la mayoría de las construcciones para su aprovechamiento emplean turbinas de bulbo similares a las turbinas hidroeléctricas instaladas en las presas (IRENA, 2014). El rango de marea en el Pacífico Mexicano se encuentra entre 50 a 120 cm (Servicio mareográfico geofísica-UNAM, n. d.), el régimen de mareas es micromareal ($<2\text{m}$) con la alternancia quincenal entre mareas vivas y muertas (Varona-Cordero y Gutiérrez, 2006). El ciclo de marea correspondiente en la costa chiapaneca es mixto semidiurno (NOAA, 2004), se caracteriza por la presencia dos mareas altas y dos mareas bajas cada día (Bowditch, 2002), la pleamar promedio registrada en la estación mareográfica de Puerto Chiapas, anteriormente Puerto Madero, de enero del presente año fue de 1.3 m y la bajamar promedio fue de 0.029 m (Servicio mareográfico geofísica-UNAM, n. d.)

Pese al potencial para la introducción de una planta OTEC en la costa chiapaneca las investigaciones existentes sobre la viabilidad de esta tecnología son en el Estado de Veracruz (Romero, 2013) esto puede explicarse por el conocimiento que se tiene de la zona ya que este Estado tiene una gran variedad de estudios desde el ámbito ecológico hasta económico y en Puerto Ángel en Oaxaca (García, 2015) mientras en Chiapas la información es escasa, los estudios más extensos están los relacionados con las ANP y en menor medida en los sitios de manglar con relevancia ecológica.

Potencial de las energías oceánicas renovables en la región IX Istmo-Costa chiapaneca

Gradiente térmico

La selección de obtención de energía por gradiente térmico se fundamenta en las características físicas del medio marino, la ubicación del Estado de Chiapas está identificado como una zona donde la diferencia de temperatura del agua superficial y con profundidad de 1000 m estimada en 20°C. El Centro Nacional de Energía Renovable Marina de Hawái elaboró un mapa con potencia promedio anual de 877 GWh/año esta estimación considera el límite de producción sin afectar la circulación termohalina del medio marino, realizaron los cálculos para determina el potencial de una planta OTEC de 100 MW, dentro de la porción que corresponde a la costa chiapaneca se obtienen valores máximos de 124.02 GW/h como se muestra en la figura 11, cabe destacar que el centro se apoyan en la noción de extraer agua con profundidad de 1000 m y la TSM de 26.85°C.

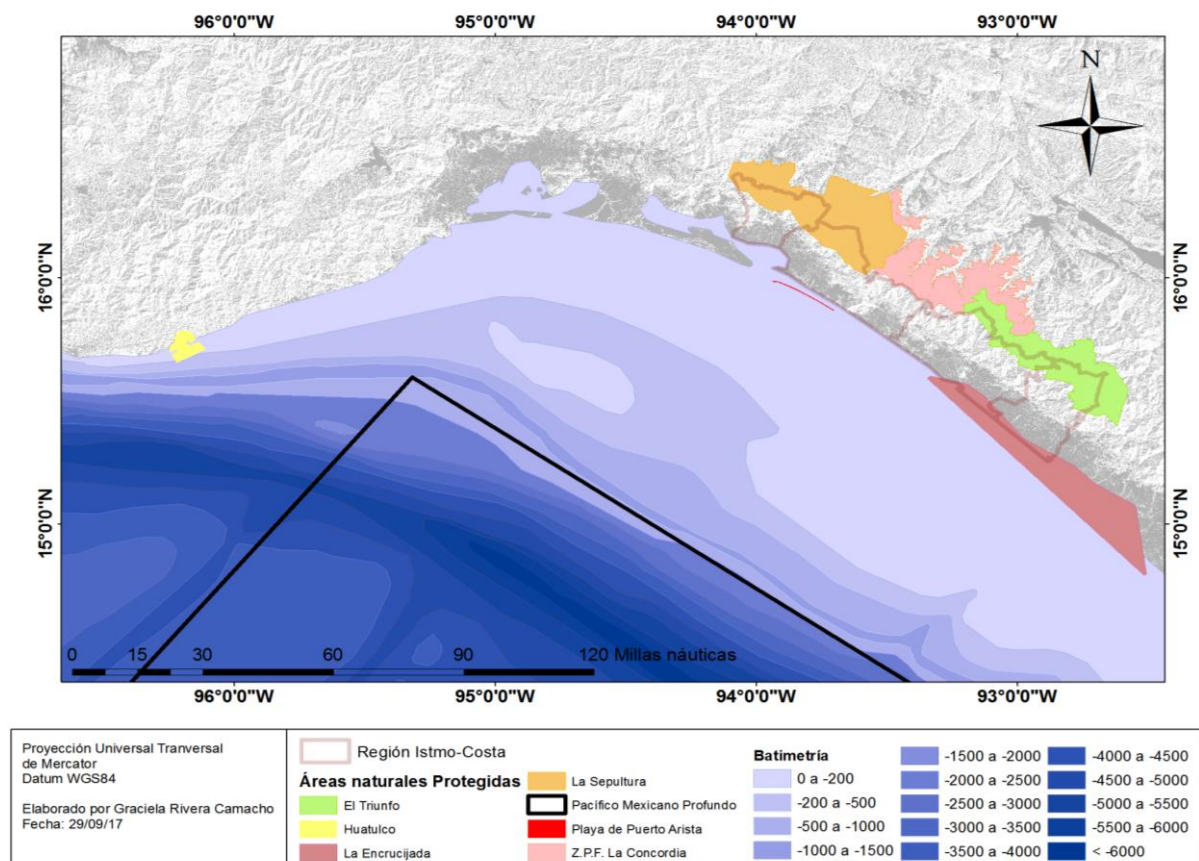


Figura 10. Batimetría de la costa chiapaneca y áreas naturales protegidas. Portal de geoinformación sistema nacional de información sobre biodiversidad, CONABIO.

A pesar de presentar el gradiente térmico óptimo para el establecimiento de una planta OTEC en la costa, la plataforma continental es amplia; su extensión abarca hasta los 200 m de ancho aproximadamente (figura 10), esto se manifiesta en mayores

profundidades alejadas a la línea de costa, esta distancia aumentaría el costo de las tuberías empleadas para la obtención del agua de fondo y por ende la inversión para instalas la planta, en comparación con la costa oaxaqueña donde se observan profundidades de <2000 próximas a la línea de costa, es importante considerar las áreas naturales protegidas que se encuentran en el medio marino un ejemplo es la Reserva de la Biosfera Zona Marina Profunda Pacífico Transicional Mexicano y Centroamericano que tiene un polígono ubicado en la costa chiapaneca conocido como la Trinchera Mesoamericana; la zona que abarca la costa es de amortiguamiento y en ella están permitidas las actividades de investigación científica de los ecosistemas que lo componen, por ello el establecimiento de una OTEC *offshore* sería viable dentro de los lineamientos de la LGEEPA por su relación con el desarrollo sustentable del sector energético, sin embargo el aprovechamiento estas actividades no deben implicar cambios sustanciales en las condiciones originales del sistema.

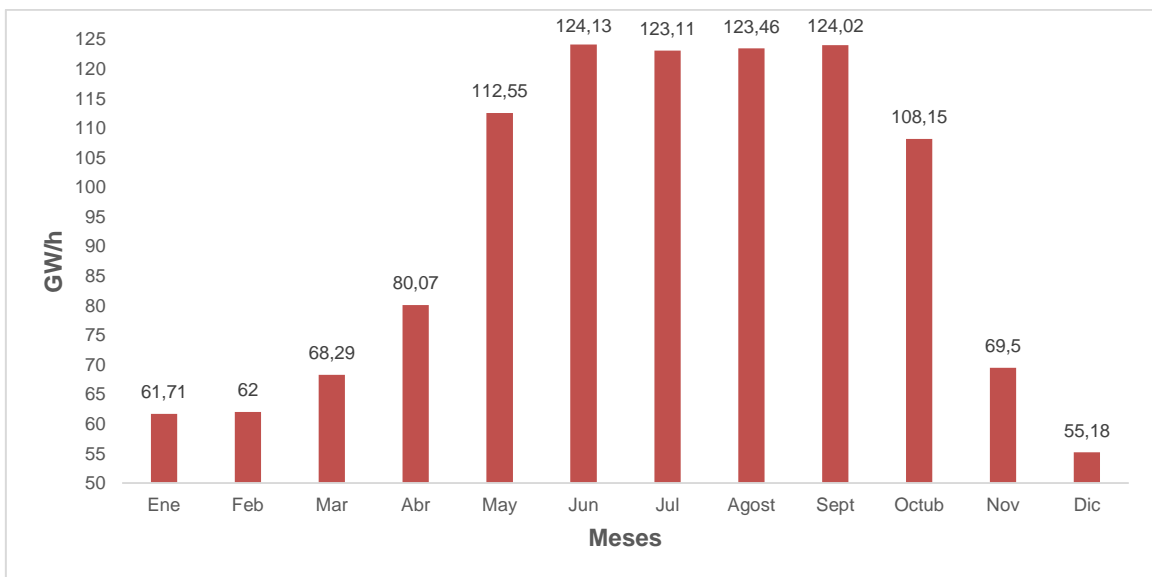


Figura 11. Promedio mensual de la potencia producida en GW/h/mes de una planta OTEC de 100 MW por Centro Nacional de Energía Renovable Marina de Hawái (2017).

Es importante analizar los fenómenos oceanográficos que se presentan en la región uno de ellos que puede modificar la TSM son las surgencias cuando el viento paralelo a la costa permanece por un tiempo suficiente favorece la formación este fenómeno. El litoral chiapaneco forma parte del Golfo de Tehuantepec (GT), en esta zona se manifiestan los vientos “tehuanos” con velocidades de 25 m s^{-1} durante el invierno y principios de primavera, estos vientos son el mecanismo de generación de las surgencias ocasionando variaciones en la temperatura superficial del mar, aumento de salinidad y nutrientes lo cual conlleva valores altos de producción primaria. En cambio

en verano y otoño los vientos del Este de menor intensidad permiten la estratificación térmica (Hernández-Becerril *et al.*, 2015). Los ecosistemas de surgencias costeras están generalmente asociados con los bordes de corrientes oceánicas, donde predominan los vientos hacia el ecuador como parte de los sistemas de alta presión atmosférica cuasi-estacionarios (Lara-Lara *et al.*, 2008).

La variación de la TSM es el resultado de la circulación oceánica por temporada, en época de secas se presenta la Corriente de California (CC) y la Contracorriente Norecuatorial (CCNE), durante la temporada de lluvias domina la Corriente Costera de Costa Rica (CCCR). El subsistema chiapaneco está fuertemente influenciado por las descargas epicontinentales de las lagunas costeras y la CCCR (Díaz, 2015), esta corriente viene de Centroamérica y llega en agosto al GT (De la Lanza, 2004). En la época de surgencias la termoclina se eleva 10 m generando una franja de baja temperatura que llega a presentar 200 km de anchura y 500 km de longitud con TSM de 6 a 10°C por debajo de la temperatura promedio de 24 a 26°C. En el verano se forma una alberca de agua caliente con temperatura media superior de 28°C. En el Pacífico Mexicano las corrientes son lentas por lo que las masas de agua están expuestas durante un largo periodo de insolación resultando en elevadas temperaturas superficiales (Hernández-Becerril *et al.*, 2015).

Es importante determinar el efecto de las surgencias en la generación de una planta OTEC, por su característica estacional y con base en los cálculos realizados por el Centro Nacional de Energía Renovable Marina de Hawái (figura 11) el mayor potencial se observa en los meses de junio a septiembre correspondientes a la temporada de lluvias, en este periodo los vientos tehuanos se debilitan por la ausencia de las surgencias y se presentan los valores más altos de TSM, esta tendencia se confirma con los datos registrados por Tapia-García *et al.* (2007) donde la variación de la temperatura a 10 m de profundidad es de 14 a 31°C mientras que a 50 m tiene un rango de 11.9 a 29.8°C.

Los valores promedio más bajos se registraron en el periodo de noviembre a mayo (temporada de seca) estos valores están determinados por las surgencias y los más altos en de junio a septiembre, esto por la ausencia estacional de los vientos tehuanos. Ortega y Lluch (1996) reportan fluctuaciones entre 27 a 29°C y en la época de surgencias ésta disminuye con rango de 23 a 24°C. La distribución vertical de la temperatura se caracteriza por una delgada capa isoterma seguida por la termoclina en donde la temperatura desciende de 28 a 15°C en los primero 100 m de profundidad y continua disminuyendo lentamente de tal forma que a 350 y 900 m de profundidad

se registra temperatura de entre 10 a 5°C (Castillo *et al.*, 2000). Los registros de las variaciones en los factores físico-químicos están centrados en el subsistema oaxaqueño del GT donde la influencia de las surgencias es mayor.

En la figura 11 se observa en los meses de junio a septiembre es el periodo con los valores más altos posterior a este periodo se presenta la disminución gradual relacionado con las surgencias, de acuerdo al promedio de la temperatura a diferentes profundidades del 2005 al 2012 (figura 12) en verano la temperatura a 50 m es de 29°C y disminuye a 9 u 8°C en 425 m, en esta estación se obtiene el gradiente térmico de 20 °C mientras que en invierno se tiene un temperatura superficial de 25°C a 5 m de profundidad y a 425m de profundidad se registran 9°C, esta disminución del potencial mensual podría consecuencia de una menor diferencia de temperatura. A pesar de la disminución del potencial mensual la generación de energía por medio de una planta OTEC la demanda estatal se cubriría mientras que los excedentes podrían ser comercializados, la demanda estatal máxima se registra en el mes de mayo con 0.267 GW/h y la planta OTEC tendría una producción máxima de 129.11 GW/h.

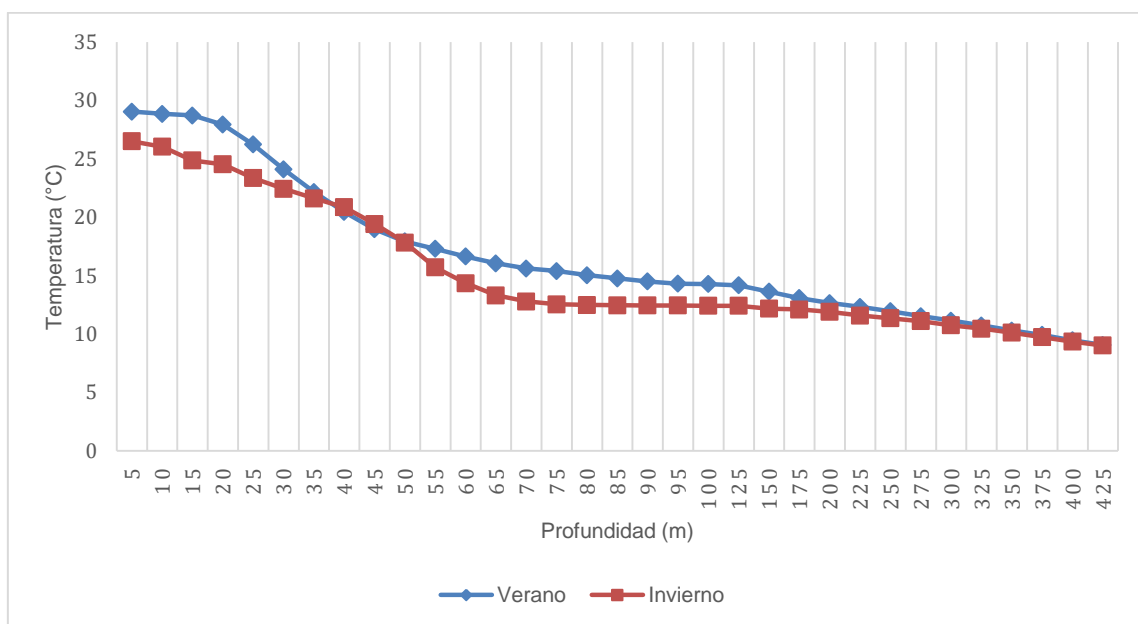


Figura 12. Temperatura de la costa chiapaneca del período de 2005 al 2012, datos de NOAA (Administración Nacional Oceánica Atmosférica).

El consumo de energía eléctrica fluctúa en función de las estaciones del año, en los meses de mayo a septiembre se obtienen los valores más altos así como se manifiesta los mayores consumos a nivel estatal (figura 13), Ramos *et al.* (1999) mencionan la variable climática como la más importante en el consumo de energía, los usuarios domésticos pueden llegar a consumir 10 veces más energía durante el verano comparándolo con el consumo en invierno. Otros factores que influyen en el

aumento del consumo energético son la época del año y el nivel de ingreso, este último se caracteriza por la capacidad de adquisición de los usuarios a diferentes tipos de equipamientos como aire acondicionado, ventilador, entre otros. Esto se confirma por lo señalado por Maqueda y Sánchez (2011) estudiaron el comportamiento de la curva de demanda del área peninsular abarcando ciudades del Estado de Chiapas, donde el requerimiento energético es mayor en el mes de julio a las 21 hrs con 954 MW/h en cambio para el mes de enero es de 781 MW/h a las 19 hrs, los factores que influyeron son el cambio de horario además en el mes de julio el clima es cálido subhúmedo, a partir de este cambio estacional la demanda energética aumenta, los autores ejemplifican el caso de Mérida que presenta este clima, con la máxima demanda se presenta en la noche y al amanecer por el uso de climatización artificial. La costa chiapaneca posee clima cálido húmedo con abundantes lluvias en verano por esta razón podría presentar esta tendencia ya que el promedio de temperatura está entre los 30 y 35 °C en las costas del Pacífico (CONAGUA, 2015).



Figura 13. Consumo mensual de energía eléctrica del Estado de Chiapas. Fuente: Sistema de Información Energética (SIE).

Viabilidad del aprovechamiento del gradiente térmico

De acuerdo con los datos recabados por la Secretaría de Marina (2017) la plataforma continental submarina tiene una extensión de 11, 734 km² en el extremo noroeste con 15 km de ancho y en el extremo sureste de 35 km, al ser más ancha la plataforma en el área de estudio y con lo propuesto por el Centro Nacional de Energía Renovable Marina de Hawái el establecimiento de una planta OTEC tendría un costo elevado por lo tanto no es viable su construcción en esta zona por ello se sugiere continuar con las investigaciones de esta tecnología en el Estado de Oaxaca donde la plataforma continental no es una limitante y a profundidades de 800 m se registran temperaturas

de 5°C, con base en los estudios del CEMIE-O, la localidad de Puerto Ángel tiene características idóneas para la construcción de una planta OTEC. No obstante dentro de la tecnología desarrollada en gradiente térmico existen tres tipos de plantas OTEC; una de ellas se instala en el medio terrestre (*land-based*) y las denominadas *offshore* en ella se incluyen las plantas alojadas en la plataforma continental (*shelf based*) y las flotantes (*floating*).

Aldale (2017) señala las diferencias en los costos; las plantas terrestres son más costosas en comparación con las flotantes por que las tuberías deben estar inclinadas para la extracción de agua a profundidades de 1000 m, asimismo la instalación de la plataforma flotante para OTEC tiene un impacto menor en comparación con las plantas terrestres pero el costo del mantenimiento aumenta cuándo se trata de plantas flotantes (IRENA, 2014). Mientras que las *shelf-based* se localizan fuera de la zona de oleaje en la plataforma continental a profundidades de hasta 100 m, las desventajas de este tipo de plantas incluyen el mantenimiento por la influencia directa con el medio marino, requieren grandes pilotes para mantener la base estable, el transporte de la energía requiere cables subacuáticos (Shah, 2014). Golmen *et al.* (2005) mencionan en corto y mediano plazo las plantas OTEC flotantes de unos pocos MW podrían suministrar una cantidad significativa de electricidad en áreas subtropicales con acceso directo de aguas frías profundas, estas plantas son una opción para minimizar los costos de las tuberías de las plantas terrestres (Rupeni, 1982), además no requieren el uso de áreas en tierra lo cual disminuye el costo de construcción (Pelc y Fujita, 2002) y los conflictos por el cambio de uso de suelo en zonas con relevancia ecológica o por la construcción de la planta sin el consentimiento de la población, otro factor relevante en el establecimiento de las plantas *offshore* es la disminución del atractivo turístico por la instalación de estas estructuras en el medio marino, reduciendo la belleza escénica incluida en los servicios ecosistémicos.

Kobayashi *et al.* (2017) mencionan una ventaja de la tecnología OTEC no solo es el potencial para la generación de electricidad sino en los componentes de las plantas que estabilicen costos que podrán ser competitivos con las plantas de energía convencionales de combustibles fósiles así como de energía nuclear. En la costa chiapaneca la instalación de una planta flotante sería una alternativa para la generación de energía a pesar de la extensión de la plataforma continental, este tipo de plantas se ubican a pocos kilómetros de la costa transmitiendo la electricidad generada a través de cables submarinos, también podrían transportar agua desalinizada (Vega, 2012). Cabe mencionar el desarrollo de este tipo de plantas ha sido más lento, los países que han desarrollado plantas flotantes son Hawái, India y

Japón, este último cuenta con una planta de 100 kW (Aldale, 2017), el establecimiento de este tipo de plantas ampliaría los sitios de interés. Vega (2012) propone el alojamiento de plantas OTEC de 100 MW dentro de una plataforma flotante con una distancia de 10 km de la costa con capacidad de transportar 800 millones de kW/h a la red eléctrica cada año (Makai ocean engineering, 2017) representa una alternativa para los países con áreas reducidas en la línea de costa.

Energía mareomotriz en México

Actualmente existe gran interés en el sector energético mareomotriz, esto se refleja en el continuo proceso de diseño de dispositivos para su el aprovechamiento de la marea, en general tienen funcionamiento similar ya que emplean turbinas. Para la generación de energía se los dispositivos se clasifican en tres categorías; *tidal barrage*, *tidal stream* o *tidal current* y *tidal lagoon*. La primera se caracteriza por la construcción de una pared que bloquea un estuario con una presa o barrera, es una adaptación de la tecnología de las represas hidroeléctricas (Farris y Helston, 2017) y tienen como consecuencia cambios en la hidrodinámica del estuario ya que se rompe el flujo natural del agua en el sistema. Mientras que *tidal current* hace uso de la energía cinética para convertirla en energía eléctrica, los dispositivos empleados son comparables a las turbinas para el aprovechamiento de la energía eólica y *tidal lagoon* es similar a *tidal barrage*; se construye un rompeolas en forma de U dónde se alojan las turbinas, el agua llena y vacía la laguna artificial a medida que sube y baja la marea generando electricidad tanto en las mareas entrantes como salientes de la laguna artificial (Tidal lagoon power, 2017). El desarrollo de nuevos dispositivos no sólo tienen la finalidad de aumentar la eficiencia y mejorar los componentes de las tecnologías también se considera el componente ambiental para minimizar los impactos negativos al medio marino.

En México se han localizado los sitios potenciales para su aprovechamiento; el primero se ubica en el Golfo de California con amplitud de marea de 6 m y el Canal de Yucatán por corrientes de marea (Romero, 2013), de acuerdo al mapa de potencial de aprovechamiento de la costa chiapaneca las mareas tienen amplitud aproximada de 70 cm (figura 14). Los datos de predicción de marea por el Servicio mareográfico-UNAM para el mes de enero del presente año para la pleamar promedio fue de 1.3 m, sin embargo se presentaron pleamares medias superiores (PMS) hasta 1.71 m a partir de 1:00 a 5:00 am (CICESE, 2018). Con base a los datos del Instituto de Energía de Australia (2004) la amplitud de marea para la generación de energía, generalmente tendría un rango de 7 m, es importante señalar este valor considera la instalación de

varias turbinas para la interconexión con la red eléctrica, es decir un proyecto a gran escala. Este tipo de energía puede ser aprovechada en el mar así como en ríos y estuarios (Farris y Helston, 2017). Una de las principales ventajas de este tipo de energía es la predicción de la amplitud de la marea lo cual permite estimar las fluctuaciones en el suministro de energía causadas por las oscilaciones mensuales.

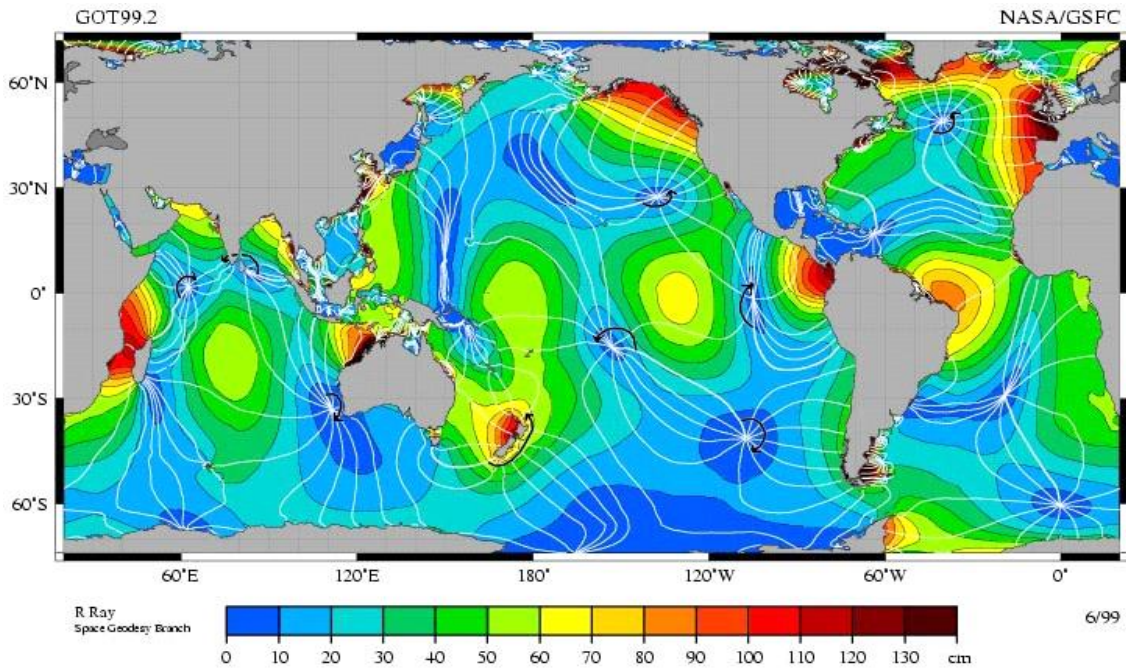


Figura 14. Potencial mareomotriz a nivel mundial. Fuente: CEMIE-O; Corrientes y mareomotriz, evaluación de recurso energético.

Energía mareomotriz en la región IX Istmo-Costa

En la región se propone el aprovechamiento del corrientes de marea para generar energía en escala local, es decir que suministre a un determinado número de comunidades, esto también permitirá realizar pruebas de dispositivos para posteriormente aumentar la producción de energía. Esta propuesta se fundamenta en el costo elevado de la construcción de infraestructura como *tidal barrage*; caracterizada por el establecimiento de una barrera que bloquea un estuario, es posible la instalación de puertas de seguridad y paso para los peces (Harris, 2014), aún existe incertidumbre sobre los impactos negativos de estas tecnologías por ello se sugiere realizar pruebas a pequeña escala para estructurar los monitores de impacto ambiental.

Entre los factores físicos a considerar para la selección del sitio para la instalación de dispositivos para el aprovechamiento de corriente de marea estan la topología del lecho marino; las superficies planas facilitará el establecimiento de las turbinas, el sitio debe estar cerca de la costa por el costo de montaje de las líneas de transmisión

eléctrica desde la turbina a la red esta condición también permite la reducción del costo de mantenimiento (Desmukh y Gawas, 2015), El-Geziry *et al.* (2009) mencionan la configuración del lecho marino con fondo de roca o un material estable es favorable ya que permite la instalación segura de la estructura de soporte. Además la presencia de huracanes en la costa chiapaneca, la alta sismicidad del Estado se debe a la interacción de tres placas tectónicas: la placa oceánica de Cocos, las placas de Norteamérica y del Caribe (Mora *et al.*, n. d.). Al sur de Oaxaca la placa de Cocos se subduce bajo la del Caribe afectando con ello el Estado de Chiapas. El movimiento horizontal de la placa del caribe con respecto a la placa Norteamericana produce temblores que afectan a este Estado (Rosenblueth, 1992), asimismo el componente biológico como la presencia de áreas con elevada riqueza de especies o con especies en categoría de peligro de extinción limita la instalación de una *tidal barrage* podría tener repercusiones en la fauna del medio marino.

IMPACTOS DE LAS ENERGÍAS OCEÁNICAS RENOVABLES

El desarrollo tecnológico, social y económico debe estar equilibrado con la conservación del ambiente por ello es necesario realizar estudios antes, durante y posterior de la instalación de este tipo de tecnologías para elaborar un registro de los posibles cambios y tendencias de degradación, cabe destacar que los ecosistemas son resilientes, es decir tienen la capacidad de amortiguar los cambios sin comprometer su funcionamiento, esto dependerán de las características de los ecosistemas. La resiliencia de los ecosistemas se relaciona directamente con dependencia de la sociedad por los recursos naturales que utiliza por ello es importante determinar cuáles son los efectos a corto, mediano y largo plazo sobre el ecosistema en uso. Un factor importante que ha postergado la instalación en serie de dispositivos extractores de energía oceánica es la incertidumbre sobre impactos de dichos dispositivos en el ambiente circundante, ciertas tecnologías se encuentran en fase inicial de desarrollo. Los estudios existentes son de prototipos, esta carencia de información provoca que los permisos que deben ser otorgados a las empresas o instituciones sean negados.

A causa de la falta de estudios de impacto ambiental solo se tienen una lista de posibles impactos negativos, por ejemplo para el aprovechamiento de la energía del oleaje se propone colocar varios dispositivos que resultan no sólo en el uso de una mayor extensión también afectación visual que puede causar la inconformidad de la población, estos dispositivos se pueden convertir en barreras para el desplazamiento de las especies en estas zonas (Boehlert y Gill, 2010).

Impactos por el aprovechamiento de la energía por de gradiente térmico

Los impactos dependerán del tipo de dispositivo y sus dimensiones, en el caso las plantas OTEC que hacen uso de cables submarinos para el transporte de energía, estos emiten campos electromagnéticos (CEM) podría afectar el comportamiento de las comunidades que emplean los CEM para su ubicación espacial, orientación, comunicación o alimentación. Gill *et al.* (2014) señalan la falta de información sobre los efectos de los CEM en diversas comunidades de especies marinas, se tiene conocimiento de las posibles afectaciones de estos estresores en los elasmobranquios, tortugas marinas, decápodos, mamíferos marinos y los peces teleósteos son sensibles a fuertes emisiones de campos eléctricos, es importante añadir la incertidumbre que existe sobre la extrapolación de los resultados obtenidos en los laboratorios sobre los efectos *in situ*. También se menciona el riesgo de la fuga de amonio, el cual es empleado como fluido de trabajo por su bajo punto de ebullición

en las plantas de ciclo cerrado, tendrían repercusiones en el medio marino, no obstante Golmen y Yu (2015) mencionan que los riesgos relacionados con el amonio serán bajos y manejables por la vasta experiencia con esta sustancia.

La liberación del agua de mar proveniente de las profundidades en la superficie de la zona costera ocasionaría la pérdida de ecosistemas naturales como los arrecifes de coral y los pastos marinos adaptados a ambientes cálidos y pobres en nutrientes (Hammar, 2015), por esta razón se realiza la determinación de las características físicas, el régimen de flujo y la trayectoria de la pluma de descarga de OTEC. El flujo de la pluma será más frío, su mayor densidad hará que se hunda hasta una profundidad donde la temperatura sea igual (Comfort y Vega, 2011). Además de la diferencia de temperatura, el contenido de nutrientes podría incrementar la producción primaria lo que conlleva a la disminución de los niveles de oxígeno disuelto o causar proliferación de algas tóxicas por ello la determinación de la profundidad de descarga es un factor crucial. Los organismos en las proximidades de las descargas pueden ser arrastrados, si la descarga es cercana de la superficie, el cambio de presión provocará la liberación de algunos gases como los carbonatos disueltos los cuales pueden cambiar el pH del cuerpo de agua (The Coastal Response Research Center, 2010).

Garduño *et al.* (2017) enuncian los impactos ambientales posibles en la superficie (entre 100 y 150 m); descargas industriales, sanitarias, liberación de revestimientos tóxicos al mar, arrastre y compresión de organismo. Estas descargas están categorizadas en aguas residuales por la Comisión Nacional del Agua, son una fuente de nutrientes que propician la eutrofización del medio marino, crecimiento acelerado de micro y macro organismos fotosintéticos por el contenido de N y P (Hernández, 2013). A pesar de la carencia de información sobre la magnitud del impacto de las descargas de las plantas OTEC en la zona costera se tiene el conocimiento de las consecuencias de diversos nutrientes, por ejemplo el ión NO_3^- proveniente de estas descargas residuales afectan a los invertebrados acuáticos debido al incremento de la concentración y tiempo de exposición, los invertebrados de agua dulce son más sensibles a niveles altos de NO_3^- esto causado por la relación de la salinidad con el tamaño de las especies sin embargo la sensibilidad de algunas especies de invertebrados es mayor en los primeros estadios (Camargo *et al.*, 2005).

En relación con los subproductos de las plantas OTEC el empleo del agua de fondo en proyectos acuícolas requiere cuidadosa consideración y conciencia de riesgo (Hammar, 2015), por ejemplo una familia adaptada a temperaturas bajas son los

salmónidos, se reproducen con temperaturas entre 9 a 13°C para su maduración y 13 a 18°C en las fases de crecimiento-engorda (Flores y Vergara *et al.*, 2012) también se pueden cultivar ostras, langosta, abulones, kelp y nori (alga comestible) (Matsuni y Takahashi, 1993).

Sin embargo el uso de agua de fondo por su mayor composición de nutrientes tiene sus limitaciones, por ejemplo el nitrógeno deben ser transformados por bacterias anaerobias facultativas para poder pasar a la fase de desnitrificación y amonificación para continuar con el ciclo el cual contribuye con alta producción primaria característico de los ecosistemas costeros (Rowe y Phoel, 1992), estas bacterias son necesarias para la continua transformación del nitrógeno por ello no se puede afirmar que el bentos y necton, también está relacionado con la preocupación de los florecimientos o *blooms* algales nocivos, puedan hacer uso de estos nutrientes de forma directa, esto se respalda en lo mencionado por Lewin y Borowitzka (2005) sobre la relevancia de las cianobacterias en el proceso de conversión de N en componentes orgánicos, esto es necesario para la nutrición de otras especies de la cadena trófica.

Impactos de las tecnologías para el aprovechamiento de la energía mareomotriz y undimotriz

En relación con la energía mareomotriz y undimotriz el ruido emitido por las turbinas puede causar estrés, los efectos pueden ser directos al dañar los tejidos sensoriales o indirectos al cambiar su comportamiento, es importante evaluar los efectos acumulativos del sistema (Frid *et al.*, 2012), algunos incidentes de varamiento de ballenas son el resultado a los ruidos subacuáticos provocados por actividades militares esto proporciona información sobre efectos que se podrían presentar (Comisión europea del ambiente, 2016). De acuerdo con Hammar (2014) a pesar que se han observado cambios en el comportamiento en especies expuestas a ruidos producidos por turbinas con una distancia de diez metros la evidencia de esta modificación en el comportamiento fuera del laboratorio no es concluyente por lo tanto es necesario realizar estudios *in situ* durante el funcionamiento de los dispositivo para la determinación de los impactos y continuar con la fase de propuestas de medidas de prevención y mitigación

Estudios realizados en Corea del Sur pronosticaron daños ambientales en el caso de la energía mareomotriz como la reducción del área intermareal, disminución en la calidad del agua del mar y desaparición de la fauna (Quintero y Quintero, 2015). La Rance en Francia, fue la primera central comercial de energía mareomotriz para ello se requirió la construcción de un dique para el almacenamiento de agua, el estudio

realizado por Retiere (1994) señala que durante el periodo de construcción el estuario fue aislado durante tres años y se observaron cambios en la corriente de marea ocasionando un nivel constante, la reducción de este rango está relacionado con la disminución del área de la zona intermareal, antes de la construcción de la central el área representaba el 70% posterior a su establecimiento el área está constituida por el 50%, sin embargo las tasas de reproducción y el crecimiento de algunas especies de especies en esta zona no fueron afectadas por las nuevas condiciones.

En la costa chiapaneca la mayoría de las especies de peces son demersales, estos mantienen una interacción con los sistemas lagunares-estuarinos. Durante el periodo de lluvias, en el mes de mayo, se ha registrado el incremento en la abundancia y la riqueza de especies pelágico costeras porque aumenta la salida de especies de los sistemas lagunas-estuarino esto coincide con la presencia de surgencias en primavera debido a la concentración de clorofila a (López, 2010),

Núñez-Orozco *et al.* (2013) menciona el resultado de la alta diversidad y riqueza en la plataforma continental del Golfo de Tehuantepec está influenciada por los sistemas lagunares-estuarinos y su intercomunicación con el área marina por ser una zona de crianza y protección para las diferentes especies que habitan ambos ecosistemas. Estos sistemas son cruciales para la estabilidad no solo a nivel ambiental también socio-económico por lo tanto la planificación para la introducción de un dispositivo en la costa del Estado o en sistema estuarino afectaría la reproducción de las especies debido a la restricción del paso a estos sistemas, los inventarios sobre la presencia de especies y registros de la abundancia en la temporada de reproducción es un indicador para comparar los cambios precedentes y posteriores de la construcción así como en la fase de operación o prueba del dispositivo o planta.

Harris (2014) señala la presencia de la descarga de residuos en el estuario Severn y el canal de Bristol. La reducción del rango de marea provoca que la mezcla vertical disminuya por la menor cantidad de partículas suspendidas en el estuario por ende aumenta la penetración de la luz, esta condición aunado al incremento de contaminantes por las descargas industriales, agrícolas y domésticas provoca cambios en la calidad del agua además la presencia niveles altos de nutrientes con mayor penetración de luz puede conducir al aumento de la producción primaria y eutrofización (Wolf *et al.*, 2009).

Los principales efectos de la eutrofización sobre los productores secundarios involucran cambios en la biomasa como en la estructura de las distintas comunidades.

En los sistemas eutróficos puede tener lugar la degradación del hábitat, debido a la pérdida de la zona litoral con vegetación acuática sumergida, afectando a las especies asociadas a esta zona. El aumento en la biomasa de los productores primarios ocasiona las variaciones de OD, la mayoría de los peces son sensibles a estas fluctuaciones mermando sus poblaciones por la falta de OD así como el aumento en las concentraciones de amonio debido a las altas tasas de descomposición de la materia orgánica (Mazzeo *et al.*, 2002).

Los dispositivos introducidos en el medio marino son colonizados, como se mencionó anteriormente la determinación de la abundancia y riqueza de especies es crucial antes del establecimiento de las tecnologías con el objetivo de identificar cambios en la composición faunística de la columna de agua; presencia de especies invasoras, ausencia de especies o disminución en la población. La presencia de especies generalistas provoca un desequilibrio en la cadena trófica por ello es importante evaluar el impacto a nivel poblacional, esto no solo tiene afectaciones en el sistema biológico también en el ámbito social por la pesca. Algunos dispositivos tienen la función de barrera, posterior al establecimiento de la *tidal barrage* en La Rance no se observaron efectos importantes en la comunidad de peces, no obstante durante ese periodo el área tenía una industria pesquera de menor escala.

Los movimientos migratorios se verán afectados, las barreras como las represas impiden que los peces anádromos arriben al área de desove en agua dulce (Hooper y Austen, 2013) manifestándose en la merma poblacional, asimismo las especies con requerimientos específicos en el hábitat vulnerables a los cambios en los sistemas acuáticos lo que resulta en la modificación de la red trófica, pese a la colonización de especies en las áreas con perturbaciones antropogénicas, estas son principalmente generalistas y se puede presentar el establecimiento de especies invasoras, de acuerdo con Fith *et al.* (2013) las comunidades que se encuentran en estructuras artificiales son menos diversas en comparación con los hábitats naturales.

Otros impactos incluyen riesgo de lesión o colisión de mamíferos marinos y peces con las barreras o turbinas con respecto a la colisión de cetáceos las medidas implementadas son restricciones estacionales del paso de los barcos, reducción de la velocidad de las navegaciones en determinadas áreas y distancias mínimas de aproximación (Wilson *et al.*, 2007). Comprender y proporcionar información que coadyuve a generar medidas preventivas y de mitigación sobre los impactos de los proyectos de energía mareomotriz sobre los ecosistemas no sólo garantiza la

conservación de los sistemas naturales también contribuye en la aprobación de los proyectos.

MÉTODOS DE MUESTREO PARA IDENTIFICAR IMPACTOS DE LAS ENERGÍAS OCEÁNICAS RENOVABLES

Los métodos de muestreo dependerán de las características específicas de las zonas objetivo, el método de extracción, el tipo y número de dispositivos que serán colocados sin embargo existen factores que debe ser cuantificados de manera general como son los físico-químicos, estos factores son importantes por presentar cambios estacionales; es importante identificar si las fluctuaciones se originan por procesos naturales o son resultado de las modificaciones en los sistemas acuáticos por actividades antropogénicas. La selección de los métodos para la determinación de los factores abióticos dependerá de la accesibilidad de los investigadores a diferentes equipos, esta sección propone muestreo con diversos instrumentos y en un apartado específico para medir impactos de las energías oceánicas para el aprovechamiento del gradiente térmico y corrientes de marea.

Factores abióticos

En este apartado se presentan los factores abióticos que han sido monitoreados en diferentes partes del mundo asociados a la extracción de energía a partir de fuentes oceánicas. Además se proponen, en la tabla 4, los factores físico-químicos con mayor relevancia con base en su influencia en el sistema marino y los valores otorgados por medio de la escala de comparaciones múltiples de Saaty que permite ponderar la importancia relativa de las variables (Ramírez, 2004).

Los parámetros fundamentales son la temperatura y la salinidad, estos controlan numerosas reacciones químicas y bioquímicas en la columna de agua, con estos datos se puede elaborar gráficas que muestren la distribución vertical de estos factores para observar su comportamiento en las fase de construcción o establecimiento y funcionamiento de los dispositivos. En el litoral chiapaneco existe una carencia de información de la zona marina, los datos registrados se concentran en el subsistema oaxaqueño del Golfo de Tehuantepec, los elementos que complementarían la fase de caracterización es la elaboración de los perfiles de la distribución de la temperatura y salinidad, esto coadyuvaría a la toma de decisiones para determinar la viabilidad de una planta OTEC o en el caso de corrientes de marea por los cambios en los flujos de agua dan como resultado fluctuaciones en la salinidad de estuarios.

La termoclina, picnoclina y capa de mezcla se obtienen mediante el algoritmo híbrido MLD (*mixed layer depth*), para determinar la profundidad de la termoclina se usa el

método del umbral; define la profundidad a la cual la temperatura o los perfiles de densidad cambian de acuerdo a un valor predefinido y relativo con referencia de los registros de la superficie (García *et al.*, 2012). Romero (2013) elaboró el perfil de la temperatura utilizando los datos registrados de SEMAR y NOAA con periodo de dos años y obtuvo el promedio de la TSM y con profundidad a 600 m, también se pueden consultar los datos en el portal de la Administración Nacional Oceánica Atmosférica (NOAA) por medio de Atlas Mundial del Océano; esta herramienta permite al usuario seleccionar un área geográfica, profundidad y variable oceanográfica para obtener datos estadísticos relacionados con dicha variable. Sin embargo para corroborar los resultados obtenidos por estos modelos es importante recabar datos *in situ* para la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto (OD), pH y conductividad se emplea una sonda multiparamétrica.

Asimismo el OD puede ser estimado por método de Winkler; este factor influye en los procesos biogeoquímicos de la columna del agua ya que puede ser utilizado para la oxidación de amonio u otros compuestos (Espinosa, 2013), materia orgánica suspendida por el método de Walkley y Black (1934), la cuantificación de los nutrientes como nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-), amonio (NH_4^+), ortofosfatos; la determinación de iones nitrito está fundamentado en la reacción de Griess y aplicada al agua de mar por Bendschneider y Robinson; el nitrito presente en la muestra es cuantificado colorimétricamente haciendo reaccionar dos compuestos aromáticos formando el compuesto colorido diazo rosa intenso el cual es proporcional al NO_2^- contenido en la muestra, en el caso del ion nitrato consiste en la reducción de NO_3^- a NO_2^- mediante la columna reductora de cadmio y se mide la suma de las concentraciones de iones y con el método de reducción por columnas de Cd-Cu descrito por Stickland y Parsons (1972), para amonio se puede emplear el método de Koroleff (1989) y por último para ortofosfatos se propone el método descrito por Murphy y Riley (1962). El análisis de estos factores es clave debido a los aportes alóctonos de nutrientes procedentes de la actividad industrial, agrícola y aguas residuales transportados por ríos, los nutrientes claves en la eutrofización son el nitrógeno y el fósforo (Quintero *et al.*, 2010).

La transparencia en los cuerpos de agua está relacionada con la productividad del sistema, la turbidez es consecuencia de la concentración de los sólidos no disueltos y suspendidos (Carbajal, 2009), para la medición de esta variable se utiliza el disco de Secchi o el turbidímetro.

Otro factor a considerar es la concentración de clorofila, es empleada de forma indirecta para estimar la biomasa de las comunidades fitoplanctónicas, es un indicador del grado de contaminación de los ecosistemas acuáticos (Rivera *et al.*, 2005), en ocasiones los valores altos de clorofila *a* (Chl *a*) manifiestan el excedente de biomasa fitoplanctónica provocando sobresaturación de fitoplancton diurno y/o agotamiento de oxígeno disuelto (CONABIO, 2011), para calcular la Chl *a* se lleva a cabo la filtración de un volumen conocido de agua en filtros GF/F para realizar espectrofotometría y por último se emplean las ecuaciones de Parson *et al.* (1984) (Calvario-Martínez y Domínguez-Jiménez, 2007) asimismo las imágenes satelitales ofrecen una alternativa para estimar la producción primaria en los océanos con amplia variabilidad espacio-temporal (Álvarez-Borrego, 2011) por ejemplo se emplean observadores vía satélite como SeaWiFs, Aqua/MODIS o Coastal Zone Color Scanner Experiment (CZCS). Esto nos proporcionara información sobre el grado de contaminación de las zonas costeras, las actividades antrópicas no solo tienen impactos en la parte terrestre también se expresan en el medio marino por ser receptor de diferentes contaminantes provenientes de actividades agrícolas, ganaderas, turísticas, entre otras. Estos métodos son ampliamente usados en México para la determinar de la calidad del agua de ríos, lagunas, esteros, entre otros con el propósito de identificar las causas de la eutrofización de los cuerpos de agua.

El análisis de la hidrodinámica de los cuerpos de agua continentales, en el caso del aprovechamiento de las mareas, se emplean modelos de tipo 2D como el DIVAST (velocidades integradas de profundidad y transporte de soluto) para el modelado de los procesos de transporte de sedimentos y de bacterias son de tipo 1D como FASTER (Transporte de fluidos y solutos en estuarios y ríos), en el estudio realizado en el estuario de Severn y el canal de Bristol se implementaron estos dos modelos para lograr mayor eficiencia y precisión, en el modelo 2D incluyeron el riesgo sanitario y la evaluación de riesgo de inundación (Ahmadian *et al.* 2014). Kadiri *et al.* (2014) emplearon CSST un modelo de caja única y estado estacionario que recibe los datos de nutrientes de los ríos circundantes y las descargas, predice las concentraciones para el equilibrio de los nutrientes y la tasa de crecimiento del fitoplancton.

Además utilizaron los datos de las cargas de nutrientes totales; las cuales estimaron como el producto del flujo anual de cada nutriente a partir de datos mensuales, esto con el propósito de evaluar el potencial de eutrofización del estuario de Severn por el aprovechamiento de las mareas. Otros modelos bidimensionales utilizan ecuaciones de momento para la hidrodinámica, como el modelo de Rowinski y Kubrak (2002) para calcular el perfil vertical de velocidades, la fuerza de arrastre para la consideración de

la disminución de la velocidad del flujo y el *California Tidal Wetland Modeling System* (CaITWiMS) para el cálculo de arrastre en un esquema integrado en la vertical. El modelo *Continuous Stirred-Tank Reactor* (CSTR) para la determinación del cambio de concentraciones con base en la cantidad de contaminantes que se mueven de una sección a otra simulando un reactor continuo (González-López y Ramírez-León, 2011).

Por último la modelación de la hidrodinámica permite tener predicciones de los posibles escenarios, sin embargo es necesario complementar esta información con monitoreos *in situ* para su validación, en estos muestreos se emplean instrumentos como corrientímetro vector que aporta datos de la velocidad del flujo y datos del nivel de agua a partir de mediciones de presión así como instrumentos CTD (Conductividad, temperatura y profundidad) para la medición de la conductividad, temperatura y profundidad y corrientímetro acústico ADP (Perfilador acústico doppler) con el propósito obtener perfiles de velocidad de la columna de agua (Medellín *et al.*, 2013).

Factores bióticos

Uno de los países que cuenta con un manual de monitoreo para las tecnologías de aprovechamiento de energía oceánica es Portugal, en el manual identificaron tres elementos claves para el monitoreo de la biodiversidad como son la comunidad bénticas asociados al fondo marino, repercusiones socio-económicas en las pesquerías por los recursos presentes por último la presencia de cetáceos, tortugas, aves y peces grandes.

Estos elementos permiten conocer como los factores físico-químicos han influenciado la estructura trófica del sistema para la clasificación de los efectos con base a su temporalidad corto, mediano y largo plazo. Sin embargo no se debe omitir el cambio en la cobertura vegetal, factor que indica tendencias de degradación por el desarrollo de actividades antropogénicas. El establecimiento de tecnologías para el aprovechamiento de la energía del océano en algunos casos será necesaria la construcción de infraestructura en la zona terrestre y el análisis de la vegetación permitirá identificar las áreas donde será favorable la instalación de acuerdo a la cobertura vegetal y degradación del suelo.

La metodología empleada es el uso de imágenes satelitales su procesamiento en Sistemas de Información Geográfico (SIG) y cálculos por los Índice de Vegetación Normalizado así como el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) posteriormente se realiza el estudio de cambio de uso de suelo por el Análisis de Componentes Principales (ACP) (Torres *et al.*, 2014), esto con el objetivo de visualizar las áreas donde se presente menores afectaciones por el cambio de uso de suelo y

perdida de la vegetación, asimismo este factor se comparada con la distribución de especies claves, endémicas y/o en peligro de extinción para minimizar las presiones antropogénicas en áreas con elevada riqueza de especies.

La biota marina es afectada directamente por las fluctuaciones de los factores físico-químicos, por ejemplo producción primaria está relacionada con la cantidad de penetración de luz, fuentes de carbono disponible y la presencia de nutrientes. Este factor repercute en la presencia de especies de la columna de agua ya que son alimento de organismos mayores. La presencia de determinadas especies señalan la eutrofización de cuerpos de agua por ello se realiza la cuantificación de este factor, con métodos como el empleo de botellas claras y oscuras, ^{14}C así como el uso de imágenes satelitales cuándo se requiere de la estimación de zonas extensas.

La fauna bentónica contribuye en la degradación del sedimentos y proporciona nutrientes al medio, son indicadores de condiciones tróficas en los cuerpos de agua además son fuente de alimentación de especies piscícolas de importancia para la acuicultura (Quiroz *et al.*, 2000). Por ello es crucial determinar si la disminución de la esta comunidad es causada por la presencia de dispositivos para el aprovechamiento de la energía del océano o son resultado de otras actividades antropogénicas. Se emplean instrumentos como draga para la zona pelágica y tubos nucleadores para el litoral, por medio de buceos se obtienen de forma manual o con tubos de acrílico (Quiroz *et al.*, 2000; Morales-Zaráte *et al.*, 2016) posteriormente se realiza el tamizado y los organismos son identificados taxonómicamente.

Un factor poco estudiado es el efecto de los campos electromagnéticos (CEM) sobre el comportamiento de las especies, actualmente no existe un método establecido para este elemento, los dispositivos de extracción de energía del océano deben transmitir la electricidad producida por medio de un cable colector conectado a una subestación en la costa durante esta transmisión los cables emitirán CEM de baja frecuencia (Boehlert y Gill, 2010).

Por lo tanto, los campos electromagnéticos emitidos afectarán a las comunidades que usan los CEM para ubicación espacial, orientación, comunicación o alimentación, Gill *et al.* (2014) señalan la falta de información sobre los efectos de los CEM en diversas comunidades de especies marinas, se tiene conocimiento de las posibles afectaciones de estos estresores en los elasmobranquios, tortugas marinas, decápodos, mamíferos marinos y peces teleósteos, es importante añadir la incertidumbre que existe sobre la extrapolación de los resultados obtenidos en los laboratorios sobre los efectos de los campos *in situ*. Los cables de transmisión eléctrica blindados no emiten campos

eléctricos directamente sino que están rodeados por campos magnéticos (Bergstrom *et al.* 2014), un estudio realizado en la estación *South Florida Ocean Nation Surface Warfare Center* para determinar la influencia de las emisiones del CEM de los cables submarinos afectan la vida marina local y transitoria, el método empleado consistió en determinar la abundancia de especies por medio de transectos con profundidades de 5, 10 y 15 m antes y después del cambio en la frecuencia de transmisión, asimismo se observó el cambio en el comportamiento de los peces ante la variación en los CEM (Jermain, 2016). Los cables de transmisión submarinos que impulsan las plataformas petroleras en la región del Pacífico ofrecen una oportunidad para evaluar el comportamiento de las especies sensibles a los CEM provenientes de las actividades industriales, la metodología utilizada en el estudio realizado en las plataformas de Heritage, Harmony y Hondo en California consistió en el registro de las comunidades próximas de los cables por medio de buceos con transectos de 30 m de largo a profundidades de 10 a 11 m y 13 a 14 m, durante esta actividad se medían los CEM emitidos por el cable y la tubería, por medio de un sumergible tripulado con muestreos a profundidades entre 76 y 213 m (Love *et al.*, 2016).

Se requieren tanto estudios de laboratorio como de campo para identificar las respuestas potenciales de los organismos, los umbrales de efecto e impacto de los CEM (Collins, 2012), asimismo los estudios deben estar dirigidos a especies clave. Aunado a estos métodos, el uso de dispositivos como magnetómetros, los cuales se utilizan para medir la fuerza de los campos (Slater *et al.*, 2010), en el estuario de San Francisco se realizaron mediciones del CEM emitido por cables de corriente directa por medio de un magnetómetro sumergido remolcado por un buque de inspección en cuatro estaciones (Kavet *et al.*, 2016), el estudio se complementó con el monitoreo del desplazamiento del esturión verde para detectar la influencia de las anomalías magnéticas sobre su comportamiento. Otro instrumento implementado es el gradiómetro mide la velocidad de cambio o el gradiente de un campo magnético, generalmente este instrumento se construye mediante el uso de dos magnetómetros, mediante los cuales la diferencia en la señal de salida proporciona la medición del gradiente magnético (Slater *et al.*, 2010).

La contribución al aumento del ruido por las actividades antropogénicas durante las últimas décadas abrió el debate sobre su efecto en los organismos acuáticos, este factor que influye en la vida de muchos organismos marinos, por ello se han realizado estudios para evaluar su impacto. La asociación WavEC instalada en Portugal realiza monitores para conocer los impactos en el medio marino. Las mediciones de ruido se llevan a cabo con hidrófonos que permiten la grabación durante un largo periodo de

tiempo en una frecuencia de hasta 50 kHz. En la caracterización del medio marino se emplea un ROV (vehículo submarino operado remotamente) para la visualización de los hábitats, la información recabada es comparada con los registros previos de fauna en el sistema además de la evaluación de patrones de colonización en las estructuras artificiales, recolección de muestras, etcétera. El empleo de perfiles de velocidad de sonido se utilizó en las costas de Oregón durante diferentes épocas del año, el cual se relaciona con la presencia de ballenas, de acuerdo con Davis (2010) los datos de los perfiles de velocidad del sonido mostraron diversos grados de estratificación de la columna de agua y se colocaron en modelos físicos ambientales, los resultados se usaron para determinar los efectos de los niveles de ruido en el entorno marino y ayuda en la elaboración de propuestas para mitigar los impactos negativos.

Asimismo existe poca información sobre los efectos del ruido en las comunidades por lo tanto no se tienen medidas de control sobre este componente. Por último, un factor importante para la evaluación de los impactos ambientales es la función de los dispositivos para la protección de áreas con alta riqueza biológica por la restricción de la pesca así como la implementación de acciones para la conservación, prevención y mitigación en el área de interés

La estandarización de los protocolos de monitoreo mejorarán la evaluación de los impactos, Shumchenia *et al.* (2012) indica que esto permite seguir una única metodología en múltiples sitios con ello construir una base de datos uniforme de impactos ambientales para rectificar los estresores y receptores, aunado a esto el desafío, de acuerdo a Gill *et al.* (2014) consiste en comprender si tales efectos tienen influencia en los individuos y si representan un impacto significativo en las poblaciones y los ecosistemas para ello se requiere la recopilación de datos en un guía para el monitoreo ambiental. Sin embargo algunos impactos serán particulares de un área por lo tanto con base al conocimiento previo y las características de los cuerpos de agua la modificación de los protocolos es necesaria. Este tipo de herramientas aumentarían el conocimiento sobre los estresores que actúan sobre los receptores ambientales, la resiliencia de los sistemas acuáticos a los diferentes estresores además resalta las áreas donde la falta de información obstaculiza los estudios por lo tanto se abren líneas de investigación.

En el caso de las alteraciones del lecho marino por la acción de perforación, excavación, instalación de anclajes y cables de alimentación se realizarán evaluaciones para conocer los cambios en la composición de la biota con periodo de tres años, por último las evaluaciones en los cambios de movimientos migratorios

realizará con datos sobre la distribución, abundancia, patrones de movimiento y seguimiento satelital por un periodo de un año si las condiciones son normales (The Coastal Response Research Center, 2010).

En el caso particular de las costas mexicanas se proponen elementos para el monitoreo de la fauna de especies claves como las tortugas marinas, estas son vulnerables a la caza, cambio de uso de suelo por actividades económicas, entre otras por esta razón su presencia es indicador del estado de degradación de las playas. Un método de muestreo para estas especies consiste en recorridos nocturnos para la cuantificación de las hembras anidadoras y los nidos. Durante el monitoreo se registran el número de nidos, fecha, hora, ubicación, especie y número de huevos también se registran datos de los nidos depredados, saqueados, tortugas varadas o sacrificadas en la playa (CONANP, 2008). Asimismo el registro de los datos morfométricos de las hembras anidadoras como longitud (LCC) y ancho curvo del caparazón (ACC) y marcaje (CONANP, 2013). El monitoreo de las áreas de desove es importante para minimizar la degradación de las mismas por impactos negativos causados por las actividades antropogénicas.

La información anteriormente mencionada permitirá identificar las áreas de desove, en las cuáles el cambio de uso de suelo será restringido, asimismo la delimitación de los hábitats clave para las especies clave, endémicas, sujetas a protección especial, en peligro de extinción y/o amenazadas de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010 contribuirá a la identificación de sitios de interés para el establecimiento de dispositivos de energía de oceánica. Para ello se elaboran mapas para clasificar los usos de suelo de acuerdo a las potencialidades del mismo con el objetivo conservar las áreas con mayor riqueza biológica.

Dentro de los monitoreos específicos para las energías oceánicas se presenta la preocupación de los investigadores y autoridades por el riesgo de colisión de las tortugas, como propone Copping *et al.* (2016) el registro de datos obtenidos por instrumentos acústicos y ópticos sin omitir los registros, y avistamientos *in situ*.

A pesar de proporcionar una amplia gama de servicios ecosistémicos los bosques de manglar son vulnerables a las actividades antrópicas. Se propone la implementación del método descrito en Los manglares de México: estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo (CONABIO, 2017): en la primera etapa consiste en transectos por el método de cuadrantes centrados en un punto diseñado por Cottam y Curtis (1956) modificado por Cintrón-Molero y Schaeffer-Novelli (1983), cada transecto es georreferenciado y se registra la estructura forestal; área basal,

densidad, frecuencia, dominancia, valor de importancia y composición de especies. Este elemento es importante para identificar las tendencias de degradación que complementarían acciones para la conservación este hábitat así como determinar los posibles impactos de la introducción de energías oceánicas en áreas cercanas a bosques de mangle.

Finalmente los monitoreos deben estar basados en el pensamiento ecosistémicos y la legislación ambiental los cuales están orientados en la gestión del medio marino de una forma integradora y holística considerando los impactos acumulativos (Wilding *et al.*, 2017) basados en su temporalidad lo que conlleva en la elaboración de acciones a corto, mediano y largo plazo por ello la elaboración de las evaluaciones de impacto ambiental es importante considerar este enfoque así como la validación de estos métodos para llevar a cabo la comparación de los sitios de interés. Este enfoque permite evaluar la totalidad del sistema y determinar las variaciones de sus componentes, para garantizar la resiliencia de sus interconexiones.

Definición de factores y procesos generales a monitorear

En la tabla cuatro y cinco se mencionan los factores considerados relevantes para la identificación de los cambios en los sistemas terrestres y marinos de la zona de interés así como métodos empleados en diferentes países con posibilidad de reproducir con base al tipo de tecnología y la zona. Los elementos abióticos influyen en la estructura de la poblacional de la columna de agua por ello es importante cuantificar estos factores para diferenciar los impactos provocados por las energías oceánicas, las variaciones estacionales características de la zona de estudio e impactos de las actividades socio-económicas presentes en dicha zona, ya que las condiciones están en función de la ubicación geográfica, diversidad de especies, influencia de las actividades antrópicas, estado de conservación, entre otros.

Los factores como la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, clorofila, nutrientes y materia orgánica deben ser monitoreados de manera continua, es decir recabar la información sobre el estado del sistema antes del establecimiento, durante la construcción y en el periodo de operación para identificar los cambios en los procesos.

En el caso particular de una planta OTEC, elementos más importantes a evaluar se encuentra las descargas industriales o el régimen de flujo y la trayectoria de la pluma de descarga, dado que el aumento de los nutrientes conlleva a la eutrofización del medio marino. Los métodos propuestos serán los implementados para estudios de la calidad de agua para ríos, lagunas, etcétera. En Hawái se desarrolló un modelo para

predecir la trayectoria de la pluma de descarga dada las condiciones oceanográficas de la zona y la concentración de nutrientes.

Además de los factores abióticos contar con el inventario de la fauna local en los cuerpos de agua permite determinar los cambios en el sistema como la disminución en las comunidades ausencia de especies claves y la colonización de especies son consecuencia del aumento del ruido durante la construcción o establecimiento de los dispositivos, complementado con el registros de avistamientos de especies en la zona. Por ejemplo, la infraestructura que puede encontrarse suspendida en la columna de agua o en el lecho marino puede atraer organismos cambiando la estructura poblacional, el proceso de colonización se presenta en las fases de instalación, construcción y operación (Copping *et al.*, 2016). Además la presencia de especies generalistas representa una amenaza para la fauna local, por su desplazamiento o desaparición cambiando de manera permanente el hábitat.

Los métodos usados para determinar la composición de especies del bentos es por medio de filmaciones con ROV y respaldándose con buceos. En el canal Big Russel en Reino Unido se empleó la filmación para estimar la abundancia de especies y determinar las disimilitudes entre los ensambles de especies en los distintos puntos de muestreo (Sheehan *et al.*, 2013). Bald *et al.* (2013) señalan que el tipo de método dependerá de la profundidad en la que se encuentre la infraestructura. Los ROV son empleados para las filmaciones en diversos estudios por lo tanto su implementación en monitoreos de impacto ambiental es viable.

Uno de los temas que ha tomado mayor importancia dentro de los impactos de estas tecnologías es la preocupación tanto a nivel social como gubernamental de la colisión de especies contra la infraestructura, en particular de mamíferos, es uno de los factores con mayor relevancia para los tomadores de decisiones. Las ballenas están designadas como especies banderas lo que les atribuye mayor relevancia en la creación de planes de manejo de las zonas donde se encuentran distribuidas. Los datos sobre la distribución de cetáceos son integrados en la elaboración de los planes de manejo de las zonas costeras y en la creación de las áreas naturales protegidas marinas, para conocer los patrones espaciales de estas especies se usa la ecolocalización con CPOD, Thompson *et al.* (2015) emplearon este instrumento con un rango de frecuencia de 20-160 kHz para determinar los patrones de distribución de delfines, añadieron la identificación visual y las estimaciones de los tamaños de los grupos se obtuvieron de registros previos.

Para estimar la probabilidad de colisión se emplean modelos, el laboratorio Nacional de Oak Ridge en Tennessee desarrolló un modelo de área geométrica para analizar las tasas de encuentro y las consecuencias de la interacción de la fauna con la infraestructura de las energías oceánicas, el modelo estima la probabilidad de encuentro entre un organismo y una turbina sin embargo no considera la capacidad de las especies para evadir la infraestructura. Los resultados preliminares del modelo sugieren que la magnitud del encuentro estará en función en la ubicación de la turbina, las estructuras asociadas a la instalación, la velocidad del flujo del río y la turbidez (Copping *et al.* 2013). Desafortunadamente el modelo no ha sido validado con datos de campo pero el avance de estos modelos proporcionará información para el análisis de riesgo de la fauna.

La Asociación Escocesa de Ciencias Marinas (SAMS por sus siglas en inglés) (Copping *et al.*, 2013) desarrolló un modelo de riesgo de colisión para peces demersales, marsopas y aves basado en modelos de encuentro depredador-presa, los investigadores reconocieron que las suposiciones probablemente no sean válidas como la distribución uniforme de las marsopas así como el diseño de la turbina y la profundidad de despliegue no influyen en los resultados. Es probable que el modelo produzca sobrestimación del riesgo. A pesar de la falta de validación y las posibles estimaciones erróneas es un método para el análisis del riesgo de colisión de la fauna marina, es importante señalar que no todos los encuentros con turbinas conllevan riesgo por colisión. Copping *et al.* (2016) menciona el uso del modelo de riesgo ecológico a nivel población, el cual incorpora el comportamiento y forma de desplazamiento en particular en corrientes fuertes, con el propósito de estimar la mortalidad de peces relacionada con la presencia de turbinas. Estos modelos son complementarios con la información *in situ* de la distribución y comportamiento de las especies, la siguiente fase es el análisis del cambio en las interacciones de los organismos por el despliegue de múltiples dispositivos.

El tema de colisión está dirigido de manera general para las tecnologías del aprovechamiento de oleaje o por marea pero es importante señalar la presencia de cables en el fondo marino que actúan como obstáculos en el desplazamiento de la fauna. Por ejemplo las investigaciones sobre el cambio en la comunidad de aves marinas se relacionan con el aprovechamiento de la energía eólica fuera de costa. Esto se debe a la magnitud de la infraestructura en la superficie marina, lo cual podría conducir a colisión de esta comunidad o cambio en sus rutas migratorias. Sin embargo los dispositivos para generar energía por medio del oleaje podrían presentarse colisión

en el periodo de alimentación. Grecian *et al.* (2010) realizaron un análisis de potencia y se relacionó con la abundancia promedio de aves entre dos grupos: control y experimental. También se emplean métodos como avistamiento y detección con radar (Williamson *et al.* 2014). Las diferencias en el comportamiento de las aves marinas aunado a los componentes de los dispositivos para el aprovechamiento del oleaje se manifestarán en los impactos en el comportamiento de esta comunidad (Scott *et al.* 2014), por lo cual no se puede generalizar pero se pueden encontrar similitudes en las diversas especies que componen esta comunidad.

El sonido producido por la construcción o instalación de los dispositivos tendrá repercusiones en la fauna cuando supere los niveles de ruido establecidos por las leyes o normas en los ecosistemas y exceder el umbral de audición de las especies. Para el monitoreo de este factor la integración de diversos métodos podría ser la forma más factible de lograr un costo aceptable del estudio (Polagye *et al.*, 2014). Davis (2010) menciona el uso de perfiles de velocidad del sonido recopilados por un CTD, en un estudio dirigido por Küsel *et al* (2010), los datos mostraron el grado de estratificación de la columna del agua en conjunto con modelos físico ambientales para estimar la propagación y los niveles de sonido recibidos en el sistema. Estos resultados proporcionarán información sobre los efectos acústicos dañinos de los dispositivos para el aprovechamiento del oleaje sobre los cetáceos en las aguas costeras poco profundas de Oregón en Estados Unidos. Este método puede ser implementado en México, el uso de CTD ampliamente utilizado en estudios oceanográficos. También se emplean hidrófonos y cámaras con el propósito de cuantificar el ruido submarino.

A pesar de lo enunciado por Polglaze y Wright (2011) sobre mayor ruido producido por las actividades antropogénicas como el paso de embarcaciones, equipos para la perforación de las compañías petroleras y las plataformas en zonas del Mar del Norte, al noroeste del océano Atlántico y en el Golfo de México, los monitoreos sobre el impacto del ruido en todas las zonas es crucial para identificar las especies sensibles y cambios en la estructura poblacional.

La afectación de los CEM en el comportamiento de las especies es uno de los temas con menor información, la Administración de Energía en Bonneville, Oregón propuso el cálculo de los niveles de estos campos de los cables CA (Normandeau *et al.*, 2011) empleando algoritmos también se obtienen datos por medio de magnetómetros y se calcula la carga de TBC con la Ley de Biot-Savart (Kavet *et al.*, 2016). Este

instrumento es usado en nuestro país para levantamientos magnéticos así como en monitoreos del campo magnético. En la LGEEPA se menciona la regulación de la emisión de las radiaciones electromagnéticas es competencia federal y se menciona la creación de leyes para cumplir este propósito sin embargo las normas presentan mayor desarrollo del sector salud.

Las investigaciones de los impactos producidos por el aprovechamiento del rango de marea, Neil *et al.* (2017) indica que los estudios iniciales de la dinámica de los sedimentos se deben realizar con suficiente duración antes de los despliegues de dispositivos. Estos estudios son relativamente económicos comparados con la monitoreos fuera de la costa. También menciona el uso de ecosonda multihaz (MBES por sus siglas en inglés), es una técnica precisa para examinar grandes áreas del fondo marino. Debe considerarse el costo de usar este instrumento, no obstante el uso de este instrumento debe complementarse con muestras tomadas del fondo para realizar el análisis del tamaño de partícula para obtener la caracterización de los sedimentos, estos influyen en los organismos asociados a los arrecifes, por ejemplo el aumento en las tasas de sedimentación o suspensión conlleva a mayor turbidez que a su vez afecta el crecimiento de algas y organismos bentónicos (Kregting y Elsässer, 2016). También se emplea la herramienta MIKE 3 para realizar simulaciones de flujos superficiales y procesos asociados con sedimentos y calidad de agua.

Los resultados de estudios de transporte de sedimentos y colonización de fauna en la infraestructura y colisión pueden ser comparados con los resultados obtenidos de las investigaciones de los sistemas de conversión de energía eólica (WECS por sus siglas en inglés).

The Coastal Response Research Center (2010) recomiendan monitoreos continuos en el primer año de operación posterior a esto el área debe ser monitoreada de 3 a 5 años adicionales para evaluar la relevancia de los cambios en las características físico-químicas de la columna de agua. Esto con el propósito de determinar la vulnerabilidad del sistema, Yoon *et al.* (2014) la define como una función de la exposición ambiental, la sensibilidad y capacidad de adaptación este análisis integra la resiliencia como indicador del estado del sistema permitiendo anticipar y responder ante las amenazas al ambiente.

Las evaluaciones de impacto ambiental y por ende los monitoreos son necesarios en el proceso de permisos y licencias para los proyectos de energías oceánicas. O'Hagan *et al.* (2015) menciona en la Unión Europea varía el periodo de los estudios de

monitoreo relacionados con el sistema marino. En Irlanda la información presentada debe ser de un periodo de dos años, en Francia no existe una política sobre la duración de los estudios mientras que en Portugal se solicita un año de datos posterior se realiza una evaluación para establecer si se requiere información adicional y en España se basan en la escala del proyecto y la ubicación para determinar la duración del monitoreo.

En nuestro país la carencia de normatividad en el tema de las energías oceánicas conlleva a la incertidumbre sobre los límites de cambio en los sistemas biológicos y rechazo de los permisos para la instalación de dispositivos. Además la falta de información en las costas mexicanas es una limitante ya que los estudios de monitoreo requieren de un periodo de tiempo sustancial para que los resultados sean significativos o reflejen las tendencias de degradación de dichos sistemas. O'Hagan *et al.* (2015) señala que una forma para contrarrestar la falta de información y por ende la duración de los estudios es por medio de la participación de los Estados para recabar información de los cuerpos de agua, por lo tanto la información estaría disponible y se reducirán el periodo de los estudios. Esta propuesta permite tener un mejor análisis de los datos, en ocasiones la acumulación de información no refleja la problemática de los sistemas biológicos.

Los sitios de prueba desempeñan un papel clave para la obtención de información de los dispositivos implementados, actuando como centros para probar métodos y análisis de datos enfocados a los programas de investigación sobre energías oceánicas. Con estos datos se pueden extrapolar los efectos a diferentes sitios de interés y con ello promover la transición energética. Algunos de los usos en instalaciones industriales en los océanos son análogos con los dispositivos de energía oceánica por ello pueden generarse comparaciones para analizar las interacciones entre las infraestructuras, los factores físico-químicos y la fauna. Por ejemplo la presencia de boyas, plataformas y muelles en la literatura menciona su efecto de arrecifes artificiales (Copping, 2017), los estudios de estas estructuras y las comunidades que se distribuyen en su área circundante contribuirá a la comprensión de la interacción de las especies, distribución y abundancia de las mismas.

Copping (2017) enumera seis recomendaciones para contribuir con el avance en las energías oceánicas. Dos de estos puntos se enfocan en compartir la información recabada para la estandarización de métodos e identificación de impactos en diversos sitios de interés. Uno de los puntos más importantes es diseñar estudios para abordar la incertidumbre sobre los impactos de un conjunto de dispositivos, esto por el

continuo despliegue de información sobre efectos de dispositivos individuales. No obstante los estudios de los dispositivos individuales permiten determinar posibles impactos pero en algunos casos los resultados no son representativos debido al periodo de prueba y el tamaño del dispositivo. Cambios en la estructura poblacional o el comportamiento de las especies se manifestarán en el establecimiento de un conjunto de dispositivos.

La validación de los monitoreos permitirá la instalación de los dispositivos y contribuir con el desarrollo sustentable de las zonas costeras. La sustentabilidad como parte del desarrollo en las costas se logra en la intersección de los elementos ecológico, social y económico. Los proyectos deben ser ecológicamente viables integrando la funcionalidad de los ecosistemas, el concepto de capacidad de carga para mantener la biodiversidad, la visión económica para abarcar el crecimiento con equidad y la eficiencia del uso de los recursos e inclusión del elemento social para promover su participación con prospección a mejorar la calidad de vida (Moreno-Casasola y Peresbarbosa, 2005). Esta modalidad de desarrollo sustentable permitirá el progreso de la zona costera chiapaneca, como menciona Azuz *et al.* (2011) a nivel nacional en el litoral se manifiesta la carencia de infraestructura vial, hidráulica, telefónica, eléctrica, de salud y educativa, por ello se creó la Política Nacional para el Desarrollo Sustentable de Océanos y Costas de México con objetivos como el fortalecimiento de las acciones coordinadas de las instituciones costeras y marinas, promoción del bienestar social y económico.

La revisión de los ordenamientos ecológicos marinos (OEM) es necesaria para conocer las actividades permitidas, prohibidas y el procedimiento para obtener permisos en estas zonas. El OEM fue oficialmente incorporado a la LGEEPA para regular las actividades humanas, revertir el rápido deterioro de los recursos y ecosistemas marinos, y promover el esquema de Manejo Integral de la Zona Costera, la conservación de la biodiversidad sin frenar el crecimiento de la industria petrolera, turística, pesquera y acuícola (Espinoza-Tenorio *et al.*, 2014). Las acciones e instrumentación del programa ecológico marino se respalda en el Programa de Nacional de Investigación Oceanográfica, el cual integra la zonificación como componente para el desarrollo de la investigación y prácticas sustentables en las actividades costeras incluyendo a las ER. Por ello los monitoreos deben acatar la normatividad de dicha política y con los resultados obtenidos crear medidas con el propósito de para asegurar la conservación así como el crecimiento socio-económico de estas zonas que generalmente cuentan con alto índice de marginación.

A continuación en la tabla 3, se puede observar un resumen de lo presentado en este capítulo para definir los diferentes parámetros abióticos y bióticos y los métodos de muestreo para cada uno de ellos. En particular en la tabla 5 se observan aquellos que como resultado de este análisis se consideran esenciales para energías por gradiente térmico y corrientes de marea.

Tabla 3. Métodos de muestreo para identificar cambios en la columna de agua

Abióticos		Bióticos	
Parámetro	Método	Parámetro	Método
Temperatura	Multiparamétrico, datos de NOAA o empleo de MLD	Presencia de especies	Abundancia, riqueza y diversidad
Salinidad	Multiparamétrico, MLD o refractómetro	Ubicación de especies dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010	Elaboración de mapas por medio de SIG
Oxígeno disuelto	Multiparamétrico o método de Winkler	Monitoreo de manglar	Determinar ausencia o presencia ¹
			¹ Método de cuadrantes centrados
Determinación de nutrientes	NO ₂ ⁻ método de Bendschneider, NO ₃ ⁻ método de Stickland y Parsons, NH ₄ ⁺ método de Koroleff, ortofosfatos método descrito por Murphy y Riley y fósforo total Menzel y Corwin	Presencia de quelonios	Determinar ausencia o presencia ²
			² Datos de distribución, recorridos nocturnos, cuantificación de hembras anidadoras y los nidos, y toma de datos morfológicos
Clorofila	Espectrofotometría o imágenes satelitales	Análisis de la vegetación y detección de cambios	1. NDVI (Índice de Vegetación Normalizado) 2. SAVI (Índice de Vegetación Ajustado al Suelo)
Turbidez	Disco de Secchi o turbidímetro	Fauna bentónica	Draga Ekman, tubo nucleador, muestreos con buceos empleando espátulas para la toma de muestras
Materia orgánica suspendida	Por medio de titulación	Producción primaria	Botellas claras y oscuras, ¹⁴ C e imágenes satelitales

Tabla 4. Matriz de los factores y la influencia sobre otras variables

Propiedades conservativas	Variables sensibles	Valor Saaty*	Efecto
Temperatura	Oxígeno disuelto, pH, presencia de especies	9	Afecta en la maduración y reproducción de las especies. Se presenta una relación inversamente proporcional entre la temperatura y el OD (Muñoz <i>et al.</i> , 2015), ya que la actividad de algunas especies incrementa cuando se presenta mayor temperatura, que resulta en consumo de OD. A mayor temperatura el pH aumenta en la superficie como consecuencia de la disminución en las concentraciones de bicarbonato y CO ₂ (Ordoñez, 2010).
Salinidad	Presencia de especies, OD	7	El aumento de la salinidad tendrá repercusiones en las comunidades de invertebrados, microalgas, vegetación riparia, entre otros. La toxicidad de los contaminantes puede aumentar o incluso permanecer constante en presencia de la salinidad (Dunlop <i>et al.</i> , 2005). La velocidad de difusión del OD es inversamente proporcional a la salinidad (Lange <i>et al.</i> , 1972).
Oxígeno disuelto	Abundancia de especies, pH	5	La disminución en los valores de OD provoca la merma población de las especies con baja tolerancia a estas las fluctuaciones. El consumo de OD dependerá de la actividad metabólica, especie, tamaño, gasto energético, dieta, temperatura, entre otros (Castelló, 1993). Cuando se presenta un pH ácido las concentraciones de OD son bajas mientras que un pH alcalino el OD aumenta (Gil-Águilar <i>et al.</i> , 2013).
Concentración de nutrientes	Producción primaria, eutrofización, turbidez	3	El incremento de nutrientes está relacionado con el aumento de la producción primaria. Aumento de la actividad bacteriana por descomposición. Mayor turbidez en los cuerpos de agua causada por el incremento de la materia orgánica. Presencia de materia orgánica en descomposición o suspendida podría indicar eutrofización.
pH	Producción primaria, blanqueamiento de colares, nutrientes	1	Al aumentar el pH, el porcentaje de carbonato es mayor y se observa se manifiesta con valores máximos de producción primaria (Ordoñez, 2010). Reducción de la biodiversidad, blanqueamiento y en algunos casos muerte de arrecifes coralinos (Rojas-Higuera y Pabón-Caicedo, 2015)

*Estos valores se basan en la escala de Saaty; 1 = igual importancia, 3 = importancia moderada, 5 = más importante, 7 = mucho más importante y 9 = absolutamente importante (Golubov *et al.*, 2014)

Tabla 5. Métodos de muestreo de impactos de energía por gradiente térmico y corrientes de marea

Abióticos		Bióticos		
Indicador	Método	Indicador	Método	Tipo de tecnología
Hidrodinámica	Modelos 1D o 2D, corrientímetro vector, CTD	Abundancia de especies marinas	Avistamientos, muestreos, filmaciones y vehículo submarino operado remotamente (ROV)	Corrientes de marea, planta OTEC
Emisión de campos electromagnéticos	Magnetómetros, transectos para registro de especies, cálculos usando algoritmos, gradiómetro y cálculo de carga por la Ley de Biot-Savart	Interacción de especies con la infraestructura	Modelo de área geométrica de tasas de riesgo e interacción de especies, modelos de encuentro depredador-presa	Corrientes de marea o planta OTEC <i>offshore</i>
Estimación del ruido	Hidrófonos o perfiles de velocidad del sonido	Presencia de cetáceos	Ecolocalización con CPOD y registros de avistamientos	Principalmente corrientes de marea
Transporte de sedimentos	MIKE3, ecosonda multihaz (MBES)	Riesgo de colisión de aves marinas	Análisis de potencia, registro de avistamientos y reconocimiento visual.	Corrientes de marea
Descarga de plantas OTEC	Modelo de pluma	Riesgo de colisión de quelonios	Datos de equipo acústico y óptico complementado registro de avistamientos	Corrientes de marea, planta OTEC
Concentraciones de contaminantes	<i>Continuous Stirred-Tank Reactor</i> (CSTR)	Riesgo de colisión de peces	Modelo de riesgo ecológico a nivel poblacional	Corrientes de marea, planta OTEC

INFLUENCIA DEL ÁMBITO SOCIO- ECONÓMICO Y LEGISLATIVO EN LA TOMA DE DECISIONES

Eje socio-económico

La aceptación social de los proyectos de energías renovables representa un factor crucial para el desarrollo del mismo, la población tendrá interacción con los dispositivos de forma indirecta ya que modificará las actividades económicas en el área.

La percepción de las energías renovables es positiva porque en los últimos años se han manifestado las consecuencias del cambio climático, la escasez de recursos y el aumento en las campañas de difusión sobre los beneficios de las ER, no obstante en el periodo que abarca el establecimiento de las tecnologías se puede presentar el rechazo por parte de la población respaldado por la incertidumbre sobre los impactos, que pueden ser ambientales o socio-económicos, de la extracción de energía del medio marino.

Bonar *et al.* (2015) sugieren el cambio de opinión de la población sobre el establecimiento de energías renovables se debe a la oposición de su desarrollo en sus inmediaciones, es decir, apoyan la decisión del gobierno para alcanzar las metas sobre generación de electricidad por medio de las ER pero objetan su desarrollo en el territorio que abarca su comunidad.

De acuerdo Kerr *et al.* (2014) hasta la fecha la investigación sobre las energías oceánicas se ha centrado en la evaluación de recursos, diseño de dispositivos e impacto ambiental, en consecuencia la investigación en ciencias sociales sobre la energía oceánica ha tenido baja prioridad.

Desde la perspectiva de la población las energías renovables mejorarán las condiciones ambientales pero durante el establecimiento de los dispositivos la consulta social es un factor relevante. Las protestas pueden causar la suspensión de los proyectos. Además el conocimiento de la población sobre estas energías difiere en cada zona, la falta de conocimiento sobre el tema aunado a la imposición de los dispositivos omitiendo la consulta pública tiene como consecuencia el rechazo de la población desencadenando conflictos socio-económicos que pueden llegar hasta el nivel político.

Las compensaciones monetarias por la introducción de dispositivos para la extracción de la energía del océano es habitual, las desventajas de este método es la inconformidad del pago por las pérdidas como restricción por medio de vedas o zonas para pescar y la disminución del turismo. Como se menciona anteriormente los

servicios ecosistémicos son una forma de cuantificar las posibles pérdidas por impactos ambientales y son utilizados para manejar los conflictos socio-económicos en áreas con alta riqueza ecológica, uno de los factores que influyen en la oposición del desarrollo de ER en una comunidad es el cambio que sufrirá su entorno.

La belleza paisajística es un factor que influye de manera directa en el estado de confort de la población, pueden percibir las tecnologías energía oceánica ya que irrumpe con el estado original de su entorno lo cual causa inconformidad.

Los procesos de planificación y toma de decisiones pueden provocar mayor oposición a través de un compromiso público deficiente (Borthwick, 2016), Bonar *et al.* (2015) sugieren que la falta de participación pública no conduce automáticamente a la protesta (2015) pero la exclusión de la población en la toma de decisiones es inadecuada ya que los habitantes serán afectados o beneficiados por estas tecnologías.

Para confrontar este obstáculo se propone la planificación de reuniones con las autoridades y la población con el propósito de brindar la información sobre el tipo de proyectos, la temporalidad del mismo, las ventajas y desventajas del desarrollo de estas tecnologías. Una de las ventajas es la creación de trabajos pero es importante señalar la comunicación de este tipo de ideas a la población puede crear confusión. El establecimiento de estos dispositivos y apertura de centrales conlleva a la generación de empleos pero ciertas actividades solo pueden ser realizadas por personas especializadas por ende la difusión de mayores oportunidades de trabajo tiene limitaciones, los habitantes de las zonas costeras principalmente en nuestro país se dedican a actividades del sector primario (pesquerías, ganaderías, acuicultura, entre otros) y en menor medida del sector terciario, la población depende de estas actividades para su sustento y la disminución en la pesca o turismo impacta de manera directa.

Los defensores de las energías renovables respaldan su desarrollo por los beneficios económicos y seguridad energética en contraste con las fuentes convencionales además de cumplir con los compromisos internacionales para la reducción de emisiones de carbono, menor consumo y contaminación de los recursos hídricos.

Partiendo del ámbito económico, un estudio realizado en Inglaterra y Gales reveló la reducción promedio de la vivienda con 5 a 6% en presencia de un parque eólico visible a 2 km, cayendo a menos del 2% entre 2 a 4 km mientras que 8 a 14 km es cerca de cero (Gibbson, 2014). Esta tendencia podría reflejarse con la instalación de las tecnologías para la extracción de energía del medio marino, esto por la modificación

del entorno y disminución de la belleza paisajística. Este factor debe considerarse en los estudios socio-económicos ya que no solo afecta en el sector inmobiliario también en el porcentaje de turismo que recibirán las zonas costeras. Otro efecto que puede ser negativo en la fase del establecimiento del dispositivo se refiere a la disminución de las áreas designadas para la pesca, que podría desencadenar conflictos sociales por la contribución de esta actividad en la economía local, esto en el caso de la infraestructura para el aprovechamiento de las mareas que actúan como barrera que por un lapso de tiempo restringe el flujo de las masas de agua y por ende de los sedimentos. Las altas entradas de sedimentos en los lagos y cuerpos de agua costeros pueden provocar cambios en los ciclos de los nutrientes además las cargas de sedimentos pueden provocar contaminación, degradación del hábitat en los sistemas fluviales y afectar a la fauna local manifestándose en la disminución de la pesca (UNESCO, 2009).

Eje legislativo

Por último dentro del marco legislativo a nivel federal la ley de transición energética resalta la necesidad de modificar los medios de obtención de energía para disminuir la dependencia de los combustibles fósiles mientras que a nivel estatal se enuncia la disposición del gobierno para brindar capital en los proyectos de diversificación de fuentes de generación, esto podría ser el medio por el cual se obtenga capital para el desarrollo e implementación de los proyectos pero estas tecnologías son costosas por ello es necesario crear alianzas para solventar el importe de los dispositivos.

Es importante señalar que para el establecimiento de infraestructura dirigida al aprovechamiento de los recursos oceánicos, es necesario establecer criterios ecológicos que reflejen los intereses y preocupaciones a nivel federal y estatal de acuerdo con el marco del desarrollo sustentable. El aprovechamiento de los recursos se hará de acuerdo al conocimiento del capital natural y límites en los niveles de consumo de los recursos para asegurar su permanencia y el uso de los mismos por parte de las futuras generaciones. Esto permitirá la inclusión de los distintos ejes para formular normas y leyes para compatibilizar el progreso económico con las necesidades sociales y ambientales (López *et al.*, 2005), con ello integrar a la sociedad como elemento del sistema, con énfasis en la superación de los déficit sociales en las necesidades básicas y abarcando el factor crítico en la reorientación tecnológica para atenuar el impacto sobre los recursos y controlar los riesgos (INAP, 2003).

Por lo anterior la construcción o instalación de un dispositivo debe acatar los lineamientos de los programas de manejo de la zona de interés, volviéndose necesario conocer las actividades permitidas en el área así como los sitios donde las actividades antropogénicas de mayor impacto como la expansión del núcleo urbano sean restringidas.

Dentro de las políticas que hacen mención sobre la conservación de sus recursos naturales y abordan el tema energético se encuentra la Política Nacional de Mares y Costas de México, la cual está orientada a mejorar las condiciones de vida de las poblaciones costeras, fortalecer la economía local, la competitividad regional, asegurar la estructura y función de los ecosistemas marinos y costeros. Dicha política también menciona la importancia de fomentar la investigación, producción y el uso de ER, con énfasis en la necesidad de disminuir los efectos negativos provocados por las actividades humanas (CIMARES, 2010).

En el caso particular de la LGEEPA el establecimiento de dispositivos en los sistemas biológicos se integra en la investigación científica (fracc. I, art. 22 Bis) ya que contribuyen a evitar, reducir o controlar la contaminación o deterioro ambiental además su introducción debe *“considerar la preservación, la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con el resguardo de los ecosistemas”* (fracc. IV, art. 1). Dicha ley establece la necesidad de *“control de acciones para la protección, preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en la zona federal marítimo terrestre,”* (art. 11, frac. V). Por esta razón se incorpora la Política del Ordenamiento Ecológico Marino orientada a la planeación territorial, es un instrumento que busca propiciar, dentro de un esquema de Manejo Integral de la Zona Costera, la conservación de la biodiversidad sin frenar el crecimiento de la industria turística, pesquera y acuícola.

De acuerdo al art. 28 de la LGEEPA es necesaria la evaluación del impacto ambiental para establecer las condiciones a las que se sujetará la realización de obras y actividades que pueden causar desequilibrio ecológico, esta evaluación es un instrumento de la política ambiental cuyo objetivo es prevenir, mitigar y restaurar los daños al ambiente, así como la regulación de las obras o actividades para reducir o evitar efectos negativos (Diario oficial de la federación, 2012).

Con lo anterior será posible valorar la viabilidad de las tecnologías en el ámbito ecológico, el cual es un eje fundamental en nuestro país por contar con alta riqueza de especies, donde es prioritario la conservación de ecosistemas claves. A pesar de

contar con estas herramientas en el ámbito legislativo, la revisión de los documentos especializados en el área de energías renovables en otros países permite la expansión del conocimiento en esta área.

En la Unión Europea la gestión de las actividades que se realicen en el medio marino están integradas en la Planeación Espacial Marina (MSP por sus siglas en inglés), en este instrumento integra el uso sostenible de los recursos con el potencial económico y la conservación de la biodiversidad. Este instrumento analiza la factibilidad de los diferentes usos como la introducción de dispositivos para generar energía.

En nuestro país está en proceso de elaboración el Ordenamiento Ecológico Marino y Regional Pacífico Centro Sur este documento, al igual que el MSP, facilitará la identificación de las zonas vulnerables, con alto grado de degradación y las zonas aptas para el establecimiento de un laboratorio científico orientado a la investigación. En el proceso de elaboración de este tipo de instrumentos se requiere la participación multidisciplinaria con la finalidad de abarcar los ejes ambientales, sociales, culturales, económicos y acoplarlos a la política nacional. El gobierno tiene programado la elaboración dicho instrumento para las diferentes regiones marinas y el correspondiente a la región Pacífico Centro Sur está en fase de desarrollo, la introducción de energía oceánica acataría los lineamientos de usos de suelo del área y se estructuraría el diagrama con los posibles impactos negativos para elaborar el manifiesto de impacto ambiental solicitado por el gobierno.

La aprobación de leyes como la Ley Orgánica de la Comisión de Energías y Biocombustibles del Estado de Chiapas rectifica el compromiso tanto a nivel estatal como nacional hacia la transición energética a pesar de contar con leyes que promueven la generación de energía con fuentes renovables. La fase experimental de las energías oceánicas conlleva una variedad de incertidumbre sobre su aplicación, las inquietudes se enfocan en el eje ambiental, social y cultural esto por la relación naturaleza-sociedad de la población chiapaneca. Es importante señalar que este estado de incertidumbre hace algunos años se contemplaba en la energía eólica y solar, actualmente son fuentes que permitieron ampliar la gama de recursos en el sector energético por ello la investigación de en esta área promoverá su desarrollo y la elaboración de lineamientos para estas tecnologías, además de concretar con las metas a nivel nacional conformados por acuerdos internacionales para abatir los impactos del cambio climático.

CONCLUSIONES

Los dispositivos oceánicos deben responder a la demanda energética de un modo sustentable, sin dejar de observar y medir impactos que se generen en el ambiente. Actualmente se busca minimizar los impactos negativos y encaminar a la nación hacia la conservación, razón por la cual estas energías coadyuvarán a alcanzar estos objetivos ampliando la gama de recursos energéticos para la provisión de servicios a la población. Intentando a su vez ser una vía para el aumento para la aceptación de las energías renovables.

A pesar de encontrar el gradiente térmico suficiente para la generación de energía en la costa chiapaneca, es necesario un estudio de costo de construcción y producción para determinar la viabilidad de la instalación de una planta OTEC. Por otra parte, la falta de estudios de plantas *offshore* aumenta la incertidumbre de su viabilidad debido a los costos de mantenimiento, cambios en la estructura de la comunidad de la columna de agua, impactos con base en la temporalidad, entre otros.

Los factores abióticos como la temperatura superficial de mar, grado de degradación del suelo así como menor presencia de quelonios permiten el establecimiento de un dispositivo para el aprovechamiento del gradiente térmico en la costa chiapaneca. Para respaldar la decisión en la identificación del sitio de interés es necesario recabar datos *in situ*, para la planeación de las pruebas e identificación de los cambios en las condiciones originales del sistema.

En el caso de utilizar corrientes de marea es necesario realizar un estudio de la factibilidad de su aprovechamiento que permitirá visualizar los impactos que podría presentar los dispositivos, se sugiere realizar el modelado de la hidrodinámica del sistema objetivo complementado con monitoreos *in situ*.

La incertidumbre sobre los impactos que pueden generarse por la extracción de ER energías renovables del océano es una de las principales limitantes por ello los estudios deben incluir el eje ambiental para evitar la destrucción de los ecosistemas y asegurar la conservación del ambiente, el cual es el proveedor de diversos servicios ecosistémicos de los que dependen todas las poblaciones. La estandarización de los monitoreo y la elaboración de manuales no sólo permitirá recabar información sobre los impactos también ayudará a la creación de leyes para la regulación de la energía oceánica.

La extrapolación de los resultados de los estudios de impacto ambiental permitirá crear medidas de mitigación y prevención así como reducir la incertidumbre de los efectos de estas tecnologías en diferentes zonas. Existe un vasto catálogo de estudios de factores físico-químicos comparados con los factores bióticos pero es crucial correlacionar estos dos elementos los cambios en los factores abióticos influyen de manera directa en la composición faunística.

Dentro de las ventajas de las investigaciones de las energías oceánicas es la inclusión del factor ambiental como un pilar para la toma de decisiones y con ello abordar los problemas actuales de manera multidisciplinaria. Sin embargo, los análisis costo-beneficio son necesarios para identificar los factores que propician el establecimiento de estas tecnologías de acuerdo al eje económico además de ser una herramienta importante para los tomadores de decisiones.

A pesar que el desarrollo sustentable es un modelo que busca la conservación y el bienestar social es importante estructurar las bases del mismo para integrar al componente económico como elemento y no como eje rector del sistema, lo cual en casos extremos llevaría al agotamiento de los recursos naturales por su aprovechamiento excesivo y por ende el factor social entra en estado de crisis.

REFERENCIAS

- Ahmadian, R., Falconer, R. A. y Bockelmann-Evans, B. (2014). Comparison of hydro-environmental impacts for ebb-only and two-way generation for Severn Barrage. *Computers and geosciences*, 71: 11-19.
- Aldale, A. M. (2017). Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC). *American journal of engineering research (AJER)*, 6(4): 164-167.
- Álvarez-Arellano, A. D. y Gaitán, J. (1994). Lagunas costeras y el litoral mexicano: geología. En G. de la Lanza-Espino y C. Cáceres-Martínez (eds.). *Lagunas costeras y el litoral mexicano* (pp. 19-74). México: UNAM-UABCS.
- Álvarez-Borrego, S. (2011). Elements of support to estimate total and new primary production in the Gulf of California based on satellite data. *Hidrobiológica*, 22(3): 281-292.
- Arreola, V., Reyes, C., Hernández, L y Becerril, A. (2014). Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Estado de Chiapas. Fase de Ejecución. Consultado el 30 de mayo del 2017: http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/home/wpcontent/uploads/downloads/IGyEOS/Resumen_POE_TCH.pdf
- Bald, J., Díaz, R., Fontán, J., Garmendia, J. M., González, M., Liriondo A., Liria, P., Menchaca, I., Murillas, A., Muxika, L., Prellezo, R, Rodríguez J. G., Solaun, O., Uriate A., Uyarra, M. C., Sorita I. y Camba. (2013). Guía para la elaboración de estudios de impacto ambiental de proyectos de energías renovables marinas, informe técnico realizado en el marco del proyecto nacional I+D CENIT-E OCEAN Líder. Consultado el 15 de enero del 2018: http://www.oceanlider.com/images/guia%20impacto%20ambiental%20erm_ol_avi_acciona-azti.pdf
- Benita, F.J. y Gómez, M. (2013). El rezago social en áreas metropolitanas de México. *Estudios económicos*, 28(2), 265-297.
- Bergstrom, L., Kautsky, L., Malm, T., Rosenberg, R., Wahlberg, M., Astrand, N.y Wilhelmsson, D. (2012). Effects of offshore wind farms on marine wildlife a generalized impact assessment. *Environmental research letters*, 9: 1-12.
- Boehlert, G. W. y Gill, A. B. (2010). Environmental and ecological effects of ocean renewable energy development: a current synthesis. *Oceanography*, 23(2): 68-81.
- Bonar, P. A. J., Bryden, I. G. y Borthwick, A. G. L. (2015). Social and ecological impacts of marine energy development. *Renewable and sustainable energy reviews*, 47: 486-495.
- Borthwick, A. G. L. (2016). Marine renewable energy seascape. *Engineering*, 2(1): 69-78.
- Bowditch, N. (2002). *The american practical navigator: an epitome of navigation*. Estados Unidos: National imagery and mapping agency.
- Boye, H., Caquot, E., Clement, P., de la Cochetiere, L., Nafat, J. M. y Serget, P. (2013). Rapport de la misión d'étude sur les énergies marines renouvelables. Consultado el 9 de Junio de 2017: <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/134000275.pdf>
- Bruciaga, W., y Escobar, C., (2016). CEMIE-Océano, con la mirada puesta en la energía del mar. Consultado el 03 de mayo de 2017: <http://proyectofose.mx/2016/04/06/cemie-oceano-y-la-energia-del-mar/>

- Calvario-Martínez, O. y Domínguez-Jiménez, V. P. (2007). Evaluación de la productividad del fitoplancton y de la respiración planctónica en la parte más interna del estero urías, Sinaloa, México (pp. 227-238). En Hernández, B. y G Gaxiola (eds.), Carbono en ecosistemas acuáticos de México. México: SEMARNAT, INECOL, CICESE:
- Camargo, J. A., Alonso, A. y Salamanca, A. (2005). Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. *Chemosphere*, 58: 1255-1267.
- Carbajal, P. (2009). Hidrodinámica y transporte de contaminantes y sedimentos en el sistema Lagunar Nichupté-Bojórquez, Quintana Roo. Consultado el 12 de marzo del 2018: http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/inf_1ra_parte_CQ063.pdf
- Castelló, F. (1993). Acuicultura marina: fundamentos biológicos y tecnológicos de la producción. España: Universitat de Barcelona.
- Castillo, J. L., Soriano, S. R., Sancho, F., Ramírez, C. E. y Del Prado, A. C. (2000). Elasmobranquios del golfo de Tehuantepec, litoral chiapaneca. Consultado el 15 de diciembre de 2017: <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfS123.pdf>
- Ceballos, G., Chávez, C., Blanco, S., Jiménez, R., López, M., Moctezuma, O., Támez, V. y Valdez, M. (2006). Áreas prioritarias para la conservación. En C. Sánchez y G. Ceballos (eds.), Memorias del primer simposio; el jaguar mexicano en el siglo XXI: situación actual y manejo (pp. 13-19). México: CONABIO-Alianza WWF Telcel-Universidad Autónoma de México.
- CEMIE-O, (2017). Estructura operativa; misión, visión y objetivos. Consultado el 11 de mayo de 2017: <http://cemieoceanico.mx/mision-vision.html>
- CEMIE-O. (2017). Una visión internacional para la energía oceánica 2017. Consultado el 28 de Octubre del 2017: http://cemieoceanico.mx/downloads/OES_vision_ESP_V5.pdf.
- CEMIE-O. (n. d.). Líneas de investigación: energía por gradientes térmicos y salinos. Consultado el 9 de Junio de 2017: <http://cemieoceanico.mx/energia-gradientes-termicos.html>
- Centro Nacional de Energía Renovable Marina de Hawái. (2017). Temperature difference between 20 m and 1000 m depths (°C). Consultado el 17 de octubre del 2017: <http://hinmrec.hnei.hawaii.edu/hinmrecftp/AnnualTempDiff.html>.
- CICESE. (2018). Calendarios. Consultado el 2 de febrero del 2018: <http://predmar.cicese.mx/calendarios/>
- CIIFEN. (n. d.) Temperatura superficial del mar (TSM). Consultado el 24 de agosto del 2017: http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=63&Itemid=306&lang=es
- CIMARES. (2011). Política Nacional de Mares y Costas de México. Consultado el 20 de mayo del 2017: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CD001776.pdf>
- Collins, N. (2012). Assessment of potential ecosystem effects from electromagnetic fields (EMF) associated with subsea power cables and TISEC devices in Minas Channel. Estados Unidos: FORCE.
- Comfort, C. M. y Vega, L. (2011). Environmental assessment of ocean thermal energy conversion in Hawaii. Consultado el 22 de noviembre del 2017: https://www.researchgate.net/publication/261522660_Environmental_assessment_for_ocean_t

hermal_energy_conversion_in_Hawaii_Available_data_and_a_protocol_for_baseline_monitoring

- Comisión europea del ambiente. (2016). Our oceans, seas and coasts: energy incl underwater noise. Consultado el 04 de diciembre del 2017: http://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-11/index_en.htm
- Comisión reguladora de energía. (2012). Título de permiso de autoabastecimiento de energía E/920/AUT/2012 eléctrica eólica de Arriaga, S. A. P. I. de C. V. Consultado el 9 de agosto del 2017: <http://www.cre.gob.mx/documento/permiso/electricidad/E-920-AUT-2012.pdf>
- Comisión reguladora de energía. (2012). Título de permiso de cogeneración de energía eléctrica Núm. E/91/COG/2012 Huixtla energía, S. A de C. V. Consultado el 9 de agosto del 2017: <http://www.cre.gob.mx/documento/permiso/electricidad/E-918-COG-2012.pdf>
- CONABIO. (2007). Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad marina de México: océanos, costas e islas. México: Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad, Comisión nacional de áreas naturales protegidas, The nature conservancy-programa México, Pronatura.
- CONABIO. (2009). Las unidades de manejo para la conservación de vida silvestre y el corredor biológico mesoamericano México. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- CONABIO. (2009). Manglares de México: extensión y distribución. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- CONABIO. (2009). Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. Consultado el 29 de mayo del 2017: <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/manglares2013/sitioPacSur.html>
- CONABIO. (2010). Panthera onca (jaguar), distribución conocida. Consultado el 23 de agosto del 2017: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- CONABIO. (2011). La biodiversidad en Veracruz; estudio de estado. México: CONABIO, gobierno de Veracruz, universidad veracruzana, instituto de ecología A. C.
- CONABIO. (2013). Estrategias para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad del estado de Chiapas. México: CONABIO.
- CONABIO. (2013). La biodiversidad en Chiapas: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Gobierno del Estado de Chiapas. México: CONABIO.
- CONACYT. (2014). Agenda de innovación de Chiapas; energías renovables. Consultado el 11 de mayo de 2017: <http://www.agendasinnovacion.mx/wp-content/uploads/2015/07/Agenda-Chiapas.pdf>
- CONAFOR. (2016). Programa de inversión de la región Istmo-Costa en el estado de Chiapas. Consultado el 30 de mayo del 2017: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/35/6970IRE%20Programa%20de%20Inversion%20Istmo-Costa.pdf>
- CONANP. (2007). Ficha informativa de los humedales ramsar (FIR) versión 2006-2008; sistema estuarino puerto arista. Consultado el 16 de agosto del 2017: http://ramsar.conanp.gob.mx/docs/sitios/FIR_RAMSAR/Chiapas/Sistema%20Estuarino%20Pue

rt%20Arista/Mexico%20Sistema%20Estuarino%20Puerto%20Arista%20RIS%20S%202008.pdf
f

- CONANP. (2008). Programa de monitoreo de la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*) en el parque nacional lagunas de chacahua. Consultado el 04 de octubre del 2017: <http://www.conanp.gob.mx/acciones/fichas/chacahua/info/info.pdf>
- CONANP. (2010). Ficha de identificación; jaguar. Consultado el 14 de agosto del 2017: http://www.conanp.gob.mx/pdf_especies/jaguar.pdf
- CONANP. (2012). Estudio previo justificativo para el establecimiento del área natural protegida; reserva de la biosfera zona marina profunda pacífico transicional mexicano y centroamericano. Consultado el 28 de agosto del 2017: http://www.conanp.gob.mx/datos_abiertos/DGCD/18.pdf
- CONANP. (n. d.). Estudio previo justificativo para la ampliación del polígono del santuario puerto arista, Tonalá, Chiapas. Consultado el 30 de abril del 2017: http://www.conanp.gob.mx/rendicion_cuentas/pdf/ESTUDIOS%202009/RUTH%20JIMENEZ%200EPJ%20Santuario%20Pto%20Arista.pdf
- CONAPO. (2013). Índice absoluto de marginación 2000-2010. México: Consejo Nacional de Población (CONAPO).
- Coplader. (2014). Programa regional de desarrollo 2013-2018; región Istmo-Costa. Gobierno del Estado de Chiapas. Consultado el 30 de abril del 2017: <http://www.planeacion.chiapas.gob.mx/ProgramasRegionales/09%20PDR%20IX%20Istmo%20Costa.pdf>
- Copping, A. (2017). OES Position paper, draft for OES review. En proceso de publicación.
- Copping, A., Hanna, L., Whiting, J., Geerlofs, S., Grear, M., Blake, K., Coffey, A., Massaua, M., Brown-Saracino, J. y battey, H. (2013). Environmental effects of marine energy development around the world for the OES Annex IV. Consultado el 05 de marzo de 2018: <https://www.ocean-energy-systems.org/oes-projects/task-4-assessment-of-environmental-effects-and-monitoring-efforts-for-ocean-wave-tidal-and-current-energy-systems/#tab-results>
- Copping, A., Sather, N., Hanna, L., Whitting, J., Zydleswki, G., Stainesm G., Gill, A., Hutchinson, I., O'Hagan, A., Simas, T., Bald, J., Sparling, C., Wood, J. y Madsen, E. (2016). Annex IV 2016 State of the science report: environmental effects of marine renewable energy development around the world. Consultado el 06 de mayo del 2018: <https://www.ocean-energy-systems.org/oes-projects/task-4-assessment-of-environmental-effects-and-monitoring-efforts-for-ocean-wave-tidal-and-current-energy-systems/>
- Davis, A. (2010). Potential impacts of ocean energy development on marine mammals in Oregon. Consultado el 21 de noviembre del 2017: https://ir.library.oregonstate.edu/concern/technical_reports/jh343z21h
- De la Parra, M. G. (2009). Vulnerabilidad diferencial asociada al riesgo de desastre por inundaciones en la colonia Joaquín Miguel Gutiérrez, Pijijapan, Chiapas. Tesis para obtener la maestría en ciencias en medio ambiente y desarrollo integrado. Instituto Politécnico Nacional.
- Desmukh, T. S. y Gawas, A. S. (2015). Tidal current energy an overview. IJRET: international journal of research in engineering and technology, 4(7):147-151.

- Diario oficial de la federación. (1986). Ley Federal del Mar. Consultado el 16 de junio de 2017: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/124.pdf>
- Diario oficial de la federación. (2008). Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía. Consultado el 15 de junio de 2017: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5070928&fecha=28/11/2008
- Diario oficial de la federación. (2012). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Medio Ambiente. Consultado el 16 de junio de 2017: <http://www.conacyt.mx/cibiogem/images/cibiogem/protocolo/LGEEPA.pdf>
- Diario oficial de la federación. (2012). Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética. Consultado el 15 de junio de 2017: http://www.senado.gob.mx/comisiones/energia/docs/marco_LAERFTE.pdf
- Diario oficial de la federación. (2014). Ley del servicio público de energía eléctrica. Consultado el 9 de agosto del 2017: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/abro/lspree/LSPREE_abro.pdf
- Diario oficial de la federación. (2015). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Consultado el 16 de junio de 2017: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_220515.pdf
- Diario oficial de la federación. (2016). Declaratoria de zonas de atención prioritarias para el año 2017. Consultado el 30 de abril del 2017: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php-codigo=5463189&fecha=30/11/2016.
- Díaz-Ruiz, S., Aguirre-León, A. y Cano-Quiroga, E. (2006). Evaluación ecológica de las comunidades de peces en dos sistemas lagunares estuarinos del sur de Chiapas, México. *Hidrobiológica*, 16(2), 197-210.
- Dubois, S., Klein, K. y Villemure, M. (2008). Viability of renewable technologies from marine derived energy as global sources of electricity. *MSURJ*, 3(1): 28-30.
- Dunlop, J., McGregor, G., Horrigan, N. (2005). Potential impacts of salinity and turbidity in riverine ecosystems; characterisation of impacts and a discussion of regional target setting for riverine ecosystems in Queensland. Australia: NAPSQW.
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R. y Sokona, Y. (2011). Renewable energy sources and climate change mitigation, summary for policymakers and technical summary. Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- El-Gezity, T. M., Bryden, I. G., Couch, S. J. (2009). Environmental impact assessment for tidal energy schemes: an exemplar case study of the Strait of Messina. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 8(1): 39-48.
- Espinoza-Tenorio, A., Moreno-Báez, M., Pech, D., Villalobos-Zapata, G. J., Vidal-Hernández, L., Ramos-Miranda, J., Mendoza-Carranza, M., Zepeda-Domínguez, J. A., Alcalá-Moya, G., Pérez-Jiménez, J. C., Rosete, F., León, C. y Espejel, I. (2014). El ordenamiento ecológico marino en México: un reto y una invitación al quehacer científico. *Latin american journal of aquatic research*, 42(3): 386-400.
- Farris, A. y Helston, C. (2017). Tidal power. Consultado el 21 de octubre de 2017: <http://www.energybc.ca/tidal.html>.

- Firth, L. B., Thompson, R. C., White, F. J., Schofield, M., Skov, M. W., Hoggart, S. P. G., Jackson, J., Knights, A. M. y Hawkins, S. J. (2013). The importance of water-retaining features for biodiversity on artificial intertidal coastal defense structures. *Diversity and distributions*, 19: 1275-1283.
- Flores, H. y Vergara, A. (2012). Efecto de reducir la frecuencia de la alimentación en la supervivencia, crecimiento, conversión y conducta alimenticia en juveniles de salmón del Atlántico *Salmo salar* (Linnaeus, 1758): experiencia a nivel productivo. *Aquatic resources*, 40(3): 536-544.
- Frid, C., Andonegi E., Depestele, J., Judd, A., Rihan, D., Rogers, S. I. y Kenchington. (2012). The environmental interactions of tidal and wave energy generation devices. *Environmental impact assessment review*, 32(1): 133-139.
- García, A. (2015). Posibles efectos oceanográficos por la operación de una planta OTEC (Oceano Thermal Energy Conversion) en la zona Puerto Ángel, Oaxaca, México. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Nacional de México.
- Garduño, E. P., García, A., Rodríguez, Y., Bárcenas, J. F., Alatorre M. Á., Cerezo E., Guadalupe, J., Romero, V.M., y Silva, R. (2017). Conversión de energía térmica oceánica (OTEC), estado del arte. México: Cemie-Océano, Universidad de Campeche.
- Gaspari, F. J., Rodríguez, A. M., Delgado, M. I., Senisterra, G. E. y Denegri, G. A. (2011). Vulnerabilidad ambiental en cuencas hidrográficas serranas mediante SIG. *Multequia*, 20: 3-13.
- Gibbson, S. (2014). Gone with the wind: valuing the visual impacts of wind turbines through houses prices. Consultado el 22 de octubre del 2017: <http://www.spataleconomics.ac.uk/textonly/SERC/publications/download/sercdp0159.pdf>.
- GIEC. (2011). Sources d'énergie renouvelable et atténuation du changement climatique: Résumé a l'intention des décideurs et résumé technique. Consultado el 9 de Junio del 2017: https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_report_fr.pdf
- Gil-Aguilar, J., Labastida-Estrada, E., Mineros-Ramírez, R., Ramírez-Pérez, E. y Tenorio-Romero, R. M. (2013). Estimación de la producción primaria y biomasa del fitoplancton y su relación con algunas condiciones ambientales en la Laguna de Chautengo, Guerrero (Febrero de 2009). *E-Bios*, 2(4): 1-16.
- Gill, A. B., Gloyne-Philips, I., Kimber, J. y Sigray, P. (2014). Marine renewable energy, electromagnetic (EM) fields and EM-sensitive animals. En A. M. Shields y A. I. L Payne. (eds.), *Marine renewable energy technology and environmental interactions* (pp. 61-79). Reino Unido: Springer science.
- Gobierno de la república. (n.d.). Plan Nacional de Desarrollo. Consultado el 15 de junio de 2017: http://www.sev.gob.mx/educacion-tecnologica/files/2013/05/PND_2013_2018.pdf
- Golmen, L. G. y Yu, J. C. S. (2015). OTEC in the TROPOS multipurpose platform concept. En P. Dessne y L. Golmen, *OTEC matters* (50-58). Suecia: Ale Tryckteam.
- Golmen, L. G., Masutani, S. M. y Ouchi, M. (2005). Ocean thermal energy conversion; the next generation fisheries. *World renewable energy congress*. Consultado el 17 de octubre del 2007: <http://www.rundecentre.no/wp-content/uploads/2014/03/Article-OTEC-NGF-WREC-conference-2005.pdf>

- Golubov, J., Mandujano, M. C., Guerrero-Eloísa, S., Mendoza, R., Kollef, P., González, A., Barrios, Y., y Born-Schmidt. (2014). Análisis multicriterio para ponderar el riesgo de las especies invasoras. En R. Mendoza y P. Koleff, *Especies acuáticas invasoras en México* (pp. 123-134). México: CONABIO.
- Gómez, H. (2006). Sistemas de información geográfica, uso, técnicas y múltiples aplicaciones. *Geoenseñanza*, 11(1), 3-4.
- Grecian, W. J., Inger, R., Attrill, M. J., Bearhop, S., Godley, B. J., Witt, M. J. y Votier, S. (2010). Potential impacts of wave-powered marine renewable energy installations on marine birds. *The international journal of avian science*, 152: 683-697.
- Hammar, L. (2014). Will ocean energy harm marine ecosystem. *System perspectives on renewable power*. Suiza: Chalmers
- Hammar, L. (2015). Preventing environmental impacts of OTEC. En P. Dessne y L. Golmen, *OTEC matters 2015*, (pp. 91-97). Suiza: University of Boras.
- Harris, F. (2014). Caching the tide: a review of tidal energy systems. *School science review (SSR)*, 9(353): 123-128.
- Hernández, M. M. (2013). Bacterias nitrificantes y desnitrificantes como indicadores de la calidad de agua en humedales de Xochimilco. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco.
- Hernández-Becerril, D. U., López-Tachiquín, L. F., Machain-Castillo, M. L. y Monreal-Gómez. (2015). Distribución de pigmentos fotosintéticos del Golfo de Tehuantepec en verano (junio, 2003): importancia del picofitoplancton. *Hidrobiología*, 25(3): 365-74
- Hooper, T. y Austen, M. (2013). Tidal barrages in the UK: ecological and social impacts, potential mitigation and tools to support barrage planning. *Renewable and sustainable energy reviews*, 23: 289-298.
- Huckerby, J., Jeffrey, H. y Brighid, J. (2011). An international vision for ocean energy. Consultado el 05 de mayo de 2017: <https://www.dutchmarineenergy.com/about-us/downloads/10%20-%20OES%20-%20International%20Vision%20Brochure.pdf>
- IINGE. (2017). Coordinación de hidráulica, instituto de ingeniería. Consultado el 05 de mayo de 2017: <http://www.iingen.unam.mx/es-mx/Investigacion/Coordinacion/Hidraulica/Paginas/default.aspx>
- IINGEN. (2015). Integrantes de la coordinación, coordinación de hidráulica, instituto de ingeniería. Consultado el 05 de mayo de 2017: http://www.iingen.unam.mx/es-mx/Investigacion/Coordinacion/Hidraulica/Lists/Hidraulica_/DispForm.aspx?ID=128&Source=http%3A%2F%2Fwww%2Eiingen%2Eunam%2Emx%2Fes-mx%2FInvestigacion%2FCoordinacion%2FHidraulica%2FPaginas%2Fdefault%2Easpx
- IINGEN. (2016). El CEMIE-Océano. Consultado el 03 de mayo de 2017: http://www.iingen.unam.mx/es-mx/BancoDeInformacion/BancodelImagenes/Documents/CEMIE_Oceano.pdf
- IINGEN. (2017). Sobre el instituto de ingeniería. Consultado el 05 de mayo de 2017: <http://www.iingen.unam.mx/es-mx/SobreNosotros/Paginas/default.aspx>
- INAP. (2003). El desarrollo sustentable, nuevo paradigma para la administración pública. México: Instituto de administración pública.

- INAPESCA. (2006). Sustentabilidad y pesca responsable en México; evaluación y manejo. México: Instituto Nacional de la Pesca-SAGARPA.
- INE. (1999). Programa de manejo reserva de la biosfera la encrucijada. México: Instituto nacional de ecología.
- INECC. (1999). Programa de manejo reserva de la biósfera la sepultura. México: INECC-SEMARNAP.
- INEEL. (2016). CEMIE-Océano. Consultado el 15 de noviembre de 2017: <https://www.ineel.mx/cemie-oceano.html>.
- INEGI. (2004). Guía para la interpretación de cartografía; edafología. México: Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática (INEGI).
- INEGI. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Chiapas. Consultado el 20 de mayo del 2017: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/07/07009.pdf>
- INERE. (2017). Inventario Nacional de Energías Renovables. Consultado el 23 de octubre del 2017: <https://dgel.energia.gob.mx/inere/>.
- Instituto de energía de Australia. (2004). Fact sheet 10: tidal energy. Consultado el 22 de octubre del 2017: http://www.aie.org.au/AIE/Documents/FS10_TIDAL_ENERGY.pdf
- Instituto de investigaciones legislativas del senado de la república. (2004). Nuevas energías renovables: una alternativa energética sustentable para México (Análisis y propuesta). Consultado el 05 de mayo de 2017: <http://www.nacionmulticultural.unam.mx/mezinal/docs/110.pdf>
- IRENA. (2014). Ocean thermal energy conversion; technology brief. International renewable energy agency, Abu Dhabi.
- IRENA. (2014). Tidal energy: technology brief. Abu Dhabi: International renewable energy agency.
- Isasi-Catalá, E. (2011). Los conceptos de especies indicadoras, paraguas, bandera y claves: su uso y abuso en la ecología de la conservación. *Interciencia*, 36(1): 31-38.
- Jermain, R. F. (2016). Effects of EMF emissions from undersea electric cables on coral reef fishes. Masters thesis. Nova Southeastern University. Consultado el 13 de noviembre de 2017: <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Jermain-2016.pdf>
- Kadiri, M., Ahmadian, R., Bockelmann-Evans, B., Falconer, R. A. y Kay, D. (2014). An assessment of the impacts of tidal renewable energy scheme on the eutrophication potential of the Severn Estuary, UK. *Computers and geosciences*, 71: 3-10.
- Kavet, R., Wyman, M. y Klimley, A. (2016). Assessment of potential impact of electromagnetic fields from undersea cable on migratory fish behavior. Estados Unidos: Bureau of ocean energy management, environmental studies program.
- Kerr, S., Watts, L., Colton, J., Conway, F., Hull, A., Johnson, K., Jude, S., Kannen, A., MacDougall, S., McLachlan, C., Potts, T. y Vergunst, J. (2014). Establishing an agenda for social studies research in marina renewable energy. *Energy policy*, 67: 694-702.
- Kobayashi, H., Jitsuhara, S. y Uehara, H. (2017). The present status and features of OTEC and recent aspect of thermal energy conversion technologies. Consultado el 17 de octubre del 2017: http://www.nmri.go.jp/main/cooperation/ujnr/24ujnr_paper_jpn/Kobayashi.pdf

- Kregting, L. y Elsässer, B. (2016) Environmental impact assessment. En M. Folley (eds.), Numerical modelling of wave energy converters (279-290). ELSERVIER.
- Lange, R., Staaland, H. y Mostad, A. (1972). The effect of salinity and temperature on solubility of oxygen and respiratory rate in oxygen-dependent marine invertebrates. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 9: 217-229.
- Lara-Lara, J. R., Arreola, J. A., Calderón, L. E., Camacho, V. F., de la Lanza Espino, G., Escofet, A. M., Espejel, M. I., Guzmán, M., Ladah, L. B., López, M., Meling, E. A., Casasola, P. M., Reyes, H., Ríos y E., Zertuche, J. A. (2008). Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales. En J. Soberón, G. Halffter y J. Llorente-Bousquets (eds.), *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad (pp. 109-134). México: CONABIO.
- Linares, R. M., Tovilla, C. y De la Presa, J. C. (2004). Educación ambiental: una alternativa para la conservación del manglar. *Madera y bosques*, 2: 105-114.
- López, C. D., López-Hernández y E. S., Ancona, I. (2005). Desarrollo sustentable o sostenible: una definición conceptual. *Horizonte sanitario*, 4(2).
- López, O. (2010). Caracterización de las asociaciones de larvas de peces del Golfo de Tehuantepec, México. Tesis de maestría. CICIMAR (Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas).
- Love, M., Nishimoto, M., Clark, S. y Bull, A. (2016). Renewable energy in situ, power cable observation. Estados Unidos: University of California Santa Barbara.
- Machuca, M. A. (2014). Diagnóstico del estado actual del uso y manejo de la zona costera en el Estado de Chiapas. Tesis para obtener el grado de Maestría. ECOSUR, El Colegio de la Frontera Sur.
- Makai ocean engineering. (2017). Ocean thermal energy conversion- Consultado el 17 de octubre del 2017: <https://www.makai.com/ocean-thermal-energy-conversion/>
- Maqueda, M. R. y Sánchez, L. A. (2011). Curvas de demanda de energía eléctrica en el sector doméstico de dos regiones de México. *Boletín IIE*, 35: 173-180.
- Mazzeo, N., Clemente, J., García-Rodríguez, F., Gorga, J., Larrea, D., Meerhoff, M., Quitans, F., Rodríguez-Gallego, L. y Scasso, F. (2002). Eutrofización: causas, consecuencias y manejo. En Domínguez, A. y Prieto R. G. *Perfil ambiental del Uruguay: 2000*. Uruguay, Nordan-Comunidad.
- Medellín, G., Mariño-Tapia, I., Pedrozo-Acuña, A., Enríquez, C. y González-Villareal, F. (2013). Influencia de la marea en la hidrodinámica del sistema Mecoacán-río González, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 4(2): 71-89.
- Mora, J. C., González, R., Aguirre, J., Piña, J., García-Moreno, L. M., Lovera, S. S., AP., G. A., De los Santos, R. I., Balbuena, I. J., Vázquez, N. E., Torrijos, M. A., Jiménez-Franco, A. y Mijares, H. (n.d.). *Microzonificación Sísmica de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. México: CONACYT.
- Morales-Zárate, M. V., Zayas-Álvarez, A., Salinas-Zavala, C. A., Mejía-Rebollo, A. (2016). Biocenosis de la comunidad bentónica en la Laguna Guerrero Negro, Baja California Sur, México: caracterización espacio-temporal. *Latin american journal of aquatic research*, 44(4): 726-741.
- Moreira, A. (1996). Los sistemas de información geográfica y sus aplicaciones en la conservación de la diversidad biológica. *Ambiente y desarrollo*, (2): 80-86.

- Moreno-Casasola, P. y Peresbarbosa, E. (2005). Manejo costero integral de la zona costera. En P. Moreno-Casasola, E. Peresbarbosa y A. C. Travieso, Manejo costero integral: enfoque municipal (pp. 24-50). México: INECOL.
- Moreno-Casasola, P., Infante, D., López-Rosa, H., Jiménez-Orocio, O., Martínez, M. L., Rodríguez-Revelo, N., Espejel, V. E y Monroy, R. (2014). Diagnóstico de las dunas costeras de México. En M. L. Martínez, P. Moreno-Casasola, I. Espejel, O. Jiménez-Orocio, D. Infante, y N. Rodríguez-Revelo (eds.), Chiapas (pp. 9-14). México: CONAFOR.
- Muñoz, H., Orozco, S., Vera, A., Suárez, J., García, E., Neria, M. y Jiménez, J. (2015). Relación entre oxígeno disuelto, precipitación pluvial y temperatura: río Zahuapan, Tlaxcala, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 6(5): 59-74.
- Neil, S. P., Robins, P. E. y Fairley, I. (2017). The impact of marine renewable energy extraction on sediment dynamics. En Z. Yang y A. Copping (eds.), *Marine renewable energy* (pp. 279-304). Springer.
- NOAA. (n. d.). Equatorial pacific sea surface temperatures. Consultado el 25 de agosto del 2017: <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/sst.php#oni>
- Normandeau, E., Tricas, T. y Gill, A. (2011). Effects of EMF's from undersea power cables on elasmobranchs and other marine species. Estados Unidos: US dept. of the interior, bureau of energy management, regulation and enforcement, Pacific OCS Region.
- Núñez, G. (2016). Gasto social y pobreza en municipios de Chiapas, un análisis de datos panel espacial. *Realidad, datos y espacio, revista internacional de estadística y geografía*, 7(3): 40-59.
- Núñez-Orozco, A. L., Labastida-Che, A. y Oviedo-Piamonte, J. A. (2013). Composición y abundancia de la ictiofauna en la franja sublitoral del Golfo de Tehuantepec, Oaxaca/Chiapas, México. *Ciencia pesquera*, 21(2): 29-40.
- Ordoñez, J. (2010). Relaciones del zooplancton, la clorofila y los sólidos en suspensión con el clima lumínico del agua. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona.
- Ortega, S. y Lluch, S. (1996). Distribución de la abundancia de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) y su relación con la concentración de pigmentos fotosintéticos medidos por satélite en aguas al sur de México. *Investigaciones geográficas boletín*, (4): 85-93.
- Ortiz, L. D., Arceo, P., Granados, A., Salas, D. y Jiménez, M. L. (2010). Zona costera. México: Gobierno del Estado de Veracruz.
- Patiño-Martínez, J., Vallarino-Moncada, A. y González-Zuarth, C. A. (2014). Las especies bandera como bioindicadores ambientales: tortugas marinas. En A. Jiménez y M. Low Pfeng, *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental* (pp. 439-456). México: El colegio de la frontera sur-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- Pelc, R. y Fujita, R. M. (2002). Renewable energy from the ocean. *Marine policy*, 26: 471-479.
- Periódico oficial del Estado de Chiapas. (1991). Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Chiapas. Consultado el 16 de junio de 2017: <http://docs.mexico.justia.com.s3.amazonaws.com/estatales/chiapas/ley-de-equilibrio-ecologico-y-proteccion-al-ambiente-del-estado-de-chiapas.pdf>

- Periódico Oficial del Estado de Chiapas. (2009). Ley de ciudades rurales sustentables para el estado de Chiapas. Consultado el 15 de Agosto del 2017: http://www.semahn.chiapas.gob.mx/portal/descargas/juridico/Constitucion_Codigo_y_Leyes_Estatales/27_LEY_DE_CIUDADES_RURALES_SUSTENTABLES_PARA_EL_ESTADO_DE_CHIAPAS_05_DE_NOVIEMBRE_DE_2010.pdf
- Periódico oficial del Estado de Chiapas. (2012). Ley Ambiental para el Estado de Chiapas. Consultado el 16 de junio de 2017: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Chiapas/wo71417.pdf>
- Periódico oficial del Estado de Chiapas. (2015). Ley para la adaptación y mitigación ante el cambio climático en el Estado de Chiapas. Consultado el 16 de junio de 2017: <http://www.congresochiapas.gob.mx/new/Info-Parlamentaria/ley%20para%20la%20adaptacion%20y%20mitigacion%20ante%20el%20cambio%20climatico%20en%20el%20estado%20de%20chiapas.pdf?v=Mg==>
- Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. (2013). Diario Oficial de la Federación 20 de mayo del 2013. Consultado el 05 de mayo de 2017: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5299465
- PNUD. (2014). Índice de desarrollo humano municipal en México: nueva metodología. Oficina de investigación en desarrollo humano del programa de las naciones unidad para el desarrollo en México. México: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).
- Polagye, B., Copping, A., Suryan, R., Kramer, S., Brown-Saracino, J. y Smith, C. (2014). Instrumentation for monitoring around marine renewable energy converters: workshop final report. Estados Unidos: Pacific Northwest National Laboratory.
- Polglaze, J. y Wright, M. (2011). Marine Noise assessment. Australia: URS.
- PROFEPA. (2010). Áreas naturales protegidas marinas y litorales. Consultado el 22 de mayo del 2017: http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/1380/1/mx.wap/areas_naturales_protegidas_marinas_y_litorales.html
- Quintero, J. R. y Quintero, L. E. (2015). Energía mareomotriz: potencial energético y medio ambiente. *Gestión y ambiente*, 18(2): 121-134.
- Quintero, L. A., Agudelo, E., Quintana, Y. A., Cardona, S. A., Osorio, A. F. (2010). Determinación de indicadores para la calidad de agua, sedimentos y suelos, marinos y costeros en puertos colombianos. *Gestión y ambiente*, 13(3): 51-64.
- Quiroz, H., Díaz, M., Trejo, R. y Elizalde, E. E. (2000). Aspectos sobre la abundancia y distribución de los principales grupos de la fauna bentónica en el lago Zempoala, Morelos, México. *Ciencia y mar*, 4(10): 39-50.
- Ramírez, M. L. (2004). El método de jerarquías analíticas de Saaty en la ponderación de variables. Aplicación al nivel de mortalidad y morbilidad en la provincia del chaco. Consultado el 15 de marzo del 2018: <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2004/2-Humanidades/H-004.pdf>
- Ramos, G., Fiscal, R., Maqueda, M., Sada, J. y Buitrón, H. (1999). Variables que influyen en el consumo de energía eléctrica. *Aplicaciones tecnológicas*, 23: 11-18.

- Renewable energy world. (n. d.). Ocean energy. Consultado el 9 de Junio de 2017: <http://www.renewableenergyworld.com/ocean-energy/tech.html>
- Retiere, C. (1994). Tidal power and the aquatic environment of La Rance. *Biological journal of the linnean society*, 51: 25-36.
- Reyes, M. E. y López, F. (2011). Ciudades rurales en Chiapas: formas territoriales emergentes. *Argumentos*, 24(66): 121-151.
- Rojas-Higuera, P. J. y Pabón-Caicedo, J. D. (2015). Sobre el calentamiento y la acidificación del océano mundial y su posible expresión en el medio marino costero colombiano. *Revista académica colombiana de ciencias exactas, física y naturales*, 39(151): 201-217.
- Romero, A. (2013). Evaluación del potencial maremotérmico en costa norte y sur del estado de Veracruz. Tesis de doctora. Universidad Veracruzana.
- Romero-Hernández, S., Romero-Hernández, O. y Wood, Duncan. (2013). Renewable energy in Mexico: policy and technologies for a sustainable future. Estados Unidos: United States Agency for International Development (USAID).
- Rosenblueth, E. (1992). Sismos y sismicidad en México. En E. Rosenblueth, V. García, T. Rojas, F: J. Núñez y Jesús Orozco, *Macrosismos: aspectos físicos, sociales, económicos y políticos* (pp. 11-25). México: CIESAS.
- Rowe, G. T. y Phoel, W. (1992). Nutrient regeneration and oxygen demand in Bering Sea continental shelf sediments. *Continental shelf research*, 12(4): 439-449.
- Rupeni, M. (1982). Ocean thermal conversion and the pacific islands. Consultado el 20 de octubre del 20127: <http://prdrse4all.spc.int/system/files/MR0417.pdf>
- SAGARPA. (2018). Periodos de vedas para especies marinas y dulceacuícolas. Consultado el 02 de febrero del 2018: <http://www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/resources/PDFContent/14619/presentaioc.pdf>
- SAGARPA. (n. d.). Resumen ejecutivo manifestación de impacto ambiental; obras de dragado y escolleras de Barra de Santiago lolomita municipio de Pijijiapan, Chiapas. Consultado el 9 de agosto del 2017: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/chis/resumenes/2011/07CH2011H0008.pdf>
- Scott, B. E., Langton, R., Philpott, E. y Waggitt, J. J. (2014). Seabirds and marine renewable energy: are we asking the right questions?. En Shields M., Payne A. (eds.) *Marine Renewable Energy Technology and Environmental Interactions. Humanity and the Sea*. Holanda: Springer.
- Secretaría de hacienda de Chiapas. (n. d.). Programa regional de desarrollo; región IX Istmo-Costa. Consultado el 29 de abril del 2017: <http://www.haciendachiapas.gob.mx/planeacion/Informacion/Desarrollo-Regional/prog-regionales/ISTMO-COSTA.pdf>
- Secretaría de planeación, gestión pública y programa de gobierno. (2013). Plan Estatal de Desarrollo de Chiapas 2013-2018. Consultado el 21 de mayo del 2017: <http://www.chiapas.gob.mx/plan-estatal>

- Secretaría de planeación, gestión pública y programa de gobierno. (2013). Plan de desarrollo municipal de Pijijiapan 2011-2012, Tonalá 2011-2012, Mapastepec 2011-2012 y Arriaga 2011-2012. Consultado el 21 de mayo del 2017: <http://www.planeacion.chiapas.gob.mx/develop/municipales>
- SEDESOL. (2017). Informes por municipio y demarcaciones territoriales; Chiapas, Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social; Arriaga, Tonalá, Pijijiapan y Mapastepec. Consultado el 20 de mayo: http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/186645/Chiapas_.pdf
- SEMARNAT. (1990). Bases para el ordenamiento costero-pesquero de Oaxaca y Chiapas (aspectos generales). México: Secretaría de Pesca.
- SEMARNAT. (2004). Degradación del suelo en la república mexicana-escala 1:250000. Consultado el 01 de agosto del 2017: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- SEMARNAT. (2012). Informe de la situación del medio ambiente en México; compendio de estadísticas ambientales e indicadores claves de desempeño ambiental, edición 2012. México: SEMARNAT.
- SEMARNAT. (2013). Impacto Ambiental y tipos. Consultado el 21 de noviembre del 2017: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestion-ambiental/impacto-ambiental-y-tipos/contenido-de-una-mia>
- SEMARNAT. (n. d.). Construcción de canales para acuacultura social en el fortín municipio de Pijijiapan, Chiapas; estudio de manifiesto de impacto ambiental. Consultado el 20 de mayo del 2017: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/chis/estudios/2003/07CH2003PD007.PDF>
- SENER. (2006). Energías renovables para el desarrollo sustentable en México. México: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH
- Servicio geológico mexicano. (2012). Atlas de peligros del Estado de Chiapas. Consultado el 21 de mayo del 2017: http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/home/wp-content/uploads/2012/07/informe_final_peligros_chiapas.pdf
- Servicio geológico mexicano. (2012). Proyecto de estudios de peligros naturales en municipios de la planicie costera del Estado de Chiapas; atlas de peligro de la ciudad y municipio de Mapastepec, Chiapas. Consultado el 20 de mayo del 2017: http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/home/wp-content/uploads/downloads/riesgosypeligros/informesmunicipales/PELIGROS_MAPASTEPEC.pdf
- Servicio mareográfico geofísica-unam (n. d.). Estaciones; Puerto Chiapas. Consultado el 2 de febrero del 2018: <http://www.mareografico.unam.mx/portal/index.php?page=Estaciones>
- Servicio mareográfico geofísica-unam (n. d.). Las mareas en México. Consultado el 25 de agosto del 2017: <http://www.mareografico.unam.mx/portal/index.php?page=tiposMarea>
- Shallenberg, J. C., Piernavieja, G., Unamunzaga, P., García, R., Díaz, M., Cabrera, D., Martel, G., Padilla, J. y Subiela, V. (2008). Energías renovables y eficiencia energética. España: Instituto Tecnológico de Canarias.^{[1][2]}_{SEP}

- Sheehan, E. V., Gall, S. C., Cousens, S. L. y Atrill, M. (2013). Epibenthic assessment of renewable tidal energy site. *The scientific world journal*, 2013: 1-8.
- Shumchenia, E. J., Smith, S. L., McCann, J., Carnevale, M., Fugate, G., Kenney, R. D., King, J. W., Paton, P. Schwartz, M., Spaulding, M. y Winiarski, K. J. (2012). An adaptive framework for selecting environmental monitoring protocols to support ocean renewable energy development. *The scientific world journal*: 1-23.
- Silva, R., Villatoro, M. M., Ramos, F., Pedroza, D., Ortiz, M. A., Mendoza, E. G., Delgadillo, M. A., Escudero, M. C., Félix, A. y Cid, A. (2014). Caracterización de la zona costera y planteamiento de elementos técnicos para la elaboración de criterios de regulación y manejo. México: SEMARNAT-UNAM.
- Slater, M., Shultz, A., Jones, R. y Fisher, C. (2010). *Electromagnetic field study*. United States: Oregon wave energy trust.
- Tapia-García, M., García-Abad, M. C., Carranza-Edwards, A y Vázquez-Gutiérrez, F. (2007). Environmental characterization of the continental shelf of the Gulf of Tehuantepec, México. *Geofísica internacional*, 46(4): 249-260.
- Tapia-García, M., García-Abad, M. C., Penagos, F. E., Juárez, G. L., Ramírez, J. M. y Herrera, D. (2011). Subsistemas hidrológicos de la laguna Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas, México. *Lacandonia*, 5(1), 97-112.
- The IUCN red list of threatened species. (2007). *Avicennia bicolor*. Consultado el 31 de mayo del 2017: <http://www.iucnredlist.org/details/178847/0>
- Thompson, P. M., Brookes, K. L. y Cordes, L. Integrating passive acoustic and visual data to model spatial patterns of occurrence in coastal dolphins. *Journal of marine science*, 72(2): 651-660.
- Tidal lagoon power. (2017). An iconic, world-first infrastructure project in south west wales. Consultado el 31 de octubre de 2017: <http://www.tidallagoonpower.com/projects/swansea-bay/>.
- Torres, E., Linares, G., Tenorio, M. G., Peña, R., Castelán, R. y Rodríguez, A. (2014). Índices de vegetación y uso de suelo en la región terrestre prioritaria 105: Cuetzalan, México. *Revista Iberoamericana*, 1(3): 101-112.
- Tovilla, C. (2008). La dimensión de la crisis ambiental en la costa de Chiapas y la necesidad de un programa de ordenamiento de las actividades. En J.E. Sánchez y R. Jarquin (eds.), *La frontera sur: reflexiones sobre el Soconusco, Chiapas y sus problemas ambientales, poblacionales y productivos*. México, Senado de la república, LX Legislatura y ECOSUR.
- Travieso-Bello, A. C. (2005). Manglares. En P. Moreno-Casasola, E. Peresbarbosa y A. C. Travieso, *Manejo costero integral: el enfoque municipal* (pp. 183-204). México: INECC.
- UN. (n. d.). *Objetivos de desarrollo sostenible; 17 objetivos para transformar nuestro mundo*. Consultado el 23 de agosto del 2017: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>
- UNESCO. (2009). *The impact of global change on erosion and sediment transport by rivers: current progress and future challenges*. Francia: United Nations educational, scientific and cultural organization.
- Varona-Cordero, F. y Gutiérrez, F. (2006). Composición del fitoplancton de dos lagunas costeras del Pacífico tropical. *Hidrobiología*, 16(2): 159-174.

- Vega, L. A. (2012). Ocean Thermal Energy Conversion. En R. Meyers (eds.), *Encyclopedia of sustainability science and technology* (pp. 7296-7328). Estados Unidos: Springer.
- Villafuerte-Solís, D. (2015). Crisis rural, pobreza y hambre en Chiapas. *LiminaR*, 13(1), 13-28.
- Wilkinson, T., Wiken, E., J. Bezaury, Hourigan, T., Agardy, T., Herrmann, H., Janishevski, L., Madden, C., Morgan, L. y Padilla, M. (2009). *Ecorregiones marinas de América del Norte*. Canadá: Comisión para la cooperación ambiental.
- Williamson, B. J., Scott, B. E., Waggitt, J. J., Hall, C., Armstrong, E., Blondel, Bell, P. S. (2014). Field deployments of a self-contained subsea platform for acoustic monitoring of the environment around marine renewable energy structures. *Oceans- St. John's*: 1-6.
- Wilson, B., Batty, R. S., Daunt, F. y Carter, C. (2007). *Collision risks between marine renewable energy devices and mammals, fish and diving birds*. Report to the Scottish Executive. Consultado el 18 de enero de 2018: https://depts.washington.edu/nnmrec/workshop/docs/Wilson_Collisions_report_final_12_03_07.pdf
- Yoo, G., Kim, A. R. y Hadi, S. (2014). A methodology to assess environmental vulnerability in coastal city: application to Jakarta, Indonesia. *Ocean & coastal management*, 102: 169-177.
- Zamora, M., Leyva, E y Lambert. A. (2010). *Recurso eólico en Baja California*. Consultado el 22 de julio del 2017: <http://www.revista.unam.mx/vol.11/num2/art24/art24.pdf>.